

CARLOS MONTAÑA (Editor)

ESTUDIO INTEGRADO DE LOS RECURSOS  
VEGETACIÓN, SUELO Y AGUA EN LA  
RESERVA DE LA BIOSFERA DE MAPIMÍ.

I. AMBIENTE NATURAL Y HUMANO

INSTITUTO DE ECOLOGÍA, A.C.

MÉXICO. D. F.

1988

**Publicación 23**  
**INSTITUTO DE ECOLOGÍA, A.C.**

**México, D. F., mayo 1988**

D. R. © 1988 Instituto de Ecología, A.C.  
Dirección: Apartado Postal 18-845  
Delegación Hidalgo  
11800 México, D. F.

Primera edición: 1988  
Impreso en México - Printed in Mexico  
ISBN 968-7213-09-4

Ningún capítulo de este libro puede ser traducido o reproducido sin autorización escrita del Instituto de Ecología.

**ESTUDIO INTEGRADO DE LOS RECURSOS VEGETACIÓN, SUELO Y  
AGUA EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA DE MAPIMÍ.  
I. AMBIENTE NATURAL Y HUMANO**

•

**Contribución al desarrollo del Plan de Acción de las Reservas de la Biosfera (MAB/UNESCO). El Instituto de Ecología agradece el apoyo recibido a: Programa Hombre y Biosfera (MAB/UNESCO), Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México y ORSTOM de Francia.**

**INSTITUTO DE ECOLOGÍA, A.C.  
MÉXICO, D. F.  
1988**



## Lista de Autores

- BARRAL, H. ORSTOM. 213, rue Lafayette, 75010 Paris, Francia.  
Instituto de Ecología, Centro Regional Norte Árido, Ap. Postal 263 "B", 35070 Gómez Palacio, Durango, México.
- BARTOLINO, J. R. Department of Biology and Geosciences, West Texas State University, Canyon, Texas 79016, U.S.A.  
Instituto de Ecología, Centro Regional Norte Árido, Ap. Postal 263 "B", 35070 Gómez Palacio, Durango, México.
- BREIMER, R. F. UNESCO, Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América Latina y el Caribe. Casilla de Correo 859, Montevideo, Uruguay.  
International Soil Reference and Information Centre, P.O. Box 343, 6700 AJ Wageningen, Holanda.  
Instituto de Ecología, Centro Regional Norte Árido, Ap. Postal 263 "B", 35070 Gómez Palacio, Durango, México.
- CORNET, A. ORSTOM, 213 rue Lafayette, 75010 Paris, Francia.  
Instituto de Ecología, Centro Regional Norte Árido, Ap. Postal 263 "B", 35070 Gómez Palacio, Durango, México.
- DELHOUME, J. P. ORSTOM, 213 rue Lafayette, 75010 Paris, Francia.  
Instituto de Ecología, Centro Regional Norte Árido, Ap. Postal 263 "B", 35070 Gómez Palacio, Durango, México.
- EZCURRA, E. Instituto de Ecología, Ap. Postal 18-845, 11800 México-D.F., México.
- HALFFTER, G. Instituto de Ecología, Ap. Postal 18-845, 11800 México-D.F., México.
- MONTAÑA, C. Instituto de Ecología, Centro Regional Norte Árido, Ap. Postal 263 "B", 35070 Gómez Palacio, Durango, México.
- RUIZ DE ESPARZA, R. Instituto de Ecología, Centro Regional Norte Árido, Ap. Postal 263 "B", 35070 Gómez Palacio, Durango, México.



## Contenido

<i>Lista de Autores</i>	7
<i>Prólogo</i>	
F. DI CASTRI	11
<i>Presentación</i>	
C. MONTAÑA	15
<b>1. El Concepto de Reserva de la Biosfera</b>	
G. HALFFTER	19
<b>2. Principales Características Climatiques</b>	
A. CORNET	45
<b>3. Cenozoic Geology of the Eastern Half of the La Flor Quadrangle, Durango and Chihuahua, México</b>	
J. R. BARTOLINO	77
<b>4. Major Vegetation and Environment Units</b>	
C. MONTAÑA y R. F. BREIMER	99
<b>5. Physiographic Soil Survey</b>	
R. F. BREIMER	115

<b>6. Distribution Spatiale des Sols le Long d'une Toposéquence Représentative</b>	
J. P. DELHOUME	135
<b>7. Las Formaciones Vegetales</b>	
C. MONTAÑA	167
<b>8. La Vegetación y sus Relaciones con el Ambiente</b>	
C. MONTAÑA	199
<b>9. Lista de las Especies Vasculares</b>	
R. RUIZ DE ESPARZA VILLARREAL	225
<b>10. El Hombre y su Impacto en los Ecosistemas a Través del Ganado</b>	
H. BARRAL	241
<b>11. La Evolución del Uso de los Recursos Naturales Renovables en el Norte Árido de México</b>	
E. EZCURRA y C. MONTAÑA	269
<i>Anexos (ver contraportada)</i>	
<b>Mapa de Suelos de la Reserva de la Biosfera de Mapimí</b>	
R. F. BREIMER	
<b>Mapa de Vegetación de Reserva de la Biosfera de Mapimí</b>	
C. MONTAÑA	

## Prólogo

FRANCESCO DI CASTRI

Cuando Carlos Montaña me pidiera amistosamente de escribir el prólogo de su primer libro de síntesis con los resultados obtenidos en Mapimí, he aceptado gustoso esta honrosa responsabilidad empujado por razones de toda índole, personales e institucionales, de raigambres afectivas y de interés científico.

En efecto, Mapimí ha representado y representa mucho para mí, en mi carrera científica y en mi vida personal. Cuando trabajaba en la Unesco en París a cargo del Programa MAB, Mapimí era para nosotros un símbolo: el símbolo de la integración de la ciencia con la cultura y la vida de un pueblo, el símbolo de la fraternidad internacional, el símbolo de lo mucho que se puede conseguir con medios limitados cuanto se posee el ingenio, la determinación, la valentía y el alma, sin hablar de la competencia, de alguien del calibre de Gonzalo Halffter. Gonzalo, quién siempre ha asociado su rigor científico con su cultura y su entusiasmo, para encontrar soluciones a la vez pragmáticas y estimulantes, para llevar una luz de esperanza tanto a los campesinos locales como a científicos mexicanos, norteamericanos, franceses, rusos, argentinos, holandeses. Todos los caminos de la cooperación y de la solidaridad parecían pasar por el alejado desierto de Chihuahua para conducir a Mapimí.

No es por lo tanto sorprendente que, cuando en una luminosa primavera del 82 un pequeño avión me permitió descubrir desde lo alto el desierto de Chihuahua, yo mismo me sintiera a la vez muy emocionado y lleno de esperanzas a medida que el mítico Mapimí se delineaba al horizonte. Quiero decir inmediatamente, sin ambages y sin pudor, que pocas veces he estado más feliz en mi vida y más "realizado" en mi curiosidad científica, que durante los pocos días que he pasado en el Laboratorio del Desierto de Mapimí: un paisaje salvaje de una belleza excepcional, con unos tiernos atardeceres en la pequeña montaña que enmarca la vista del Laboratorio del Desierto, con extrañas contraluces de toda la variedad de flores de cactáceas; el contacto con un ejido de campesinos admirables por su dignidad, su orgullo y su coraje; una comunidad de científicos (Montaña, Cornet, Reyes y todos los jóvenes del equipo de Halffter) en los cuales no se sabía si admirar más la competencia o el entusiasmo; y la presencia constante de Violeta Halffter capaz —con su frágil fortaleza— de dar un toque de

convivialidad, de elegancia y de dulzura en todo momento, bajo el sol a pique del medio día o en las noches hechizadas de Mapimí.

Puede parecer natural, pero no siempre ocurre —sobre todo en los grandes programas internacionales— que exista una tal correspondencia entre lo que está descrito en los áridos documentos de trabajo y la realidad de una experiencia vivida.

Prescindiendo de este ambiente natural y humano que se alzaba más allá de todo ensueño, Mapimí es también otro paraíso: un paraíso de las problemáticas científicas más originales y más variadas: problemas de nichos ecológicos en un ambiente desértico con gran riqueza específica, problemas de heterogeneidad de vegetación pues cada rincón de Mapimí presenta su propia peculiaridad, problemas de escurrimientos y concentraciones de agua que alimentan aún más este mosaico de situaciones. Visto desde lo alto, el paisaje que rodea Mapimí tiene, con sus matorrales tigrados y entrecruzados, el valor sintético y la esencialidad de un cuadro de Mondrian.

Además, este “coup de foudre” de Mapimí conmigo ha tenido también el mérito de la continuidad. Continuidad de la amistad con Violeta y Gonzalo Halffter, continuidad de la cooperación científica con Cornet que trabaja actualmente en Montpellier, y con Montaña que con su sonrisa y su amabilidad se ha hecho aceptar hasta por la más reacia computadora de mi laboratorio.

Aparte de todo lo que Mapimí representa para mí, hay algunos principios generales que se destacan, principios de política científica, principios de relaciones entre científicos y entre países.

Ante todo, la experiencia de Mapimí, en particular este libro y aquellos que seguirán de Carlos Montaña, ha demostrado que no hay ninguna oposición entre vocación científica y compromiso social. Si los investigadores han estado motivados para ayudar y cooperar con los criadores y los ejidatarios de Mapimí, no por esto la calidad de sus investigaciones ha sido menoscabada, tal vez ha sido aún sublimada.

En segundo lugar, la experiencia de Mapimí ha sido ejemplar en el sentido de demostrar que protección de la naturaleza y desarrollo económico van acoplados: Qué diferencia de ver la actitud de las poblaciones locales de Mapimí, orgullosas de participar en esta obra de conservación y de contribuir al mismo tiempo a un mejor bienestar de sus propias familias, frente a los nativos expulsados de algunos parques nacionales africanos, y viviendo alrededor de ellos en “bidonvilles” y a la merced de las limosnas de los turistas extranjeros.

En tercer lugar, Mapimí es una demostración de que ciencias básicas y ciencias aplicadas son dos aspectos indisolubles, y que en ciencia no hay relevancia ni aplicabilidad sin adoptar criterios de excelencia y de rigor. Qué terrible error aquel cometido por algunos países en vías de desarrollo quienes, con una actitud acomplejada y derrotista, sostienen el principio que para ellos sólo es posible un tipo de ciencia de segunda clase, aplicada y a muy corto término. Con esta ciencia, nunca ellos podrán salir del subdesarrollo y de la dependencia económica y cultural. Es una suerte para México, y un símbolo para otros países, que la carrera de investigador en México adopte criterios de selección y de calidad aún más exigentes que aquellos seguidos en muchos paí-

ses industrializados. La gran calidad del libro de Carlos Montaña y de las otras publicaciones sobre Mapimí es que no se hace ninguna concesión a las soluciones de facilidad ni al rigor del método científico, para llegar a conclusiones pertinentes y aplicables.

Finalmente, el cuarto aspecto de carácter general que quisiera destacar, basado en la evidencia de Mapimí, es que la verdadera ciencia no puede sino tener un carácter internacional. Pero para fomentar estas relaciones de interdependencia, es necesario que los investigadores locales posean el bagaje científico para interactuar con sus colegas extranjeros. Y en este sentido Mapimí ha sido, y es todavía, un gran centro de formación que ha servido al enriquecimiento recíproco de investigadores mexicanos, franceses, rusos, americanos, y de muchas otras nacionalidades, tan integrados los unos a los otros que su propia nacionalidad y sus tradiciones específicas han constituido un elemento de cohesión más que de diferenciación. Esta diversidad de enfoques se encuentra también, enmarcada en un esquema conceptual muy coherente (“una unidad en la diversidad”), en el libro de Carlos Montaña.

Mapimí, y las obras que de Mapimí se han inspirado (obras en el terreno, obras para una mejor comprensión internacional, publicaciones como aquellas a que este prólogo se refiere) no es sólo un símbolo, pues este término puede parecer demasiado abstracto, sino la realidad de una síntesis dialéctica de elementos que a veces son presentados en forma antagónica: rigor científico y compromiso social, conservación de los recursos y desarrollo económico y cultural, ciencias básicas y aplicaciones, política científica arraigada en prioridades nacionales y necesidad de aperturas internacionales con países de todas las tendencias.

Es una gran satisfacción para mí que este símbolo, que esta realidad, vengan de Mapimí, del centro del desierto de Chihuahua tan evocador de luchas por la independencia y la dignidad humana, tan representativo de lo que debería ser nuestra Patria Grande Latinoamericana, con la cual —si no pertenezco de nacimiento— aspiro a ser identificado por los lazos espirituales, afectivos y culturales de toda una vida.



## Presentación

CARLOS MONTAÑA

Una de las características destacadas de la política de creación de Reservas de la Biosfera es el hecho de dar un lugar prioritario a la investigación científica en las zonas dedicadas a la conservación de los recursos naturales (di Castri y Loope, 1977). Entre esas actividades el Plan de Acción para las Reservas de la Biosfera (UNESCO, 1984) asigna especial importancia al inventario de recursos. En función de esos objetivos se presenta en este volumen el estado actual del conocimiento de los recursos abióticos y la vegetación de la Reserva de la Biosfera de Mapimí.

Esta reserva fue creada en la década de los setentas (Halffter, 1981) con el objeto de conservar una porción representativa de los ecosistemas presentes en la porción sur del Desierto Chihuahuense. Respondiendo a otra de las características de la noción de Reservas de la Biosfera: la implementación de líneas de investigación orientadas al desarrollo regional (ver Halffter, en este mismo volumen), se puso en marcha en la citada reserva, a partir de 1981, un proyecto de investigaciones destinado a generar los conocimientos científicos necesarios para racionalizar el uso de los recursos llevado a cabo por las poblaciones locales. Debido a que, por las características del área, tal uso se restringe fundamentalmente a la ganadería extensiva, el proyecto está orientado a proveer información científica relevante a tal fin, generada a través de un enfoque interdisciplinario. La información que se presenta en este volumen representa una síntesis de la primera etapa de inventario comprendida en este programa. En volúmenes posteriores se abordarán los estudios que se proponen dilucidar la dinámica de algunos procesos que condicionan la producción primaria en estos ecosistemas semiáridos.

Una breve reseña del desarrollo de este proyecto pone en evidencia otra de las particularidades de la política de creación de Reservas de la Biosfera: el énfasis en la cooperación internacional para la investigación científica que se realiza en la red internacional de reservas. En nuestro caso, la acción catalizadora del Programa Hombre y Biosfera de la UNESCO y el apoyo decidido del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACyT) favoreció el establecimiento de un sistema de relaciones entre instituciones de distintos países que permite optimizar la utilización de los recursos destinados a la investigación.

Una primera etapa de relevamiento expeditivo realizada por investigadores del Instituto de Ecología con el apoyo de la Oficina Regional para América Latina y el Caribe de la UNESCO, permitió identificar las líneas de investigación prioritarias. Para el desarrollo de las mismas se integró posteriormente un equipo interdisciplinario cuyo núcleo está formado por investigadores del Instituto de Ecología y del Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación (ORSTOM) y cuya sede es el Centro Regional Norte Árido que el Instituto de Ecología posee en la ciudad de Gómez Palacio (Durango).

Debido a que en este libro se incluyen capítulos escritos en español, inglés y francés, se han preparado resúmenes en los tres idiomas para cada capítulo.

En el capítulo 1 Halffter da una visión actualizada del concepto de Reserva de la Biosfera. En esa contribución se discuten en detalle algunos aspectos del desarrollo de las Reservas de la Biosfera como estrategia al servicio de la conservación de los recursos naturales. Cornet presenta una caracterización del clima de la reserva en el capítulo 2 y Bartolino aborda, en el capítulo 3, algunos aspectos de la geología del Cenozoico en el área. Montaña y Breimer, en el capítulo 4, presentan una subdivisión del área en unidades definidas sobre la base de geomorfología, vegetación y suelos. Dicha contribución representa la primera aproximación al conocimiento integrado de tales recursos hecha a una escala de trabajo de 1:250.000. Las cartografías a escala 1:100.000 de la vegetación y de los suelos se presentan en los mapas que acompañan a este volumen y las correspondientes descripciones de las unidades se dan en los capítulos 5 y 6. En el capítulo 7 Montaña presenta un análisis fitoecológico de la vegetación y Delhoume, en el capítulo 8, describe los suelos a lo largo de una toposecuencia. Ruiz de Esparza presenta en el capítulo 9 la lista provisoria de especies vasculares. Barral en el capítulo 10 analiza las características de las unidades de producción y de la utilización de los recursos forrajeros. Por último en el capítulo 11, Ezcurra y Montaña esbozan los rasgos principales de la utilización de los recursos naturales en el norte de México a través de la historia.

El editor quisiera expresar su agradecimiento al Director General del Instituto de Ecología, M. en C. Pedro Reyes Castillo, por el apoyo recibido, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) de México por el financiamiento parcial de los trabajos a través del Proyecto PT/AF/NAL/80/1202 y al Programa Hombre y Biosfera de UNESCO por el financiamiento de la impresión de los mapas en color de vegetación y de suelos. Varias otras instituciones colaboraron de distintas formas en las investigaciones que condujeron a la publicación del presente libro. Entre ellas, y a riesgo de caer en olvidos imperdonables, cabe mencionar a: División de Ciencias Ecológicas de UNESCO; Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América Latina y el Caribe de UNESCO; Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación (ORSTOM); International Soil Reference and Information Centre (Wageningen, Países Bajos); Institute of Aerial Survey and Earth Sciences (ITC, Enschede, Países Bajos), Centre d'Etudes Phytosociologiques et Ecologiques L. Emberger (CNRS/CEPE, Montpellier, Francia); Fundación Ford; Convenio de Cooperación Cien-

tífica entre el Consejo Nacional de Investigación Científica de Francia (CNRS) y el CONACyT de México; University of West Texas (Canyon, Texas, U.S.A.).

#### REFERENCIAS

- DI CASTRI, F. y L. LOOPE. 1977. Reserves de la Biosphere: theorie et practice. *Nature et Resources* 13(1):2-8.
- HALFFTER, G. 1981. The Mapimi Biosphere Reserve: local participation and development. *Ambio* 10(23):93-96.
- UNESCO, 1984. Plan de Acción para las Reservas de la Biosfera. *La Naturaleza y sus Recursos* 20(4):1-12.



# El Concepto de Reserva de la Biosfera<sup>1</sup>

GONZALO HALFFTER

## RESUMEN

Este artículo está destinado a revisar el concepto actual de reserva de la biosfera haciendo hincapié en dos aspectos: la participación local y la investigación para el desarrollo.

La revisión se inicia con un examen del desarrollo del concepto desde el documento 22 del MAB (1974) hasta el Plan de Acción actualmente en vigor. En su planteamiento original se establecen para las reservas tres actividades: a) la conservación de ecosistemas naturales o seminaturales y de la riqueza genética que contienen; b) la investigación ecológica y ambiental; c) las facilidades para la educación y el entrenamiento. En unas pocas reservas: La Michilía y Mapimí en México, Monte Kulal en Kenya, desde su origen se plantean sin excluir las actividades anteriores, otras vertientes de acción igualmente importantes. Son éstas, la participación de las poblaciones e instituciones locales y la investigación que pueda servir al desarrollo regional. En el Parque Des Cévennes, en Francia, también desde el principio se plantean estas actividades. El Plan de Acción actualmente vigente ha incorporado estas líneas de acción cuya aplicación se ha iniciado en los últimos años en otras reservas aparte de las mencionadas. Por eso, se discuten en detalle las modificaciones surgidas en estos tres aspectos estrechamente interrelacionados: la conservación, la participación y la investigación para el desarrollo.

La conservación sigue siendo la actividad primaria de las reservas de la biosfera. Sin embargo, al moverse del concepto limitado de zona protegida al más dinámico de área multifuncional, en la que las relaciones entre el hombre y la naturaleza se estudian y se racionalizan, surge la necesidad de combinar varias funciones en una sola macrounidad. Esto hace más necesaria que nunca la zonificación de la reserva para determinar qué actividades se pueden realizar y en qué zonas. También contar con un programa global, con objeto de evitar interferencias o posibles contraposiciones entre actividades distintas.

<sup>1</sup> Una versión sintética de este artículo fue presentada en el "Atelier de Florac" sobre Reservas de la Biosfera en la Región Mediterránea, Florac, Francia, 9-12 septiembre 1986. Florac es el centro del Parque-Reserva Des Cévennes. La oportunidad de conocer sobre el terreno esta reserva y los trabajos que en ella se realizan nos motivaron a ampliar nuestra presentación original. Des Cévennes sigue la misma filosofía que las reservas de Mapimí y La Michilía en México, que tuvimos ocasión de fundar y dirigir por años. En Des Cévennes se extrapolan posibilidades y problemas, resultado lógico de la existencia de una reserva realmente poblada (en Mapimí y La Michilía viven sólo pequeños núcleos familiares) y de los muy importantes medios, tanto en número como en calidad, de que ha dispuesto Des Cévennes para la investigación para el desarrollo, la investigación sociocultural y el apoyo a un tipo peculiar de turismo, así como a la lograda integración con las poblaciones locales.

En el concepto actual de conservación, además de la protección de formaciones naturales más o menos intactas, adquiere importancia la protección de paisajes humanizados en donde el uso tradicional ha mantenido o incluso enriquecido, la diversidad ecológica y genética.

Se comentan, en varias partes del artículo dos problemas que enfrentan las reservas de la biosfera en su tarea de conservación: las limitaciones de espacio, y en parte ligada a ellas, la conservación de especies que pueden ser peligrosas para el hombre. Para uno y otro problema la planificación de todo el conjunto de la reserva y la existencia de una zona de cooperación ofrecen soluciones novedosas que amplían las áreas de conservación más allá de las zonas núcleo y que al regular las relaciones con las poblaciones locales y periféricas disminuyen el impacto sobre ellas de los animales peligrosos.

La participación local es una realidad en varias reservas de la biosfera. Su misma gestación plantea nuevas preguntas: a) ¿Qué pueden esperar las poblaciones locales de la reserva y viceversa?; b) ¿Hasta dónde puede llegar la participación local en la toma de decisiones, especialmente cuando éstas atañen a la investigación o a la conservación?; c) ¿Qué acciones propuestas por la población local son deseables y cuáles no?; d) ¿En qué áreas o zonas se puede hacer una determinada acción que pueda afectar a la población local o que puede estar planteada por ésta y en cuáles no? Las dos últimas preguntas son igualmente relevantes para la investigación aplicada al desarrollo regional.

Se trata de contestar estas preguntas y, en general, de examinar el estado actual de la participación local y de la investigación para el desarrollo, revisando lo que ocurre en una serie de reservas. Inficiase este examen con los resultados de la "modalidad mexicana" en las reservas de Mapimí y La Michilía y en la recién creada reserva de Sian Ka'an. Examínanse después las reservas de Río Plátano (Honduras), Des Cévennes (Francia), Waterton (Canadá) y Pineland (Estados Unidos) en las que la participación local es una realidad.

La aceptación y expansión de un nuevo estilo de investigación, aquel que tiene como objeto el desarrollo regional es un aspecto estrechamente ligado a la participación local en su sentido más profundo. Esta investigación es una actividad totalmente deseable que fortalece las otras que se realizan en la reserva y permite incluir a ésta dentro de la problemática socioeconómica regional y nacional. Al comentar la evolución de este tipo de investigación en varias reservas no deja de señalarse el riesgo de confundir investigación para el desarrollo con programas de desarrollo, con la posibilidad de que este nuevo énfasis lleve a desatender otros aspectos de la actividad de la reserva, especialmente la conservación. Una vez más la zonificación de actividades y la existencia de un plan general de coordinación parecen ser la solución a posibles conflictos de prioridades.

Termina el artículo con una síntesis en la que se define que es una reserva de acuerdo con la visión del autor.

## RESUMÉ

Cet article est destiné à discuter le concept actuel de réserve de la biosphère en mettant l'accent sur deux aspects: la participation locale et la recherche pour le développement.

La discussion débute par l'analyse de l'évolution du concept de réserve de la biosphère depuis le document 22 du MAB (1974) jusqu' au Plan d'Action actuellement en vigueur. Dans la conception originale de la notion de réserve de la biosphère, trois activités furent établies: a) la conservation des écosystèmes naturels ou seminaturels et de la richesse génétique qu'ils contiennent; b) la recherche écologique et environnementale; c) des facilités pour l'éducation. Dès la création de quelques réserves: La Michilía et Mapimí au Mexique et Monte Kulul au Kenya, furent proposées et développées d'autres activités aussi importantes que celles mentionnées ci-dessus. Ce sont: la participation des populations et des institutions locales et la re-

cherche orientée vers le développement régional. De même, dès le début du fonctionnement du Parc National des Cévennes, en France, furent prises en compte ces activités. Le Plan d'Action actuellement en vigueur a incorporé ces lignes d'action, lesquelles commencèrent à être appliquées au cours des dernières années dans d'autres réserves, mis à part celles mentionnées ci-dessus. C'est pour cela qu'est discuté en détail dans le présent travail l'évolution de ces trois aspects étroitement interdépendants: la conservation des ressources, la participation des communautés locales et la recherche pour le développement.

La conservation constitue toujours l'activité principale des réserves de la biosphère. Cependant, de la transformation du concept strict de zone protégée vers le concept plus dynamique d'aire multifonctionnelle, dans laquelle les relations entre l'homme et la nature sont étudiées et rationalisées, surgit la nécessité de combiner plusieurs fonctions dans une seule macrounité. Cela rend plus nécessaire que jamais une zonation des réserves afin d'assurer la distribution spatiale correcte des différentes activités. De plus, il faut disposer d'un programme global afin d'éviter des interférences entre les différentes activités.

Dans la conception actuelle de la conservation, en plus de la protection des formations naturelles plus ou moins intactes, celle des paysages humanisés où l'utilisation traditionnelle des ressources a entretenu ou même enrichi la diversité écologique et génétique, est de plus en plus importante.

Dans différentes parties de l'article sont commentés deux problèmes auxquels s'affrontent les réserves de la biosphère dans leurs tâches de conservation: les limitations d'espace et, partiellement liée à elles, la conservation des espèces qui peuvent être dangereuses pour l'homme. Pour l'un comme pour l'autre problème, la planification de l'ensemble de la réserve et l'existence d'une zone de coopération offrent des solutions originales qui élargissent les aires de conservation au-delà des zones noyaux et qui, au fur et au mesure qu'elles régularisent les relations avec les populations locales et périphériques, diminuent l'impact des animaux dangereux.

La participation locale est une réalité dans quelques réserves de la biosphère. Sa réalisation même pose des questions nouvelles: a) Que peuvent attendre les populations locales de la réserve et vice-versa?; b) Jusque où peut arriver la participation locale dans la prise de décisions, surtout lorsque celles-ci concernent la recherche ou la conservation?; c) Quelles sont les actions proposées par les populations locales souhaitables ou non?; d) Dans quelles zones est-il possible d'exécuter une action déterminée qui peut affecter ou non la population locale ou qui peut être proposée par elle?. Ces deux dernières questions sont importantes aussi pour la recherche orientée vers le développement régional.

Dans cet article on tente de répondre à ces questions et, en général, d'examiner l'état actuel de la participation locale et de la recherche pour le développement à travers l'examen d'expériences faites dans une série de réserves. L'analyse débute avec les résultats de l'expérience mexicaine dans les réserves de Mapimí et La Michilia et dans celle récemment crée de Sian Ka'an. Ensuite son analysées les réserves de Río Plátano (Honduras), Des Cévennes (France), Waterton (Canada) et Pineland (U.S.A.) dans lesquelles la participation locale est une réalité.

L'acceptation et l'expansion d'un style de recherche nouveau, ayant pour but le développement régional est un aspect étroitement lié à la participation locale dans son sens le plus profond. Cette recherche est une activité totalement souhaitable qui fortifie les autres activités des réserves et permet d'inclure ces dernières dans la problématique socio-économique locale et nationale. Au moment d'analyser l'évolution de ce type de recherche dans quelques réserves, il est important de souligner le risque de confondre recherche pour le développement et programmes de développement, avec la possibilité d'une diminution de l'attention des autres fonctions des réserves, notamment celle de conservation. Une fois de plus la zonation des activités et l'existence d'un plan général de coordination semblent être les solutions à de possibles conflits de priorités.

L'article se termine par une synthèse dans laquelle est définie la notion de réserve, d'après la vision actuelle de l'auteur.

## ABSTRACT

This article is destined to revise the present concept of biosphere reserve, dwelling upon two aspects; local participation and development research.

The revision begins with an examination of the biosphere reserve concept from MAB (1974) document 22, to the Plan of Action presently in effect. As originally put into execution, three activities were established for the reserves: a) the conservation of natural or semi-natural ecosystems and of the genetic richness which they contain; b) ecological and environmental research; c) facilities for education and training. In the case of a few reserves — Michilia and Mapimi in Mexico, Mount Kulal in Kenya — other equally important lines of activity were set from their inception, not excluding the aforementioned activities. These are: the participation of local populations and institutions, and research which can aid regional development. In the des Cevennes Park, in France, these activities were also established, from the outset. The Plan of Action presently in effect has incorporated these lines of action, the application of which has been initiated, in the last few years, in reserves other than those mentioned above. For this reason, there is detailed discussion, in the article, of the modifications which have sprung up within these three very closely inter-related aspects: conservation, participation and development research.

Conservation continues to be the primary activity of the biosphere reserves. Nevertheless, as the delimited concept of a protected zone has evolved towards the more dynamic one of a multifunctional area, in which the relationships between man and nature are studied and rationalized, the need arises to combine various functions in a simple macro-unit. This makes the splitting of the reserve into zones more necessary than ever, in order to determine which activities can be carried out, in which zones. Also, one has to be able to rely on a global programme, in order to avoid interferences, or possible contrapositions, among different activities.

Within the present concept of conservation, in addition to the protection of more or less intact natural formations, the protection of humanized areas of land takes on importance, where traditional use has maintained, and even enriched, the ecological and genetic diversity.

Mention is made, in various parts of the article, of two problems faced by the biosphere reserves, in their task of conservation: limitations of space and, partly linked to these, the conservation of species of potential danger to man. For both of these problems, the planning of the reserve in its entirety, and the existence of a cooperation zone, offer novel solutions which expand the conservation areas beyond the nucleus zones, and which, by regulating the relations with the local and peripheral populations, diminish the impact, on these, of dangerous animals.

Local participation is a reality in various biosphere reserves. Its very gestation raises new questions: a) What can the local populations expect of the reserve, and vice-versa? b) How far can local participation in decision-making go, especially when this pertains to research, or conservation? c) Which actions proposed by the local population are desirable, and which not? d) In which areas or zones can a determined action, which may affect the local population, or be proposed by the latter, be taken — and in which not? These last two questions are of equal relevance for research applied to regional development. It is a matter of answering these questions and, in general, of examining the present state of local participation and of development research, by an examination of what is happening on a series of reserves. This examination starts with a look at the results arising from application of the Mexican style system, on the Mapimí and Michililá reserves, and on the recently-created Sian Ka'an Reserve. Next, the Río Plátano (Honduras), des Cévennes (France), Waterton (Canada), and Pineland (United States) Reserves are examined, where local participation is a reality.

The acceptance and expansion, of a new style of research, which has regional development as its object is an aspect closely related to local participation in its deepest sense. Such research

is a totally desirable activity, which strengthens the other ones carried out on the reserve, and permits its inclusion within the general context of regional and national socio-economic issues. In commenting on the evolution of this type of research in various reserves, one must not omit to point out the risk of confusing development research with development programmes, with the possibility that this new emphasis might lead to neglect of other aspects of the reserve's activity, especially conservation. Once more, it would appear that apportionment of activity to zones, and existence of a general coordination plan, are the solution to possible priority conflicts.

The article concludes with a synthesis defining what a reserve is, according to the author's view at this time.

## INTRODUCCIÓN

El concepto de reserva de la biosfera está en proceso acelerado de evolución. Aunque la UNESCO ha organizado algunas muy importantes reuniones para la discusión de criterios, tanto la ampliación de los conceptos originales, como la implementación de aspectos prácticos operacionales, se han desarrollado en lo que podríamos llamar la "periferia" o sea algunas reservas que han planteado y logrado soluciones novedosas.

Este artículo centra sus objetivos en *algunos* de estos aspectos. No tratamos otros tan importantes como investigación básica o educación. Tampoco el monitoreo ambiental que en la Unión Soviética adquiere una importancia creciente (Izrael y Sokolov, 1981; Sokolov, 1985). El lector podrá obtener una visión global actual sobre las reservas de la biosfera en artículos como los de von Droste y Gregg (1985), Gregg (1984) o Maldague (1984); en documentos como el número 58 del MAB (UNESCO, 1985) o el "Plan de Acción para las Reservas de la Biosfera" (UNESCO, 1984 y 1985), y muy especialmente en los dos volúmenes del libro "Conservation, Science and Society" (UNESCO-UNEP, 1984).

Este artículo se centra en lo que considero son los dos aspectos más novedosos de las reservas de la biosfera, mismos que están influyendo en la política de conservación de muchos países. Me refiero a la participación de las poblaciones locales y a la investigación para el desarrollo.

Es necesario un análisis conceptual de las reservas de la biosfera. A pesar de las numerosas publicaciones aparecidas en los últimos años, distan mucho de haberse aclarado todos los aspectos. Es más, algunos nuevos planteamientos, al irse implementando y desarrollando, han dado lugar a interrogantes no previstas. En estas circunstancias están la participación local y la investigación para el desarrollo.

## DESARROLLO HISTÓRICO

Las primeras reservas de la biosfera fueron designadas en 1976. En abril 1986, el número total era de 252, distribuidas en 66 países. Pocos programas internacionales

han tenido un desarrollo tan explosivo. El término mismo creado en los grupos de trabajo de la UNESCO hará 15 años (Batisse, 1986), es ahora de uso común.

En los primeros años, la preocupación fundamental de los promotores del programa fue crear reservas, para hacer viable y visible la idea. Desde 1981, primero unos pocos de los involucrados en el programa, luego un número cada vez mayor, insistimos en la necesidad de cambiar un proceso cuantitativo a uno cualitativo, aprovechando —dentro de las características de cada región y de cada país— las experiencias generadas en las reservas que funcionan de manera adecuada y original, y también los fracasos y frustraciones.

Algunos acontecimientos son de importancia en la evolución de criterios. En 1974, UNESCO publica el documento 22 en el que se define qué es una reserva de la biosfera, así como los objetivos del programa.

En 1981 se celebra en París una muy importante reunión denominada “Ecology in Practice” para celebrar el X Aniversario del Programa MAB-UNESCO. En esta reunión es evidente la importancia de las reservas de la biosfera. Existían 208. También es evidente que muchas no son más que parques nacionales o naturales a los que se ha cambiado el nombre, sin añadir nuevas tierras o nuevas funciones. En algunos otros casos se han añadido nuevas funciones, incluso tierras. Pero lo realmente importante es la existencia de algunas reservas que pretenden realizar los objetivos que el MAB marca, añadiendo experiencias nuevas en cuanto a participación local e investigación para el desarrollo (Lusigi, 1981; Lusigi y Robertson, 1981; Halffter, 1978, 1980, 1981; Halffter *et al.* 1980). Una revisión de los artículos que se publicaron en ocasión de esta reunión (números especiales de *Ambio e Impact*; di Castri, Baker y Hadley, 1984) da una idea del éxito del programa, pero también de los muy diferentes criterios y modos de actuar que en torno a él se conjugaban.

La discusión internacional iniciada en 1981, se clarificó mucho en Minsk en 1983. En esta segunda gran reunión internacional se plantearon y tuvieron que ser admitidos, incluso por los más recalcitrantes, elementos como la participación local y la investigación para el desarrollo. (La importancia del Congreso de Minsk sólo se aquilata examinando el rico material contenido en los dos volúmenes de “Conservation, Science and Society” (UNESCO-UNEP, 1984) que reúnen los trabajos presentados y constituyen base bibliográfica indispensable para cualquiera que desee conocer la situación actual de las reservas de la biosfera).

Las ideas discutidas en Minsk fueron la base del Plan de Acción adoptado por el Consejo Internacional de Coordinación de MAB-UNESCO en diciembre de 1984. Este plan constituye el 2o. documento internacional base en el desarrollo de las reservas de la biosfera. Sustituye y en parte modula (esta palabra es preferible a modifica) al primer documento preparado en 1974.

Es un plan que contempla el desarrollo de las reservas como sistema internacional, presentando 35 acciones, agrupadas bajo 9 objetivos principales. El Plan ha sido ampliamente difundido (UNESCO, 1984, y 1985) y sometido a gobiernos, comités nacionales del MAB, organismos internacionales, etc. El Plan debe coordinar las acciones

de MAB-UNESCO como organismo internacional y ser estudiado y en lo posible adoptado por los comités nacionales del MAB.

En la misma VIII reunión del Consejo Internacional de MAB-UNESCO (3-8/XII/84), se planteó la necesidad de contar con la colaboración de dos grupos científicos independientes de alto nivel internacional. El primero para examinar la política científica del MAB. El segundo para estudiar la situación de las reservas de la biosfera y ver las medidas necesarias para poner en marcha el Plan de Acción. El segundo grupo ha tenido dos reuniones. La primera en Cancún, México, en septiembre de 1985; la segunda en La Paz, Bolivia, del 18 al 21 de agosto de 1986. El documento que sintetiza las opiniones de este grupo fue entregado al Consejo Internacional de Coordinación en su IX reunión en octubre de 1986.

El mandato que me fue dado por el Consejo Internacional de Coordinación, en mi calidad de Presidente del mismo, para integrar los grupos científicos asesores tiene su base en el sentimiento de que la situación es muy distinta a 1971, cuando se inicia el MAB. Distinta en cuanto a conocimiento científico, que ha avanzado no sólo cuantitativa, sino conceptualmente. Realmente hay un cambio profundo en la dirección de la investigación ecológica. También es distinta la escala y magnitud de los problemas. Nos enfrentamos a efectos de la actividad humana cuya intensidad y velocidad es diferente a lo que hace 15 años pensábamos que sería.

## DISCUSIÓN: CONSERVACIÓN

Los objetivos iniciales fijados para las reservas de la biosfera por el documento MAB-22 son:

- a) Conservar para su uso presente y futuro la diversidad y la integridad de las comunidades bióticas en sistemas naturales y seminaturales, y salvaguardar la diversidad genética de las especies de la que depende la continuidad del proceso evolutivo.
- b) Proveer áreas para la investigación ecológica y ambiental, incluyendo estudios básicos.
- c) Proveer facilidades para la educación y el entrenamiento.

Ya en pleno proceso de desarrollo del programa, en 1981, se insiste (UNESCO, 1981) en el papel primordial de las reservas en la conservación, combinado con la investigación y el monitoreo ambiental, la educación y el entrenamiento. La investigación para el desarrollo y la participación local no se plantean con claridad, aunque desde 1975, eran actividades importantes en varias reservas.

Al moverse el concepto de reserva del limitado de zona protegida, al más dinámico de área multifuncional, en la que las relaciones entre el hombre y la naturaleza se estudian y racionalizan, surge la insistencia actual en combinar varias funciones en una sola macrounidad, así como en ligar estas grandes unidades en un sistema internacional.

La ampliación de objetivos —con la plena aceptación de la investigación para el desarrollo, así como de la participación local— no debe enmascarar que el primer propósito de las reservas de la biosfera es la protección de áreas y del *material genético que contienen*. Cuando hablamos de áreas no nos referimos únicamente a formaciones climáticas, sino también a aquellos paisajes humanizados en donde el uso tradicional ha mantenido intacta, incluso ha aumentado, una heterogeneidad ecológica y genética que un desarrollo que busque únicamente aumentar la producción puede poner en peligro.

La compatibilidad entre las distintas funciones de una reserva de la biosfera, no es siempre un problema sencillo, más bien suele ser complejo. La principal causa de diferencias entre reservas, así como entre los sistemas de distintos países, reside en el mayor peso que se da a una u otra de estas funciones.

En el caso de la conservación su coexistencia con otras funciones se facilita mucho si las reservas tienen una verdadera área de transición (zonas buffer y de cooperación) entre el núcleo y el exterior. No solamente porque estas zonas proporcionan los espacios donde la investigación manipulativa puede desarrollarse sin interferir con la conservación, no sólo porque protegen al área núcleo de los impactos del mundo externo, sino por una razón muy obvia, aunque pocas veces señalada: estas áreas de transición, en especial las de cooperación, parecen ser en muchos casos la única forma de ampliar (aún con todas las precauciones, esfuerzos e interrogantes que esto plantee) el espacio disponible para la sobrevivencia de plantas y animales.<sup>2</sup>

El problema del espacio aparece cada vez más como el principal limitante, en la mayor parte de los ecosistemas, para conservar una porción importante de la actual riqueza biótica. Parece imposible basar la conservación *únicamente* en las áreas núcleo. Como Dasmann (1984) señala: “All reserves must ultimately depend on the good management of the lands outside the reserve boundaries, and on an attitude of people toward the more mobile animal species . . .”

Es evidente que en muchos casos la conservación requiere más que un estricto no tocar. Los administradores de los parques norteamericanos hace tiempo que descubrieron la necesidad de intervenir, de manejar las poblaciones de animales mayores. A medida que el concepto de reserva de la biosfera se ha ido extendiendo, en distintos países se ha visto que este manejo puede incluir ciertas actividades de las poblaciones indígenas, que ayudan a mantener la diversidad específica. Entre ellas el cuidado a cultivos y animales domésticos tradicionales. Esta puede ser una forma barata y eficiente de conservar un germoplasma valiosísimo.

La protección de animales peligrosos para el hombre (por otra parte, elementos espectaculares del patrimonio faunístico) plantea problemas muy delicados a medida que la presión demográfica sobre la periferia de las reservas aumenta. En países donde esta presión no es fuerte y por lo tanto puede controlarse con medidas administrativas, se

<sup>2</sup> Las reservas de Waterton, Canadá (Scace y Martinka, 1983; Lieff, 1985; y Mapimí, México (Halfiter, 1981; Halfiter *et al.*, 1980) son excelentes ejemplos de cómo la cooperación y participación local puede facilitar la conservación incluso de especies difíciles, y ampliar su área de vida.

han logrado algunos ejemplos notables de recuperación (por ejemplo el tigre del Amur en el oriente de la Unión Soviética — Zhivotchenko, 1984). Cuando la presión demográfica es grande, una de las posibilidades más viables es buscar la comprensión y colaboración de las poblaciones locales (véase a Sahari... [1984] en relación al león y al tigre en la India. y a Mishra [1984] en relación a tigres y rinocerontes en Nepal).

Para la protección de estos animales, tienen especial importancia planteamientos como los de Soulé (1984) enunciando las ventajas de pocas áreas grandes sobre muchas pequeñas. También desde el enfoque "relación con las poblaciones locales" es más fácil manejar una reserva grande que muchas pequeñas.

El Plan de Acción (UNESCO, 1984 y 1985) es sumamente amplio en sus criterios sobre cómo combinar conservación con otros usos. En la página 41 (versión francesa, 1985) señala que una reserva "Peut-être devrait-elle être moins considérée comme une "réserve" que comme une zone de paysages écologiquement représentatifs où les modes d'utilisation sont réglementés, mais peuvent varier entre une protection totale et une exploitation intensive tout en étant durable".

Es difícil combinar conservación con explotación intensiva, a no ser que esta última se realice en la zona de cooperación fuera de la reserva propiamente dicha. Por otra parte, explotación intensiva debe ser igual a altos rendimientos económicos. Para este tipo de actividad no hacen falta las reservas de la biosfera. Hay mucho de incompatible entre el criterio de explotación intensiva (que debe buscar maximizar el rendimiento económico) y la conservación del germoplasma o la búsqueda y mantenimiento de una relación armoniosa y por lo tanto estable, hombre-naturaleza.

Considero que la única posibilidad de explotación intensiva es aquella que se realiza en forma experimental para servir de modelo a la región en que se encuentra la reserva. Y, en estos casos, claramente se trata de investigación para el desarrollo, con características de proyecto limitado en espacio y tiempo.

## DISCUSIÓN: PARTICIPACIÓN LOCAL

En su origen, la base conceptual de las reservas, si bien plantea de manera general la búsqueda del equilibrio hombre-naturaleza (no como dos elementos extraños, sino siendo el hombre parte de la naturaleza), si bien habla de desarrollo sostenido, no plantea la participación de las poblaciones locales, ni tampoco como puede influir el trabajo en las reservas (fuera de los efectos generales de la investigación sobre el desarrollo) en la situación económica local y regional.

Otros sistemas de áreas protegidas, como los parques nacionales, excluían por completo a las poblaciones locales. Como Eidsvik (1984) señala, las medidas en vigor en los parques no estaban destinadas a integrar o beneficiar a la población local, sino a proteger al parque de ella. No cabe duda que durante casi cien años, cuando se ha hablado de preservar la naturaleza para el pueblo se ha pensado en la población urbana. En muchos de los primeros parques la realidad fue aún más cruda, por no pertene-

cer las poblaciones locales a la misma raza, cultura o estrato económico que los que creaban y manejaban el parque. Como ha señalado Walter Lusigi (Lusigi, 1981 y 1984; Lusigi y Robertson, 1981) la primera medida era expulsar del parque a los habitantes locales. En muchos sistemas de parques, conceptualmente esta situación ha cambiado; en la práctica lleva camino de modificarse. Véanse trabajos presentados en el World National Parks Congress, Bali, Indonesia, 11-12 octubre 1982 —McNeely y Miller, 1984; así como muchos artículos, entre ellos Eidsvick, 1984; y Batisse, 1984.

En las reservas de la biosfera hubo tres casos en que desde el principio se demostró que la participación local no sólo era posible, sino conveniente y necesaria. Se trata de las reservas de Monte Kulal, en Kenya y Mapimí y La Michilía, en Durango, México (véanse referencias en la bibliografía bajo Lusigi y Halffter).

Estas tres primeras reservas se establecen en regiones difíciles, de países en desarrollo. Actualmente algunos de los ejemplos más logrados de cooperación se encuentran en países ricos, industrializados. Rápidamente, aunque no sin problemas ni trabajos, los más altos responsables de los sistemas de conservación están comprendiendo que las poblaciones locales pueden ser parte de las áreas protegidas y una ayuda para la conservación del germoplasma. En el caso de plantas y animales domesticados o semidomesticados ligados a un uso tradicional, son el mejor medio para asegurar su conservación, ya que su cultura está ligada a ellos. La participación de la población y de las instituciones públicas y privadas locales y regionales puede ser muy importante en circunstancias críticas —pero no imposibles— en las que las autoridades centrales se desinteresan o carezcan de los medios para continuar con la reserva. Por otra parte, la ampliación del área núcleo mediante la zona de cooperación es una respuesta al grave problema de insuficiencia de espacio al que ya hemos hecho referencia.

El éxito en la inclusión de la participación local en las reservas de la biosfera no debe llevarnos a descuidar otras actividades esenciales. Es una línea de acción nueva en la que existe poca experiencia. Su misma aceptación plantea nuevas preguntas: a) ¿Qué pueden esperar las poblaciones locales de la reserva y viceversa? b) ¿Hasta dónde puede llegar la participación local en la toma de decisiones, especialmente cuando éstas atañen a la investigación o a la conservación? c) ¿Qué acciones son deseables y cuáles no? d) Y un punto fundamental y crítico, ¿en qué áreas o zonas se puede hacer una determinada acción y en cuáles no, ya que su realización afectaría o estaría en contradicción con otras prioridades en la reserva? Algunas de estas preguntas son parcialmente contestadas al analizar los ejemplos y al final de los mismos.

### La modalidad mexicana

Mapimí y La Michilía, en el Estado de Durango en México, son no sólo exitosas reservas de la biosfera, sino también los lugares donde a partir de 1975 se ha puesto en práctica y se ha ido perfeccionando lo que hemos llamado “modalidad mexicana” de las reservas de la biosfera (véase Halffter *et al.*, 1980; Halffter, 1984 b y c).

Según esta “modalidad” la incorporación de la población local a la actividad y programa de cada reserva persigue un doble objetivo. En primer término contribuir a desarrollar alternativas que permitan una vida mejor para los campesinos de las zonas pobres, secularmente marginados. El segundo objetivo está directamente ligado a la conservación del germoplasma. Sólo interesando a la población local, y ayudando a la resolución de sus más apremiantes problemas, aseguramos la estabilidad a largo plazo de la reserva. Una reserva que se encuentre en una región con presión demográfica o con campesinos sin tierra está continuamente expuesta a la invasión. No hay ordenamientos legales que impidan por sí solos, a largo plazo, la penetración en el área protegida, con el consiguiente deterioro de flora y fauna. Ante el campesino con hambre, la única solución es ayudarlo a que produzca lo que necesita, sin que para ello tenga que destruir las riquezas naturales que son de todos. He expuesto esta ideología en repetidas ocasiones (ver bibliografía), pero lo importante es que ha sido seguida en las reservas de Mapimí y La Michilía.

En Mapimí y La Michilía no se ha dado ningún paso importante sin discutirlo con las autoridades y población regional y local. La iniciación misma de los trabajos en La Michilía fue ampliamente expuesta al ejido de San Juan de Michis que se encuentra en su periferia. Durante dos días explicamos a los campesinos los objetivos y llegamos a un compromiso de colaboración que fue sometido al voto popular. La Michilía inició sus trabajos con un voto de apoyo “al progreso”.

Las relaciones con las comunidades intrarreserva o perirreserva requieren de tiempo y esfuerzo. Pueden ser imposibles si no se toman en cuenta los distintos niveles de organización social y política regional: de los presidentes municipales al gobernador del Estado, sin olvidar ejidos, asociaciones de ganaderos y otros grupos semejantes. Parte fundamental de este gran pacto social son las escuelas, con énfasis en las universidades y escuelas superiores de la región. En Mapimí y La Michilía mucho esfuerzo del personal, así como una importante labor de difusión ha estado destinada a todo este público local y regional.

Otras medidas han tenido buen efecto. Así, todos los trabajos realizados en las reservas han sido hechos por gente de la región: desde el arquitecto que planeó y construyó los laboratorios y residencias, hasta los trabajadores de campo y encargados que pertenecen a familias que viven dentro de las reservas o en su periferia. Además, las instalaciones de las reservas (y el Instituto de Ecología que las dirige) han estado siempre abiertas a ayudar a cualquier necesidad local: desde una emergencia médica, hasta proyectos de ecodesarrollo y bienestar social. Para quien no haya tenido la experiencia personal, es difícil comprender lo que representa para la gente del lugar, el bien construido y siempre ocupado por científicos, Laboratorio del Desierto (centro de actividades de la reserva de Mapimí) situado a 40 km a través del desierto del poblado más cercano y a 3 o 4 horas en automóvil de una ciudad. El Laboratorio cuenta con luz eléctrica, con buenas pistas para avión y helicóptero, con sueros antiofídicos, con comunicación por radio, un administrador y auxiliares, personal científico en estancia . . . etc. Es un *punto de acogida siempre abierto* en un espacio desolado y difícil.

De la mayor importancia es que una parte de la investigación que se hace en la reserva interese directa e inmediatamente a la población local y en general a la región. En las reservas de Durango muchas de las líneas de investigación han sido solicitadas local o regionalmente.

Hay que precisar qué entendemos por “población local”, ya que el término puede prestarse a varias acepciones. Indudablemente no lo restringimos a las muy pocas familias de vaqueros (Mapimí) o campesinos (Michilía) que realmente viven dentro de la reserva. Incluimos en él a las poblaciones de la zona periférica o zona de cooperación. En realidad a cualquier núcleo de población cercano a la reserva sobre el que se haga (o pueda hacerse) sentir la acción de ésta y que a su vez con su actividad y modo de vida pueda afectar positiva o negativamente la conservación o el trabajo científico. La interacción también se extiende a las asociaciones civiles (como pueden ser asociaciones de ganaderos, ejidos, etc.), políticas (presidentes municipales y muy especialmente autoridades estatales) y centros educativos y de investigación regionales.

En todas las reservas que se han establecido, o están en proceso en México siguiendo el modelo de las de Durango, el gobernador y las autoridades encargadas del medio ambiente y del desarrollo del Estado, así como las universidades y centros de investigación estatales, han sido los centros en donde se han coordinado y promovido trabajos y acciones. En otras palabras, las reservas han sido gestadas *in situ*, si bien con una fuerte ayuda política y financiera del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, y conceptual del MAB-México. En ningún caso han sido el resultado de una imposición central.

Hay un caso en México en que estas normas no se han cumplido, o lo han sido a medias: la reserva de Montes Azules en la Selva Lacandona, en el Estado de Chiapas, fronterizo con Guatemala. Si bien hay que reconocer que esta reserva enfrenta presiones sociales inesperadas y fuertes (una población inmigrante, en parte extranjera, de difícil control), la verdad es que también ha recibido presupuestos importantes. Su no gestión dentro de la “modalidad mexicana” quizá explique el que no se haya consolidado como Mapimí o La Michilía, ni ofrezca las posibilidades de las otras reservas recientes (Sian Ka’an, El Cielo, Manantlán).

La “modalidad mexicana” tiene como puntos clave (Halfpter, 1984 a y b):

1. Incorporar a las poblaciones e instituciones locales a la tarea común de conservación del germoplasma.
2. Incorporar la problemática socioeconómica regional a los trabajos de investigación y desarrollo de la reserva.
3. Dar a la reserva una independencia administrativa encargando de su gestión a instituciones de investigación que respondan ante las más altas autoridades del país (federales y estatales).
4. Considerar que las reservas (y también los parques) deben formar parte de una estrategia global.

El punto 3 no es forzosamente válido en todos los países, especialmente en aquellos que tienen en función un buen sistema administrativo de parques y reservas. Considero que puede ser muy útil en países en desarrollo e incluso industrializados, donde el sistema de parques tiene deficiencias o funciona según normas superadas. Los otros tres puntos son de aplicación universal. Son los que pueden dar en los próximos 15 años una nueva perspectiva a las reservas de la biosfera.

Examinemos cómo la “modalidad mexicana” ha influido en una, como ejemplo, de las dos últimas reservas mexicanas recién creadas: Sian Ka’an, en el Estado de Quintana Roo, México, sobre el litoral caribe de la Península de Yucatán.

Sian Ka’an comprende 528,000 ha. Una tercera parte selva, otra tercera parte tierras inundables y manglares, el resto ambientes marinos. Se considera que al menos tiene una docena de tipos de vegetación diferentes con 1,200 especies de plantas superiores y un total aproximado de 320 especies de aves.

El área que va a proteger Sian Ka’an se ha mantenido excepcionalmente intacta. Por razones históricas, Quintana Roo, con excepción de la Isla de Cozumel, permanece aislado de Yucatán y del resto de México. Hace 15 años que se inicia el desarrollo turístico. El ganadero es aún más reciente. La perturbación masiva aún no llega a Sian Ka’an.

Junto con la conservación, la reserva pone un énfasis especial en la investigación, con posibilidades excepcionales en los aspectos socioeconómicos y de cultura y uso asociados a los recursos naturales, ya que en la reserva y en su periferia se conserva hasta la fecha el riquísimo uso maya de la flora, así como muestras de la agricultura maya tradicional. La reserva busca que no se pierda este eficiente sistema silvoagrícola.

Para lograr la conservación de la silvoagricultura maya, así como para desarrollar la investigación socioeconómica es indispensable la cooperación de la población local y periférica. Dentro del área de la reserva viven actualmente 800 personas. De ellas una docena de familias practican los usos mayas tradicionales de la tierra, actividad cuya continuidad se estimulará. El resto se dedica a la pesca de langosta y ya están recibiendo apoyo técnico. El reto es estabilizar el uso de los recursos con la participación de la población local. Posteriormente, influir de la misma forma en las poblaciones circundantes (fuera de la reserva).

El 99% de la superficie es propiedad federal. Un 1% es propiedad privada, localizada sobre una franja de bellas playas, con fácil comunicación. Para esta franja, en el Plan de Manejo de la reserva se establece una zona litoral, en la que se permite un desarrollo turístico suave, basado en una reglamentación ecológica que ha sido bien acogida por los propietarios.

El Plan de Manejo establece una zonación muy precisa y bien estudiada. Con muy extensas áreas núcleo destinadas a la conservación integral, zonas de recolección en las que se permite a las gentes que viven en la reserva la caza y recolección controladas, zonas agropecuarias en las que se piensa mantener el uso maya de la tierra, y una zona turístico-arqueológica. En las zonas núcleo no existen vías de acceso, ni se piensan construir.

La reserva ha sido creada por decreto del Presidente de la República. En su manejo intervienen la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (responsable federal de las áreas protegidas) y el gobierno de Quintana Roo. Tiene un papel importante un centro de investigación, el CIQRO. El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología apoya en forma marcada (en este caso como en las otras reservas mexicanas) los trabajos para la creación de la reserva, así como distintos proyectos: inventarios faunísticos y florísticos, investigación ecológica básica o investigación para el desarrollo. Los pobladores locales tienen un foro de expresión y participación en el Consejo de Representantes, creado en 1983. Se ha organizado, además, una asociación civil "Amigos de Sian Ka'an" con gente del lugar y del Estado, así como algunos de fuera, interesados en apoyar proyectos que pueden servir para el conocimiento y conservación de flora y fauna de la reserva con la participación local.

La "modalidad mexicana" tiene ya una influencia internacional. Véase al respecto lo que Gilbert (1984, p. 567-568) dice: "Two biosphere reserves, La Michilía and Mampimí in Durango, México, illustrate how scientists, politicians, and local people can work together to improve the conservation of natural resources of a region and at the same time raise the economic and social standard of people living in and around the reserves . . . After visiting these biosphere reserves and observing at first hand the working relationship between the Mexican scientists and the local people, I suggested the La Michilía as an example to authorities in Honduras considering establishing a biosphere reserve in the Platano River Region. The Río Plátano Biosphere Reserve was later created and a management programme which incorporates the local population in the protection and development of the area is being carried out . . ."

### **Reserva de Río Plátano, Honduras**

Como las reservas mexicanas, Río Plátano nació como reserva de la biosfera, sin haber sido antes parque y con los mismos objetivos que fija la "modalidad mexicana".

Su creación fue una labor de RENARE (Dirección de Recursos Naturales Renovables, organismo del gobierno de Honduras) que tenía experiencia en ecodesarrollo, por lo que la participación local y el ecodesarrollo fueron incluidos desde el principio en los objetivos, a lo que muy posiblemente contribuyeron las opiniones del Dr. V. Gilbert que visitó Río Plátano en la primera etapa de trabajo como experto de MAB-UNESCO (Glick, 1984).

### **Parque Nacional y reserva de la biosfera de Cévennes, Francia <sup>3</sup>**

El parque se inicia en 1970 con características muy peculiares: a) presencia de población dentro de la zona central del parque nacional; b) posibilidad para la población

<sup>3</sup> Agradecemos al Dr. Gérard Collin, de la reserva Cévennes, la lectura y comentarios del texto sobre el parque-reserva Des Cévennes.

permanente de cazar en forma restringida (caso único en los seis parques nacionales de Francia).

El parque-reserva (coexisten las dos estructuras) da una alta prioridad y asigna medios importantes a la participación local y a la investigación para el desarrollo. También a un aspecto poco frecuente: la plena participación de universidades y centros de investigación en las actividades.

Incluye tres ecosistemas distintos: a) Les Causses, mesetas calcáreas, sin cursos de agua superficial, clima rudo con inviernos muy fríos, actualmente cubiertas por pastos ralos, bosques de pino-encino y algunos bosques plantados de pinos; b) los macizos graníticos como el del Mont Lozère, en donde la vegetación natural es el bosque de hayas y en la parte más alta la pradera subalpina; c) el área de Cévennes, donde sobre terrenos esquistosos crece el bosque de castaños favorecido desde siglos por el hombre. Todas estas formaciones se extienden por muchos kilómetros más allá del parque-reserva, en la parte sur del Macizo Central francés.

El parque-reserva ha sido objeto de profundas modificaciones por el hombre. Algunas veces armoniosas, otras que han empujado la explotación de un recurso más allá de los límites de equilibrio. Así, ha conocido tres períodos principales de deforestación: calcolítico 1500 años AC; época romana 300-400 años DC; medieval 800 años DC. El Causse Méjean perdió sus bosques desde la época romana porque los talleres de cerámica (entre los más importantes del Imperio) necesitaban mucha leña para los hornos y resinas para las ánforas (Collin, *in litt.*). El aumento de los rebaños de ovejas, la apertura de espacios para la agricultura, así como la utilización de la madera, redujeron enormemente en los siglos XVIII y XIX las superficies boscosas de las partes altas. Esta reducción coincidió con un uso intensivo de los bosques de hayas para la fabrica-

Además de las publicaciones mencionadas en el texto (y en la bibliografía), el Dr. Collin nos informó de los siguientes documentos y publicaciones del parque-reserva:

- Lettre du Parc National des Cévennes N° 33, enero 1981: conservation des races animales domestiques et amélioration du revenue agricole.
- Programme d'aménagement du Parc National des Cévennes: 1976-1981, 53 p.; 1981-1985, 120 p.; 1986-1990, 128 p.
- Décret de création du Parc National des Cévennes N° 70-777, 2 septembre 1970: art. 35: composition du conseil d'administration (50% de représentants locaux); art. 52: comissions spécialisées.
- Parc National des Cévennes, 1986. Les hautes terres de l'Aigoual gardois: éléments de réflexion pour son développement, 62 p.
- PILLET, Ph. *et al.*, 1981. Recherches sur l'organisation et l'évolution des unités écologiques du Parc National des Cévennes en vue d'obtenir le plan d'aménagement et de gestion de ce territoire, juillet 1981, vol. 1, 78 p.; vol. 2, 132 p.
- JOLLIVET, M., 1980. Rapport sur un projet d'observatoire des changements écologiques et sociologiques en zone rurale, septembre 1980, 67 p.
- JOLLIVET, M., 1984. *Système agro-sylvo-pastoral en milieu fragile (Causses-Cévennes)*, in: Recherches sur l'environnement rural: bilan et perspectives, février 1984, p. 142 à 154.
- COLLIN, G., 1986. *Local society and ecodevelopment in Cévennes*, 8 p. In: Acts of 1st european biosphere reserves congress, Ceske Budejovice, Checoslovaquia.

ción de carbón. Esta situación de sobreexplotación llevó a esquemas de erosión que se corrigieron más tarde replantando bosques de coníferas.

Actualmente, toda el área, pero en especial Les Causses y los macizos graníticos, enfrentan un problema agudo, común en esta región del sur del Macizo Central: el abandono de las tierras por sus pobladores.

Des Cévennes enfrenta una situación totalmente distinta a la de la mayoría de las reservas. Casi diríamos una situación única. No existe presión demográfica (la población de "Le Causse Méjean" en el parque-reserva tiene la densidad más baja de Francia: 1.5 habitantes/km<sup>2</sup>), sino por el contrario la pérdida de población puede poner en peligro un paisaje diversificado, debido al hombre y mantenido por su acción. Esta situación nos hace comprender hasta qué punto retener a la población local es parte importante de la política de participación y de investigación.

El abandono de las tierras es un fenómeno muy complejo y cuya explicación no se puede buscar únicamente a nivel local o microrregional. Indudablemente influyen elementos más generales como son el desarrollo industrial y de la agricultura intensiva de alto rendimiento en las partes bajas cercanas. También el bajo incremento demográfico y la tendencia poblacional a concentrarse en las grandes ciudades. Por otra parte hay una serie de fenómenos regionales o incluso locales. La historia de la región es la historia del equilibrio (a veces desequilibrio) entre los rebaños ovinos y el bosque. Actualmente la disminución de ovinos es muy marcada. Única actividad en Les Causses y en las partes altas de los macizos graníticos (donde en parte es sustituida por la cría bovina), la crisis de esta ganadería tradicional influye en el éxodo de la población. La reducción de los ovinos está muy ligada a la desaparición de la transhumancia, sistema que hasta las primeras décadas de este siglo llevaba rebaños de centenares de miles de ovejas a pastar en las partes altas. Otros problemas ecológico-sociales son la práctica desaparición del aprovechamiento del castaño, antaño fuente de alimento importante del "cevenol" y de sus animales, también de madera, leña y tanino. La marcadísima baja en el consumo de castañas lleva al abandono de los bosques, donde el castaño va siendo sustituido por otras especies. Incluso influyen, y de manera muy importante a nivel microrregional, fenómenos culturales. La región de Cévennes cultivó la morera y el gusano de seda; exportó la seda a Lyon o con ella fabricó medias en pequeñas poblaciones como Ganges. En Millau, una industria importantísima eran los guantes finos de piel hechos con cuero de corderos que procedía de Les Causses. Hoy en día la media de seda ya no se usa y el empleo del guante fino ha disminuido notablemente. Todos estos elementos debemos tenerlos en cuenta cuando comparamos la población a fines del siglo XVIII con la actual.

El desplazamiento del parque-reserva tiene tres salidas: a) La plantación extensiva de bosques de pinos para la producción de pulpa de papel. Solución que requiere de un mínimo de población y deja poquísimos rendimientos en el área; b) El abandono creciente de la actividad económica, con un aumento paralelo de las etapas sucesionales de los bosques clímax; c) Autorizar el turismo agresivo: construcción de hoteles, pistas de ski, etc. En las tres alternativas el sistema agro-silvo-pastoril (con lo que re-

presenta para el equilibrio, belleza y heterogeneidad del paisaje, así como para la cultura que en torno a él se ha desarrollado) está amenazado (Collin *et al.*, 1986; Chasanny, 1986). Es por eso que el objetivo fundamental del parque-reserva es conservar este sistema, recurriendo a la investigación (por ejemplo, implementación de prácticas de fertilización) para hacerlo más productivo. Pero es claro que el sistema no puede sobrevivir, si la población no permanece.

Begué (1984:536) señala “The creation of a national park has provided a solution in that the park helps to promote a greater control of their area by the local people”. El control se logra, según Begué: a) limitando las actividades de especulación sobre la tierra (en el parque se evita cualquier nueva construcción que no sea granja); b) restringiendo el “camping”; c) limitando el derecho de caza a la población local.

Señalemos que todas estas medidas se han realizado con éxito, aunque en nuestra opinión la presión de caza es excesiva, pero este es un problema general en Francia, donde el derecho de caza se asocia desde la revolución de 1789 a los derechos del ciudadano. Se ha evitado con ellas el establecimiento en el parque de un turismo masivo, manejado desde fuera, que afectaría seriamente el paisaje natural y cultural. Y, aún más importante, se ha logrado desarrollar un turismo integrado a la vida agropastoril, exitoso y muy bien llevado y que es importante fuente de ingresos para los habitantes del parque y zonas periféricas.

Todo lo que hemos dicho resalta la enorme importancia de contar con la población local, sensibilizarla y mantenerla informada.

Es notable el esfuerzo de comunicación desplegado por el parque. “La lettre du parc” está dirigida a difundir noticias entre la población local y periférica. La “Revue du Parc National des Cévennes” de excelente impresión, está destinada además de al público local a un público más amplio, en especial a aquellos que visitan el parque (por ejemplo, un número explica la geología del área). Además están las publicaciones del “Ecomusée du Mont Lozère” orientadas no a un turismo masivo, sino al visitante que gusta de la naturaleza y del patrimonio cultural, sin olvidar la riqueza culinaria local. El “ecomusée” mismo es lugar de exposición y convivencia (es el centro de fiestas de la población Pont-de-Montvert). Está por último una revista dedicada a artículos científicos, “Annales du parc national des Cévennes”.<sup>4</sup>

Un esfuerzo tan participativo, y también costoso para la nación, como es el Des Cévennes no cumple totalmente con sus posibilidades si sólo influye en el área parque-reserva y su periferia. La nominación del parque nacional como reserva de la biosfera ha sido en parte por esta idea: influir sobre territorios más extensos que los del parque (Collin, *in litt.*).

<sup>4</sup> Información sobre estas publicaciones puede obtenerse dirigiéndose a Parc National des Cévennes. Château de Florac. 48400 FLORAC, FRANCE.

### **Waterton Biosphere Reserve, Canadá**

Es uno de los ejemplos más notables de extensión de la acción de la reserva más allá de sus límites, gracias a la cooperación voluntaria de los rancheros locales.

En Waterton (Cowley y Lief, 1984) la investigación se realiza tanto en tierras del parque (hoy reserva), como en tierras privadas que bordean el parque. Es con la cooperación de la gente de la región que la reserva de la biosfera se extiende y sobre todo amplía su radio de acción. “. . . the biosphere reserve boundaries must encompass more than the core National Park. It now can include the ranchlands of those who wish to participate, although this fact does not appear in the official description.” (Cowley y Lief, 1984). Para la participación local existe un foro abierto: el Comité Coordinador compuesto de rancheros y miembros del personal del parque.

En Waterton los motivos de conflicto los plantean animales mayores que salen del área protegida y compiten con el ganado. Este problema, como cualquier otro que se pueda presentar, es discutido y resuelto con los rancheros locales.

### **Pinelands National Reserve, Estados Unidos**

Esta reserva nacional forma parte de South Atlantic Coastal Plains Biosphere Reserve. En el área que comprende, habitada, no podría funcionar un parque de acuerdo al modelo general en los Estados Unidos. Por eso se crea la primera reserva nacional, con amplia participación de organismos a nivel local, estatal y federal. El propósito es conservar la naturaleza, pero sin afectar las actividades locales, controlando y zonificando las distintas acciones. “Any protection approach which is effective will have impacts —positive and negative— on local residents . . . One clear result of the establishment of the Reserve and the enactment of the Comprehensive Management Plan (CMP) is to limit future uses of land within the Reserve and, concomitantly, opportunities for economic gain from those prohibited uses. Since traditional land uses and related livelihoods are actually promoted by the CMP, the activities and lifestyles of most local inhabitants is unlikely to be disrupted. For many, the values which led them to chose home in the Pinelands will be enhanced, and their way of life reinforced.” (Hales, 1984).

### **Otros ejemplos**

Existen otros ejemplos, no muchos, de participación local, en funcionamiento o en proceso. Varias veces en este artículo nos referimos a la reserva del Monte Kulal en Kenya (Lusigi, 1984). Incorporar a las poblaciones locales en la estructura legal y en la práctica, mediante programas de ecodesarrollo, es un objetivo de las reservas de la biosfera en la India (Jayal y Lausche, 1984; Khoshoo, 1984).

La incorporación de las poblaciones locales puede plantear algunos problemas, como es el posible conflicto entre el desarrollo de los intereses económicos a corto término y la conservación ecológica y genética. También antagonismos entre usos distintos de la tierra: v. gr. grandes rebaños ovinos frente a recuperación y explotación forestal. En casos donde la población interna de la reserva rebasa los pequeños grupos con una sola actividad económica, la posibilidad de choque de intereses es evidente y la reserva en sí puede encontrarse inmiscuída.

Un problema que no está expuesto con claridad en los primeros enunciados de participación local y usos tradicionales es la posibilidad de que estas prácticas *no sean adecuadas* para la conservación, ni ecológica ni genética. No siempre, ni forzosamente, lo tradicional tiene que representar un equilibrio con el medio. Puede que así sea cuando los usos vienen de antiguo y no han provocado un deterioro ambiental. Pero puede darse el caso de que lo tradicional no corresponda a un idílico equilibrio hombre-naturaleza. En todo caso es la investigación ecológica y sociológica la que determinará qué prácticas son favorables y dignas de conservarse y cuáles no. No forzosamente *cualquier* actividad local es deseable.

Todo lo anterior hace pensar en la importancia de lo que podemos llamar percepción local. Es decir, la habilidad para conocer y participar en la problemática socioeconómica local en todo lo que se relaciona con la reserva.

Es indudable que la interacción con las poblaciones locales es uno de los aspectos que más van a variar de país en país y de reserva en reserva, al ser distintas las condiciones sociales, culturales, económicas, legales y políticas. Lo realmente importante es conservar el principio de tomar en cuenta al hombre que vive en la reserva o cerca de ella y no considerarlo como antagonico.

La participación local y la investigación para el desarrollo que se hacen en una reserva deben tener características de modelo experimental. En consecuencia, los buenos resultados, pero también los malos, deben influir en las políticas regionales e incluso nacionales.

Sólo así adquiere la reserva toda su relevancia como área donde en base a la investigación científica y con condiciones naturales y socioeconómicas bajo monitoreo y muchas veces bajo control experimental, se puede llegar a recomendaciones para un desarrollo integrado hombre-naturaleza, armonioso y mantenido.

## DISCUSIÓN: INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO

“La radical separación de los mundos social y natural es un subproducto de la cultura industrial-mercantil. Sólo un enfoque holístico y dinámico puede romper esta dicotomía y la dependencia del mundo natural de los imperativos del social, para llegar a fundir las políticas rectoras de ambos sistemas en una sola”.

“Las reservas de la biosfera deben ser laboratorios donde este cambio de actitud

se analice científicamente y se promueva. Esta es la forma de superar el limitado concepto de área de conservación, extraño a su entorno social y a su país”.

“En nuestros días el gran reto de una política mundial de conservación no es abrir nuevos parques, sino encontrar respuestas con sólidas bases ecológicas, sociales y económicas a esta aparente dicotomía: áreas protegidas-desarrollo regional”.

“Una verdadera reserva de la biosfera debe ser más que un área de conservación. Sin perder este carácter, su acción e influencia deben extenderse regionalmente para contribuir a un uso más racional de los recursos bióticos. Es así como la reserva adquiere una posición de área piloto, en la que se conjugan investigación, conservación y desarrollo experimental” (Halffter, 1984 b).

La integración de la conservación y de la investigación básica, con la investigación para el desarrollo, es uno de los aspectos más novedosos de las reservas de la biosfera. Además de algunos ejemplos concretos desarrollados en los últimos 10 a 15 años (Monte Kulal, Des Cévennes, Mapimí y La Michilía), unos pocos autores empiezan a insistir en este aspecto. Gilbert (1984) propone que algunas reservas se conviertan en sede de Proyectos Regionales de Demostración (Cooperative Regional Demonstration Projects) a través de los cuales la investigación dirigida hacia problemas de la región y realizada con participación local, pueda por esta última razón tener una más fácil influencia en la actividad regional.

Los trabajos en la reserva del Monte Kulal, Kenya, son un excelente ejemplo de cómo puede desarrollarse esta investigación de clara inspiración regional (Lusigi, 1984). En esta reserva se estudia la relación entre el pastoralismo nómada, los recursos bióticos y la erosión (Proyecto IPAL). El objetivo es establecer guías para un uso armonioso de agua, tierra y recursos bióticos, con normas de uso compatibles con la población local, sus costumbres e intereses.

Lindqvist (1984), McNeely (1984) y Eidsvik (1984) se refieren a la oportunidad de integrar conservación al desarrollo, vía reservas de la biosfera.

Montaña (1984), Ezcurra (1984), Ochoa-Solano, 1981; Ochoa-Solano *et al.* (1978) y Halffter (1978, 1981, 1984 a, b y c) se refieren a los trabajos realizados en las reservas de Durango: Mapimí y La Michilía, su integración al desarrollo regional, así como a su relación con las necesidades locales.

En el parque reserva Des Cévennes la investigación para el desarrollo tiene, por su magnitud como por su calidad, un nivel realmente importante. La investigación se refiere tanto a los usos que existieron en la región, como al deterioro actual de muchas de estas actividades, y a las alternativas a su abandono. El objetivo final de los programas de investigación es conservar la heterogeneidad y el equilibrio en los usos de la tierra. Con este planteamiento, la investigación social y socioeconómica, así como la destinada al conocimiento de la cultura local, tienen una gran importancia. Los usos y culturas tradicionales son objeto de estudios y medidas de protección tan importantes como la naturaleza.

Al dejar de ser la investigación para el desarrollo un propósito para convertirse por lo menos en algunas reservas en una realidad, surge un problema que puede llegar

a ser importante: el conflicto entre esta investigación, especialmente entre la puesta en práctica de sus resultados, y la conservación. El conflicto es real cuando las áreas de protección total son pequeñas o cuando el desarrollo experimental se realiza en forma extensa e intensa.

El grupo reunido en el "Atelier de Florac" examinó esta confrontación encontrando que hay dos formas de reducirla: a) que el conjunto de zonas y entidades que integran la reserva tenga un plan general de investigación y actividades que señale que se puede hacer, en qué zona y hasta qué límites. La existencia de este plan es especialmente importante si el desarrollo experimental puede afectar directamente a la conservación; b) zonificando de manera efectiva la reserva.

Un tipo de solución que une ambas propuestas se plantea en los Estados Unidos, al integrar en una reserva varias áreas que cumplen funciones distintas, bajo administraciones diferentes (Gregg, 1984 a y b). Por ejemplo, California Coast Ranges Biosphere Reserve contiene tres unidades separadas, en las que trabajan seis diferentes agencias administrativas. Esta solución si se llega a un acuerdo y coordinación entre agencias, puede permitir combinar investigación y desarrollo experimental con conservación sin conflictos irresolubles de prioridad.

El Plan de Acción incorpora a la ya existente "zona buffer", el concepto de "área de influencia" o de "cooperación"<sup>5</sup>, englobadas todas en una "zona de transición" que comprende desde el (o las) áreas núcleo hasta el exterior. La zona de influencia o de cooperación es la que más se presta a la investigación orientada al desarrollo, a la conservación de usos tradicionales de la tierra o a la experimentación en la recuperación de ecosistemas degradados. El área de influencia o cooperación no tiene forzosa-mente que estar delimitada con rigor. Su existencia misma muchas veces depende de acuerdos locales. Debe conservarse la posibilidad de ampliar su esfera de acción.

La existencia de la zona de cooperación asegura que la reserva no sea algo extraño a la región en que se encuentra. Hay que pensar que aún en el mejor de los casos en que las áreas protegidas por reservas de la biosfera u otros sistemas se extiendan, sólo alcanzarán a cubrir un porcentaje realmente minoritario de la superficie terrestre, en muchas regiones una extensión absolutamente insuficiente. Es como se manejen las tierras fuera de las áreas protegidas lo que puede evitar la extinción de muchísimos biota. La contribución más importante de las reservas al desarrollo sostenido es hacerlo compatible con su conservación, lo más completa posible, de la naturaleza y sus riquezas bióticas. Es en este aspecto en el que el papel de modelo para el desarrollo regional es más importante. Ésta es también la razón principal para conservar a la gente local en el área de cooperación de la reserva, ya que es difícil lograr el modelo antes mencionado sin tomar en cuenta los intereses humanos regionales.

Una interesante diferencia entre países en vías de desarrollo y países industrializados con tradición en protección de la naturaleza está en que los primeros (pero también

<sup>5</sup> El empleo de este término aparentemente surge en la reserva de la biosfera de Waterton, Canadá (Lieff, 1985).

en países desarrollados en los que la conservación de la naturaleza no forma parte del sentir nacional) lo difícil es asegurar una extensión y una protección adecuadas para que las áreas núcleo puedan realizar plenamente sus tareas de conservación. En los países con sistemas de conservación bien establecidos, el área núcleo no suele representar dificultades mayores, puesto que muchas veces se trata de un parque con un sistema administrativo funcional y bien definido. Por el contrario las dificultades surgen en las áreas buffer y de influencia, en las que puede haber sobreposición de funciones y agencias administrativas, con la consiguiente necesidad de coordinación y la posibilidad de dificultades para llegar a soluciones concretas (véase soluciones para Waterton en Scace y Martinka, 1983).

## SÍNTESIS

Es difícil que una reserva realice en plenitud todas las funciones que el Plan de Acción señala. En la mayoría de los casos alguna, o algunas, de las funciones van a tener prioridad. Lo importante es que se conserve la pluralidad de objetivos. Simplemente la *búsqueda* de un desarrollo armonioso y diversificado tiene ya un valor.

Si tuviéramos que dar una definición absolutamente actual de lo que debe ser una reserva de la biosfera, en primer término haríamos dos señalamientos:

1) Existe una variedad grande de respuestas al planteamiento de que es una reserva ideal. Variedad que responde a distintas condiciones sociales, económicas, ecológicas y también históricas. Esta diversidad no es indeseable. Es una de las mayores garantías de estabilidad y duración del sistema. Michel Batisse (1986) brillantemente ha señalado que la palabra clave para la implementación del Plan de Acción continúa siendo *flexibilidad*.

“Nada más contrario a la esencia misma de la UNESCO, nada más irreal y efímero que la implantación automática de un modelo, por bueno que éste sea. Todo planteamiento general debe ajustarse a la realidad socioeconómica y política particular de cada país. Lo anterior nos lleva a pensar que, conservando los postulados y objetivos base, no existe un esquema único de reservas de la biosfera, sino varios, que incluso pueden presentar diferencias importantes” (Halfpter, 1984 b, p. 9).

2) Las reservas de la biosfera no son la única alternativa para conservar la naturaleza y sus recursos genéticos. Existen otros tipos de áreas protegidas —La IUCN los ha definido. El mejor programa nacional es el que contempla varias de estas alternativas, de acuerdo a las necesidades concretas de cada caso y a los fines que se persiguen.<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Hace algunos años (Halfpter *et al.*, 1980; Halfpter, 1981, Halfpter, 1984 a) planteamos que los parques nacionales necesitaban ser complementados en la tarea de conservación por las reservas de la biosfera. En algún momento hubo quien pensó que las reservas de la biosfera no eran más que parques nacionales con una etiqueta adicional. A pesar de que ésto puede seguir siendo cierto en algunos casos, en otros muchos se pretende otro tipo de conservación, ligado a la investigación y al desarrollo. McNeely (1984) lo señala claramente:

Una vez hechos estos dos señalamientos, definiríamos la reserva como *una amplia área de uso múltiple, en donde existen zonas con distinto grado de protección y normas de manejo, pero donde el conjunto corresponde a un plan coordinado que busca hacer compatibles la conservación a largo plazo de la mayor diversidad de plantas y animales, con la investigación y el desarrollo experimental.*

En la investigación, los inventarios y estudios de conjunto, así como los programas de monitoreo, tienen especial importancia por prestarse a estudios comparativos. Característica de las reservas es pertenecer a un programa internacional que busca coordinar investigación y acción.

La investigación y la conservación no pueden excluir la problemática socioeconómica regional. Si una parte de la investigación no toca directamente lo que preocupa a los habitantes de la región es irrelevante para ellos. Sin la cooperación local, la conservación a largo plazo no sólo es mucho más difícil, sino que puede llegar a una distorsión del objetivo primario de conservación para el hombre.

En nuestra época en la que la aplastante uniformidad impuesta por la forma de trabajar, los usos y las necesidades de la sociedad industrial, amenazan como nunca la riqueza y diversidad no sólo natural, sino también sociocultural, las reservas de la biosfera representan islotes de heterogeneidad natural y de uso de los recursos naturales. De nosotros depende que proporcionen lecciones útiles para el que hacer con el resto de la Tierra que está y estará fuera de cualquier sistema protegido.

## AGRADECIMIENTOS

La asistencia al "Atelier de Florac" que me permitió conocer sobre el terreno la reserva Des Cévennes y a muchos de los que en ella trabajan, fue patrocinada por el Comité MAB-Francia (Prof. Gilberto Long) y por el Secretariado Ejecutivo del Programa MAB-UNESCO (Dr. Bernd von Droste zu Hulshoff). Este artículo fue escrito durante una fructuosa estancia en el "Harmas de J. H. Fabre" (Museum National d'Histoire Naturelle) en Provenza, Francia. Esta estancia fue patrocinada por el Centre National de la Recherche Scientifique (Prof. Henri Puig). Durante ella gocé de la amable acogida del encargado, M. Pierre Teocchi. A todas estas personas e instituciones, mi profundo agradecimiento.

## BIBLIOGRAFÍA

- AMBIO, 1981. 10(2-3). (Número especial dedicado al MAB).
- BATISSE M., 1984. Biosphere reserves throughout the world: current situation and perspectives. In: UNESCO-UNEP. *Conservation, Science and Society*, Vol. I, pp. V-XI, UNESCO, París.

"National parks must be as carefully protected as ever, but they must be supplemented by a range of other categories of protected areas in order to meet the social and economic development needs of modern society".

- BATISSE, M., 1986. Development of the biosphere reserve concept. Proceedings European Conference on Biosphere Reserves and Ecological Monitoring, Ceske Budejovice. Czechoslovakia, 24-28-III-1986. (En prensa).
- BEGUE, R., 1984. Local population participation to development decision-making in the Cevennes. In: UNESCO-UNEP. *Conservation, Science and Society*, Vol. II, pp. 535-539, UNESCO, Paris.
- CASTRI, F. DI, F.W.G. BAKER y M. HADLEY (eds.), 1984. *Ecology in Practice*, 2 vols. Tycooly International Publishing Limited, Dublin.
- CASTRI, F. DI y J. ROBERTSON, 1982. The Biosphere Reserve Concept: 10 Years After. *Parks*. 6(4):1-6.
- CHASSANY, J.P., 1986. Agroforesterie et reboisement de terres marginales. Documento 13 a. Atelier de Florac. MAB-Francia.
- COLLIN, G., H. DURAND-GASSELIN y F. JOLY, 1986. Quelques traits essentiels du Causse Mejean et du Mont Lozere. Documento 11. Atelier de Florac. MAB-Francia.
- COWLEY, M. y B.C. LIEFF, 1984. Extending the biosphere reserve by involving local people in Western Canada. In: UNESCO-UNEP. *Conservation, Science and Society*, Vol. II, pp. 548-552. UNESCO, Paris.
- DASMANN, R., 1984. Biosphere reserves and human needs. In: UNESCO-UNEP. *Conservation, Science and Society*, Vol. II, pp. 509-513. UNESCO, Paris.
- DROSTE ZU HULSHOFF, B. VON y W.P. GREGG, Jr., 1985. Biosphere reserves: demonstrating the value of conservation in sustaining society. *Parks*. 10(3):2-5.
- EIDSVIK, H.K., 1984 a. Evolving a new approach to biosphere reserves. In: UNESCO-UNEP. *Conservation, Science and Society*, Vol. I, pp. 73-80. UNESCO, Paris.
- EIDSVIK, H.K., 1984 b. Future directions for the Nearctic Realm. In: J.A. McNeely y K.R. Miller. *National Parks, Conservation, and Development*, pp. 546-549. Smithsonian Institution Press. Washington, D.C.
- EIDSVIK, H.K., 1984 c. Biosphere reserves in concept and in practice. The Conference on the Management of Biosphere Reserves. Great Smokies National Park and Biosphere Reserve, USA. (En prensa).
- EZCURRA, E., 1984. Planning a system of biosphere reserves. pp. 85-92. In: UNESCO-UNEP. *Conservation, Science and Society*, Vol. I, pp. 85-92. UNESCO, Paris.
- GILBERT, V.C., 1984. Cooperative regional demonstration projects: environmental education in practice. In: UNESCO-UNEP. *Conservation, Science and Society*, Vol. II, pp. 566-572. UNESCO, Paris.
- GLICK, D.A., 1984. Management planning in the Platano River Biosphere Reserve. In: UNESCO-UNEP. *Conservation, Science and Society*, Vol. I, pp. 159-167. UNESCO, Paris.
- GREGG, Jr., W.P., 1984 a. The international network of biosphere reserves: a new dimension in global conservation, pp. 65-81. In: T.N. Veziroglu (ed.). *The Biosphere: Problems and Solutions*, Elsevier Science Publs., Amsterdam.
- GREGG, Jr., W.P., 1984 b. Biosphere reserves in the United States: protected areas for information and cooperation. In: J.A. McNeely y K. R. Miller. *National Parks, Conservation, and Development*. Smithsonian Institution Press. Washington, D.C.
- HALES, D.F., 1984. The Pinelands National Reserve, an approach to cooperative conservation, pp. 553-558. In: UNESCO-UNEP. *Conservation, Science and Society*, Vol. II, pp. 553-558. UNESCO, Paris.
- HALFFTER, G., 1978. Las reservas de la biosfera en el Estado de Durango: una nueva política de conservación y estudio de los recursos bióticos. In: G. Halffter (ed.). *Reservas de la Biosfera en el Estado de Durango*, pp. 13-45 Publ. 4. Instituto de Ecología, México.
- HALFFTER, G., 1980. Réserves de la biosphère et parcs nationaux: deux systèmes complémentaires de protection de la nature. *Impact: science et société*. 30(4):299-308 (publicado también en versión inglesa y española).
- HALFFTER, G., 1981. The Mapiim Biosphere Reserve: local participation in conservation and development. *Ambio*. 10(2-3):93-96.
- HALFFTER, G., 1984 a. Conservation, development and local participation. In: F. di Castri, F.W.G. Baker y M. Hadley (eds.). *Ecology in Practice*. Vol. I, pp. 428-436. Tycooly International Publishing, Dublin.
- HALFFTER, G., 1984 b. Las reservas de la biosfera: conservación de la naturaleza para el hombre. *Acta Zool. Mex.* (ns) 5:1-50.
- HALFFTER, G., 1984 c. Biosphere reserves: the conservation of nature for man. In: UNESCO-UNEP. *Conservation, Science and Society*. Vol. II, pp. 450-457. UNESCO, Paris.

- HALFFTER, G., P. REYES-CASTILLO, M.E. MAURY, S. GALLINA y E. EZCURRA, 1980. La conservación del germoplasma: soluciones en México. *Folia Entomológica Mexicana*. 46:29-64.
- IMPACT, 1980. 30(4).
- IUCN, Commission on National Parks and Protected Areas, 1984. Categories, objectives, and criteria for protected areas. In: J. A. McNeely y K.R. Miller (eds.). *National Parks, Conservation, and Development*, pp. 47-55. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C.
- IZRAEL, Y.A. y V.E. SOKOLOV, 1981. Global Monitoring and Ecological Studies in Biosphere Reserves. In: *Integration of Science in the International Programme on Man and the Biosphere*. Moscú (en ruso).
- JAYAL, N.D. y B.J. LAUSCHE, 1984. Legislation for biosphere reserves: the Indian experience. In: UNESCO-UNEP. *Conservation, Science and Society*. Vol. I, pp. 139-145. UNESCO, Paris.
- KHOSHOO, T.N., 1984. Biosphere reserves: an Indian approach. In: UNESCO-UNEP. *Conservation, Science and Society*. Vol. I, pp. 185-189. UNESCO, Paris.
- LIEFF, B., 1985. Waterton Lakes Biosphere Reserve: developing a harmonious relationship. *Parks*, 10(3):9-11.
- LINDQVIST, O.V., 1984. Bringing biosphere reserves into the economy: what is needed? In: UNESCO-UNEP. *Conservation, Science and Society*. Vol. II, pp. 486-491. UNESCO, Paris.
- LUSIGI, W., 1981. New Approaches to Wildlife Conservation in Kenya. *Ambio*, 10(2-3):87-92.
- LUSIGI, W., 1984. Mt. Kulal biosphere reserve: reconciling conservation with local human population needs. In: UNESCO-UNEP. *Conservation Science and Society*. Vol. II, pp. 459-469. UNESCO, Paris.
- LUSIGI, W. y J. ROBERTSON, 1981. La Conservación de la Naturaleza. *El Correo de la UNESCO*. 34:28-29, 34.
- MALDAGUE, M., 1984. The biosphere reserve concept: its implementation and its potential as a tool for integrated development. In: F. di Castri, F.W. G. Baker y M. Hadley (eds.). *Ecology in Practice*. Vol. I: 376-401. Tycooly International Publishing, Dublin.
- MCNEELY, J.A., 1984 a. Introduction: Protected Areas are Adapting to New Realities. In: J.A. McNeely y K.R. Miller. *National Parks, Conservation, and Development*. pp. 1-7. Smithsonian Institution Press. Washington, D.C.
- MCNEELY, J.A., 1984 b. Biosphere reserves and human ecosystems. In: UNESCO-UNEP. *Conservation, Science and Society*. Vol. II, pp. 492-498. UNESCO, Paris.
- MCNEELY, J.A. y K.R. MILLER (eds.), 1984. *National Parks, Conservation, and Development: The Role of Protected Areas in Sustaining Society*. Smithsonian Institution Press. Washington, D.C. 825 pp.
- MISHRA, H.R., 1984. A delicate balance: tigers, rhinoceros, tourists and park management vs. the needs of the local people in Royal Chitwan National Park, Nepal. In: J. A. McNeely y K.R. Miller. *National Parks, Conservation and Development*, pp. 197-205. Smithsonian Institution Press. Washington, D.C.
- MONTAÑA, C., 1984. Ecological and socio-economic research in the Mapimí Biosphere Reserve. In: UNESCO-UNEP. *Conservation, Science and Society*. Vol. II, pp. 520-533. UNESCO, Paris.
- OCHOA-SOLANO, A., 1981. Integral development of the rural communities. In: P.F. Ffolliott y G. Halffter (coord.) *Social and Environmental Consequences of Natural Resources Policies*. Proc. of the International Seminar, April 8-13, 1980. Durango, México. USDA Gen. Tech. Rep. RM. 88.
- OCHOA-SOLANO, A., et al., 1978. Desarrollo experimental de agroindustrias en el Estado de Durango. In: G. Halffter. (ed.). *Reservas de la Biosfera en el Estado de Durango*. pp. 109-132. Publ. 4. Instituto de Ecología, México.
- SAHARIA, V.B., 1984. Human dimensions in wildlife management: the Indian experience. In: J.A. McNeely y K.R. Miller. *National Parks, Conservation, and Development*, pp. 190-196. Smithsonian Institution Press. Washington, D.C.
- SCACE, R.C. y C.J. MARTINKA (eds.), 1983. *Towards the Biosphere Reserve: Exploring Relationships between Parks and Adjacent Lands*, 239 pp. United States Dept. Interior, National Park Service.
- SOKOLOV, V., 1985. The system of biosphere reserves in the USSR. *Parks*. 10(3):6-8.
- SOULÉ, M.E., 1984. Applications of genetics and population biology: the what, where and how of nature reserves. In: UNESCO-UNEP *Conservation, Science and Society*. Vol. II, pp. 252-264. UNESCO, Paris.
- TURNER, M.G. y W.P. GREGG, 1983. The status of scientific activities in United States biosphere reserves. *Environmental Conservation*. 10(3):231-237.

- UNESCO, 1974. Task Force on Criteria and Guidelines for the Choice and Establishment of Biosphere Reserves. MAB Report. Series No. 22, 61 pp. Paris.
- UNESCO, 1981. MAB Information System: Biosphere Reserves. Compilation No. 2, 313 pp. Paris.
- UNESCO, 1984. Action Plan for Biosphere Reserves. *Nature and Resources*. 20(4):1-12.
- UNESCO, 1985. Conseil international de coordination du Programme sur l'homme et la biosphère (MAB). VIII Session. Rapport final. Rapport MAB num. 58. pp. 1-154. Paris.
- UNESCO-UNEP, 1984. *Conservation, Science and Society*. 2 vols. UNESCO, Paris.
- ZHIVOTCHENKO, V., 1984. The Amur tiger makes a comeback. *In: USSR Academy of Sciences: "Man and Biosphere"*. pp. 211-217. Nauka Publ., Moscú.

# Principales Características Climáticas

ANTOINE CORNET

## RESUMEN

Dentro del marco del proyecto "Estudio integrado de los recursos vegetación, suelos y agua de la Reserva de la Biosfera de Mapimí" se realizó el presente estudio de los principales elementos del clima y de sus relaciones con la producción natural. El objetivo de este estudio no es una descripción exhaustiva del clima, sino el análisis de los elementos que condicionan la biología de las especies y determinan su producción.

Los mecanismos generales del clima pueden ser explicados por los grandes flujos atmosféricos que afectan a la zona y por la presencia de barreras orográficas que modifican la influencia de los mismos. La región estudiada está sometida a dos regímenes dominantes: un régimen de vientos del oeste ligado a las altas presiones subtropicales durante el período seco de octubre a mayo, y un régimen de aire tropical ligado a los alisios provenientes del Golfo de México durante el período cálido y más húmedo. A estos dos regímenes dominantes, relativamente regulares, se yuxtaponen fenómenos atmosféricos secundarios que son responsables de gran parte de la variabilidad del clima; entre ellos las depresiones ciclónicas tropicales que juegan un rol importante como fuente de precipitaciones en el desierto chihuahuense.

La radiación global no constituye un factor limitante para el crecimiento vegetal. No obstante, la variación de la duración del día, aún siendo pequeña (inferior a tres horas), es suficiente para inducir fenómenos de fotoperiodismo en los seres vivientes. La temperatura media anual (Estación Ceballos 1958-1983) es de 20.8°C, lo que corresponde a un clima cálido, pero con una fuerte variación estacional. Los inviernos son frescos (media de las mínimas de enero 3.9°C) con un número importante de días con heladas (37 días para Ceballos) repartidos de noviembre a abril. Los veranos son cálidos (media de las máximas de junio 36.1°C). A la fuerte amplitud anual se agregan fuertes amplitudes diarias a lo largo de todo el año (amplitud media diaria para Ceballos 20°C). Los estudios de ecología y de fenología realizados en la Reserva conjuntamente con el estudio de las temperaturas muestran que estas últimas condicionan de manera importante los ciclos de desarrollo de numerosos vegetales y la actividad animal.

De una manera general, en el Bolsón de Mapimí, dejando de lado a las masas montañosas, existe un gradiente de precipitaciones NW-SE. Las mismas son ligeramente superiores a 300 mm en el norte (Escalón, Chihuahua) e inferiores a 200 mm en el sur (San Pedro, Coahuila). Para la estación Ceballos (1956-1983) la media de las precipitaciones es de 264 mm (mínima 80.8 mm, máxima 512.5 mm) con un promedio anual de 40 días de lluvia. La media para la Reserva es muy parecida (264.2 mm, período 1979-1984). La variabilidad interanual y la variabilidad espacial, aún sobre cortas distancias, son muy fuertes. Se han podido registrar diferencias del 30% con respecto al total anual para sitios separados por menos de 10 km.

Lo esencial de las precipitaciones se produce en verano. Las lluvias de junio a septiembre incluidos representan el 71 % del total anual. Las lluvias de invierno, de diciembre a febrero representan el 9 %. Pero existe una gran variabilidad interanual en la repartición. En 1981, el 62 % de las precipitaciones se produjeron fuera del período estival. Los chubascos son de carácter torrencial, con fuerte intensidad, pero en general de corta duración y muy localizados, correspondiendo por lo tanto a precipitaciones diarias reducidas: el 62 % de las precipitaciones diarias son en promedio inferiores a 5 mm.

Para cuatro estaciones del Bolsón de Mapimí se realizó un análisis frecuencial de las precipitaciones con un modelo desarrollado por ORSTOM. Este modelo se basa en el ajuste de los datos a una ley de distribución de tipo "Gama incompleta" cuyos parámetros son estimados por el método de máxima verosimilitud. La forma de las curvas de frecuencia relativa de las alturas de lluvia muestra netamente la existencia de dos períodos de precipitaciones: un período principal en verano y un período secundario mucho menos importante en invierno. La década para la cual las probabilidades de lluvia son más elevadas es la segunda de agosto. No obstante, la probabilidad de tener un total de precipitaciones superior o igual a 20 mm en esa década, supera 0.5 solamente para la estación Escalón.

La evaporación media anual medida a partir de un tanque clase A internacional es de 2,805 mm para la estación Laboratorio del Desierto (período 1978-1984) y de 2,504 mm para Ceballos (período 1957-1983). El cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP) por el método del tanque corregido y por el método de Penmann corresponden respectivamente a una media anual de 2,040 mm y de 1,800 mm (período 1978-1984). Los valores medios más pequeños son de 2.4 mm/día en enero y los más fuertes de 8.2 mm/día en mayo (ETP tanque corregido).

A partir de los datos de ETP para cada década y de las probabilidades de lluvia correspondientes a los mismos períodos, se pueden determinar las probabilidades de que P sea superior o igual a la ETP o a una fracción de ella. No obstante, el estudio muestra que las curvas obtenidas son muy irregulares y las probabilidades muy bajas. No es posible, por lo tanto, definir un período húmedo sobre la base de probabilidades elevadas de obtener P superior a una fracción de la ETP. Esto demuestra el escaso significado que tiene en este caso la noción de período húmedo en relación con el período de actividad vegetal. Este último, en efecto, comprende varias secuencias húmedas de corta duración, pero de fechas y frecuencias muy aleatorias.

Los aspectos de clasificación climática son abordados sólo en la medida en que ellos permiten situar a la zona estudiada dentro del marco más general de las zonas áridas. Teniendo en cuenta el sistema de UNESCO (1977) el clima de la Reserva puede ser definido como "árido, con inviernos frescos, veranos cálidos, lluvias estivales, y de 8 a 9 meses de estación seca". Para caracterizar este clima de manera bastante completa pero concisa se lo puede describir como "clima tropical árido, continental, de altitud media, con régimen de lluvias estival e inviernos frescos".

## RESUMÉ

Dans le cadre du projet "Étude intégrée des ressources en sol, eau et végétation dans la réserve de la Biosphère de Mapimí" a été réalisée une étude des principaux éléments du climat et de leurs relations avec la production naturelle. Le but de cette étude n'est pas une description exhaustive du climat, mais l'analyse des éléments qui conditionnent la biologie des espèces et qui déterminent leur production.

Les mécanismes généraux du climat peuvent être expliqués par les grands flux atmosphériques qui affectent la zone et la présence de barrières orographiques qui en modifie l'influence. La région étudiée est soumise à deux régimes dominants: un régime de vents d'ouest lié aux hautes pressions subtropicales durant la période sèche d'octobre à mai et un régime d'air tro-

pical lié aux alizés provenant du Golfe du Mexique durant la période chaude et plus humide. A ces deux régimes dominants, relativement réguliers, se juxtaposent des phénomènes atmosphériques secondaires qui sont responsables d'une grande partie de la variabilité du climat, parmi eux les dépressions cycloniques tropicales qui jouent un rôle important comme source de précipitations dans le Désert de Chihuahua.

La radiation globale ne constitue pas un facteur limitant pour la croissance végétale. Cependant la variation de la durée du jour bien que faible ( $< 3$  h) est suffisante pour induire chez les êtres vivants des phénomènes de photopériodisme.

La température moyenne annuelle (Ceballos 1958-1983) est de  $20,8^{\circ}\text{C}$  ce qui correspond à un climat chaud, mais avec une forte variation saisonnière. Les hivers sont frais (moyenne des minima de janvier  $3,9^{\circ}\text{C}$ ) avec un nombre important de jours de gelée (37 jours par an pour Ceballos répartis de novembre à avril). Les étés sont chauds (moyenne de maxima de juin  $36,1^{\circ}\text{C}$ ). A la forte amplitude annuelle s'ajoutent de fortes amplitudes journalières tout au long de l'année (amplitude moyenne journalière pour Ceballos  $20^{\circ}\text{C}$ ). Les études d'écologie et de phénologie réalisées dans la Réserve conjointement à celle des températures montrent que celles-ci conditionnent grandement les cycles de développement de nombreux végétaux et l'activité animale.

D'une manière générale, dans le Bolsón de Mapimí, exception faite des reliefs, il existe un gradient des précipitations Nord-Ouest, Sud-Est. Celles-ci sont légèrement supérieures à 300 mm au nord (Escalón, Chihuahua) et inférieures à 200 mm au Sud (San Pedro, Coahuila). Pour la station de Ceballos (1956-1983) la moyenne des précipitations est de 264 mm (mini 80, 8 mm, maxi 512,5 mm) pour un nombre moyen annuel de jours de pluie de 40 j. La moyenne pour la Réserve est très voisine (264,2 mm, période 1979-1984). La variabilité interannuelle et la variabilité spatiale, même sur de courtes distances sont très fortes. On a pu noter des différences de 30% sur le total annuel pour des sites éloignés de moins de 10 km.

L'essentiel des précipitations se produit en été. Les pluies de juin à septembre inclus représentent 71% du total annuel. Les pluies d'hiver, de décembre à février représentent 9%. Mais il existe une grande variabilité interannuelle de la répartition. En 1981, 62% des précipitations se sont produites en dehors de la période estivale. Les averses ont un caractère orageux, avec une forte intensité, mais elles sont généralement de courte durée et très localisées, correspondant à des averses journalières faibles: 62% des averses journalières sont en moyenne inférieures à 5 mm.

Pour quatre stations du Bolsón de Mapimí, l'analyse fréquentielle des précipitations a été effectuée grâce à un modèle ORSTOM d'analyse. Ce modèle est fondé sur l'ajustement aux données d'une loi de distribution de type "Gamma incomplète" dont les paramètres sont estimés par la méthode du maximum de vraisemblance.

L'allure de courbes de fréquence relative des hauteurs d'eau montre nettement l'existence de deux périodes de précipitations: une période principale en été et une période secondaire beaucoup plus faible en hiver. La décennie pour laquelle les probabilités de pluie sont les plus fortes est la deuxième décennie d'août. Cependant, pour celle-ci la probabilité d'avoir P décadaire supérieure ou égale à 20 mm ne dépasse 0,50 que pour la station de Escalón.

L'évaporation moyenne annuelle mesurée à partir d'un bac classe A international est de 2805 mm pour le laboratoire du Désert (1978-1984) et de 2504 mm pour Ceballos (1957-1983). Le calcul de l'ETP par la méthode du bac corrigé et par la méthode de Penmann correspondant respectivement à une moyenne annuelle de 2040 mm et de 1800 mm (1978-1984). Les valeurs moyennes les plus faibles sont de  $2,4 \text{ mm J}^{-1}$  en janvier et les plus fortes de  $8,2 \text{ mm J}^{-1}$  en mai (ETP bac corrigé).

A partir des données décadales d'ETP et des probabilités décadales de pluie on peut déterminer les probabilités pour que P soit supérieure ou égale à ETP ou à une fraction d'ETP. Cependant, l'étude montre que les courbes obtenues sont très irrégulières et les probabilités

très faibles. Il n'est donc pas possible de définir une période humide par des probabilités élevées d'avoir P supérieure à une fraction d'ETP. Cela montre le peu de signification que revêt ici la notion de période humide en relation avec la période de végétation. Celle-ci recoupe en effet plusieurs séquences humides de courte durée, mais de dates et de fréquence très alléatoires.

Les aspects de classification climatique ne sont abordés que dans la mesure où ils permettent de situer la zone étudiée dans le cadre plus général des zones arides. Dans le système UNESCO (1977) le climat de la réserve peut être défini comme "aride, à hivers frais, à étés chauds, à pluies estivales, présentant 8 à 9 mois de saison sèche". Pour caractériser ce climat de manière assez complète, mais concise nous préférons le décrire comme "Climat tropical aride, continental, de moyenne altitude à pluies d'été et hivers frais".

#### ABSTRACT

Within the framework of the project entitled "Integrated Study of Vegetation, Soil and Water Resources of the Mapimi Biosphere Reserve," the present research was carried out, on the main characteristics of climate and of its relation to natural production. The purpose of this study is not to achieve an exhaustive description of climate patterns, but rather an analysis of the elements that affect the biology of the species, and determine their productivity.

The general mechanisms of climate can be explained by the global atmospheric flows that affect this area, and by the presence of orographic barriers which modify the influence of these flows. The region under study is subject to two dominant systems: one of winds from the West that is linked to subtropical high-pressure systems during the dry season (October to May), and another of tropical air which is linked to Eastern Trades Winds that come in from the Gulf of Mexico during the warm and more humid season. Alongside these two relatively regular dominant systems, other secondary atmospheric phenomena operate, which are responsible, to a great degree, for much of the climatic variability. Among these are: tropical hurricane-type depressions, which play an important role as a source of rainfall for the Chihuahuan Desert.

Global radiation does not constitute a limiting factor in plant growth. However, variation in day-length, even when small (less than three hours), is sufficient to induce phenomena of photoperiodicity in living beings. The average mean temperature (Ceballos Station 1958-1983) is 20.8°C, which is equivalent to warm climate, but one with strong seasonal variation. Winters are cool (average January lows of 3.9°C) with a considerable number of frosty days (37 days a year, for Ceballos), distributed throughout the period from November to April. Summers are warm (average June highs of 36.1°C). To this strong annual amplitude are added considerable daily variations throughout the year (Ceballos' average daily amplitude: 20°C). Ecological and phenological studies, jointly carried out on the Reserve together with temperature studies, show that temperatures considerably affect the developmental cycles of numerous plant species, as well as animal activity.

In general terms, in the "Bolsón de Mapimi" (with the exception of the mountain ranges), there is a NW-SE rainfall gradient. The rainfall is just over 300 mm in the north (Escalón, Chihuahua) and under 200 mm in the south (San Pedro, Coahuila). With respect to the Ceballos Station (1956-1983), average rainfall is 264 mm (minimum 80.8 mm; maximum 512.5 mm), with a per annum average of 40 rainy days. This is very similar to figures from the Reserve (264.2 mm in the period 1979 to 1984). Geographical and year-to-year variation is great, even over short distances. Differences of up to 30%, in comparison to the annual total have been recorded at places that are 10 km away from each other. The substantial part of the rainfall occurs during summer. Precipitation from June to September inclusive, represents 71% of the total yearly amount. Winter rains from December to February represent 9% of it. But

a large year to year variation exists in the distribution of the rain. In 1981, 62% of the rainfall occurred outside the summer season. Storms are torrential and intense, but they generally do not last long, and are limited to certain areas, thus corresponding to reduced daily rainfall levels: 62% of daily precipitations are, on average, less than 5 mm.

For four localities of the Bolsón de Mapimí, a frequency analysis was made of the rainfall using a model developed by ORSTOM. This model is based on the fitting of data to an "Incomplete Gamma" distribution law, the parameters of which are estimated by the maximum likelihood method. The shape of the relative frequency, rain-level curves clearly shows the existence of two rainy periods: the main one in summer, and a much less important one in the winter. The ten-day-period for which the probabilities of rain are highest is the second one in August. Nevertheless, the probability of having a total rainfall reading of 20 mm or more, in this ten-day-period is over 0.5 for the Escalón Station alone. The average annual evaporation, measured using a class-A international tank, is 2,805 mm for the "Desert Laboratory" Station (period 1978-1984), and 2,504 mm for Ceballos (1957-1983). The calculations of potential evapotranspiration (PET) by the corrected tank method, and by the Penmann Method, correspond, respectively, to yearly averages of 2,040 mm and 1,800 mm (1978-1984). The smallest average values are of 2.4 mm per day in January, and the heaviest of 8.2 mm per day in May (PET corrected tank).

Utilizing the PET data from each ten-day-period, as well as rainfall probabilities corresponding to the same periods, one can work out the probabilities of rainfall being higher than, or equal to PET, or a fraction of it. However, the study demonstrates that the curves obtained are very irregular and the probabilities are very low. Therefore, it is impossible to define a wet season on the basis of high probabilities of obtaining a rainfall which is higher than a fraction of the PET. This shows how insignificant, in this case, the notion of a wet season in relation to the period of plant activity is. The latter is, in effect, made up of several, short rainy sequences, although frequency and dates are very random.

The aspects of climate classification are undertaken only insofar as they permit us to situate the zone under study within the more general framework of arid zones. Taking into account the UNESCO System (1977), the climate of the Reserve can be defined as "arid, with cool winters, warm summers, summer rainfall, and an eight-to-nine-month dry season." In order to describe this climate in a sufficiently complete, yet concise way, it may be called "an arid tropical, continental climate, at medium altitude, with summer rains and cool winters."

## INTRODUCTION

Dans l'étude des ressources naturelles d'une région, la caractérisation du climat revêt une grande importance. Il joue en effet un tel rôle dans l'ensemble des aspects physiques et biologiques du milieu, qu'il est difficile de les présenter et de les comprendre sans un minimum de connaissances sur le climat régional. Les fluctuations interannuelles de la productivité végétale et animale peuvent être rapportées pour l'essentiel aux variations interannuelles du climat.

Dans le cadre du projet "Etude intégrée des ressources en sol, eau et végétation dans la Réserve de la Biosphère de Mapimí" se réalise une étude des principaux éléments du climat et de leurs relations avec la production naturelle. La description des éléments du climat de la Réserve ont fait l'objet de quelques études antérieures: Vilchis 1979, Vilchis 1981, Cornet 1984 auxquelles il sera fait référence.

Le but du présent chapitre n'est pas une description exhaustive du climat, mais l'étude des éléments qui conditionnent la biologie des espèces, leur adaptation aux conditions d'aridité et qui expliquent leurs potentialités de production. Cette étude est réalisée en terme de fréquences de manière à prendre en compte la grande variabilité et à fournir une information utilisable pour l'aménagement.

En raison du petit nombre d'années de fonctionnement de la station du Laboratoire du Désert (7 années), les valeurs obtenues pour la station sont comparées aux valeurs des stations climatiques voisines, pour les situer dans le cadre des normales régionales. Les aspects de classification climatique ne sont abordés que dans la mesure où ils peuvent aider à la comparaison de la zone d'étude avec d'autres zones étudiées parfois très éloignées.

## MÉCANISMES GÉNÉRAUX DU CLIMAT

Le climat, dans la zone du Bolsón de Mapimí résulte de l'interaction existante entre sa position continentale, l'effet des barrières orographiques importantes qui l'entourent, et la circulation générale sous la dominance des hautes pressions subtropicales.

La circulation atmosphérique dans la zone est complexe et marquée par de nombreuses irrégularités. Cependant, à la suite des travaux récents Mosino, 1964; Rasmusson, 1967, Hales, 1974; in Schmidt, 1983a) on peut considérer qu'il existe deux régimes principaux dominants au cours de l'année, perturbés par des mécanismes atmosphériques secondaires plus ou moins fréquents.

1. Un flux zonal de vent d'ouest, lié aux hautes pressions subtropicales, persiste sur la zone du Désert de Chihuahua durant les deux tiers de l'année, d'octobre à mai (Schmidt, 1983a).
2. Un flux d'air tropical nord-est, sud-ouest en provenance du Golfe de Mexique, lié aux alizés, envahit la zone de juin à septembre, en relation avec le déplacement vers le nord durant l'été de l'anticyclone des Bermudes.

L'arrivée d'air humide est accompagnée de l'augmentation de l'humidité relative et de l'ennuage, et par la production d'orages souvent localisés. Elle constitue le phénomène régulier déterminant les pluies de saison chaude. Leur importance est atténuée par l'influence des barrières montagneuses.

En général, en juin, ce régime d'alizés atteint la latitude de 25° nord, alors que le régime d'ouest persiste au nord du 28°. Entre les deux il n'y a pas de dominante marquée. En juillet et en août le régime d'alizés domine toute la zone du Désert de Chihuahua (Schmidt, 1983a). En septembre, il diminue d'intensité et se replie vers le 27° parallèle pour disparaître de la zone en octobre.

A ces deux régimes dominants, relativement réguliers, caractéristiques de la saison sèche et froide et de la saison chaude et plus humide, se juxtaposent des phénomènes

de circulation atmosphérique importants mais non constants qui sont responsables de la grande variabilité du climat, ce sont:

a) Les "nortes", qui sont des vents du nord dus à des invasions de fronts froids continentaux, ils peuvent se produire d'octobre à mars. Ils diminuent d'importance du nord au sud de la zone. Leur établissement est précédé en général de fortes turbulences. Ils sont responsables des abaissements brutaux de température qui amènent des gelées dans la zone (Hill, 1969). En cas de présence d'air humide en provenance du Pacifique, ils peuvent produire de petites pluies fines mais en général peu abondantes.

b) Les pluies plus importantes qui peuvent se produire en période sèche (fin d'hiver, début de printemps) sont dues à des variations accidentelles de la circulation troposphérique (Jet Stream) qui conduisent à la formation de zones de basse pression dans le Pacifique-est. Ces zones de basse pression, s'intensifient et se déplacent vers le nord-est amenant des masses d'air humide à l'intérieur du continent (Schmidt, 1983a).

c) Les dépressions cycloniques tropicales ont une importance encore mal connue comme source de précipitations dans le Désert de Chihuahua. Cependant, à la lumière de travaux récents et selon Schmidt (1983b), il paraît raisonnable d'admettre que si les masses d'air humide présentes dans la zone durant l'été proviennent bien du Golfe de Mexique en liaison avec le régime des alizés, les fortes dépressions tropicales du Golfe comme du Pacifique sont responsables des phénomènes pluvieux les plus importants et les plus étendus se produisant à l'intérieur du Désert de Chihuahua. Ces dépressions peuvent se produire de mai à octobre, mais leur période maximum d'activité est août et septembre.

Un travail réalisé à El Paso (Schmidt, 1983a) montre que pour cette station, pour la période 1973-1978, 55% des précipitations seraient dues à l'influence des cyclones. Pour la station de Ceballos (Dgo.), à la suite des observations de Vilchis (1981) on estime pour la période 1970-1980 à 28% du total annuel la pluviométrie liée aux dépressions tropicales cycloniques. Cette proportion varie de 59% en année humide (1971, 512.5 mm) à 0% en année très sèche (1975, 161.5 mm). García (1969), Vilchis (1981) et Sierra-Morales (1981) soulignent également que les années à pluviométrie supérieure sont liées à l'abondance des cyclones touchant les côtes nord de Mexique.

## RADIATION SOLAIRE

Le rayonnement solaire constitue la source d'énergie qu'utilisent directement ou indirectement les organismes vivants. Sur le plan climatique, il détermine les flux d'énergie et conditionne l'évapotranspiration. Dans sa traversée de l'atmosphère, ce flux éner-

gétique subit des pertes inégalement réparties dans les différentes longueurs d'onde, Ainsi l'énergie qui atteint le sol diffère-t-elle beaucoup d'un point à un autre et d'un moment à l'autre.

Du fait de la position latitudinale de la Réserve (26°41' de Lat. nord) la durée du jour varie sensiblement au cours de l'année: 13 h 12' en été et 10 h 48' en hiver (Vilchis, 1979). Cette variation bien que faible est suffisante pour produire sur les êtres vivants des phénomènes de photopériodisme.

Le tableau 1 donne les valeurs moyennes décadaires du rayonnement solaire global pour la période 1980-1984, mesurées à l'aide d'un Pyrhéliographe.

Tableau 1. Laboratoire du Désert, valeurs moyennes du rayonnement solaire global en cal. cm.<sup>-2</sup>. jour<sup>-1</sup> pour la période: Mars 1980-Décembre 1984.

MOIS		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Rayonnement	1	289	355	414	498	521	520	445	445	410	413	367	296
global	2	266	413	421	520	513	482	460	387	412	386	321	297
par décades	3	345	409	475	473	503	470	474	456	400	370	321	281
Moyenne mensuelle		301	391	438	497	512	491	460	430	407	389	336	291

La radiation est directement liée à la hauteur du soleil aux différentes périodes de l'année, mais la pluie et la couverture nuageuse modifient cette relation notamment pour les mois de juillet, août et septembre. La radiation n'est que très rarement inférieure à 300 cal/cm<sup>2</sup>/jour, elle ne constitue donc pas dans la zone un facteur limitant pour la croissance végétale.

## TEMPÉRATURE DE L'AIR SOUS ABRI

En zone aride, la température est directement liée à l'énergie solaire disponible, mais l'intervention de la pluie modifie cette relation et en fait, le régime thermique est l'image de l'interaction pluie-rayonnement solaire.

Le tableau 2 montre les valeurs moyennes décadaires et mensuelles des températures: maximum ( $t_m$ ), minimum ( $t_n$ ) et moyenne ( $\bar{t}$ ) de l'air, enregistrées sous-abri et exprimées en °C.

Tableau 2. Laboratoire du Désert: valeurs moyennes décadaires et mensuelles des températures: minimum, maximum et moyenne de l'air sous abri en °C (période Mars 1978 - Décembre 1984).

MOIS		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Température minimum	$t_m$												
	1	3.5	4.1	7.1	12.4	15.5	19.6	19.9	19.9	18.6	15.6	9.6	5.2
	Décades												
	2	4.5	6.2	9.9	12.5	16.7	19.3	20.2	19.0	17.3	14.0	7.2	5.8
	3	3.8	6.3	10.5	14.1	18.0	20.7	19.9	18.8	16.1	11.4	4.1	4.2
Moyenne Mensuelle	$t_m$	3.9	5.5	9.2	13.0	16.7	19.9	20.0	19.3	17.3	13.7	7.0	6.4
Température maximum	$t_M$												
	1	19.9	20.8	25.0	30.9	33.0	36.1	35.1	33.8	32.7	31.1	26.3	22.4
	Décades												
	2	19.5	23.3	27.7	31.3	33.7	35.7	35.7	32.4	31.8	29.0	24.1	21.5
	3	19.6	23.7	28.9	31.4	34.8	36.4	34.6	33.4	31.2	27.3	21.7	20.6
Moyenne Mensuelle	$t_M$	19.7	22.6	27.2	31.2	33.8	36.1	35.1	33.2	31.9	29.2	24.0	21.5
Température moyenne	$\bar{t}$												
	1	11.7	12.5	16.1	21.7	24.2	27.9	27.5	26.9	25.6	23.3	18.0	13.8
	Décades												
	2	12.0	14.7	18.8	21.9	25.2	27.5	28.0	25.7	24.5	21.5	15.7	13.6
	3	11.7	15.0	19.7	22.8	26.4	28.6	27.1	26.1	24.0	19.4	12.9	12.4
Moyenne Mensuelle	$\bar{t}$	11.8	14.1	18.2	22.1	25.3	28.0	27.5	26.2	24.7	21.4	15.5	13.3

La température annuelle moyenne pour la période est de 20,8°C ce qui correspond à un climat chaud, mais avec une forte variation saisonnière: les hivers sont froids (moyenne des minimums de janvier 3,9°) et les étés chauds (moyenne des maximums de juin 36,1°C).

On note, la forte amplitude au cours de l'année des valeurs moyennes des températures ( $\bar{t} = 11,8^\circ\text{C}$  pour janvier, et  $\bar{t} = 28,0^\circ\text{C}$  pour juin), mais également les fortes amplitudes journalières entre maximum et minimum tout au long de l'année. Ces amplitudes élevées sont caractéristiques des climats continentaux.

L'évolution des valeurs moyennes décadaires des températures présente un seul maximum en juin, qui est le mois le plus chaud. L'existence d'un seul maximum de température, caractérise en zone subtropicale les climats arides, par opposition aux climats semi-arides qui présentent généralement 2 maximums de température (Riou, 1975).

Le tableau 3 donne les valeurs moyennes mensuelles des températures pour la station de Ceballos, pour la période (1956-1983). La station de Ceballos est la plus proche station de la réserve (voir Fig. 3). On voit que ces valeurs sont très proches de celles enregistrées à la station du Laboratoire du Désert.

Tableau 3. Moyennes mensuelles des températures de l'air à Ceballos (1958-1983)

MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
$t_M$	21.6	24.0	28.5	32.9	35.8	37.4	36.4	35.3	33.0	29.8	25.5	22.0
$t_m$	1.6	2.7	5.8	10.7	11.5	18.3	18.9	18.1	16.2	11.3	5.2	2.0
t	11.6	13.4	17.1	21.8	25.2	27.9	27.7	26.7	24.6	20.6	25.3	12.0

La comparaison montre qu'il existe une excellente corrélation entre les valeurs moyennes mensuelles de température du Laboratoire du Désert et celles de Ceballos. Pour la période Mars 1978 - Décembre 1983 on obtient la régression  $y = 1.035 x - 0.625$  avec  $r = 0.985$

$$N = 70$$

$y$  = température à Ceballos en °C

$x$  = température au Laboratoire du Désert en °C

Pour cette station, nous avons effectué pour les années complètes (1957-1983) une analyse fréquentielle des températures. La figure 1, montre les probabilités d'avoir une température moyenne décadaire supérieure à un certain seuil.

Ainsi, 15°C étant la limite de croissance généralement admise pour les plantes en  $C_4$ , la période favorable à leur croissance sera du 10 mars au 20 novembre (probabilité  $\geq 50\%$ ).

De même l'analyse fréquentielle des températures minimum peut permettre de déterminer la période propice à l'activité d'animaux nocturnes. Ainsi la période où la température minimum est supérieure à 18°C sera du 10 juin au 10 septembre (probabilité  $\geq 50\%$ ).

Le tableau 4 donne pour Ceballos les moyennes mensuelles du nombre de jours de gelée et du nombre de jours très chauds ( $t_M \geq 40^\circ\text{C}$ ).

# CEBALLOS (1957-1983)

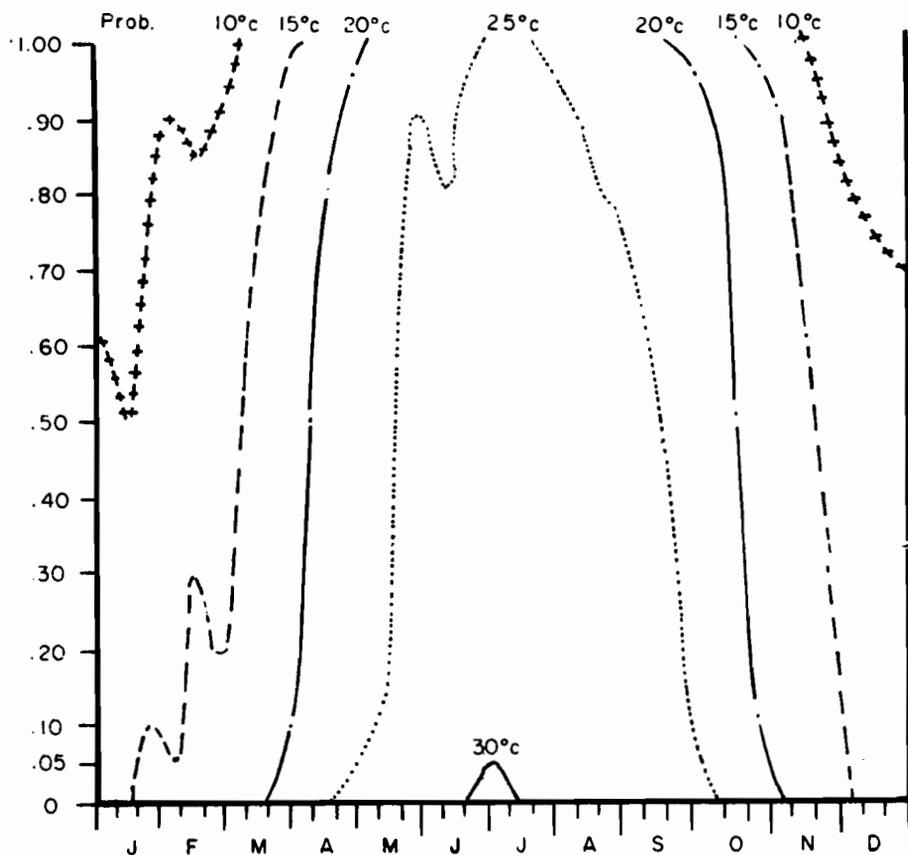


Figure 1. Station de Ceballos, probabilités d'avoir une température moyenne supérieure ou égale aux valeurs 10, 15, 20, 25, 30°C.

Tableau 4. Moyenne mensuelle du nombre de jours de gelée et du nombre de jours où la température maximale est  $\geq 40^{\circ}\text{C}$  (période 1956-1983) CEBALLOS.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Nombre de jours de gelée	12	7	3	0.2						0.1	4	11
Nombre de jours où $t_M \geq 40^{\circ}\text{C}$					2	7	1.5	0.75	0.2			

Pour Ceballos le nombre moyen de jours de gelée est de 37 jours par an (maximum observé: 58 j. minimum observé: 11 j.). Sur les 25 années observées nous avons une fréquence de 6 j. par an de gelée à  $t \leq -5^{\circ}\text{C}$ , et de un jour de gelée à  $t \leq -10^{\circ}\text{C}$  tous les 6 ans.

La figure 2 montre la probabilité par décade d'avoir un nombre déterminé de jours de gelée (Ceballos 1957-1983).

## CEBALLOS (1957-1983)

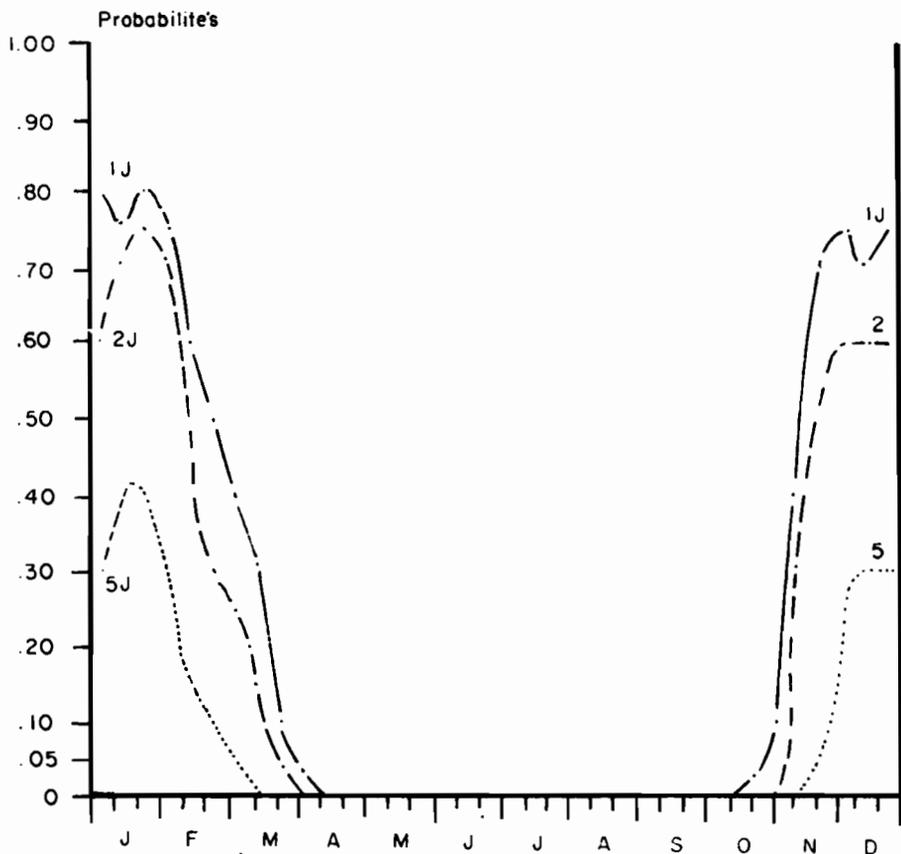


Figure 2. Ceballos: probabilités décadaires d'avoir un nombre de jours de gelée égal ou supérieur à: 1, 2, 5 jours.

On voit que la période durant laquelle le risque de gelée est nul va du 10 avril au 25 octobre.

Le tableau 5 donne pour le Laboratoire du Désert les moyennes décadaires des nombres de jours de gelée, de jours froids, et de jours chauds. Sont considérées comme jours froids, les journées pour lesquelles la moyenne des températures est inférieure ou égale à 15°C.

Sont considérés comme jours chauds, les jours où  $\tau \geq 30^\circ\text{C}$  ou pour lesquels  $t_M > 40^\circ\text{C}$ .

Tableau 5. Laboratoire du Désert. Moyenne par décade du nombre de jours de gelée, de jours froids, et de jours chauds (période 1978-1983).

MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Nombre de jours de gelée	1	2.4	1.6	0.6							0	1.0
Moyenne annuelle:	2	1.4	0.2	0							0.3	0.3
12.4 j	3	1.6	0	0							1.3	1.8
Nombre de jours froids	1	9.0	8.2	3.2	0.3					0	1.2	6.8
Moyenne annuelle:	2	7.6	5.2	2.2	0.3					0.2	4.0	7.2
86.6 j	3	8.4	3.4	0	0.3					0.8	6.2	9.0
Nombre de jours chauds	1					0.2	2.7	1.5	0.7			
Moyenne annuelle:	2					0	1.7	1.8	0			
14.2 j.	3					0.3	2.8	1.0	0			

Pour le Laboratoire du Désert le nombre de jours de gelée est sousestimé car l'observateur note "gelée" seulement lorsqu'il y a formation de glace sur le bac d'évaporation.

Le tableau 6 montre la comparaison entre les éléments du climat thermique de Ceballos et du Laboratoire du Désert.

Tableau 6. Comparaison entre les températures de Ceballos et du Laboratoire du Désert.

	CEBALLOS (1956-1983)	LABORATOIRE DU DESERT (1978-1983)
Moyenne annuelle	20.3°C	20.8°C
Minimum enregistré	-15.5°C (12-1-61)	-7.5°C (25-12-83)
Maximum enregistré	44°C (juin 60-80)	42.0°C (30-5-82)
Nombre moyen de jours de gelée		
(1979-1983)	26.6	12.4
(1956-1983)	37	

## PRÉCIPITATIONS

Les précipitations sont caractérisées par la quantité de pluie, sa répartition et sa variabilité. Le nombre d'observations nécessaires pour obtenir des moyennes stables et représentatives est très grand en zone aride, car la variabilité interannuelle est très élevée.

D'une manière générale dans le Bolsón de Mapimí, exception faite des reliefs, il existe un gradient de précipitations nord-ouest sud-est. Celles ci sont légèrement supérieures à 300 mm au nord et inférieures à 200 mm au sud. Ainsi, pour quatre stations (voir figure 3) nous avons les moyennes suivants.

Escalón (Chihuahua)	période 1961-1983:	340 mm
Ceballos (Durango)	période 1956-1983:	264 mm
Tlahualillo (Durango)	période 1964-1983:	228 mm
San Pedro (Coahuila)	période 1961-1983:	189 mm

Pour la station de Ceballos (1956-1983) la moyenne est de 264 mm avec un coefficient de variation de 42%. La médiane est de 255 mm. Le nombre moyen annuel de jours de pluie supérieure à 0.1 mm est de 40 jours. La moyenne annuelle des précipitations enregistrées de 1979 à 1984 au Laboratoire du Désert est de 264.2 mm avec un coefficient de variation de 14%.

La figure 3 montre d'après García *et al.* (1975) la répartition des isohyètes et la situation des stations.

La variabilité interannuelle des précipitations est très importante. La figure 4 montre pour Ceballos la variabilité interannuelle des totaux pluviométriques. Les précipitations annuelles pour 5 années (1979-1983) observées au Laboratoire du Désert ont été reportées sur la figure.

La fréquence des années très déficitaires ( $P < 180$  mm) est de 0.346, soit une périodicité d'une année tous les 3 ans.

A cette grande variabilité interannuelle se rajoute une variabilité spatiale forte même à courte distance. Ainsi, si l'on considère les résultats des pluviomètres situés à faible distance de la station du Laboratoire, nous obtenons en 1983 les valeurs suivantes:

SITE	DISTANCE A LA STATION	HAUTER DE PLUIE ANNUELLE
Station	0 Km	200.8 mm
Magueyal	1.5 Km	235.0 mm
Hilaria vega	10 Km	189.6 mm
Sporobolus	7 Km	165.0 mm
Dunes	9 Km	184.3 mm

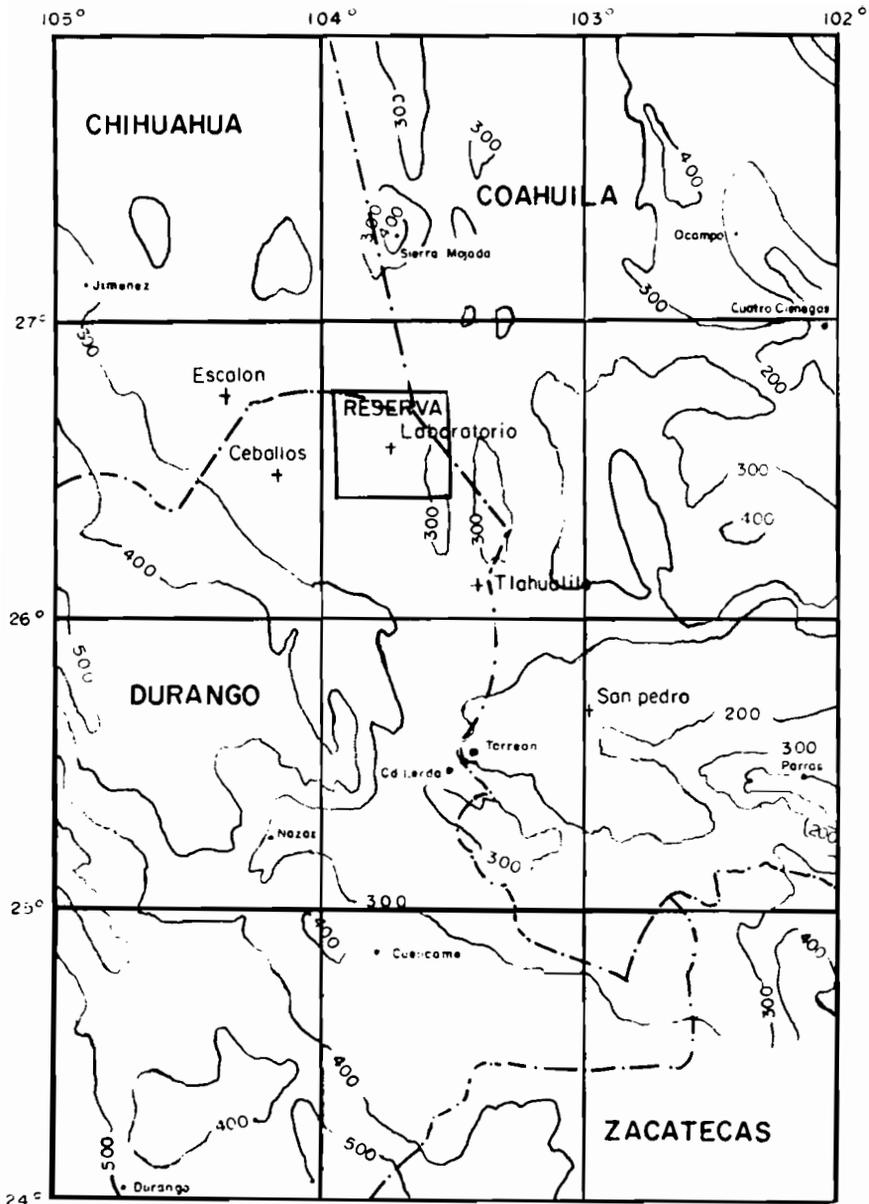


Figure 3. Carte des Isohyètes d'après García *et al.* (1975).

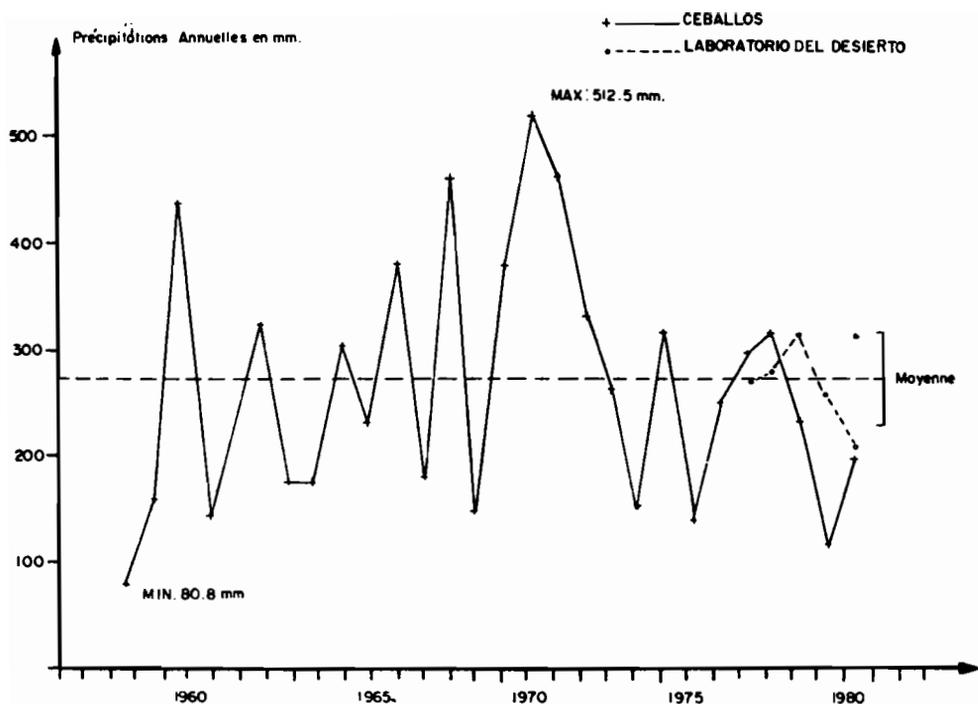


Figure 4. Variation interannuelle des précipitations.

Cette variabilité rend nécessaire l'étude des précipitations sur chaque site d'étude. Les mesures réalisées en 1984 et 1985 montrent qu'il existe bien, malgré les faibles dénivelées un gradient topographique des précipitations dans la réserve. Les positions hautes: magueyal, station, reçoivent plus de pluie que les zones de *playa* (*Sporobolus*, *Hilaria vega* . . .)

Le tableau 7 donne la répartition mensuelle des précipitations à Ceballos.

Tableau 7. Répartition mensuelle des hauteurs de pluie et du nombre de jours de pluie (période 1956-1983) Ceballos.

MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Moyenne mensuelle en mm	8.7	6.1	3.0	6.3	12.7	31.4	41.0	60.4	60.8	24.9	7.5	9.7
% du total annuel	3.2	2.2	1.1	2.3	4.7	11.5	15.0	22.2	22.3	9.1	2.8	3.6
Nombre de jours de pluie	1.3	1.3	0.7	1.0	2.3	5.5	6.5	8.0	6.1	4.0	1.3	2.0

L'essentiel des précipitations se produit en été, les pluies de juin, juillet, août et septembre représentent 71.0% du total annuel. Les pluies d'hiver: décembre, janvier, février, représentent 9% du total annuel.

Mais il existe une grande variabilité interannuelle de la répartition des pluies. Ainsi en 1981 la majorité des précipitations (62%) se sont produites en dehors de la période d'été.

Les averses ont un caractère orageux avec une forte intensité, mais généralement elles sont de courte durée et très localisées. La figure 5 montre la distribution des valeurs des hauteurs de pluies journalières pour Ceballos. On voit, que 62% des pluies journalières son inférieures à 5 mm. Cette proportion augmente encore en années sèches pour lesquelles le nombre d'averses importantes ets réduit.

### CEBALLOS (1956-1981)

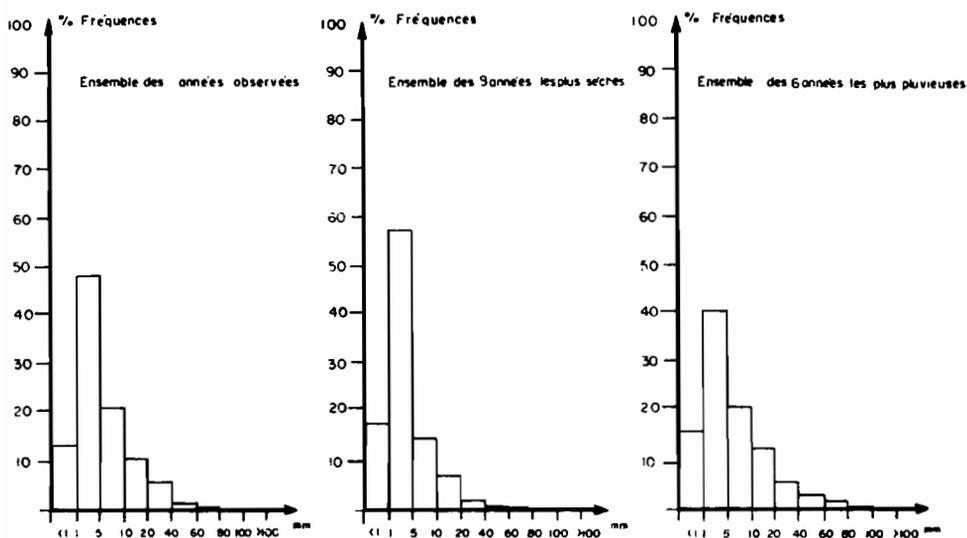


Figure 5. Fréquence des valeurs de hauteur de pluies journalières.

L'importance des averses faibles peut expliquer la dominance dans le peuplement végétal de certains types biologiques plus aptes à profiter des petites pluies (crassulacées, microphylls perennifoliées . . .).

Le caractère localisé des événements pluvieux explique la variabilité spatiale très importante des précipitations.

Le tableau 8 donne les hauteurs moyennes et le nombre moyen de jours de pluie observés au Laboratoire du Désert (1978-1984).

Les valeurs moyennes calculées sont peu représentatives en raison du petit nombre d'observations.

Tableau 8 Hauteurs moyennes décadaires de pluie et nombre moyen de jours de pluie. Laboratoire du Désert (1978-1984).

MOIS		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Moyenne décadaire en mm	1	0.2	2.4	0.5	0.1	5.9	20.6	19.2	14.3	6.7	16.7	3.2	4.6
	2	10.0	1.4	1.2	8.0	7.1	9.0	9.0	28.5	5.9	13.1	6.6	2.2
	3	7.3	4.1	0.6	3.4	8.2	11.7	18.9	7.2	11.0	4.3	2.4	4.9
Nombre de jours de pluie	1	0.6	1.2	0.3	0.1	0.9	2.1	2.6	3.7	2.1	1.7	0.4	1.0
	2	1.8	0.3	0.7	1.0	1.3	1.1	1.3	3.9	1.9	1.1	0.7	0.4
	3	1.2	0.2	0.4	1.0	2.3	1.4	2.6	1.6	2.1	0.9	0.6	1.0

L'insuffisance et l'irrégularité des pluies font de leur prévision statistique, fondée sur l'analyse fréquentielle des séries d'observations, un des éléments majeurs de la connaissance du climat pluviométrique dans les zones à tendance aride.

Pour quatre stations du Bolsón de Mapimí: Escalón, Ceballos Tlahualillo et San Pedro (Voir figure 3), l'étude a été effectuée grâce au modèle ORSTOM d'analyse fréquentielle des pluies (Brunet-Moret, 1969). Ce modèle est fondé sur l'ajustement aux données d'une loi de distribution du type: "distribution incomplète gamma ou de Pearson III" dont les paramètres sont estimés.

On appellera que cette loi de distribution peut s'écrire:

$$F(x) = F(x_0) + \frac{1 - F(x_0)}{\Gamma(\gamma)} \cdot \int_{x_0}^x \left(\frac{x - x_0}{S}\right)^{\gamma-1} \cdot e^{-\frac{x - x_0}{S}} \cdot \frac{dx}{S}$$

où  $\Gamma(x)$  est la fonction gamma complète,

$F(x)$  représente la probabilité au non dépassement d'une grandeur observée  $x$  dont la valeur minimale est  $x_0$ , la fréquence étant  $F(x_0)$  pour  $x = x_0$ .

La fonction est caractérisée par trois paramètres:

$x_0$ : borne inférieure de l'intervalle de définition

$S$ : paramètre d'échelle de même dimension que  $x$ .

$\gamma$ : paramètre de forme.

Ces paramètres sont estimés par la méthode du maximum de vraisemblance. Dans la pratique, on obtient pour chaque période de durée fixée (ici décadaire) et mobile dans le temps (de 5 en 5 jours), les hauteurs d'eau à espérer à un certain nombre de niveaux de probabilité entre 0.01 et 0.99. On peut déterminer pour chaque décade la probabilité d'avoir telle hauteur décadaire de pluie.

Graphiquement, l'axe des abscisses étant celui du temps, et l'axe des ordonnées une échelle de fréquences relatives ou de probabilités, la variabilité d'occurrence de tout événement (par exemple  $P \leq 20 \text{ mm}$  . . .) peut être figurée par un histogramme de densité de probabilité ou une courbe de fréquences relatives. La figure 6 donne, pour les quatre stations étudiées, les probabilités d'avoir:

- $p \geq$  à 10 mm
- $p \geq$  à 20 mm
- $p \geq$  à 50 mm

On note la grande irrégularité des courbes en relation avec la forte variabilité des précipitations: Cependant l'allure reste la même pour les quatre stations, traduisant ainsi leur appartenance au même type climatique avec les mêmes mécanismes de production de pluies. L'allure des courbes montre nettement l'existence de deux périodes de précipitation. Une période principale en été, centrée sur juillet-août-septembre, et une période secondaire beaucoup plus faible en décembre-janvier. La décade pour laquelle les probabilités de pluies sont les plus fortes est la deuxième décade d'août. Les probabilités de pluies sont faibles ainsi la probabilité d'avoir  $P$  décadaire  $\geq 20 \text{ mm}$  ne dépasse 0.50 que pour la station de Escalón, pour la décade la plus arrosée.

Les résultats de l'analyse fréquentielle sont utilisés pour déterminer la période humide et définir les probabilités au non dépassement par les pluies de telle ou telle fraction choisie de l'évapotranspiration (Franquin, 1976).

## HUMIDITÉ DE L'AIR

L'évolution de l'humidité atmosphérique est liée au régime des vents et à la pluviosité. Le Tableau 9 donne les valeurs moyennes décadaires de l'humidité de l'air maximum ( $h_M$ ), minimum ( $h_m$ ) et moyenne ( $\bar{h}$ ).

Les valeurs maximum croissent dès le mois de juin avec l'instauration de la circulation atmosphérique en provenance du Golfe de Mexico. Elles restent relativement élevées jusqu'en janvier, puis décroissent de janvier à avril, en relation avec l'élévation de température.

Par contre, les valeurs minimums restent basses toute l'année, culminant à 30% durant les périodes les plus humides. Les variations journalières d'humidité sont fortes, elles sont maximum en période humide (60% en août et septembre).

Probabilités pour 4 stations d'avoir des précipitations décadaires  
supérieures ou égales à --- 10 mm, — 20mm, ..... 50mm.

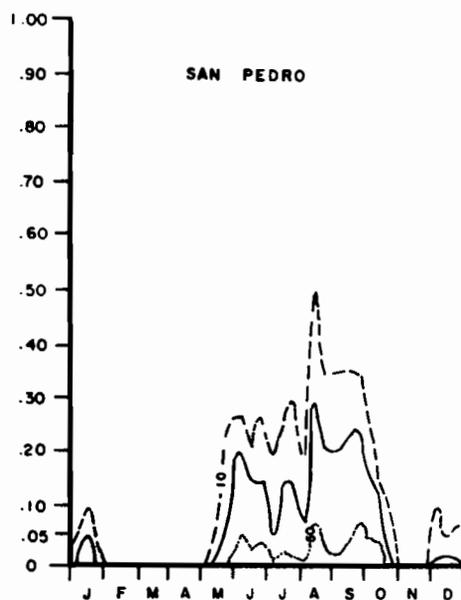
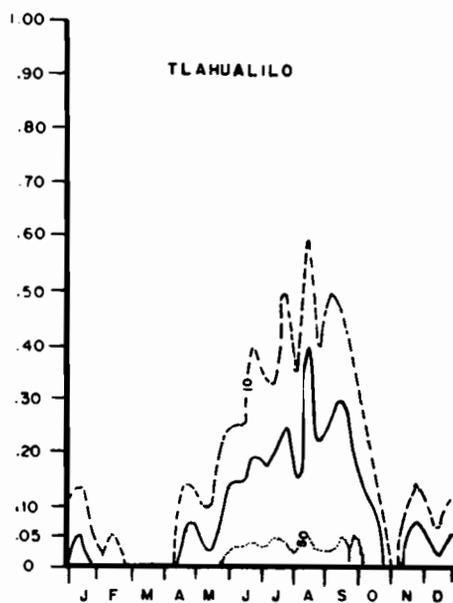
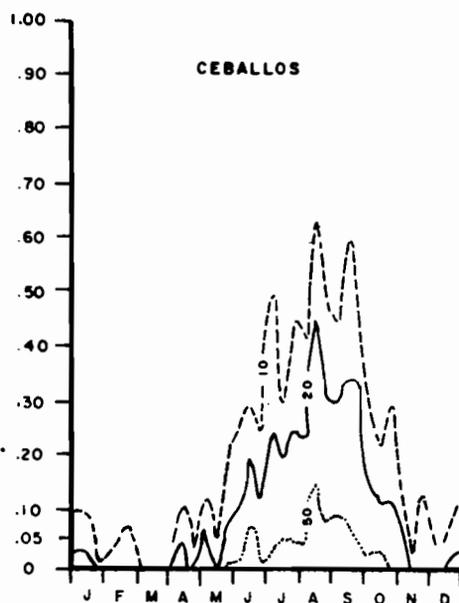
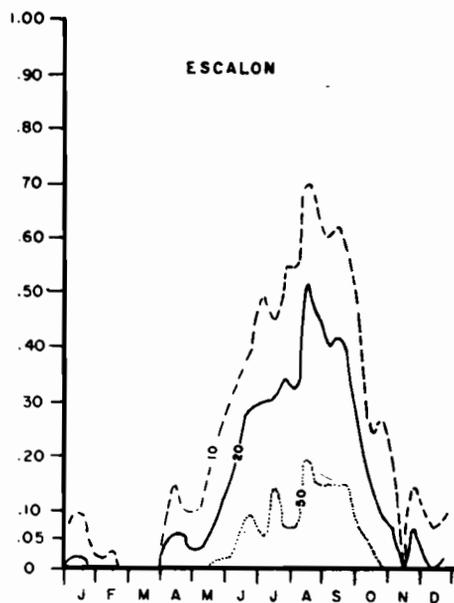


Tableau 9. Laboratoire du Désert. Valeurs moyennes décadaires et mensuelles de l'humidité de l'air (période mars 1978-décembre 1984) en %.

MOIS		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>Humidité maximum</b>													
$h_M$	1	72	70	48	38	55	70	75	81	87	79	76	76
	2	74	61	48	36	54	70	73	90	82	79	73	79
	3	73	58	40	56	59	67	77	83	78	75	70	76
<b>Moyenne mensuelle</b>		73	63	45	43	56	69	75	85	82	78	73	77
<b>Humidité minimum</b>													
$h_m$	1	26	23	13	9	12	15	22	28	29	23	22	23
	2	28	15	10	10	13	17	22	30	26	25	24	25
	3	20	15	8	14	14	19	26	24	26	24	21	25
<b>Moyenne mensuelle</b>		25	18	10	11	13	17	23	27	27	24	22	24
<b>Humidité moyenne</b>													
$\bar{h}$	1	49	47	31	24	33	43	49	55	58	51	49	50
	2	51	38	89	23	34	44	47	60	54	52	48	52
	3	47	37	24	35	36	43	52	54	52	50	46	50
<b>Moyenne mensuelle</b>		49	41	28	27	34	43	49	56	55	51	48	51

## EVAPORATION ET ETP

L'évaporation est mesurée journallement à partir d'un bac d'évaporation type "classe A international". Les valeurs moyennes décadaires obtenues sont données par le Tableau 10.

Tableau 10. Laboratoire du Désert. Valeurs décadaires et mensuelles de l'évaporation bac, moyennes pour la période 1978-1984.

MOIS		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>Evaporation bac en mm</b>													
	1	30.4	44.6	73.0	109.0	109.6	112.9	102.7	94.5	76.9	72.3	53.4	46.4
	2	32.7	58.5	85.6	100.5	115.7	116.7	106.5	78.5	81.7	64.9	47.0	36.2
	3	46.3	54.5	103.2	96.1	122.7	118.8	105.2	90.5	71.7	62.4	40.2	43.5
<b>Moyennes mensuelles</b>		109.4	157.6	261.8	305.6	348.0	348.4	314.4	263.5	230.3	199.6	140.6	126.1

L'évaporation moyenne annuelle est de 2805 mm pour le Laboratoire du Désert (moyenne 1978-1984) et de 2504 mm pour Ceballos (1957-1983). Ces valeurs sont comparables aux valeurs enregistrées en zone sahélienne (Riou, 1975, Cornet, 1981)

mais inférieures aux valeurs observées en zone aride sub-sahariennes (Riou, 1975; Cocheme et Franquin, 1967).

La figure 7 montre la comparaison des valeurs moyennes décadaires d'évaporation bac pour Ceballos (1956-1983) et le Laboratoire (1978-1984). Ces valeurs sont exprimées en  $\text{mm} \cdot \text{jour}^{-1}$ .

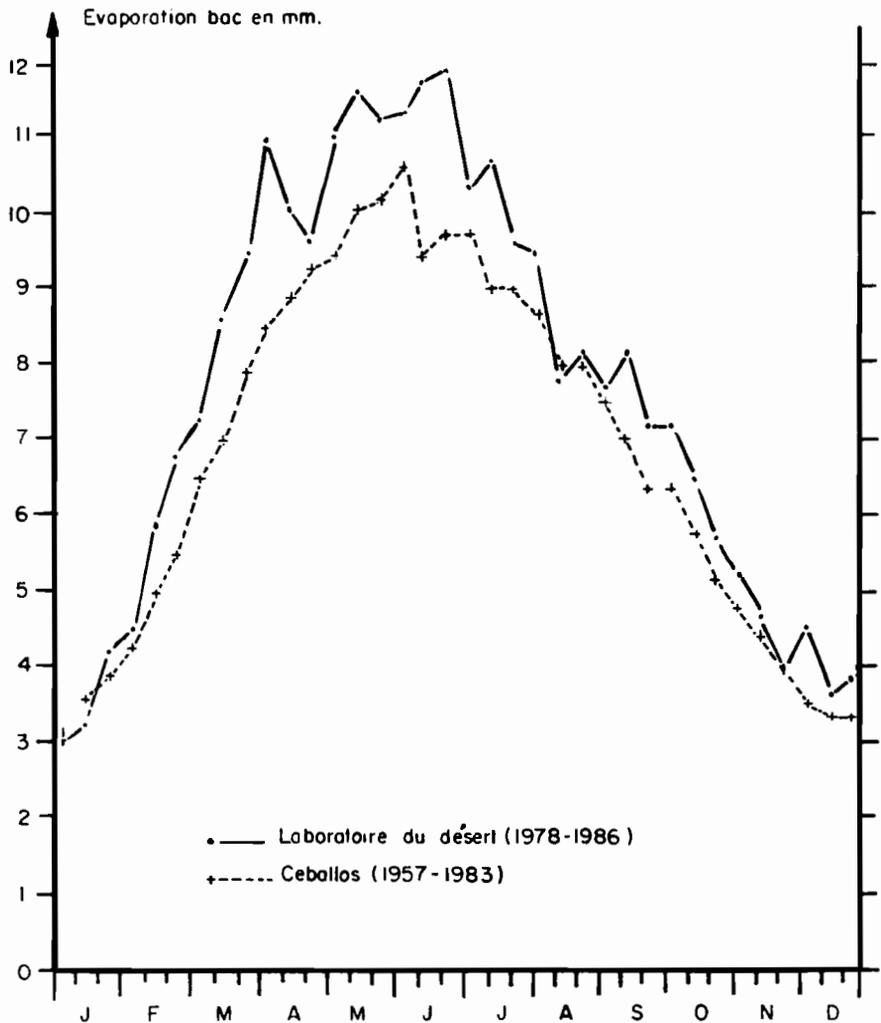


Figure 7. Valeurs moyennes décadaires d'évaporation bac pour Ceballos et pour le Laboratoire du Désert.

On constate que les valeurs obtenues à la station du laboratoire sont systématiquement plus élevées en période chaude et sèche que celles enregistrées à Ceballos. Cela peut s'expliquer par la présence autour de Ceballos de périmètres irrigués qui atténuent fortement l'advection.

La figure 8 réalisée à partir des résultats de l'analyse fréquentielle des valeurs de l'évaporation bac montre pour Ceballos (1956-1983) les probabilités pour que E bac décadaire soit supérieure ou égale à une valeur donnée.

## CEBALLOS (1957-1983)

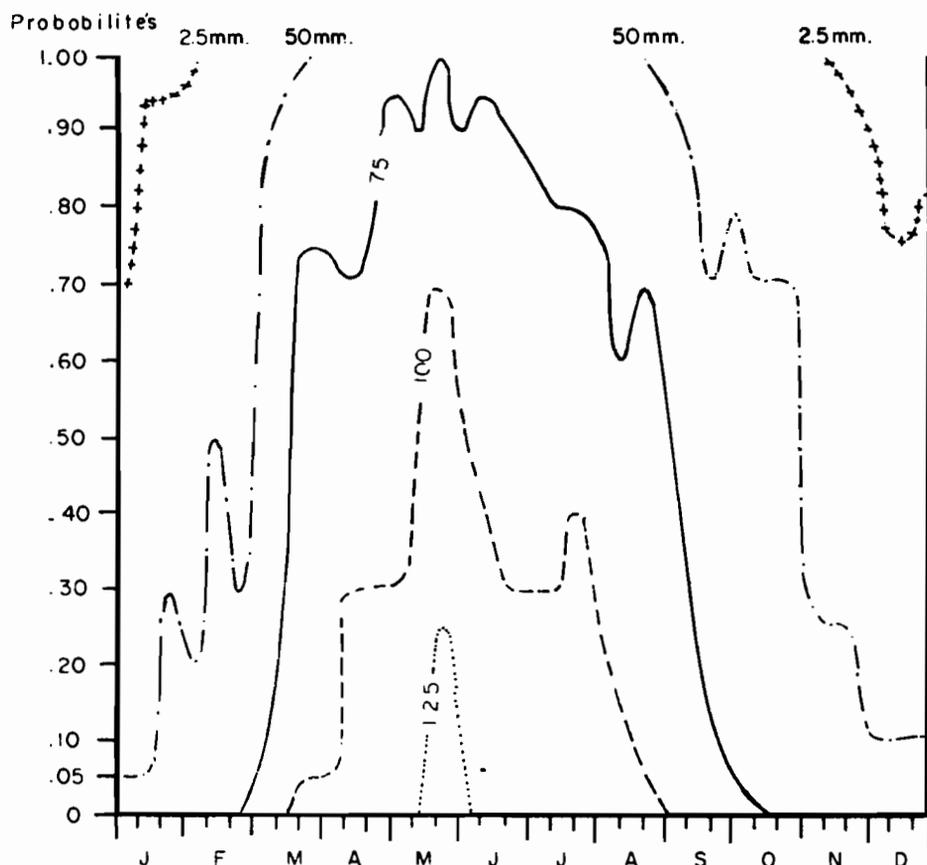


Figure 8. Ceballos: Probabilités pour que l'évaporation bac soit supérieure ou égale aux valeurs 25, 50, 75, 100 et 125 mm.

Il faut noter que si la variabilité décadaire de l'évaporation est élevée, le total annuel varie peu d'une année à l'autre.

La demande évaporative, considérée comme élément climatique est caractérisée par la notion d'évapotranspiration potentielle introduite par Thornthwaite (1944). En zone aride la notion d'ETP n'a de sens que si sa détermination prend en compte la part importante de l'advection (Perrier 1975, Baldy 1978). La détermination de l'ETP est relativement complexe et a fait l'objet de très nombreuses études tant théoriques que pratiques. D'une manière générale, en l'absence de possibilités de mesures directes la plupart des auteurs (Riou 1975, Dancette 1976, Baldy 1978, Thom *et al.*, 1981) recommandent l'utilisation des données du bac d'évaporation corrigées à partir des données de vitesse de vent, température et déficit de saturation de l'air.

Nous utiliserons la relation proposée par Riou (1975) pour la zone sèche de l'Afrique centrale.

$$ETP = 0.96 (E_{\text{bac}} - \frac{0.24 U(e_s - e_a)\gamma}{\Delta + 2 \gamma})$$

dans laquelle ETP est l'évapotranspiration potentielle en mm j<sup>-1</sup>

$E_{\text{bac}}$  l'évaporation bac en mm j<sup>-1</sup>

U la vitesse du vent en m.s<sup>-1</sup>

$e_s - e_a$  le déficit de saturation de l'air en mbar

$\gamma$  est la constante psychrométrique

$\Delta = F'(t)$  la dérivée de l'équation donnant la tension de vapeur en fonction de la température

Les calculs de détermination de l'ETP ont été effectués pour 1984 par la méthode du Bac corrigé et par la formule Penman. Le Tableau 11 donne les valeurs obtenues.

On note que les valeurs obtenues par la formule de Penman sont globalement très inférieures à celle obtenues par la méthode du bac corrigé:

Laboratoire du Désert 1984.

Evaporation bac 2715 mm

ETP bac corrigé 1985 mm

ETP Penman 1680 mm

Divers auteurs (Riou 1975, Baldy 1978) ont constaté la tendance de la formule de Penman en zone aride à sous estimer ETP en raison d'une sous estimation de la part advective de l'évapotranspiration.

L'étude du rapport  $k = ETP \text{ calculée} / E_{\text{bac}}$  montre qu'il existe des groupes de valeurs constantes en fonction des saisons, ainsi on obtient pour le Laboratoire du Désert:

Tableau 11. Moyennes décadaires en mm.j.<sup>-1</sup> d'évaporation bac de ETP calculé à partir du bac et de ETP Penman. (Laboratoire du Désert 1984).

MOIS	JANVIER			FEVRIER			MARS		
Décade	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Evaporation bac	3.0	3.8	3.1	3.5	7.0	6.3	7.7	9.8	10.1
ETP calculée	2.3	2.8	2.4	2.9	5.3	4.9	6.1	7.1	6.4
ETP Penman	2.0	2.2	2.2	2.4	3.9	2.7	4.1	4.9	5.5
MOIS	AVRIL			MAI			JUIN		
Décade	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Evaporation bac	10.2	9.9	9.6	12.6	10.5	9.0	11.2	11.6	11.7
ETP calculée	6.7	6.3	4.4	8.3	8.3	6.5	7.9	9.7	9.4
ETP Penman	6.0	6.0	7.3	7.1	5.9	7.1	6.9	5.6	6.2
MOIS	JUILLET			AOÛT			SEPTEMBRE		
Décade	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Evaporation bac	7.4	9.4	6.0	9.4	7.5	8.0	8.5	7.9	6.9
ETP calculée	5.4	7.3	4.6	7.1	5.9	6.0	6.4	6.0	5.4
ETP Penman	5.8	5.8	5.6	5.6	5.1	6.1	5.2	4.6	4.6
MOIS	OCTOBRE			NOVEMBRE			DECEMBRE		
Décade	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Evaporation bac	6.3	7.8	6.2	6.0	6.1	4.2	5.3	4.6	3.9
ETP calculée	5.0	5.8	4.6	4.5	4.7	2.9	3.9	3.7	3.1
ETP Penman	4.1	4.5	4.4	3.2	2.9	2.7	2.4	2.3	2.4

Décades fraîches et sèches  $k = 0.76 \pm 0.03$

Décades fraîches et humides  $k = 0.80 \pm 0.01$

Décades chaudes et très sèches  $k = 0.66 \pm 0.04$

Décades chaudes et humides  $k = 0.795 \pm 0.03$

On considère comme décade sèche toute décade pour laquelle P est < à 10 mm et pour laquelle le nombre de jours de pluie est inférieur à 3. Sont considérées comme décades fraîches toutes décades pour lesquelles  $\bar{s} < 18^\circ\text{C}$ .

Il est donc possible de calculer pour les années pour lesquelles on ne dispose pas de données suffisantes, la valeur approchée de l'ETP par la relation

$$\text{ETP}_c = k \cdot E_{\text{bac}}$$

$k = 0.66$  pour les décades chaudes et très sèches

$k = 0.76$  pour les décades froides et sèches

et  $k = 0.80$  pour les décades humides.

Les valeurs moyennes de ETP calculée ainsi déterminées pour le Laboratoire du Désert (1978-1979) sont données par le Tableau 12.

Tableau 12. Laboratoire du Désert. Valeurs décadaires et mensuelles moyennes de ETP calculée pour la période 1978-1984

MOIS		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
ETP calculée en mm	1	23.5	34.5	55.8	73.3	75.5	78.1	71.8	70.7	59.8	56.3	38.5	35.3
	2	25.0	44.5	62.1	68.8	81.5	81.3	76.8	62.5	63.3	49.7	36.2	28.1
	3	35.5	41.6	68.7	63.6	83.6	80.8	75.3	70.5	55.8	47.7	30.5	33.5
Moyennes mensuelles		84.0	120.6	186.6	205.7	240.6	240.2	223.9	203.7	178.9	153.7	105.2	96.9

## NOTION DE PÉRIODE HUMIDE

La seule définition exacte d'une période humide est: toute période durant laquelle les précipitations sont égales ou supérieures à l'évapotranspiration. Toutefois, en zone sèche, les périodes durant lesquelles P est supérieure ou égale à ETP, sont très courtes et ne correspondent qu'à une petite partie de la saison de végétation. Il serait donc important de considérer la quantité minimum d'eau nécessaire à la poursuite de la croissance végétale. Différents travaux ont donné des valeurs voisines de 1/3 ou 1/4 de ETP pour les formations herbacées des zones arides ou semi-arides. Cependant le problème est compliqué par la redistribution de l'eau dans le paysage et le rôle de la réserve hydrique du sol. Les études de phénologie (Cornet *et al.*, 1984) montrent qu'il existe une grande hétérogénéité dans la durée des périodes de végétation des principales espèces. Certaines présentent plusieurs cycles courts de végétation au cours de l'année: d'autres, bénéficiant de conditions stationnelles plus favorables, ont des périodes de croissance plus longues, fonction de la reconstitution de la réserve en eau du sol.

A partir des données décadaires d'ETP et des probabilités décadaires de pluies fournies par l'analyse fréquentielle, on peut déterminer les probabilités pour que P soit supérieure ou égale à ETP, ou à une fraction d'ETP. La figure 9 montre pour Ceballos (1956-1983) les probabilités obtenues par le modèle ORPROB (Cornet, 1981) pour que P décadaire soit supérieure ou égale à  $0.25 E_{\text{bac}}$ ,  $0.5 E_{\text{bac}}$  et  $E_{\text{bac}}$ . On constate que les courbes sont très irrégulières et que les probabilités sont très faibles. La probabilité d'avoir  $P \geq ETP$  est constamment inférieure à 15%. Il apparaît deux périodes plus humides une en hiver, où les pluies sont faibles, mais correspondent à des ETP faibles, et une irrégulière en été. Il n'est cependant pas possible de définir une période humide réelle par des probabilités élevées d'avoir P supérieure à une fraction d'ETP.

Si nous considérons pour le Laboratoire du Désert les données de mars 1978 à décembre 1985, soit 282 décades, nous avons:

# CEBALLOS (1956-1983)

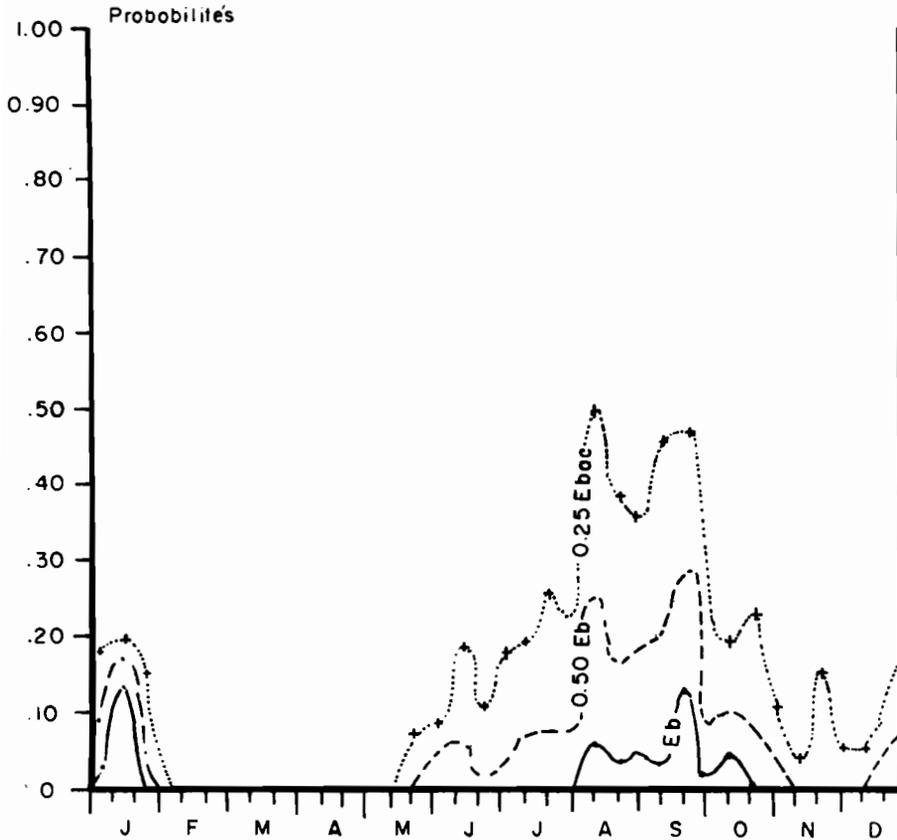


Figure 9. Probabilités d'avoir  $P$  décadaire supérieure ou égale à  $E_{\text{bar}}$ ,  $0.5 E_{\text{bar}}$ ,  $0.25 E_{\text{bar}}$ .

- 9 décades avec  $P \geq [E_{\text{bar}} \text{ corrigé}]$
- 29 décades avec  $P \geq [E_{\text{bar}} \text{ corrigé}/2]$
- 52 décades avec  $P \geq [E_{\text{bar}} \text{ corrigé}/4]$

Si nous recherchons comment se regroupent ces décades:

- Nous n'avons aucune période de 2 décades consécutives avec  $P \geq E_{\text{bar}}$
- 4 périodes de 2 décades successives avec  $P \geq E_{\text{bar}}/2$

- 10 périodes de 2 décades successives avec  $P \geq E_{\text{bac}}/4$
- aucune période de 3 décades successives avec  $P \geq E_{\text{bac}}/2$
- 3 périodes de 3 décades successives avec  $P \geq E_{\text{bac}}/4$

Cela démontre le peu de signification que revêt ici la notion de période humide en relation avec la période végétation. Celle-ci recoupe en effet plusieurs séquences humides de courte durée mais de date et de fréquence très aléatoires. On peut seulement définir une période estivale de végétation où généralement les séquences humides de courte durée sont plus fréquentes.

## CARACTÉRISATION DU CLIMAT ET CLASSIFICATIONS

La nécessité de comparer entre eux des climats de régions parfois très éloignées a amené climatologues et géographes à classer les climats. Les classifications qui consistent à créer des coupures dans un phénomène essentiellement continu, sont diverses et pas toujours concordantes. Cependant les grands types climatiques ont été définis progressivement à partir de critères précis et admis par tous.

Le climat tropical est défini généralement par le régime des pluies et le régime thermique:

- pluies de saison chaude avec saisonnalité très marquée
- température moyenne du mois le plus froid  $>$  à  $15^{\circ}\text{C}$  (Gausson, 1955).
- amplitude thermique diurne supérieure à l'amplitude annuelle moyenne (Emberger, 1955).

Le climat de notre zone correspond bien à deux de ces définitions: 71% des pluies sont estivales et l'amplitude moyenne journalière des températures pour Ceballos (1956-1981) est de  $20^{\circ}\text{C}$  alors que l'amplitude annuelle moyenne est de  $16.3^{\circ}\text{C}$  seulement. La température moyenne du mois le plus froid est par contre inférieure à  $15^{\circ}\text{C}$  ( $11.6^{\circ}\text{C}$ ). Ceci est dû à l'altitude de la zone, supérieure à 1000 m.

Pour Emberger (1938) "chacun des grands types de climat qui se partagent le globe existent sous différentes formes et variétés dont l'une est plus ou moins aride: climat méditerranéen, climat tropical . . .". Pour cet auteur, (Emberger, 1955) un climat aride correspond à "un climat à pluviosité faible, combinée avec une forte évaporation résultant des températures élevées . . .". De nombreux travaux ont cherché à définir et à caractériser la zone aride (UNESCO, 1977) en introduisant parfois dans sa définition, outre les critères climatiques, des critères de végétation et d'agriculture (Meigs, 1959; UNESCO, 1958). Il est clair cependant que l'aridité est déterminée essentiellement par les conditions climatiques, même si ses effets peuvent être accentués ou atténués par les types de milieu ou l'action de l'homme (Floret et Pontanier, 1982).

Mc Ginnies (1979) reconnaît à la zone aride trois caractères essentiels qui correspondent parfaitement à ceux de notre zone:

- Séparation de la région de l'influence humide des océans par la distance et le relief
- Formation de masses d'air chaud et sec, stables, résistantes aux courants convectifs
- Caractère très violent de précipitations entraînant une forte perte d'eau pour ces régions par ruissellement

Les principaux types de classifications climatiques à visées biogéographiques (Koppen, 1926; Thornthwaite, 1931; Emberger, 1955 . . .) reposent essentiellement sur la comparaison entre l'offre pluviométrique et la demande climatique exprimée par l'ETP (Cornet, 1974) ou par une fonction plus ou moins empirique de la température. Cela conduit à l'élaboration d'indices servant à quantifier le degré d'aridité du climat. La portée de ces indices est toutefois limitée et leur extrapolation doit être faite avec précaution. Schmidt (1979) a montré, à l'occasion d'une étude critique sur les propositions de délimitation du Désert de Chihuahua que les indices ne sont pas toujours concordants.

L'indice d'aridité de De Martonne (1926) fait intervenir les précipitations annuelles  $P$  et la température moyenne annuelle ( $T$ )

$$I_a = \frac{P}{T + 10}$$

Sa valeur est de 8.6 pour le Laboratoire du Désert et de 8.7 pour Ceballos correspondant à un climat tropical aride. Schmidt (1979) utilise la valeur  $I_a \leq 10$  pour délimiter le désert de Chihuahua.

Le quotient pluviothermique d'Emberger (Morat, 1969) fait intervenir la moyenne des maximums du mois le plus chaud ( $M$ ), la moyenne de minimums du mois le plus froid ( $m$ ), le nombre de jours de pluie ( $N$ ) et les précipitations annuelles ( $P$ )

$$Q = \frac{NP}{3.65 (M + m) (M - m)}$$

sa valeur est ici de 2.2 ce qui correspond avec  $m = + 4.0^\circ\text{C}$  à un climat aride à hiver froid.

L'indice d'aridité de Stretta et Mosino (1963) est une adaptation de la formule d'Emberger (1955) aux conditions mexicaines

$$IA = \frac{(M + m) (M - m) (m + 45)}{P}$$

donne une valeur de 245 ce qui situe la station en climat aride de type  $A_2$ .

Pour la carte de la répartition mondiale des zones arides (UNESCO, 1977) l'aridité est exprimée par le rapport entre les précipitations annuelles moyenne (P) et l'ETP moyenne annuelle calculée suivant la formule de Penman

$$I = \frac{P}{ETP}$$

plus les valeurs de ce rapport sont basses plus le climat est considéré comme aride:

$I < 0.03$	Zone Hyperaride	
$0.03 < I < 0.20$	Zone aride	Pour Ceballos $I = 0.16$
$0.20 < I < 0.50$	Zone semiaride	

Les températures moyennes du mois le plus froid et du mois le plus chaud, ainsi que le régime des pluies et la longueur de la saison sèche sont utilisés en plus du degré d'aridité pour classer les climats. Dans ce système (UNESCO, 1977) le climat de la région qui nous intéresse est: "aride, à hivers frais, à été chauds à très chaud, à pluies estivales, présentant 8 à 9 mois de saison sèche".

Selon la classification de Koppen, adaptée pour le Mexique par García (1973), le climat de la zone correspond au type BWhw(e) c'est à dire: climat très aride, semi-chaud ( $18^{\circ} < \bar{T} < 22^{\circ}\text{C}$  et  $T_m < 18^{\circ}\text{C}$ ), à pluies d'été, et amplitude thermique élevée.

Le Tableau 13 montre la comparaison des valeurs d'indice d'aridité et leur classification climatique pour trois zones géographiques très distinctes appartenant aux régions arides.

Tableau 13. Comparaison des valeurs d'indice d'aridité pour trois régions arides éloignées géographiquement.

ZONE GEOGRAPHIQUE	DÉSERT DE CHIHUAHUA	ZONE SAHELIENNE NORD (SENEGAL)	TUNISIE PRÉ SAHARIENNE
	Stations CEBALLOS	PODOR	GABÈS
Précipitations annuelles	264 mm	300 mm	187 mm
Indice d'aridité de Martonne	8.7	7.8	5.1
Quotient pluviothermique d'Emberger	2.2	1.4	1.5
Indice d'aridité UNESCO, 1977	0.16	0.14	0.15
CLASSIFICATION UNESCO, 1977	Climat aride hiver frais été chaud pluies d'été 8 à 9 mois de saison sèche	Climat aride hiver chaud été chaud pluies d'été 8 à 9 mois de saison sèche	Climat aride hiver tempéré été chaud pluies d'hiver 8 à 9 mois de saison sèche

On voit qu'il est parfois difficile par les valeurs numériques des indices de séparer et de caractériser des climats qui sur le terrain paraissent bien distincts. Il est alors nécessaire de prendre en compte d'autres éléments tels que le régime thermique et le régime des pluies.

Pour caractériser de manière assez complète mais concise, le climat de la région on peut le décrire comme: "Climat tropical aride, continental, de moyenne altitude, à pluies d'été et hiver frais".

#### BIBLIOGRAPHIE

- BALDY, CH., 1978. Utilisation d'une relation simple entre le bac de classe A et la formule de Penman pour l'estimation de l'ETP en zone soudano-sahélienne. *Ann. Agron.* 29,5: 439-452.
- BRUNET-MORET, Y., 1969. Etude de quelques lois statistiques utilisées en Hydrologie. *Cah. ORSTOM série Hydrologie* 6,3.
- COCHEME, J. et FRANQUIN, P., 1967. A study of the agroclimatology of the semiarid area south of the Sahara in West Africa. *Rapport technique FAO/UNESCO/WMO.* Rome 1967, 325 p.
- CORNET, A., 1974. Essai de cartographie bioclimatique à Madagascar. *Carte thématique ORSTOM* No. 55: 1 notice 28 p. + 1 carte.
- CORNET, A., 1981. Le bilan hydrique et son rôle dans la production de la strate herbacée de quelques phytocénoses sahéliennes au Sénégal. *Thèse Docteur-ing.* USTL Montpellier, 1981, 353 p.
- CORNET, A., 1984. Análisis de los Datos Climáticos de la Estación "Laboratorio del Desierto". Reserva de la Biosfera de Mapimí, Durango, México. Período 1978-1983. 35 pp. mecanogr. Documento Técnico, Instituto de Ecología.
- CORNET, A., E. RIVERA y R. RUIZ DE ESPARZA, 1984. Observaciones sobre la Fenología de Algunas Especies Leñosas y Herbáceas en la Reserva de la Biosfera de Mapimí. Resúmenes IX Congreso Mexicano de Botánica. México, D. F., septiembre de 1984. 14 p. dactylo + 5 fig.
- DANCETTE, C., 1976. Mesures d'évapotranspiration potentielle et évaporation d'une nappe d'eau libre au Sénégal. Orientation des travaux portant sur les besoins en eau des cultures. *Agron. trop.* 31-4: 321-338.
- DE MARTONNE, E., 1926. Aréisme et indice d'aridité. *C.R. Acad. des Sci.* Paris, 182: 1395-1398.
- EMBERGER, L., 1938. La définition phytogéographique du climat désertique. *Mem. Soc. de Biogéographie*, 6: 9-14.
- EMBERGER, L., 1955. Projet d'une classification biogéographique des climats in *Coll. inter. C.N.R.S. Regions Ecologiques du Monde.* Paris, 1954, 59: 249-255.
- FLORET, CH. et R. PONTANIER, 1982. L'aridité en Tunisie présaharienne. *Travaux et doc. ORSTOM* No. 150, ORSTOM, Paris, 543 p.
- FRANQUIN, P., 1976. La caractérisation fréquentielle du milieu agroclimatique D.G.R.S.T. Comité Equilibre et lutte biologique. Groupe de travail méthodologie. Note 13, 32 p. multigr.
- GARCÍA, E., 1969. Distribución de la precipitación en la República Mexicana. *Bull. Instituto de Geografía, UNAM*, I: 175-191.
- GARCÍA, E., 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). *Publ. UNAM*, México, 1973, 246 p.
- GAUSSEN, H., 1955. Théorie et classification des climats et des microclimats. Congr. International of Bot. Paris, 1954.
- HALES, J.E., JR., 1974. Southwestern United States summer monsoon source: Gulf of Mexico or Pacific Ocean? *Jour. of Applied Meteorology* 12: 331-342 (in Schmidt 1983).
- HILL, J.B., 1969. Temperature variability and synoptic cold fronts in the winter climate of Mexico. McGill University, Depto. of Geography. *Climatological Research Series*, No. 4, Montreal (in Schmidt, 1983).

- KÖPPEN, W., 1926. Der geographische system der klimate, in *Handbuch der Klimatologie*. Ed. Köppen and Geiger, Vol. I, part C. Berlin.
- MCGINNIES, W.G., 1979. General description of desert areas in arid land ecosystems. Vol. 1, PBI 16, Ed. Goodall and Perry: 5-19.
- MEIGS, P., 1959. World distribution of arid land, semi-arid homoclimates. *Rev. Res. on Arid Zone Hydr.* UNESCO, Paris, 203-210.
- MORAT, PH., 1969. Note sur l'application à Madagascar du quotient pluviothermique d'Emberger. *Cah. ORSTOM sér. Biol.*, 10. déc. 1969: 117-132.
- MOSINO, A.P., 1964. Surface weather and upper air-flow patterns in Mexico. *Geofisica Internacional. Technical Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology*, 4: 117-168.
- PERRIER, A., 1975. Etude physique de l'évapotranspiration dans les conditions naturelles: I. Evaporation et bilan d'énergie des surfaces naturelles. *Ann. Agron.*, 26,1: 1-18.
- RASMUSSEN, E.M., 1967. Atmospheric water vapor transport and the water balance of North America: Part 1. Characteristics of the water vapor flux field. *Monthly Weather Review*, 95: 403-426 (in Schmidt, 1983).
- RIOU, CH., 1975. La détermination pratique de l'évaporation. Application à l'Afrique centrale. *Mém. ORSTOM*, 80, 236 p.
- SCHMIDT, R. H., Jr., 1979. A climatic delineation of the real Chihuahuan Desert. *J. of Arid Environments*, 2: 243-250.
- SCHMIDT, R.H. Jr., 1983a. Chihuahuan Climate. Invited papers from the *II Chihuahuan Desert Symposium*, 20-21 october, 1983. Alpine, Texas. Ed. Chihuahuan Desert Research Institute: 40-63.
- SCHMIDT, R.H., Jr., 1983b. Climate and the Chihuahuan Desert. In: *Natural Resources and Renewable Resources and Development in Arid Regions* (E. Campos and R.J. Anderson, Eds.). West View Press, Boulder, Co.: 35-52.
- SIERRA MORALES, R., 1981. Las trayectorias ciclónicas de 1976-1979, sus efectos e influencia en el régimen de lluvias de México. *Mem. del VIII Congreso Nacional de Geografía*. Toluca, Méx. I: 124-137.
- STRETTA, E.P. y MOSINO, P.A., 1963. Delimitación de las zonas áridas de la República Mexicana, según un índice de la aridez derivado del de Emberger. *Revista de Ingeniería Hidráulica de México*, 17, 1.
- THOM, A.S., J.L. THONY and M. VAUCLIN, 1981. On the proper employment of evaporation pans and atmometers in estimating potential transpiration. *Quart. J. R. Met. Soc.* 107: 711-736.
- THORNTHWAITTE, C.W., 1944. Report of the committee on transpiration and evaporation. *Trans. Am. Geophys. Union*, 5: 687 p.
- UNESCO, 1958. Afrique du Nord et Australie Méditerranéenne, in climat et microclimat. *Paris. Res. Zone Arides XI*: 141-147.
- UNESCO, 1977. Carte de la répartition mondiale des régions arides. *Notes Techniques du MAB 7* — UNESCO, Paris, 55 p.
- VILCHIS MARÍN, A., 1979. Estudio climático del Bolsón de Mapimí. *Tesis de Licenciatura*, UNAM, México, 136 p.
- VILCHIS MARÍN, A., 1981. "Las precipitaciones en el Bolsón de Mapimí y los estados atmosféricos que determina". *Instituto de Ecología, México*, 63 p. + anexos multigraf.

# Cenozoic Geology of the Eastern Half of the La Flor Quadrangle, Durango and Chihuahua, México\*

J.R. BARTOLINO

## RESUMEN

La hoja geológica La Flor cubre una parte del Bolsón de Mapimí, en el noreste de México, 10 km al oeste del vértice que forman los límites de los estados de Chihuahua, Coahuila y Durango.

A pesar de que el área se presenta bajo la apariencia de un bolsón típico asentado sobre sedimentos cuaternarios, realmente representa un bloque montañoso con desarrollo de depósitos de pie de monte, asentado sobre rocas volcánicas y sedimentarias terciarias basculadas.

Las rocas más antiguas del afea de estudio son lutitas y areniscas correlacionadas tentativamente con las Capas Soledad del Cretácico Superior o Terciario Inferior. Estas rocas se encuentran expuestas solamente en el Cerro Amarillo, donde forman un rasgo dómico.

La Formación Las Quiotentas del Terciario (Oligoceno-Mioceno) está compuesta por tres facies: una facies de areniscas, limolitas y lutitas, otra facies de conglomerados de guijarros y fragmentos mayores, y una facies volcánica. Esta última está constituida, en orden decreciente de edad, por basalto, andesita y brecha andesítica, y riolita.

Las rocas cuaternarias incluyen depósitos de pie de monte y aluvión de relleno de cuenca; depósitos de abanicos aluviales; depósitos eólicos; aluviones de canales, de planicies de inundación y de terrazas; depósitos locales de pie de monte; y derrames de basalto.

Los rasgos estructurales más importantes del área son la falla del Cerro Bola, una falla normal orientada hacia el norte que bordea por el oeste al bloque levantado; y el domo de Cerro Amarillo, de aproximadamente 10 km de diámetro, expuesto en el bloque montañoso en la porción sur del área.

Después de la Orogenia Laramide del Eoceno Temprano y Medio, se formaron en México una serie de cuencas endorreicas debido a fallamiento en bloques o por interrupción de sistemas de drenaje por vulcanismo. En el área de estudios y sus alrededores, una cuenca de estas características fue rellenada con sedimentos fluviales y lacustres y, localmente por derrames de basalto, riolita y andesita. Los sedimentos están compuestos principalmente por limos y arenas rosadas y gravas grises de clastos de caliza. Estos depósitos de cuenca constituyen la Formación Las Quiotentas. El período de relleno de cuenca probablemente finalizó en el Mioceno o Plioceno, cuando los dos tercios orientales del área fueron elevados y basculados hacia

\* Trabajo apoyado parcialmente por el Proyecto Reserva de la Biosfera de Mapimí, Instituto de Ecología, y el proyecto PCECBNA-021638 del CONACyT: Investigación Ecológica, desarrollo de las reservas de la biosfera del norte de México.

el este a lo largo de la falla del Cerro Bola. La sedimentación de pie de monte en el bloque montañoso probablemente comenzó poco después del levantamiento y ha continuado hasta el presente, creando una amplia planicie de escaso relieve. Los únicos rasgos que se levantan sobre esta planicie son cuestras bajas subyacidas por gravas de canal de la Formación Las Quiotentas y montes abruptos subyacidos por las rocas volcánicas de la misma Formación. Durante el Pleistoceno Tardío y el Holoceno se desarrollaron depósitos de pie de monte locales y abanicos aluviales alrededor de los cerros, y se formaron localmente dunas de arena en la planicie.

## RESUMÉ

La carte géologique de La Flor couvre une partie du Bolsón de Mapimí, au nord-est du Mexique. 10 km à l'ouest du point d'intersection des limites des états de Chihuahua, Coahuila et Durango. Malgré son apparence d'un bolsón typique reposant sur des sédiments quaternaires, en réalité l'aire étudiée représente un relief montagneux avec développement de glaciais, assis sur des roches volcaniques et sédimentaires tertiaires basculées.

Les roches les plus anciennes sont des calcaires marneux et des grès en corrélation supposée avec les Couches Soledad du Crétacé supérieur ou Tertiaire inférieur. Ces roches affleurent seulement dans le Cerro Amarillo où elles se présentent sous la forme d'un dôme.

La Formation Las Quiotentas du Tertiaire (Oligocène-Miocène?) se compose de trois faciès: un faciès de grès, de calcaires et de marnes, un autre faciès de conglomérats caillouteux, et un faciès volcanique. Dans ce dernier on trouve, par ordre d'ancienneté décroissante, basalte, andésite et brèche andésitique, puis rhyolite.

Les roches quaternaires comprennent des dépôts de piemont et des alluvions du fond des bassins; dépôts des éventails alluviaux; dépôts éoliens; alluvions des camaux, des plaines d'inondation et des terrasses; dépôts locaux de piemont; et couches basaltiques.

Les traits structuraux les plus importants sont la faille du Cerro Bola, une faille normale orientée vers le nord qui borde l'ouest du bloc levé, et le dôme du Cerro Amarillo (environ 10 km de diamètre) qui se trouve dans la partie sud de la zone.

Une série de bassins endoréiques s'est formée au Mexique après l'orogénèse Laramide de l'Éocène ancien et moyen, par déplacement des blocs structuraux le long des failles ou par l'interruption des systèmes de drainage par suite du volcanisme. Un bassin avec ces caractéristiques a été rempli, dans la zone de La Flor et ses environs, par des sédiments fluviaux et lacustres, et, localement par des couches de basalte, rhyolite et andésite. Les sédiments sont principalement limono-sableux de couleur rose avec des cailloux calcaires de couleur grisâtre. Ces dépôts constituent la Formation Las Quiotentas. La période de remplissage du bassin s'est probablement terminée durant le Miocène ou le Pliocène, lorsque les deux tiers orientaux de la zone se sont levés et basculés vers l'est, le long de la faille du Cerro Bola. Le façonnement d'un glaciais sur le bloc montagneux a débuté vraisemblablement peu après la surrection et il se continue aujourd'hui, créant une grande plaine avec très peu de relief. Les seuls reliefs qui se dressent sur cette plaine sont des *cuestras* basses reposant sur des chenaux de cailloux de la Formation Las Quiotentas et des éléments orographiques a relief énérgique assis sur des roches volcaniques de la même Formation. Pendant le fin du Pléistocène et l'Holocène des dépôts de piemont et éventails alluviaux se sont développés autour des éléments orographiques, et se sont formées localement des dunes de sable dans la plaine.

## ABSTRACT

The La Flor Quadrangle is in the Bolsón de Mapimí of northeastern Mexico, 10 km west of the common corner of the States of Chihuahua, Coahuila and Durango.

Although the area has the appearance of a typical bolsón underlain by Quaternary basin fill, it actually represents a pedimented mountain block underlain by tilted Tertiary (Oligocene-Miocene?) sedimentary and volcanic rocks.

The oldest rocks in the study area are shales and sandstones tentatively correlated with the upper Cretaceous or lower Tertiary Soledad Beds. They are found only at Cerro Amarillo where they have been exposed in a domal feature.

The Tertiary (Oligocene-Miocene?) Las Quiotentas Formation is composed of three facies: a sandstone, siltstone, claystone facies, a pebble to boulder conglomerate facies, and a volcanic facies. The volcanic facies is made up of, in order of decreasing age, basalt, andesite and andesite breccia, and rhyolite.

Quaternary rocks include pediment and basin floor alluvium; alluvial fan deposits; eolian deposits; channel, floodplain, and terrace alluvium; local pediment deposits; and basalt flows.

The main structural features of the area are the Cerro Bola fault, a north-trending dip-slip fault that borders the uplifted mountain block on the west; and the Cerro Amarillo dome, approximately 10 km in diameter, exposed on the mountain block in the southern part of the area.

After the Laramide orogeny of early and middle Eocene time, a series of interior drainage basins was formed in Mexico by block faulting or volcanic damming of drainage systems. In the La Flor Quadrangle and vicinity, a basin of this type filled with fluvial and lacustrine sediments and, locally, flows of andesite, basalt, and rhyolite. The sediments are dominantly pink sandy silt and gray gravel composed of limestone clasts. These basin deposits are the Las Quiotentas Formation. The period of basin filling probably ended in Miocene or Pliocene time when the eastern two-thirds of the area was uplifted and tilted east along the Cerro Bola fault. Pedimentation of the mountain block probably began soon after uplift, and has continued to the present, creating a broad plain of low relief. The only features rising above this plain are low *cuestas* underlain by Las Quiotentas channel gravels and steep-sided hills underlain by Las Quiotentas volcanic rocks. During the late Pleistocene and Holocene local pediments and alluvial fans have developed around the hills, and sand dunes have formed locally on the plain.

## INTRODUCTION

The eastern half of the La Flor quadrangle lies in Durango and Chihuahua, west of the common corner of Durango, Chihuahua, and Coahuila in the Bolsón de Mapimí. The area is in the central part of the Chihuahuan Desert, and the physiography is typical of the Basin and Range province.

This report is primarily devoted to a discussion of the Cenozoic stratigraphy, structure and geomorphology of the study area. Plate 1 is a geologic map of the area.

### Location and Accessibility

The eastern half of the La Flor Quadrangle straddles the Durango-Chihuahua border 10 km west of their common corner with Coahuila (Fig. 1). The area mapped lies between latitude 26°30' and 26°45' N. and longitude 103°40' and 103°50' W., and it includes approximately 460 square kilometers. As indicated by the title, the study area is covered by the DETENAL 1:50,000 La Flor Quadrangle.

The entire study area lies within the Mapimi Biosphere Reserve, Durango, Mexico, one of UNESCO's Man and the Biosphere Reserves.

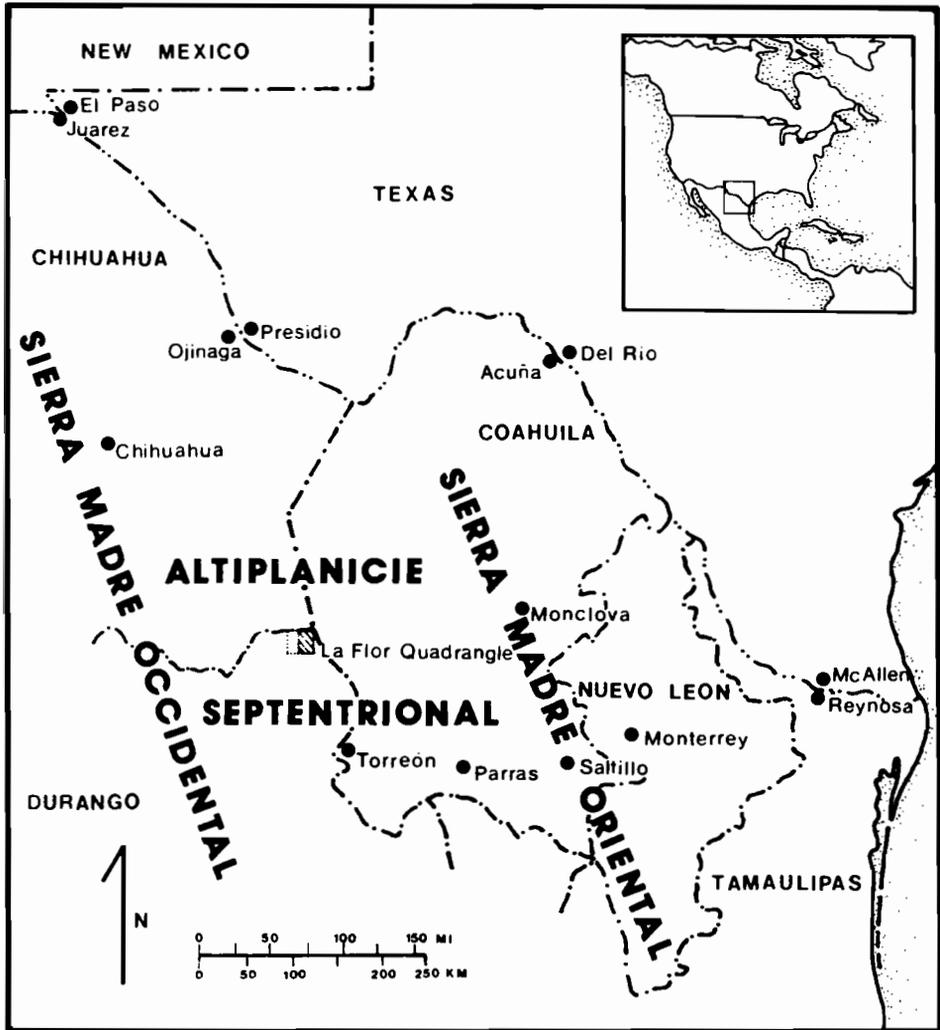


Figure 1. Index map of northeast Mexico. Eastern half of the La Flor Quadrangle is shown by a solid line.

Access into the area is by several unimproved dirt roads: from Las Tortugas to the south, from Carrillo to the north, and the La Flor-Las Lilas road running east-west through the approximate center of the area (Fig. 2). PEMEX seismic roads trending roughly north-south and east-west are laid out in a grid pattern at 4 to 5 km intervals. Some of these PEMEX roads have become major routes for the local inhabitants.

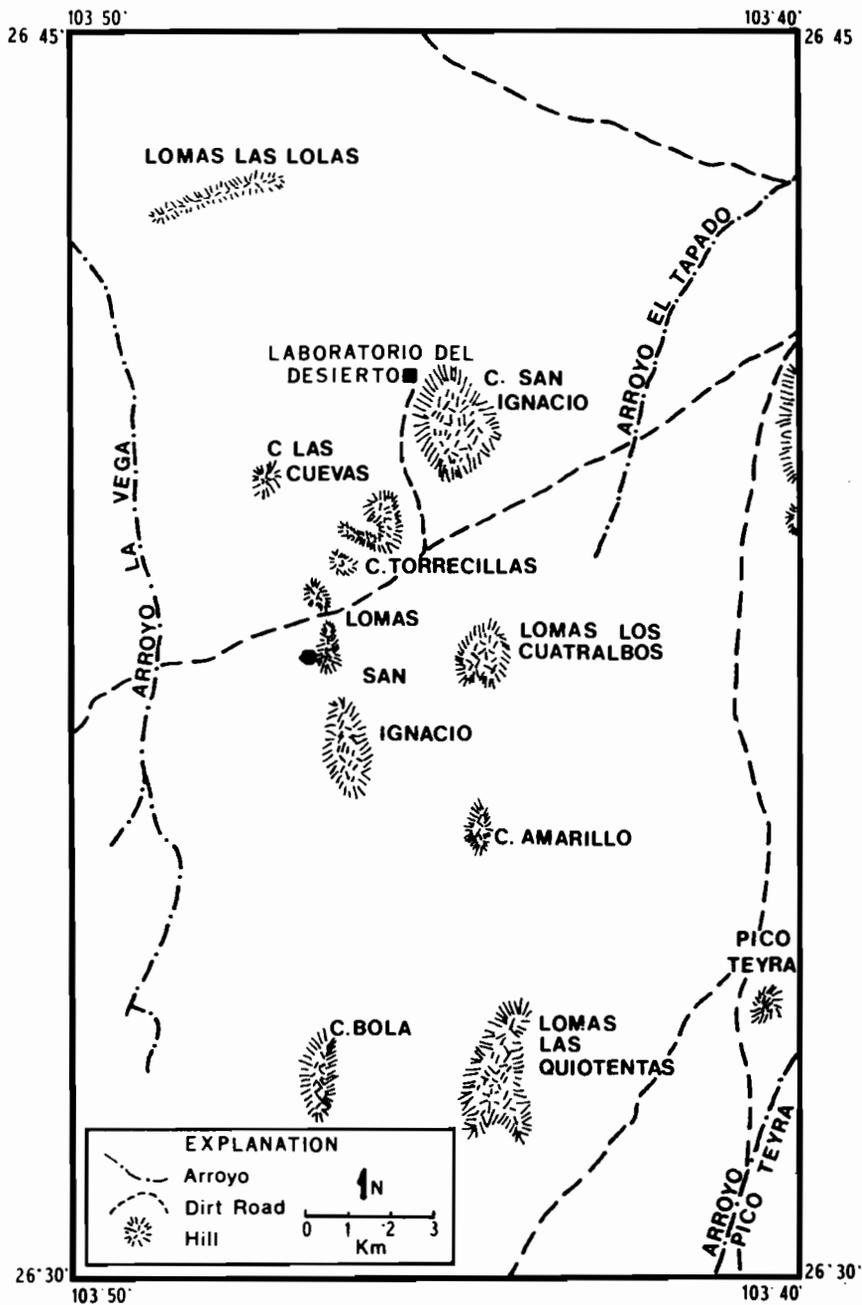


Figure 2. Major topographic features and roads in the eastern half on the La Flor Quadrangle.

## Physiography

The area lies on the Altiplanicie Septentrional (northern plateau) of Mexico about midway between the Sierra Madre Occidental on the west and northern ranges of the Sierra Madre Oriental on the east. The area is within the Bolsón de Mapimí, a large region of closed drainage that is actually composed of several smaller subbasins. Topography within the area is typical of the Basin and Range province of northern Mexico and the southwest U.S.

The eastern half of the La Flor quadrangle is mostly a flat plain with isolated *cerros* (hills), *lomas* (small rounded hills or *cuestas*) and *cuestas* (Fig. 2). The area is drained by three main *arroyos*, with numerous small tributaries. Maximum relief in the area is 370 m. The point of greatest altitude is Cerro San Ignacio (1,480 m); the lowest point is on Arroyo La Vega in the northwest corner of the area. The average altitude of the basin floor is 1,150 m.

The plain or topographic basin floor is mainly underlain by dipping tan to red sands, silts, and clays of the Las Quiotentas Formation. The surface gradient is on the order of 6.6 m per km. The slope is generally west, northeast, or southeast, depending on the drainage system.

*Cerros* in the area are generally underlain by Tertiary volcanic rocks, though Cerro Amarillo is underlain by Cretaceous or Tertiary sandstone. The *cerros* are all surrounded by alluvial fans.

*Lomas* and *cuestas* are generally underlain by limestone gravels of the Las Quiotentas Formation, though the Lomas San Ignacio are underlain by Tertiary volcanic rocks. The *lomas* and *cuestas* range in length from several meters to 4 km, and in relief from less than a meter to 50 m.

All of the *arroyos* of the area are entrenched, and each of the three main *arroyos* of the area belongs to a different watershed. Each watershed drains to a *playa*, though all three are known as *lagunas*. Arroyo La Vega drains into the Laguna Palomas, 8 km to the northwest. El Tapado drains into the Laguna del Rey, 33 km to the northeast. The Picoteria drains into the Laguna Puerto Rico, 25 km to the south.

## Geologic Setting

The area is in the Chihuahua Basin (Mexican Geosyncline) just west of the Coahuila Platform/Island (Fig. 3). The Parras Basin lies to the south, and the Cretaceous Canal lies to the north (Peterson, 1985, p. 6).

The rocks of the study area are not intensely deformed, because of their proximity to the Coahuila Platform, though Basin and Range-style faulting has occurred in the area.

The Sierra Madre Occidental, composed mostly of Tertiary volcanic rocks lies approximately 150 km to the west, and trends roughly north-northwest. The Sierra Madre Oriental, composed mostly of highly deformed Cretaceous limestones and shales lies approximately 100 km to the east, and also trends roughly north-northwest.

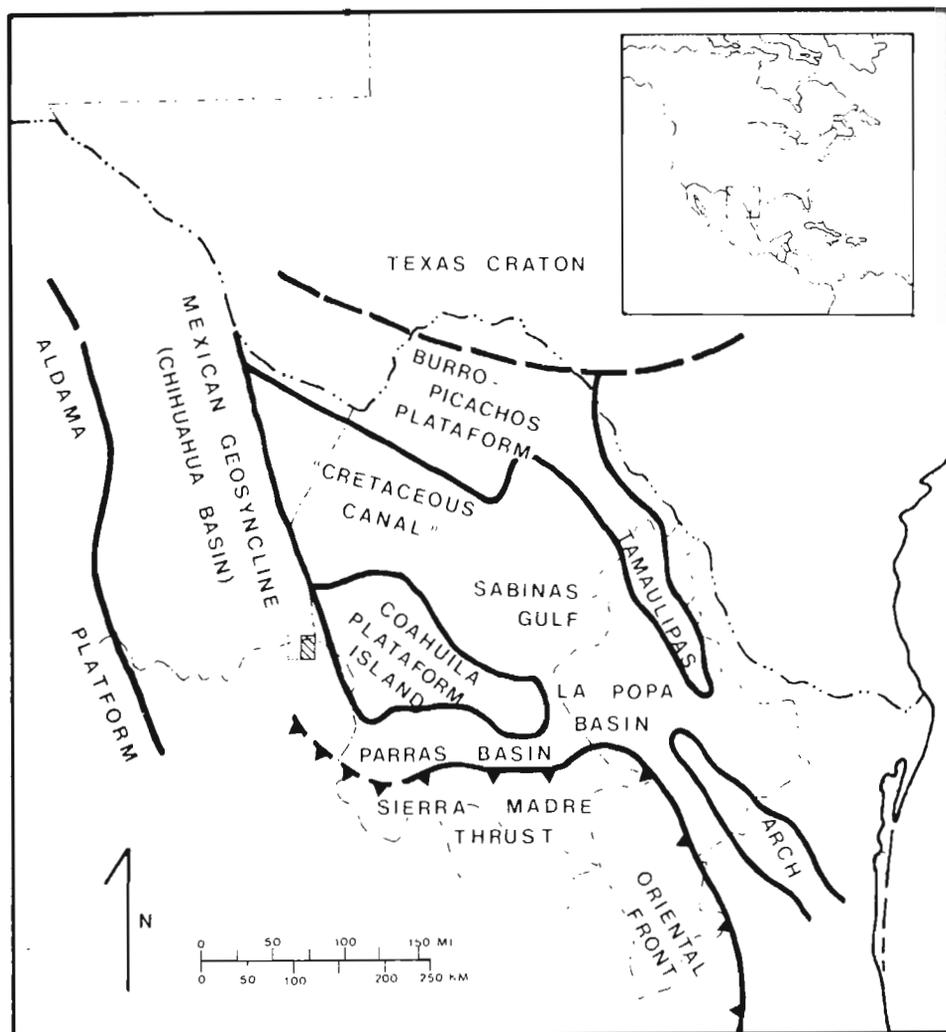


Figure 3. Tectonic map of northeast Mexico showing regional basins and uplifts. The eastern half of the La Flor Quadrangle is shown by a solid line. (From Peterson, 1985, p. 6).

### Previous Work

Very little geologic work has been done in the Reserve. The area was first described by Haarmann (1913). Later, Janensch (1926) wrote a paper on the dinosaur fossils Haarmann found on his 1912 trip along the railroad line near Rancho La Soledad.

Schulze (1953), described the Tertiary terrestrial sediments of the Comarca Lagunera. More recently Breimer (1985) has published a report on the soils and geomorphology of the Reserve. A lithologic map of the La Flor Quadrangle has been published by the Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL), now the Dirección General de Estudios del Territorio Nacional (DETENAL). Hawley (1969, p. 131-142) described the geomorphology of a similar region in Chihuahua, and his geomorphic terminology is followed in the present paper.

### **Acknowledgements**

This investigation was made with assistance from the Instituto de Ecología and the Instituto de Antropología e Historia, Departamento de Prehistoria. Carlos Montaña of the Instituto de Ecología, provided information in the field and office on soils and botany. Leticia González of the Departamento de Prehistoria provided assistance in the field with archaeological data. Antoine Cornet and Richard Breimer were sources of information through several helpful conversations. Thanks is due to the entire staff of the Laboratorio del Desierto for their hospitality and assistance. Robert Sawwell, West Texas State University, furnished technical assistance in the preparation of the maps. Finally, special thanks to Wayne Lambert, West Texas State University, for field assistance, advice, and helpful criticism of the manuscript.

### **STRATIGRAPHY**

Rocks in the study area range in age from upper Cretaceous or lower Tertiary to Quaternary. The stratigraphy of the area is outlined in Figure 4.

#### **Cretaceous or Tertiary Rocks**

##### **SOLEDAD BEDS**

The Soledad Beds were first described by Haarman (1913), along the railroad between Escalón, Chihuahua and Sierra Mojada, Coahuila. This railroad line trends northeast approximately 25 km north of the study area. Imlay (1944, pp. 1105, 1169), describes the Soledad Beds as consisting of red, green, and gray marls at the base, with sandstones, shales, sandy shales, and conglomerates above. The sandstones are locally cross-bedded, and in places are quartzitic. The conglomerate contains dinosaur fossils, in addition to limestone, andesite, and rhyolite clasts.

The only exposure of the Soledad Beds in the area is at Cerro Amarillo which is near the center of the Cerro Amarillo dome, a sharply defined structural uplift approximately 6 km in diameter.

AGE	FORMATION OR UNIT	MAXIMUM THICKNESS (METERS)	DESCRIPTION
LATE QUATERNARY	Eolian Deposits <sup>a</sup>	10	Sand
	Younger alluvial fan deposits <sup>a</sup>	30	Boulder to sand sized clasts in mud matrix
	Channel, floodplain, and terrace alluvium <sup>a</sup>	2.5	Sand and silt, with minor amounts of clay
	Pediment and basin floor alluvium <sup>a</sup>	20(?)	Mostly silt, with clay and sand
EARLY TO LATE QUATERNARY	Local pediment deposits	1.5	Boulder to sand sized clasts in mud matrix
	Older alluvial fan deposits	15	Boulder to sand sized clasts in mud matrix
QUATERNARY OR TERTIARY	Mohovano Formation <sup>b</sup>	30(?)	Basalt, gravels and tuffaceous sands
TERTIARY	Las Quiotentas Formation <sup>b</sup>	1000(?)	3 facies: sandstone, siltstone and claystone; pebble to boulder conglomerate; and volcanics
TERTIARY OR CRETACEOUS	Soledad Beds	120	Quartzitic sandstone, siltstone, and arkose

<sup>a</sup> These units are at least partially contemporaneous.

<sup>b</sup> Informal name.

Figure 4. Stratigraphy of the eastern half of the La Flor Quadrangle, Durango and Chihuahua, Mexico.

Minimum thickness of the Soledad Beds in the study area is 120 m. On the east side of Cerro Amarillo, the Soledad Beds are disconformably overlain by the Las Quiotentas Formation. West of Cerro Amarillo they are in fault contact with the Las Quiotentas Formation.

The Soledad Beds at Cerro Amarillo are composed of a yellow quartz sandstone, which is interbedded upward with a red sandy siltstone, which in turn is interbedded upward with a red arkosic sandstone.

The yellow quartz sandstone is fairly consistent in texture and composition. It is a yellow to greenish gray well-sorted medium grained quartz sand well cemented with quartz cement. Grains are generally rounded or well-rounded. Some exposures exhibit cross-bedding or flaser bedding, though alteration has obscured other internal structures. Maximum thickness in the study area is 50 m.

Above the quartz sand is a well-sorted, poorly-cemented siltstone. The color is grayish red and bedding is from 30 cm to 3 m. No other sedimentary structures are evident. The siltstone weathers into rounded breccia-like spheroids. The maximum thickness is on the order of 40 m.

The uppermost rock in the Soledad Beds at Cerro Amarillo is a moderately-sorted, moderately-cemented arkose. It is generally pale brown, and bedding is in the range of 1 cm to 3 cm. Some cross-bedding is evident. Maximum thickness is approximately 30 m.

The Soledad Beds at Cerro Amarillo have been hydrothermally altered, accounting for the wide range of colors found here. This alteration may have occurred during the doming episode.

No fossils were collected from the Soledad Beds within the study area, though numerous vertebrate fragments were collected from sandstones of the Soledad Beds near Rancho La Soledad north of the area. These fragments seem to have been reworked in the course of deposition, and for this reason none were complete enough to allow identification except as "Mesozoic reptile." However, Janensch (1926, p. 192), upon examining some fragments from near Rancho La Soledad, found them to be a variety of Ceratopsian. Since the fossils do seem to have been reworked, they are of little use in determining the age of the Soledad Beds.

The lower Soledad Beds seem to be predominantly a littoral facies which grade upward into a fluvial facies. This is suggested by the transition from a well-sorted, cross-bedded, quartz sandstone to a cross-bedded arkosic sandstone. This apparently indicates the transition from marine to terrestrial deposition during the Laramide orogeny. The quartz sands of the lower Soledad Beds were probably shed from the Coahuila Island during the Cretaceous, while the arkose of the upper Soledad Beds probably represents the detritus generated from the rapid uplift of mountain ranges during the Laramide.

The age of the Soledad Beds is not known with certainty. Haarmann (1913, p. 25), assigns an age of Danian (early Tertiary) to them, while Imlay (1944, p. 1086) gives them an age of Maestrichtian to Campanian (late Cretaceous).

Imlay (1944, p. 1084-1086) correlates the Soledad Beds to the late Cretaceous and early Tertiary Méndez Shale and Difunta Group.

## Tertiary Rocks

### LAS QUIOTENTAS FORMATION

The major basin-filling unit in the Reserve area can be divided into three facies: a sandstone, siltstone, claystone facies (hereafter called the siltstone facies), a pebble to boulder conglomerate facies (hereafter called the conglomerate facies), and a volcanic facies. The conglomerate facies and volcanic facies occur as lenses and disconnected bodies within the siltstone facies. The formation is exposed throughout the area, and is here informally called the Las Quiotentas Formation for Lomas Las Quiotentas, a large *cuesta* in the southern part of the area, where the siltstone facies and conglomerate facies of the formation are well exposed. The volcanic facies is particularly well exposed in Cerro San Ignacio, the dominant topographic feature in the area.

The Las Quiotentas Formation underlies about three-fourths of the study area, though in most places it is covered by a thin veneer (up to 2 m thick) of Quaternary alluvium. The numerous *cuestas* in the area are held up by the conglomerate facies. The siltstone facies underlies much of the plain and is also generally exposed in the *cuestas* under the conglomerate. The isolated hills in the area are underlain by the volcanic facies. North of the area, the formation rests disconformably on the older Soledad Beds; whereas to the east, it grades upward into the gravels and basalts of Mohavano described by Schulze (1953, p. 30-35). In the western part of the area, the Cerro Bola fault, a north-south trending dip-slip fault, truncates the Las Quiotentas Formation. West of this fault, the formation and older units are overlain by an unknown thickness of upper Cenozoic basin fill.

The thickness of the Las Quiotentas Formation is difficult to determine due to the low dip and poor exposure, but overall thickness is about 1,000 m.

The siltstone facies is the most abundant of the three facies. It ranges in color from red, to pink, to gray, to buff. Fresh samples are moderately consolidated and typically break into breccia-like blocky spheroids. Bedding is very subtle, ranging from 2-10 cm to the order of 50 m. Other sedimentary structures appear to be absent. Gypsum is common as secondary stringers, up to 1 cm thick. At one location on Lomas Las Quiotentas (UTM 13RFV264363) there is massive bedded gypsum of the alabaster variety, up to 18 cm thick.

The siltstone facies weathers into unconsolidated sands, silts, and clays, with an appearance similar to Quaternary sediments derived from the siltstone facies. For this reason, in some places, it is difficult to draw the contact between this facies and overlying Quaternary sediments.

The conglomerate facies occurs as channel fills within the siltstone facies. Approxi-

mately 96-99 percent of the clasts are limestone, with igneous rocks composing most or all of the remainder. Flint is found in some localities, though it composes less than 1 percent of the clasts. Clast size ranges from less than 1/2 to 60 cm, and most are rounded to well-rounded. Sedimentary structures seen in fresh exposures include poorly developed imbrication and graded bedding. In most localities the cement has been removed and the clasts are found lying loose on the surface. In fresh exposures the clasts are seen to occur in a calcite-cemented matrix of sand, silt, or clay. Typically the matrix makes up about 40 percent of the rock. Many of the exposed limestone clasts have developed karren structure due to solution weathering.

The volcanic facies consists of andesite, basalt, and rhyolite flow rocks, pyroclastic sediments, and epiclastic sediments derived from the volcanic materials. Small bodies of intrusive rocks are present locally.

Extrusive andesite underlies all or part of Cerro San Ignacio, Cerro Torrecillas, Cerro Las Cuevas, Pico Teyra, and Lomas San Ignacio. Some minor intrusions are also andesite. The andesite ranges in color from medium gray to very dusky red, and in texture from vesicular, to trachytic, to a flow breccia. The greatest thickness, 170 m, occurs at Cerro San Ignacio.

Olivine basalt occurs in the volcanic sequence at Cerro San Ignacio, and in minor intrusions. It is grayish black, and contains olivine phenocrysts up to 2 mm. The groundmass is aphanitic. The best exposures are above the spring on the north end of Cerro San Ignacio (UTM 13RFV253512), where the basalt is 90 m thick.

Cerro Bola is the only locality in the area at which rhyolite is found. The rhyolite is pale yellowish brown, with plagioclase phenocrysts. Biotite phenocrysts make up 1 percent of the rock. No flow texture is visible. Minimum thickness is about 150 m.

The rocks of the Las Quiotentas Formation represent the filling of a closed basin during Tertiary time. The basin formed during the Laramide orogeny either by tectonic means or by volcanic damming of the drainage. Alluvial fans formed against the range enclosing the basin and graded outward into the sands, silts and clays of the basin floor. These sediments were transported mainly by sheetwash, and compose the siltstone facies of the Las Quiotentas Formation. The bedded gypsum found in the siltstone facies represent *playa* deposits within this closed basin. Such *playa* deposits were probably the source for the secondary gypsum found throughout the siltstone facies.

As the Laramide further lifted the Cretaceous rocks to the east and south, or during periods of increased precipitation, coarser sediments were introduced into the basin in rivers or streams as channel gravels, which now compose the conglomerate facies of the Las Quiotentas Formation. These rivers also may have contributed sediments to the siltstone facies in the form of overbank deposits.

Approximately midway through the period of basin-filling, during mid-Tertiary time (Oligocene<sup>2</sup>), volcanics were extruded in the area. The volcanic and associated rocks are interbedded with the other facies of the Las Quiotentas Formation.

No fossils were found in the formation and no volcanic rocks were dated. However, an age of Oligocene to Miocene(?) has been assigned to the Las Quiotentas Formation based on the following evidence. Edwards (1955) describes red conglomerates from central Mexico, and Singewald (1936, pp. 1158-59) describes a consolidated gravel associated with *caliche* near Mapimí, Durango. Both of these gravels appear to be similar to the conglomerate facies of the Las Quiotentas Formation. Edwards (1955, p. 182) reports that the gravels in central Mexico were deposited in closed Tertiary basins during late Eocene and early Oligocene time. Singewald (1936, pp. 1158-59) states that near Mapimí the gravel is of stream or alluvial fan origin, and that its age is "early Pleistocene or older." The Lomas Las Quiotentas formation is probably equivalent to these conglomerates to the south. This correlation is made on the basis of similarity of stratigraphic position, depositional history, and lithology.

## Tertiary or Quaternary Rocks

### MOHOVANO FORMATION

The Mohovano Formation occurs as a sequence of interbedded sand, gravel, and amygdaloidal basalt in a small range lying just east of and parallel to the northern half of the eastern boundary of the study area. These rocks, informally called the Mohovano Formation for Rancho Mohovano, were first described by Schulze (1953, p. 33-34). Only three limited exposures of the Mohovano Formation extend into the area.

Red to black amygdaloidal basalt with calcite-filled vesicles is the only unit of the Mohovano Formation which extends into the area. Schulze (1953, pp. 33-34) describes the entire sequence at Mohovano. At the base, gravels similar to the conglomerate facies of the Las Quiotentas Formation are found. Overlying these is a sandy, tuffaceous sediment with clasts of what appear to be Las Quiotentas volcanic rocks. Above this unit are amygdaloidal basalts, overlain by rounded clasts of what appear to be Las Quiotentas volcanic rocks.

One explanation for the origin of these sediments is that the basal gravel is a gravel of the conglomerate facies of the Las Quiotentas Formation deposited near the end of the basin filling episode. The sandy tuffaceous sediment and amygdaloidal basalt represent a period of uplift and volcanism prior to the main uplift and block-faulting episode, possibly related to the doming of Cerro Amarillo. Finally, during the main episode of uplift and block-faulting, sediment derived from the Las Quiotentas Formation was deposited on the lower units.

Schulze (1953, p. 33) states that most of the basalt came from Cerro San Ignacio, which would make it contemporaneous with the Las Quiotentas volcanic facies. The present author however, assigns a younger age to the Mohovano basalt flows on the basis of lithology, stratigraphic position and relation to the dikes around Cerro Amarillo. Hence, the Mohovano sequence is probably upper Tertiary (Miocene-Pliocene?).

## Quaternary Rocks

### OLDER ALLUVIAL FAN DEPOSITS

The older alluvial fan deposits occur in high, inactive, dissected alluvial fans on the northeast side of Cerro San Ignacio and between the two southernmost hills of Lomas San Ignacio. These fans have surface 15 m above modern streams. Minimum thickness for alluvium in these fans is 15 m.

The older alluvial fan deposits consist of volcanic and limestone clasts in a mud matrix. The color of the matrix is red, pink, gray or buff. The lithology of the clasts match that of the hill from which the fan was derived. In addition, rounded limestone clasts derived from the conglomerate facies of the Las Quiotentas Formation are found in these fans. Moderate cementation has occurred as the result of *caliche* formation.

No fossils or datable material were found in the older alluvial fan deposits, but their appearance and position above modern drainage suggests that they are upper Pleistocene.

### LOCAL PEDIMENT DEPOSITS

Local pediments stand above the widespread modern pediment and consist of older, high pediment surfaces of limited extent on the northeast and southwest sides of Cerro San Ignacio. These remnants have generally flat surfaces, and stand 10-20 m above the streams which dissect them. The sediments associated with the pediments are *caliche*-cemented colluvium and alluvium that rest upon the siltstone facies of the Las Quiotentas Formation.

The thickness of the local pediment deposits ranges from 1 to 1½ m.

The local pediment deposits consist of volcanic clasts from Cerro San Ignacio in a red to buff mud matrix, with a very few limestone clasts from the Las Quiotentas conglomerate facies. The unit is well cemented by *caliche* development. The basalt and limestone clasts both provide a source of calcium carbonate for *caliche*. No bedding or other sedimentary structures were noted.

The position of the local pediment deposits above modern drainage suggests that they are upper Pleistocene.

### PEDIMENT AND BASIN FLOOR ALLUVIUM

Basin floor and pediment alluvium here refers to the sediment filling the basin west of the Cerro Bola fault, and to the thin veneer of pediment alluvium presently being transported over the Las Quiotentas Formation east of the fault. The two units are grouped together because sediments are transported across the pediment before being deposited on the basin floor, lithologically, the sediments are virtually the same. If the two deposits were differentiated on the basis of geomorphic environment, the contact

would be along the Cerro Bola fault. However, no lithologic or age difference would exist, creating an artificial division.

Pediment and basin floor alluvium are found throughout most of the study area, though they are best developed to the west and south. Pediment alluvium is found east of the Cerro Bola fault, while the basin floor alluvium is found to the west.

Because pediment and basin floor alluvium are predominantly derived from the eroded Las Quiotentas siltstone facies, it is very difficult to differentiate the alluvium from the siltstone facies. Sediment in transit across the modern pediment probably has a maximum thickness of 1-2 m, as exposed in *arroyos*. A minimum thickness of 20 m of basin floor deposits is exposed in one hand-dug well (UTM 13RFV204475).

The pediment and basin floor alluvium are composed of red, pink, gray or buff unconsolidated sands, silts and clays. In places the alluvium contains small crystals of gypsum.

The pediment and basin floor alluvium is derived mainly from the siltstone facies of the Las Quiotentas Formation, though all other rocks in the drainage contribute sediment also. This sediment is transported by sheet and rill wash across the pediment east of the Cerro Bola fault, and then deposited in the graben west of the fault. Consequently, deposition of these sediments probably began with the original faulting along the Cerro Bola fault.

The age of the presently exposed pediment and basin floor deposits is most certainly Quaternary, as they are currently undergoing transport and deposition. Hence, they are among the very youngest Quaternary deposits described here.

#### CHANNEL, FLOODPLAIN AND TERRACE ALLUVIUM

Channel, floodplain and terrace alluvium includes sediments being transported and deposited in the *arroyos* and alluvium underlying low alluvial terraces along the *arroyos*. All of the streams in the area are ephemeral. Consequently deposition and transportation only occur when runoff fills the *arroyos*. The width of these deposits can vary from several meters to several kilometers.

*Arroyos* and the accompanying channel, floodplain, and terrace alluvium are found throughout the area, though the greatest areal extent of these sediments is found around the Arroyo La Vega. Along the major *arroyos* 1-2 low alluvial terraces can be distinguished.

The channel, floodplain, and terrace alluvium lies unconformably upon the underlying rock, mainly the Las Quiotentas Formation and interfingers with the pediment and basin floor alluvium. The maximum exposed thickness is 2.5 m in the Arroyo La Vega.

The channel, floodplain, and terrace alluvium is coarser than the adjoining pediment and basin floor alluvium because the channelized flow allows larger particles to

be transported. Consequently, the channel, floodplain, and terrace deposits tend to contain not only larger grains of sand, but more sand proportionally.

Channel, floodplain, and terrace deposits range from gray brown to buff colored sands to red, gray brown or buff colored sands, silts and clays. They are unconsolidated, and the sedimentary structures includes ripple marks, graded bedding, flaser bedding, mudcracks and cut and fill structures. The channel and terrace alluvium are generally coarser than the outlying floodplain alluvium.

The channel, floodplain, and terrace alluvium are derived from all of the older rocks of the area. It includes reworked limestone clasts and volcanics from the Las Quiotentas Formation, and various sediments from the pediment and basin floor alluvium and the Las Quiotentas siltstone facies. Transport of the sediment is by channelized flow in the *arroyo*. Channelized *arroyos* probably originated during the Quaternary when a change to more arid conditions caused entrenching of the drainages. However, because they are currently active, they are among the youngest units in the area.

#### YOUNGER ALLUVIAL FAN DEPOSITS

Younger alluvial fan deposits make up the active, undissected alluvial fans found on and around all of the volcanic hills and Cerro Amarillo. The surface of these younger fan deposits grade down to the present streams, and lies up to 15 m below the older, inactive alluvial fans. Minimum thickness is on the order of 20 to 30 m.

The younger alluvial fan deposits consist of volcanic or limestone clasts in a mud matrix. The color of the matrix is red, pink, gray or buff. The lithology of the clasts match that of the hill from which the fan was derived. In addition, reworked limestone clasts derived from the conglomerate facies of the Las Quiotentas Formation are found in these fans, though in smaller amounts than in the older fans. Sparse carbonate accumulation in the form of *caliche* has lightly cemented the deposits in places.

The older and younger alluvial fans suggest changing conditions, possibly from either a drier climate or tectonic adjustment in the basin. Either or both factors could cause dissection of the older fan surface, and new fan accumulation at a lower level.

The younger alluvial fan deposits are Quaternary, and since they are active, are among the youngest deposits present in the study area.

#### EOLIAN DEPOSITS

Eolian deposits in the study area occur as sand dunes ranging in height from less than 1 m to 10 m. Sand of two ages is found in some of the dunes. The older sand has a slightly indurated soil developed in its upper part. The younger, active sand occurs above this soil. The two ages of sand were not differentiated for the present work.

Eolian deposits are found throughout the area. The largest dunes are irregular in form, and are found in the north and east-central parts of the area. Coppice dunes are especially abundant in the west.

Maximum thickness of the eolian deposits is about 10 m, the height of the tallest dune.

The eolian deposit are made up of red to buff, unconsolidated, very fine sand. Sand-sized gypsum particles are found, presumably from Laguna Palomas to the northwest. Many of the dune sands contain fragments of wet weather terrestrial snails. Sedimentary structures present are ripple marks and cross bedding. Rock fragments up to 40 cm on some dunes represent scattered Indian hearths.

Dunes become larger and better developed north of the area suggesting a northerly source for the sand. To the north the sand-rich Soledad Beds are better exposed (Breimer, 1985, p. 10) and the northerly dunes are more directly west of Laguna Palomas, probably a major source of windblown sediment. Conceivably the dunes are derived from both sources.

The eolian deposits are Quaternary in age.

## GEOLOGIC STRUCTURE

### General Structure

The study area is composed of two main structural elements: an uplifted block to the east and a downdropped block on the west separated by the Cerro Bola fault. Beds within the uplifted block generally dip  $5^{\circ}$ - $10^{\circ}$  in an easterly direction.

Some exceptions to the regional dip are found in the areas around Cerro Amarillo, south of Lomas Las Quiotentas, and north of Cerro Las Cuevas.

### Faults

#### THE CERRO BOLA FAULT

A major fault in the study area is the north-south trending Cerro Bola Fault, named here for the *cerro* it truncates. The exact location of the fault cannot be determined with accuracy except on the west side of Cerro Bola where a very steep, well-defined fault scarp exists. Elsewhere, the fault is covered by Quaternary sediments, and its position can only be fixed within several kilometers.

The Cerro Bola fault is a dip-slip fault with the western block downthrown. If the angle indicated by the fault scarp on the western side of Cerro Bola is typical of the entire fault, the fault is probably normal.

The fault is probably related to Pliocene or Pleistocene block faulting in the southwestern United States and northern Mexico during the Basin and Range Orogeny.

## MINOR FAULTS

On the east side of Cerro Amarillo (UTM 13RFV256421) slickensides are found indicating faulting. Examination of these north-south trending faults suggests that they are too small to map, and represent small scale adjustments in response to the doming of the area.

## Folds

### CERRO AMARILLO DOME

A domal feature approximately 6 km across north-south occurs in the vicinity of Cerro Amarillo. The feature is defined by the discontinuous *cuestras* which wrap around the north, east, and west sides of Cerro Amarillo, and dip away from the center of the feature. To the west the dome has apparently been truncated by the Cerro Bola fault. The oldest rocks exposed in the center of the dome are of the upper Cretaceous or lower Tertiary Soledad Beds. The youngest rocks deformed are of the Tertiary Las Quiotentas Formation. The deformation was probably caused by a stock-like igneous intrusion, or by movements related to the Cerro Bola fault. If produced by igneous intrusion the doming probably occurred during the Oligocene-Miocene phase of volcanism.

### OTHER FOLDS

North of Cerro Las Cuevas is a small eastward plunging syncline, defined by the strike and dip of the *cuestras* around UTM 13RFV200520. The V-shaped pattern of the structure is apparent on the surface for only 1 km west of the apex as defined by the *cuestras*. Here, at its widest point, the structure is 1 km across.

South of Lomas Las Quiotentas, the strike and dip of the beds as indicated by the *cuestras* is multi-directional. No discrete large-scale structural feature is discernible. Possibly the folding is related to deformation associated with the northern end of the Sierra La Campana 11 km to the east.

## GEOLOGIC AND GEOMORPHIC HISTORY

During late Cretaceous or early Tertiary time, the Soledad Beds were deposited in first a shallow marine and later a terrestrial environment. The Laramide Orogeny of early and middle Eocene time deformed these rocks into a series of interior drainage basins throughout Mexico (Edwards, 1955, p. 182). In the vicinity of the La Flor Quadrangle, one of these basins began filling with Oligocene(?) fluvial and lacustrine sediments, the Las Quiotentas Formation. In later Oligocene or Miocene time, as this

basin-filling continued, volcanic flows of andesite, basalt, and rhyolite were erupted, and were interbedded with the sediments. The doming of the Cerro Amarillo area was probably caused by an intrusion during the later stages of this volcanism.

Basin-filling continued until the Basin and Range Orogeny in Pliocene(?) time, when the eastern two-thirds of the area was uplifted and tilted to the east along the Cerro Bola fault. The present landscape began to develop at this time as the rocks on the uplifted block began to be eroded and the sediment deposited on the downfaulted block west of the fault. As erosion of the less resistant siltstone facies of the Las Quiotentas continued throughout the Quaternary, the more resistant La Soledad Beds and the conglomerate and volcanic facies of the Las Quiotentas Formation began to stand in relief above the developing pediment on the uplifted block. Local pediments and alluvial fans formed at the base of the hills and *cuestas*.

Climatic change, regional uplift, or perhaps movement along the Cerro Bola fault caused dissection of the older fans, and local pediments around Cerro San Ignacio. Later, younger alluvial fans formed at lower levels. Successive regrading of the widespread pediment, especially by sheet wash and scarplet retreat, has continued to the present.

During the present period of denudation the *arroyos* and associated sediments and the sand dunes have formed. All are apparently active. Minor climatic fluctuations have occurred during this present period as evidenced by entrenching of the *arroyos* and the slightly indurated soil in the dunes. These apparent climatic fluctuations have not greatly affected the landscape.

#### REFERENCES CITED

- BREIMER, R. F., 1985. *Soil and landscape survey of the Mapimí Biosphere Reserve, Durango, México*. UNESCO Regional Office for Science and Technology for Latin America and the Caribbean. Montevideo, Uruguay, 85 p.
- EDWARDS, J. D., 1955. Studies of some early Tertiary red conglomerates of central México. *U.S. Geological Survey Professional Paper* 264-H, 185 p.
- HAARMANN, E. 1913. Geologische Streifzüge in Coahuila. *Zeitschr. Deutsche Geol. Gesell.* 65: 18-47.
- HAWLEY, J. W., 1969. Notes on the geomorphology and late Cenozoic geology of northwestern Chihuahua. In: Cordoba, Diego A., Wengard, Sherman A., and Shomaker, John, eds., *Guidebook of the Border Region*. New Mexico Geological Society, Twentieth Field Conference, Guidebook, pp. 131-142.
- IMLAY, R. W., 1944. Cretaceous formations of Central America and Mexico. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists* 28(8): 1077-1195.
- JANENSCH, W., 1926. Dinosaurier-reste aus Mexiko. *Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie*. Abt. B. 6: 192-197.
- PETERSON, J. A., 1985. Petroleum geology and resources of northeastern Mexico. *U.S. Geological Survey Circular*, 943, 30 p.
- SCHULZE, G., 1953. *Conglomerados Terciarios Continentales en la Comarca Lagunera de Durango y Coahuila y sus relaciones con fenómenos ígneos, geomorfológicos y climatológicos*. Instituto Nacional para la Investigación de Recursos Minerales, México, D.F., 52 p.
- SINGEWALD, Q. D., 1936. Igneous phenomena and geologic structure near Mapimí. *Bulletin of the Geological Society of America* 47(7): 1150-1176.







# Major Vegetation and Environment Units

CARLOS MONTAÑA Y RICHARD F. BREIMER

## RESUMEN

En este trabajo se describen las grandes unidades de vegetación y ambiente de la Reserva de la Biosfera de Mapimí y su área de influencia, definidas sobre la base de geomorfología, suelos y vegetación. Los límites de las unidades fueron determinados a partir de la fotointerpretación de pares estereoscópicos blanco y negro (escala 1:65,000) y color (escala 1:25,000), y corregidos posteriormente sobre la base de controles de terreno. La superficie cartografiada es de 172,000 ha y la escala de trabajo fue de 1:250,000. Se reconocieron siete unidades (o zonas) para cada una de las cuales se da, además de una breve descripción, la superficie que ocupa y un bloque diagrama mostrando los principales elementos del paisaje presentes.

Las unidades I (Playa sur) y II (Playa norte) están constituidas básicamente por un relieve llano formado por la acumulación de sedimentos aluviales y lacustres. Los suelos son de texturas finas y presentan grados variables de salinidad. En la Playa norte, dunas de yeso fósiles rodean por el este y sudeste a la Laguna de Palomas, quien representa el nivel de base de la cuenca endorreica del mismo nombre. La vegetación está constituida por pastizales que presentan una cobertura variable de arbustos o por matorrales abiertos.

La unidad III (Bajadas y cerros de origen ígneo y sedimentario) comprende un conjunto de sierras, cerros altos, lomadas y sus respectivas bajadas. Dentro de éstas se distingue una porción superior y una inferior. Las bajadas superiores son los abanicos aluviales coalescentes que se encuentran al pie de los elementos orográficos. Las pendientes generalmente no sobrepasan el 2% y el escurrimiento es encauzado cerca de las montañas, dando paso a un escurrimiento no encauzado o en napa pendiente abajo. La vegetación consiste en matorrales, a veces con abundancia de especies suculentas. Las bajadas inferiores representan la continuación de las bajadas superiores pendiente abajo. Las pendientes normalmente no superan el 1% y la vegetación se presenta concentrada en manchones con forma de arco cuyo eje principal es siempre perpendicular a la pendiente.

Tanto la zona de transición cólica-fluvial (unidad IV) como la zona de dunas (unidad V) forman parte de una extensa planicie asentada sobre afloramientos de arenisca. El paisaje de la unidad IV presenta rasgos del paisaje fluvial que domina hacia el sur y del paisaje eólico que domina hacia el norte. El elemento dominante es la bajada arenosa que puede ser dividida en bajadas arenosas cubiertas con arcos de vegetación y bajadas arenosas de deflación en su mayor parte desprovistas de vegetación y cubiertas con un pavimento del desierto no muy bien desarrollado.

La unidad V (Zona de dunas) está constituida por extensos campos de dunas asentadas sobre una planicie arenosa. Las dunas se presentan formando una red que divide dicha planicie en depresiones interdunas más o menos interconectadas. La vegetación típica de las dunas

es un matorral abierto mientras que las depresiones interdunas están generalmente vegetadas por comunidades arbustivas que presentan a veces un importante estrato de gramíneas.

La Unidad VI (Bajadas y sierras de origen calcáreo) está constituida por las serranías que se encuentran al este de la zona estudiada y sus correspondientes bajadas. Las bajadas superiores no superan en general el 2% de pendiente y están vegetadas por comunidades arbustivas. Las bajadas inferiores poseen pendientes más bajas (1-2%) y están vegetadas por mosaicos de manchones densos de vegetación arbustiva rodeados por matorrales abiertos.

La unidad VII (Mesa de basalto) corresponde a una colada basáltica del Pleistoceno superior originada en volcanes situados al este del área de estudios. Su vegetación es dominada por suculentas y leñosas.

## RESUMÉ

Dans ce travail sont présentées les unités de paysage de la Réserve de la Biosphère de Maimi et de ses environ. Ces unités ont été définies en prenant en compte la géomorphologie, les sols et la végétation. Les limites des unités ont été déterminées au préalable par photointerprétation des images panchromatiques (échelle 1:65.000) et couleur (échelle 1:25.000) et ensuite précisées par des relevés de terrain. La surface cartographiée est de 172.000 ha et l'échelle de travail a été de 1:250.000. Pour chacune des unités identifiées sont donnés la surface occupée, une description brève et un bloc-diagramme qui montre les principaux éléments du paysage.

Les unités I (*Playa sud*) et II (*Playa nord*) sont constituées par un relief plat résultant de l'accumulation de sédiments alluviaux et lacustres. Les sols ont une texture fine et présentent des degrés variables de salinité. Dans la zone de *Playa nord*, des dunes gypseuses fossiles bordent à l'est et au sud-est la Laguna de Palomas qui représente le niveau de base du bassin endoréique du même nom. La végétation de ces deux unités est formée soit de pâturages à couverture variable d'arbustes, soit par des steppes arbustives ou sub-arbustives.

L'unité III (*Bajadas et cerros* d'origine ignée ou sédimentaire) est constituée par des zones de relief et leurs respectives *bajadas* où l'on distingue une partie supérieure et une partie inférieure. Les *bajadas* supérieures sont formées par des dépôts alluviaux coalescents se trouvant aux pieds des éléments orographiques. Les pentes sont généralement inférieures à 2% et le ruissellement se concentre dans des ravines à l'amont, qui passe graduellement à un ruissellement en nappe vers l'aval. La végétation est constituée par des formations arbustives, avec abondance parfois d'espèces succulentes. Les *bajadas* inférieures représentent la continuation des *bajadas* supérieures vers l'aval. Les pentes sont généralement inférieures à 1% et la végétation se présente comme une brousse tigrée, c'est-à-dire comme une alternance de zones à très faible couverture et de formations végétales denses en forme d'arc, dont l'axe principal est perpendiculaire à la pente.

La zone de transition de modelé éolien-fluviatil (unité IV), ainsi que la zone de dunes (unité V), font partie d'une grande plaine développée sur des affleurements de grès. Le paysage de l'unité IV inclue des éléments du paysage à modelé fluvial qui domine vers le sud et du paysage éolien qui domine vers le nord. L'élément dominant est la bajada sableuse qui peut être divisée en *bajada* à arcs de végétation (brousse tigrée), et en *bajada* de déflation presque dépourvue de végétation et couverte par un pavement du désert peu développé.

L'unité V (zone de dunes) est formée par de vastes complexes dunaires reposant sur une plaine sableuse. Les dunes forment un réseau dense divisant la plaine en espaces interdunaires plus ou moins interconnectés. La végétation typique des dunes est une formation arbustive ouverte, tandis que les dépressions interdunaires sont généralement occupées par des communautés arbustives avec parfois une strate de graminées très importante.

L'unité VI (*Bajadas et sierras calcaires*) est formée par les reliefs qui se trouvent à l'est de la zone d'étude et leurs respectives *bajadas*. Les *bajadas* supérieures ont des pentes générale-

ment inférieures à 2% et la végétation y est formée par des communautés arbustives. Les *bajadas* inférieures ont des pentes plus faibles (1-2%) et sont occupées par des mosaïques de formations végétales denses entourées de formations ouvertes.

L'unité VII (Plateau de basalte) correspond à une coulée de basalte du Pléistocène supérieur provenant des volcans situés à l'est de la zone d'étude. La végétation est dominée par des succulentes et ligneuses.

#### ABSTRACT

In this paper the major vegetation and environment units of the Mapimi Biosphere Reserve and of its surrounding areas are described on the base of landforms, soils and vegetation. The boundaries of the units were determined by interpretation of aerial photographs using black and white (scale 1:65,000) and colour (scale 1:25,000) stereoscopic pairs. This first interpretation was subsequently corrected by control observations on the field. The mapped surface is 172,000 ha, and the scale of work was 1:250,000. Seven units (or zones) were recognized. The total area, a brief description and a block diagram of the main landscape elements are given for each unit.

Units I (Southern *playa* zone) and II (Northern *playa* zone) are formed by a basically plain relief formed by the accumulation of alluvial and lacustrine sediments. The soils have fine textures and present variable degrees of salinity. In the northern *playa* zone, fossil gypsum dunes surround the Laguna de Palomas by the east and southeast. This lake (Palomas) represents the base level of the closed Mapimi basin. The vegetation in these units is formed by grasslands with a variable shrub cover or by an open shrubland.

Unit III (*Bajadas* and hills of igneous and sedimentary origin) is formed by a set of orographic elements and their respective *bajadas*. Within these, an upper and a lower portion can be distinguished. The upper *bajadas* are the coalescent alluvial fans at the foot of mountains, hills and hilly ranges. Slope gradients generally do not exceed 2% and runoff is confined to gullies near the mountains, giving way to sheet flow downwards. The vegetation consists of shrublands, sometimes with a high abundance of succulent species. The lower *bajadas* are the continuation of the upper *bajadas* towards the floodplains and the *playa*. Slope gradients normally do not exceed 1%. The vegetation here is organized in dense arc-shaped patches whose principal axis is always perpendicular to the slope of the terrain.

The transition zone (unit IV) as well as the dunes zones (unit V) are part of an extensive plain over folded sandstone, formed by the abrasive action of wind transported sand. His landscape presents features of both the fluvial landscape to the south and the mainly colian landscape to the north. The dominant element, sandy *bajada* plain, can be divided into sandy *bajadas* covered with "vegetation arcs" and the deflated sandy plains, mostly deprived of vegetation and covered with a weakly developed "desert pavement".

Unit V (Dunes zone) is constituted by extensive dune fields over a sandy plain. The dunes form a dense network of ridges over the sandy plain, dividing it into many more or less interconnected interdunal flats. The typical dune vegetation is a scrub, while the interdunal flats are usually vegetated by shrubby communities sometimes with an abundant grass stratum.

Unit VI (*Bajadas* and *sierras* of calcareous sedimentary origin) is made up of orographic elements and their corresponding *bajadas*. The upper *bajadas* form a 2% pediment-like piedmont plain vegetated by shrubby communities. The lower *bajadas* are slightly sloping (1-2%) plains vegetated by a mosaic of dense shrubby patches surrounded by a sparser scrub.

Unit VII (Basaltic lava zone) corresponds to an upper Pleistocene basaltic lava flow originated by volcanoes located just outside the study area boundary. Their vegetation is dominated by succulent and woody species.

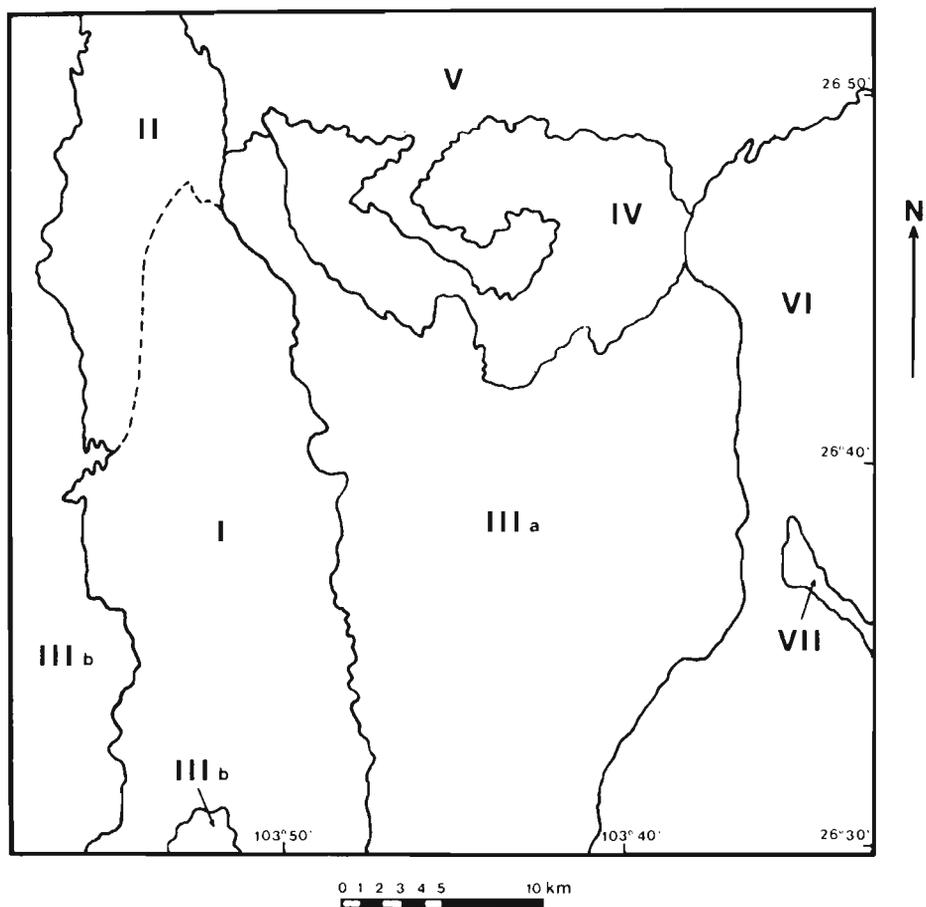
## INTRODUCTION

This paper describes the major vegetation and environment units of the Mapimi Biosphere Reserve and of its area of influence. These units have been identified as a result of a multidisciplinary research effort towards the ecological zonation of the reserve taking into account landforms, soils and vegetation. Conceptually, the identified units can be conceived as belonging to a given level of perception within an ideal hierarchical system of perception levels (an ecological perception pyramid *sensu* Long 1974). This level of perception is narrowly linked to the scale of our field work and of the resulting cartographic representation. In this particular research the study area comprises 172,000 ha and the scale of our work was 1:250,000. Our main objective was to describe the biotic resources of the reserve by subdividing the area according to the combined characteristics of landforms, soils and vegetation.

Our approach is similar in many aspects to the "land systems" approach used by the Division of Land Use Research of CSIRO, Australia (e.g. Austin and Basinki 1978). This type of multidisciplinary study is essentially based on a multi-attribute classification (in our case using landforms, soils and vegetation) through the extensive use of aerial photographs and a minimum field sampling effort. Preliminary boundaries are identified on the aerial photographs and the field work is limited to the minimum number of samples necessary to validate or to correct the initial categories. The basic assumption behind this approach is that landscape attributes are interdependent, tend to occur in correlated sets and are therefore more or less predictable. In our case this study involved the reelaboration at a different level of synthesis of the information gathered for the landforms and soils map (see Breimer 1985 and this volume) as well as that gathered for study of vegetation-environment relationships (see Montaña, this volume).

Two sets of stereoscopic pairs (panchromatic black and white scale 1:65,000 and colour scale 1:25,000) were used for photointerpretation. The topographic map of the area was drawn based on standard maps (scale 1:50,000) published by the Dirección General de Geografía del Territorio Nacional (formerly Comisión de Estudios de Territorio Nacional-CETENAL) of the Secretaría de Programación y Presupuesto (Secretary for Planning and Budget).

Methodological details on the field work and on landform classification and coding used in the following descriptions can be found on the chapters of this volume already cited. Figure 1 and Table 1 present the distribution and areas of the identified units. Figures 2 to 7 show idealized block diagrams of each unit and indicate their main landscape features.



- I. Southern *Playa*
- II. Northern *Playa*
- III. *Bajadas* and Hills of Igneous and Sedimentary Origin
  - a. Central
  - b. West
- IV. Transition between Eolian and Fluvial Landscape
- V. Dunes Zone
- VI. *Bajadas* and *Sierras* of Calcareous Origin
- VII. Basaltic Lava Zone

Figure 1. Major vegetation and environment units.

TABLE 1

Areas of the major vegetation and environment units.

ZONES	AREA	
	HA	%
I	30,823.89	17.92
II	10,674.94	6.21
IIIa	47,103.18	27.39
IIIb	16,012.41	9.31
IV	15,211.79	8.84
V	22,017.07	12.80
VI	29,356.09	17.07
VII	800.63	0.46
	<hr/> 172,000.00	<hr/> 100.00

## DESCRIPTION OF THE UNITS

**Zone I: Southern Playa Zone**

Zones I and II are located in a tectonic *graben*, filled up with a series of sediments, partly in a lacustrine environment. The lacustrine origin explains the generalized presence of gypsum in all *playa* environments. The *playa* area actually forms the base level of the erosional landforms of the western half of the study area, located in the Laguna de Palomas Basin, where fine sediments and soluble salts accumulate. Sediments in this area are clayey, saline and sodic and contain variable quantities of gypsum.

The Laguna de Palomas with its gypsum dunes to the east and floodplains to the west has been separated from the southern *playa* zone, due to its special characteristics.

The southern *playa* zone is characterized in general by a very flat topography (overall slope gradients do not exceed 0.2%) and locally a somewhat irregular microrelief. This zone includes four elements (Figure 2): the *playa* plain, flat floodplains without incised stream channels (physiographic unit Vsc), floodplains with distinct stream channels (physiographic unit Vcc), and interfluves.

The *playa* plain shows a gradient of increasing salinity and sodicity from south to north (EC of 4-8 in the south to over 16 mS/cm in the north), deep soils with a clay subsoil, normally enriched in secondary gypsum and lime. Two exceptional areas oc-

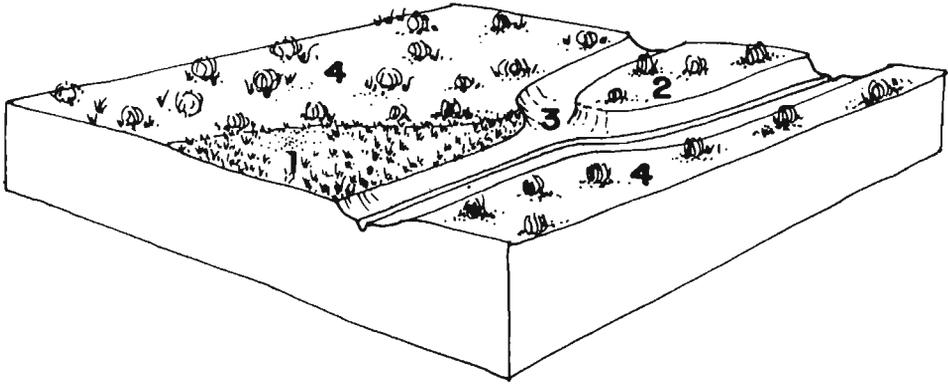


Figure 2. Schematic block diagram of the Southern *playa* zone (Zone I).

- Elements: 1 *Vega* (Vsc-type floodplain)  
 2 Interfluvic  
 3 Stream channel (Vcc-type floodplain)  
 4 *Playa* plain

cur within the *playa* plain: a zone where subsidence phenomena are combined with a polygonal vegetation pattern (Delhoume *et al*, 1983) and a "tongue" of non to slightly saline soils with an indurated subsurface layer of secondary gypsum (mapping unit Pps). Showing generally a grassland physiognomy with a variable but always low shrub cover, the vegetation of the *playa* plain is a mosaic of different plant communities characterized by three strata. The upper stratum is very open and consists of shrubs of up to two meters tall with dominance of *Prosopis glandulosa*, *Atriplex canescens* and/or *Suaeda nigrescens*. The second stratum (50 cm tall) is occupied by perennial grasses (*Hilaria mutica* and exceptionally *Sporobolus airoides*) and by a low shrub (*Atriplex acanthocarpa*). The third stratum (less than 20 cm tall) is occupied by low herbaceous perennials or by desert annuals. The tongue of non to slightly saline soils with a subsurface gypsum layer described above presents a creosote bush (*Larrea tridentata*,) dominated scrub which does not occur on the rest of the *playa*.

The floodplains show a grassland vegetation dominated by *Sporobolus airoides*, *S. spiciformis* and, to a lesser extent, by *Hilaria mutica*. It may have a very open shrubby stratum dominated by *Prosopis glandulosa*. Along stream channels this species may grow to a tree size.

Most floodplains situated north of the line between Cerro Apartado and the lake San Carlos have incised stream channels. The same S-N gradient of increasing salinity is found here too, but with higher values than in the *playa* plain. Along the actual La Vega floodplain small patches of grasslands occur; salinity is higher than in the adja-

cent floodplain, because of capillary accumulation. The same counts to a certain extent for the bordering *playa* area, where gully erosion is cutting its way into the *playa* plain (physiographic unit Pss). Soils of these floodplains are deep, increasingly clayey, saline and sodic to the north and locally show weak cracking and slickensides, characteristic for Vertisols.

### Zone II: Northern *playa* Zone

The northern *playa* zone includes four elements (Figure 3): the actual Laguna de Palomas with its bordering salt flats; the *vegas* (Vsc floodplains) to the west and south; the gypsum dunes to the east and south and some isolated patches of the *playa* plain.

The Laguna de Palomas, although a perennial lake, changes considerably in extension throughout the year. The salt flats, deprived of vegetation or with a shrubby and very open vegetation usually dominated by *Allenrolfea occidentalis* and *Suaeda suffrutescens*, may get flooded during exceptionally rainy summers.

The *vegas* bordering the lake are flat, strongly saline areas occupied by grasslands and with deep, heavy clay soils, often cracking and with slickensides (Vertisols and Solonchaks, FAO/UNESCO classification). Dominant grasses are *Sporobolus airoides*, *S. spiciformis* and *Hilaria mutica*. In these grasslands a shrubby stratum of variable cover, usually dominated by *Prosopis glandulosa*, may be found. The most saline habitats show an open shrubland dominated by *Allenrolfea occidentalis* and *Atriplex acanthocarpa*.

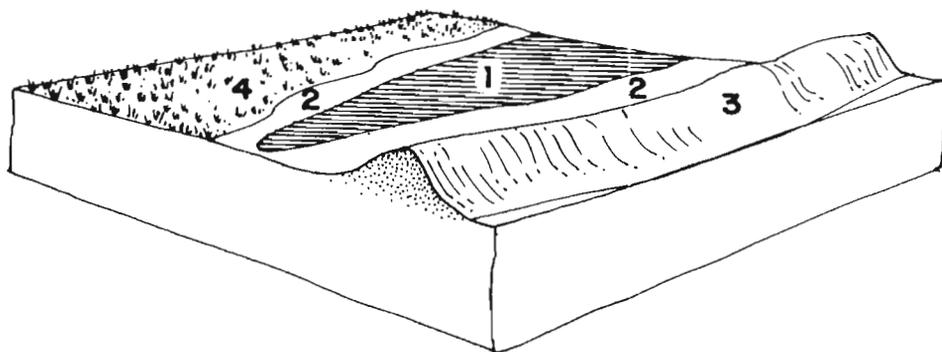


Figure 3. Schematic block diagram of the Northern *playa* zone (Zone II).

- Elements: 1 Laguna de Palomas  
2 Salt flats  
3 Fossil gypsum dunes  
4 *Vega* (Vsc-type floodplain) and *playa* plains

The floodplains at greater distance from the lake that border the western *bajadas*, are non to moderately saline and sodic, with deep clay loam to clay soils.

The dunes bordering the lake (about 20 m high) are composed of very gypsiferous sand, blown up out of the lake beds and partly covered by a cap of indurated secondary gypsum. This fact suggests that the dunes are rather old fossil dunes, possibly of early Pleistocene or even older age. The isolated hills south of the lake, consisting of the same material, are probably erosion remnants of the same formation. Soils of the gypsum dunes are generally slightly saline and sodic, but salinity is very heterogeneous and may be locally high. Secondary gypsum accumulation, locally developed as thick indurated caps, is widely observed in these soils. The most widely distributed plant community is a scrub dominated by *Larrea tridentata* with a lower stratum dominated by *Haplopappus heterophyllus*.

The remaining patches of the *playa* plain are often affected by desiccation due to nearby deep drainage, giving rise to salt ascension and perishing of the vegetation (mapping unit Pss). Only small parts of the unaffected *playa* plain occur between the *bajadas* in the west and the *vegas* in the east. Soils here are deep, slightly saline and sodic, clay loam to clay soils, often with a secondary gypsum accumulation.

### **Zone III: Bajadas and Hills of Igneous and Sedimentary Origin**

This zone, located in the central and western part of the study area, can be considered a unity, as the constituting volcanic and sedimentary rocks as well as landforms are basically the same. Four landforms have to be distinguished (Figure 4): the orographic elements, composed of mountains, hills and their surrounding colluvial foot-slopes (physiographic units S, H, L and F); the upper *bajadas*; the lower *bajadas* and the floodplains.

The orographic elements are normally vegetated by shrubby communities having *Larrea tridentata* and *Fouquieria splendens* as dominant species (or, less frequently, *Larrea tridentata* and *Yucca rigida*). In some cases succulent species (*Opuntia microdasys*, *O. rastrera*, *Agave asperrima*, *A. lecheguilla*) may codominate with *L. tridentata*. All orographic elements have shallow and/or stony soils. Slope gradients are generally over 10% in these landforms and the main constituting rocks types are conglomerates (hilly landforms), basalt, andesite, acid volcanic rocks, volcanic breccia and tuff. Only one inselberg of sandstone occurs at Cerro Amarillo.

The upper *bajadas* (physiographic units Bpg and Bg) are the coalescent alluvial fans at the foot of mountains, hills and hilly ranges. Slope gradients generally do not exceed 2% and runoff is confined to gullies near the mountains, giving way to sheet flow downward. Soils are deep, gravelly, sandy loam to clay loam, which may show secondary lime accumulation and locally a clay subsoil. Shrublands of *Larrea tridentata* and *Fouquieria splendens* are very common although they are sometimes replaced by a community dominated by *Larrea tridentata* and *Opuntia rastrera*.

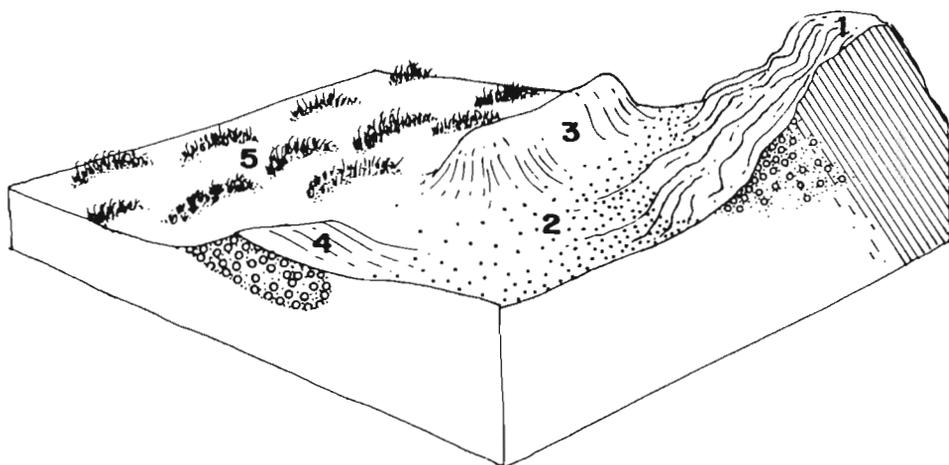


Figure 4. Block diagram of the unit: *Bajadas* and hills of igneous and sedimentary origin (Zone III).

- Elements: 1 Mountain of igneous rocks  
 2 Gravelly upper *bajada*  
 3 Conglomerate ridge (hog-back)  
 4 Asymmetric conglomerate hill (*cuesta*)  
 5 Lower *bajada* with vegetation arcs

The lower *bajadas* are the continuation of the upper *bajadas* towards the floodplains and the *playa*. Slope gradients normally do not exceed 1% and soils are generally slightly gravelly, deep, slightly to moderately saline and sodic at depth, loam to clay loam with secondary lime and locally gypsum accumulation and in areas bordering the *playa* with a clay subsoil. The vegetation here is organized in dense arc-shaped patches whose principal axis is always perpendicular to the slope of the terrain. These arcs are dominated by *Prosopis glandulosa* and *Hilaria mutica*, and are surrounded by a sparse scrub dominated by *Larrea tridentata* and *P. glandulosa* or, towards the upper *bajadas*, by *L. tridentata* and *Opuntia rastrera*.

The floodplains of this zone generally have incised stream channels and deep, non to slightly saline and sodic, clay loam to clay soils. The El Tapado floodplain is notably more saline (often over 16 mS/cm) and has clay soils. The vegetation of these floodplains consists generally of grasslands dominated by *Hilaria mutica* with an open shrubby layer dominated by *Prosopis glandulosa*. In the western part of this zone the Vsc-type floodplains dominate, with deep, non to moderately saline and sodic, clay loam to clay soils. Some minor areas of Vcc floodplains occur in the north with deep, moderately to strongly saline and sodic clay soils.

### Zone IV: Transition Zone

The transition zone as well as the dunes zones are part of an extensive plain lying over folded sandstones, formed by the abrasive action of wind-transported sand. The fact that the transition zone shows extensive deflated areas with a "desert pavement" (physiographic unit Bd), whereas the dunes are found mainly in the north, suggests that SE to SW winds have been responsible for their formation. The landscape of the transition zone presents features of both the fluvial landscape to the south and the mainly eolian landscape to the north. Elements of both zones are encountered (Figure 5): ridges, hills of sandstone and volcanic rocks; extensive sandy *bajadas*; deflated sandy *bajadas*; dunes and floodplains.

Some parallel low ridges and hills of sandstone occur, product of the erosion of the folded sandstone, which are partly covered with dunes. Their upper *bajadas* are of little significance and are largely covered with dunes. Some isolated hills of volcanic rocks are found, between them the Espinazo del Diablo, an acid volcanic dyke, is the most important.

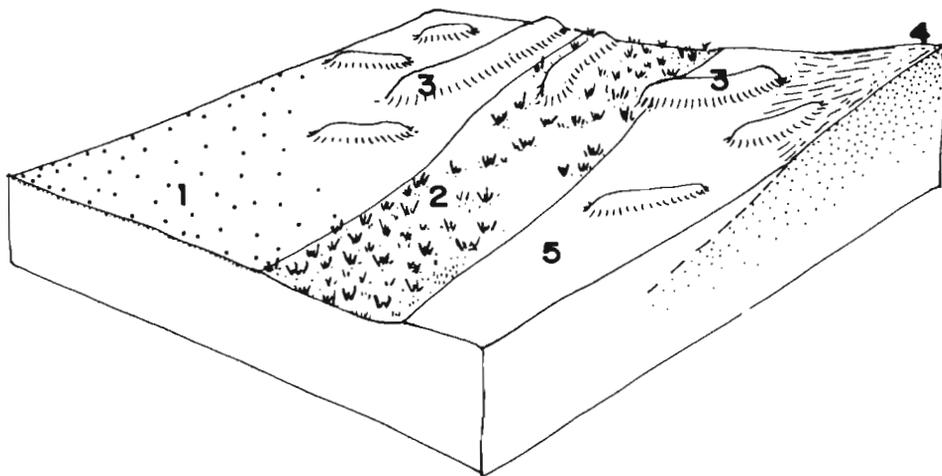


Figure 5. Schematic block diagram of the Transition zone (Zone IV).

- Elements: 1 Deflation plain (with desert pavement)  
2 Floodplain (Vsc-type)  
3 Dunes  
4 Flat sandstone hill or ridge  
5 Sandy *bajada*

The extensive sandy *bajada* plain can be divided into sandy *bajadas* covered with "vegetation arcs" and the deflated sandy plains, mostly deprived of vegetation and covered with a weakly developed "desert pavement". In the former the vegetation arcs are dominated by *Hilaria mutica*, *Opuntia rastrera* and *Prosopis glandulosa* and surrounded by an open scrub dominated by *Larrea tridentata*. In the deflated sandy plains, on the other hand, the bare areas are sometimes interrupted by irregular vegetated patches dominated by *Prosopis glandulosa* and *Hilaria mutica* or by *P. glandulosa* and *Sida leprosa*.

Large parts of the sandy *bajadas* are covered with dunes (mapping unit D + Bar). *Bajada* soils are deep, reddish brown, sandy loams to sandy clay loams, locally with a clay subsoil and in places saline. The deflation plain soils are basically the same, but with a more or less truncated profile and moderately to strongly saline and sodic at a certain depth.

The irregular longitudinal dunes are composed of sandy soils without profile development, but largely decalcified at the surface to at least 50 cm depth. These are the only noncalcareous soils of the study area, although lime is locally found in small quantities.

The floodplains in this zone are of the Vsc type and are composed of deep, brown to reddish brown, slightly saline clay loam to sandy clay loam soils. The vegetation usually presents a herbaceous stratum dominated by *Hilaria mutica* or *Sporobolus spiciformis* and a shrubby stratum dominated by *Prosopis glandulosa*.

### Zone V: Dunes Zone

The dunes zone is constituted by extensive dune fields over a sandy plain. Two major directions are found in the irregular longitudinal dunes: a NW-SE direction in all fields west of El Tapado floodplain and a NE-SW direction in the eastern dune fields. This suggests the influence of at least two important dune-building periods, possibly corresponding to interpluvials during the Pleistocene.

The dunes form a dense network of ridges over the sandy plain, dividing it into many more or less interconnected interdunal flats (Figure 6). Floodplains are largely absent in this environment as the permeable sand facilitates rapid infiltration and lateral water movement is mainly subterranean. The typical dune vegetation is a scrub dominated by *Dalea scoparia* and *Yucca elata* in the higher parts and by different combinations of *Acacia greggii*, *A. constricta*, *Lycium berlandieri* and *Larrea tridentata* in the lower parts. The interdunal flats are usually vegetated by shrubby communities dominated by *Prosopis glandulosa* and *Flourensia cernua*, sometimes with an abundant grass stratum dominated by *Hilaria mutica*. In some cases, particularly towards the east, *Opuntia rastrera* can be found as the dominant species in the low dunes, together with *Zinnia acerosa*.

Dune soils are as described above, whereas the interdunal flats have moderately deep to deep, reddish brown, sandy loam to sandy clay loam soils, often with a layer of secondary lime accumulation.

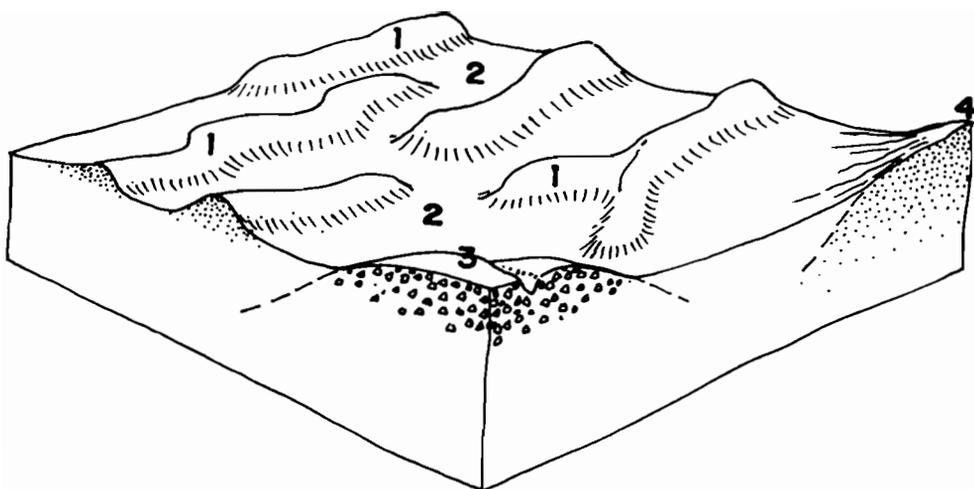


Figure 6. Schematic block diagram of the Dunes zone (Zone V).

- Elements: 1 Irregular longitudinal dunes  
 2 Interdunal flats  
 3 Flat hills of volcanic breccia  
 4 Flat sandstone hills or ridges

A large L-shaped sandstone ridge is found in the southern part of this zone, of which the upper *bajada* strips are heavily covered with dunes (mapping unit D + Bg1). This ridge forms the division between the Laguna de Palomas and the Laguna del Rey basins. Some hills and low hilly ranges of basalt, volcanic breccia and tuff are found west of El Cinco Viejo. The volcanic breccia/tuff ranges have generated a more or less extensive upper *bajada*, scattered with dunes, many of which are being eroded by runoff water descending in a parallel drainage pattern from the hills towards El Tapado floodplain (mapping unit D + Bg1). Soils here correspond to dune soils and upper *bajada* soils with a sand cover of variable thickness.

### **Zone VI: *Bajadas* and *Sierras* of Calcareous Sedimentary Origin**

The calcareous zone is different from the rest of the study area in that it is composed of various types of calcareous rocks: Cretaceous banded limestones with gypsum layers; calci-lutites or calcareous claystones and limestone-conglomerate. This last type of bedrock is found at the bases of the limestone mountains and is probably a Tertiary stream bed deposit, derived from similar Cretaceous limestones.

The calcareous zone is made up of six main elements (Figure 7): the limestone mountains; the conglomerate footridges; the calci-lutite hills; the upper *bajadas*; the lower *bajadas* and the floodplains. The limestone mountains are characterized by a strongly dissected relief with a high relief intensity (up to 300 m/km<sup>2</sup>) (relief intensity = maximum height difference of landforms per square km).

Sierra La Campana shows a preferential NW/SE direction of its gorges, corresponding with the dominant planes of rock cleavage, whereas in the Cerros Cipriano, this direction is E-W. Soils are very shallow to shallow and stony. The vegetation is dominated by shrubs and succulents like *Fouquieria splendens*, *Agave lecheguilla*, *Hechtia glomerata*, *Euphorbia antisyphilitica* and *Opuntia bradtiana*.

The conglomerate footridges (mapping unit Lc2), found at the base of Sierra La Campana and Cerros Cipriano are flat elongated footridges with a slope gradient of about 3%, with steeper lateral slopes towards gullies. Their vegetation is a scrub dominated by *Fouquieria splendens*, *Larrea tridentata* and *Cordia parvifolia*. Some isolated flat hills

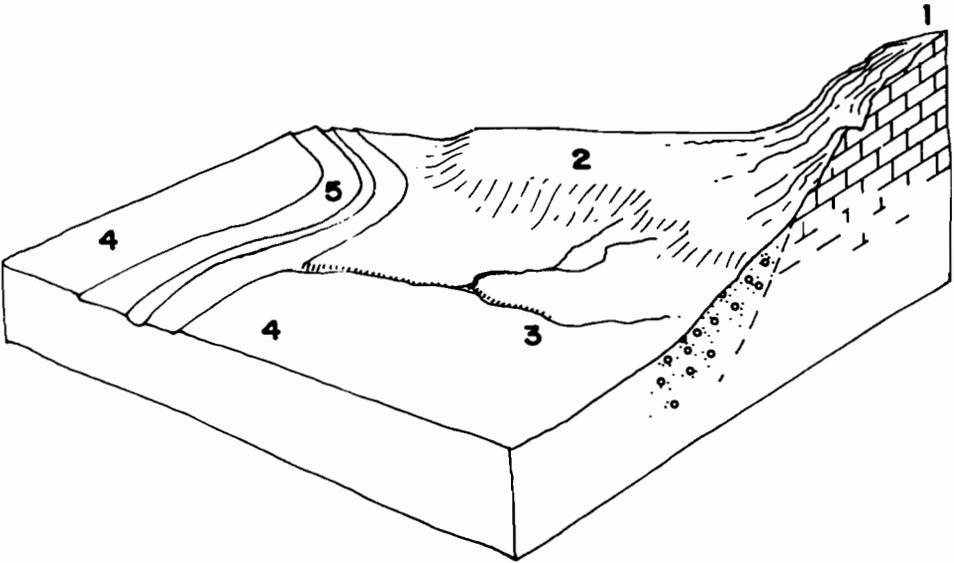


Figure 7. Schematic block diagram of the unit: *Bajadas* and *Sieras* of calcareous sedimentary origin (Zone VI).

- Elements: 1 Limestone mountains  
 2 Footridges of limestone-conglomerate  
 3 Upper *bajada*  
 4 Lower *bajada*  
 5 Floodplain (Vcc-type)

(with similar vegetation) of conglomerate occur west of the Arroyo Las Adjuntas floodplain, whereas Loma Blanca is a somewhat higher and steeper conglomerate hill whose vegetation is dominated by *Larrea tridentata* y *Agave asperrima*. Soils are shallow to moderately deep and stony. The calci-lutite hills vary in shape from rather pronounced hills such as Loma El Macho with shallow stony soils, via flat footridges to only slightly elevated plateau-like hills (mapping unit Lc3) with shallow, fine sandy loam to clay loam soils.

The upper *bajadas* form a 2% sloping pediment-like piedmont plain with shallow to deep, gravelly to stony loam soils with secondary lime accumulation (locally an indurated cap) in its upper part (mapping unit Fc3) and deep, clay loam to clay soils with a loamy topsoil in its lower part (unit Fc4). The vegetation here is composed by shrubby communities where *Fouquieria splendens*, *Larrea tridentata* and *Cordia parvifolia* are the most common species.

The lower *bajadas* are non-gravelly, slightly sloping (1-2%) plains with deep clay loam to clay soils with a loamy topsoil and secondary lime accumulation. The vegetation is a mosaic of dense patches dominated by *Prosopis glandulosa* and *Flourensia cernua*, surrounded by a sparser scrub where *Larrea tridentata* and *Cordia parvifolia* are the dominant species.

The floodplains are of the Vcc type with deep, non saline, clay loam to clay soils in their upper parts and deep, moderately to strongly saline and sodic clay soils further downstream. The vegetation is formed by *Hilaria mutica* grasslands with a woody stratum dominated by *Prosopis glandulosa*. In the Sierra La Campana, intermountainous floodplains are found in valley bottoms with deep, loam to sandy clay loam soils, often with a clayey subsoil.

## **Zone VII: Basaltic Lava Zone**

The basaltic lava zone is of minor importance in the study area, but due to its peculiar features it has been separated. It corresponds to one of three upper-Pleistocene basaltic lava flows originated by the Cerros Colorados volcanoes, located just outside the study area boundary. Because of the relative youth of these rocks (between 15,000 and 50,000 years) and the arid climate, the crystalized mass is still largely unweathered and only covered with calcareous dust from adjacent areas. Soils are shallow, very stony to bouldery, calcareous and with a loamy texture. Inside the basalt plateau some depressions occur, where more material was accumulated through eolian and surface wash processes and soils here are moderately deep to deep, medium-textured without much profile development. The vegetation is dominated by succulent and woody species like *Yucca torreyi*, *Larrea tridentata*, *Fouquieria splendens* and *Opuntia rastrera*.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors want to thank the Mexican Council for Science and Technology (CONACyT), the UNESCO and the International Soil Reference and Information Centre, Wageningen, The Netherlands (ISRIC) for financial assistance; and to J. Rzedowski for critical reading of the manuscript.

## REFERENCES

- AUSTIN, M.P. and J.J. BASINSKI, 1978. Bio-physical surveys techniques, pp. 24-34. *In*: Basinski, J.J. (ed.) *Land Use on the South Coast of New South Wales. Volume 1: General Report*. CSIRO. Australia, 130 p.
- BREMER, R.F., 1985. *Soil and landscape survey of the Mapimi Biosphere Reserve (Durango, México)*. UNESCO-MAB. Montevideo, 128 p.
- CETENAL, *Carta topográfica* (escala 1:50.000), hojas G13B54 Carrillo, G13B55 El Cinco, G13B64 La Flor, G13B65 Sierra del Zapatero. Secretaría de Programación y Presupuesto, México, D. F.
- DELHOUME, J.P., C. MONTAÑA, y A. CORNET, 1983. *Vegetation Patterns and Soils in the Mapimi Bolson (Chihuahuan Desert, México) II. Polygonal Patterns*. The Second Chihuahuan Desert Symposium, Alpine, Texas, october 1983. (In press).
- LONG, G., 1974. *Diagnostic Phyto-écologique et Aménagement du Territoire. I. Principes Généraux et Méthodes*. Masson, Paris, 252 p.

# Physiographic Soil Survey

RICHARD F. BREIMER

## RESUMEN

En este trabajo se describen los aspectos generales de geología, geomorfología y suelos de la Reserva de la Biosfera de Mapimí y su área de influencia. El área cartografiada cubre una superficie de 173,700 hectáreas, se extiende de 26°30' a 26°52' N y de 103°32' a 103°58' W e incluye los principales biotipos representativos del Bolsón de Mapimí.

El enfoque cartográfico usado es el fisiográfico, que relaciona los principales tipos de suelos con el paisaje y la roca madre. La leyenda del mapa de suelos se construye en tres niveles jerárquicos:

primer nivel: fisiografía (definida por clase de pendiente e intensidad del relieve)

segundo nivel: litología (grupos mineralógicos de rocas)

tercer nivel: suelos (según diferencias morfológicas, químicas y físicas).

Cada unidad cartográfica se describe en términos generales, con los nombres de la clasificación FAO-UNESCO entre paréntesis.

El área cartografiada se divide en cuatro zonas geológicas generales:

1. la zona de calizas oriental, donde dominan las calizas cretácicas, caliza-lutitas y caliza-conglomerados;
2. la zona septentrional, donde extensos campos de dunas dominan una planicie de areniscas (Capas Soledad) del Cretácico superior o del Terciario inferior;
3. las zonas central y occidental, donde conglomerados y varias rocas volcánicas del Terciario constituyen las elevaciones sobre una planicie extensa de limolita, cubierta de aluviones recientes (Formación Las Quiotentas);
4. el *graben* tectónico o área de playas, que se extiende N-S a través de la parte occidental del área estudiada y que está compuesto de sedimentos Pleistocénicos y recientes (*basin fill*).

En el primer nivel se distinguen nueve unidades fisiográficas: sierras y escarpas mayores (S), cerros y escarpas menores (H), mesas y lomas bajas (L), pendientes de piedemonte (F), bajadas (B), vegas (V), playas (P), dunas (D) y áreas planas intermedanasas (A).

Las propiedades de los suelos se describen en términos generales (con referencia al mapa de suelos en el apéndice) según cuatro grupos principales de suelos:

1. suelos desarrollados sobre roca consolidada (unidades S, H y L), que son superficiales, pedregosos o rocosos (Regosoles calcáreos principalmente);

2. suelos desarrollados sobre depósitos coluviales (unidades F), que son suelos profundos, pardos claros, pedregosos a gravosos, limo-arenosos a arcillosos (Regosoles calcáreos y Xerosoles háplicos principalmente);
3. suelos desarrollados sobre depósitos aluviales: se dividen en tres subgrupos:
  - 3.1. bajadas (unidades B), con suelos gravosos, limosos, no salinos ni sódicos en las partes altas y suelos no gravosos, limosos a arcillosos, salinos y sódicos (a cierta profundidad) en las áreas bajas; y suelos arenosos, pardo rojizos, salinos y sódicos en la zona septentrional de areniscas (Yermosoles y Xerosoles lúvicos sobre todo);
  - 3.2. vegas (unidades V), con suelos arcillosos, salinos y sódicos (con excepción de las partes más altas); cerca de la Laguna de Palomas existen suelos de arcilla expansiva (Vertisoles salinos);
  - 3.3. playas (unidades P), con suelos ligera o fuertemente salinos y sódicos, de textura arcillosa y con capas de yeso secundario (Yermosoles lúvicos y gípsicos y Solonchaks);
4. suelos desarrollados sobre depósitos eólicos: se dividen en dos grupos:
  - 4.1. dunas de arena cuarzosa (Regosoles) y áreas planas intermedanasas con suelos no salinos ni sódicos, pardo rojizos, limo-(arcillo)-arenosos (Yermosoles cálcicos y háplicos);
  - 4.2. dunas de arena yesífera (unidades Dys y Ay) con capas de yeso secundario (Yermosoles gípsicos).

## RESUMÉ

Les aspects généraux de la géologie, de la géomorphologie et des sols de la Réserve de la Biosphère de Mapimí et ses environs sont décrits dans le présent travail. La surface cartographiée est de 173,700 ha, localisée entre 26°30' N et 26°52' N et entre 103°32' W et 103°58' W, incluant les principaux biotopes représentatifs du Bolsón de Mapimí.

L'approche cartographique utilisée est physiographique, c'est-à-dire, un approche qui relie les principaux types de sols avec le paysage et la roche mère. La légende de la carte des sols a été élaborée avec trois niveaux hiérarchiques:

premier niveau: physiographie (définie par les classes de pente et l'intensité du relief)

deuxième niveau: lithologie (groupes minéralogiques des roches)

troisième niveau: sols (d'après des différences morphologiques, chimiques et physiques)

Chaque unité cartographique de sols est décrite de façon succincte avec la classification FAO-UNESCO entre parenthèses.

La surface d'étude peut-être divisée schématiquement en quatre zones géologiques:

1. la zone calcaire orientale, occupée par des calcaires crétacés, des marnes calcaires et conglomérats calcaires;
2. la zone nord, occupée par de larges complexes dunaires assis sur une plaine de grès (Couches Soledad) du Crétacé supérieur ou du Tertiaire inférieur;
3. les zones centrales et occidentales, où des reliefs de conglomérats et de roches volcaniques du Tertiaire se redressent sur une large plaine d'un matériau marmo calcaire recouverte d'alluvions récentes (Formation Las Quiotentas);
4. le *graben* tectonique ou zone de *playas*, s'allongeant dans le sens N-S, dans la partie occidentale de la zone d'étude, et constitué par un remplissage de sédiments Quaternaires (*basin fill*).

Au premier niveau, physiographique, on peut distinguer neuf unités: *sierras* et hauts reliefs (S), *cerros* et bas reliefs (H), plateaux et collines basses (L), piemonts (F), *bajadas* (B), *vegas* (V), *playas* (P), dunes (D) et plaines interdunaires (A). Les propriétés des sols sont décrites (en référence à la carte des sols présentée en appendice) selon quatre groupes principaux:

1. sols développés sur des roches dures (unités S, H, et L): ils sont superficiels, caillouteux ou rocheux (principalement Régosols calcaires);
2. sols développés sur des dépôts colluviaux (unité F): ils sont profonds, bruns clairs, caillouteux à gravillonneux, de texture limono-sableuse à argileuse (principalement Régosols calcaires et Xérosols hapliques);
3. sols développés sur des dépôts alluviaux: on les divise en trois sous-groupes:
  - 3.1. *bajadas* (unités B), avec sols gravillonneux, limoneux, non salins ni sodiques vers l'amont, et avec sols non gravillonneux, limoneux à argileux, salins et sodiques (à certaine profondeur) vers l'aval; et sols sablonneux, bruns rougeâtres, salins et sodiques dans la zone des grès septentrionaux (principalement Yermosols et Xérosols luviques);
  - 3.2. *vegas* (unités V), avec sols argileux, salins et sodiques (à l'exception des parties les plus hautes); près de la Laguna de Palomas on trouve des sols avec des argiles gonflantes (Vertisols salins);
  - 3.3. *playas* (unités P), avec sols légèrement à fortement salins et sodiques, de texture argileuse et avec du gypse secondaire (Yermosols luviques et gypsiques et Solonchaks);
4. sols développés sur des dépôts éoliens: on les divise en deux groupes:
  - 4.1. dunes de sable quartzeux (Régosols) et plaines interdunaires avec des sols non salins ni sodiques, bruns rougeâtres, limono-(argilo)-sablonneux (Yermosols calciques et hapliques);
  - 4.2. dunes de sable gypseuse (unités Dys et Ay) avec accumulations de gypse secondaire (Yermosols gypsiques).

#### ABSTRACT

This paper describes the general aspects of geology, geomorphology and soils of the Mapimí Biosphere Reserve and its zone of influence. The area surveyed covers 173,700 hectares, extending from 26°30'-26°52' N and from 103°32'-103°58' W and includes the main biotopes representative of the Bolsón de Mapimí.

The survey approach used is a physiographic one, relating the main soil types to the landscape and the parent rock. The map legend is built up in a three-level hierarchical way:

- first level: physiography (defined by slope class and relief intensity)
- second level: lithology (mineralogical groups of rocks)
- third level: soils (morphological, chemical and physical differences).

Each soil mapping unit is described in general terms, with FAO-Unesco classification names between brackets.

The survey area can roughly be divided into four geological zones:

1. the eastern limestone zone, where Cretaceous limestones, calci-lutites and limestone-conglomerates dominate;

2. the northern zone, where folded late Cretaceous/early Tertiary sandstones (Soledad Beds) underly extensive dune fields;
3. the central and western zones, where Tertiary conglomerates and various volcanic rocks build the elevations over an extensive plain of alluvium-covered siltstone (Las Quiotentas Formation);
4. the tectonic *graben* or *playa* area, stretching N-S through the western half of the area, filled with Pleistocene and recent sediments (basin fill).

At first level nine physiographic units are distinguished: mountains and major scarps (S), hills and minor scarps (H), plateaus and low hills (L), footslopes (F), *bajadas* (B), floodplains and *vegas* (V), *playas* (P), dunes (D) and interdunal flats (A).

Soil properties are described in general terms (referring to the soil map in the appendix) in four major soil groups:

1. soils developed on consolidated bedrock (S, H and L units) being shallow and stony or rocky (calcaric Regosols mainly);
2. soils developed on colluvial deposits (F units), being deep, brown, stony to gravelly sandy loams to clays (calcaric Regosols and haplic Xerosols mainly);
3. soils developed on alluvial deposits are subdivided into three subgroups:
  - 3.1. *bajadas* (B units), having gravelly, loamy, non-saline non-sodic soils in the upper parts and non-gravelly, silty to clayey, saline and sodic (at certain depth) soils at the lower lying areas; and sandy, reddish brown, saline and sodic soils in the northern sandstone area (luvic Yermosols and Xerosols mainly);
  - 3.2. floodplains (V units), having clayey, saline and sodic (except upper parts) soils; near Laguna de Palomas heavy cracking clays (saline Vertisols);
  - 3.3. *playas* (P units), with slightly to strongly saline and sodic clay soils, with secondary gypsum layers (luvic and gypsic Yermosols and Solonchaks);
4. soils developed on eolian deposits consist of two groups:
  - 4.1. quartz sand dunes (Regosols) and interdunal flats (A units) with non-saline/sodic, reddish brown, sandy (clay) loam soils (haplic and calcic Yermosols);
  - 4.2. gypsiferous sand dunes (Dys and Ay units) with secondary gypsum layers or caps (gypsic Yermosols).

## APPROACH TO SOIL MAPPING

In the framework of the comprehensive study of the Mapimí Biosphere Reserve's natural resources a soil survey was carried out of the reserve core area and its surrounding. The survey covers an area of 173,700 hectares, extending from 26°30'-26°52' N and from 103°32'-103°58' W, including the main biotopes representative for the Bolsón de Mapimí.

The need for a soil survey was not apparent from the beginning, as the study area is covered by CETENAL soil maps at scale 1:50,000. Several problems arising during attempts to use these edaphic maps, however, made a new systematic soil survey

desirable. First there is the difficulty of interpretation of the CETENAL maps for non soil scientists, due to the fact that the legend is composed of soil classification units or complexes of these. Without detailed knowledge of classification criteria and the basic terminology it is rather difficult to interpret the soil data. Another problem is the absence of survey reports describing the soils. The 1:50,000 CETENAL edaphic maps are produced in a large series, with the observation points indicated on the map and the corresponding field and laboratory data printed at the back. Regarded from the cartographic side the maps show an apparent high level of detail, as suggested by crinkly boundary lines between different phases of the same soil association or complex, without sufficient field observations to support them. The maps as a whole seem to be mainly the result of airphoto interpretation with only limited field work. In order to improve this situation a new survey was carried out, complementing the existing data to a denser network of observations.

The approach to soil mapping used for this purpose is a physiographic one, as applied in many developing countries and adopted by the MAB soils programme (see MAB technical notes 17, Breimer *et al.*, 1986). This survey method combines the basic elements physiography, lithology (geology) and soils in one map, producing a clear picture of the main soil types and their genetic relationships to landscape and parental rock. This so-called “physiognomic-lithomorphic” approach to soil mapping (Sombroek and Van de Weg, 1980) tries to integrate the main physical soil forming factors: topography, hydrology, lithology and to a large extent climate into one soil map. The biotic factors vegetation and (soil) fauna are only indirectly represented wherever their influence on soil formation is more important than the physical factors.

Apart from this integrative aspect the method applied here produces soil maps with legends describing the main soil characteristics in general terms. This feature makes the map readily useable for non soil scientists, as specialistic classification names are only indicated between brackets following the general soil mapping unit description.

## SURVEY METHODS

The survey methods used are based on the classical soil survey techniques as described in the U.S.D.A. Soil Survey Manual (Soil Survey Staff, 1951) and explained in the MAB technical note 17 (Breimer *et al.*, 1986). The method of legend construction is derived from Sombroek and Van de Weg (1980).

### Office Methods

The first step was the review of existing topographical, geological and soils information about the survey area and the subsequent elaboration of a survey strategy. As substantial point information on geology and soils was already available from the above-

mentioned CETENAL maps at scale 1:50,000 (sheets La Flor, Carrillo, El Cinco and Sierra El Zapatero), the emphasis of the present survey was not so much the extensive coverage of the study area with new point information, but rather a more ecology-oriented survey. Often twin soil profile pits were examined, one in a densely vegetated patch and one in the nearby barren part of the land, in order to detect possible soil-dependent factors for this striking difference in vegetation density.

The first step of the survey itself was the comprehensive interpretation of all coloured aerial photographs at scale 1:25,000 covering the study area and the elaboration of an interpretation legend prior to the field work. This interpretation was largely physiographic and geologic in nature, subdividing the land in main landforms at the highest level and splitting these up according to rock types (lithology at second level). The information from the CETENAL geological maps was incorporated at this stage. After the field work another examination of all photographs was made to change the originally interpreted boundaries according to the field knowledge acquired into final physiographic soil boundaries. Here the CETENAL soil data have been incorporated as point information. Each geomorphic unit (second level units) was then checked for its uniformity of soil properties and subdivisions (at third level) were made where necessary.

After completion of the map a survey report was written, in which all mapping units were extensively described in terms of geology, land forms, vegetation, land use, top soil and subsoil characteristics, including the range in chemical and physical properties. The report gives one representative soil profile description plus analytical data per mapping unit in its appendix (Breimer, 1985).

### **Field Methods**

Field work was done in May-June 1981 and emphasized on the detection of soil-plant relationships (in cooperation with C. Montaña). A total of 28 profile pits was described and sampled and 36 field checks were made using a Dutch Edelman auger. Including the CETENAL information basic data were available from 168 points. The mean coverage of the area is thus roughly one point per 10 km<sup>2</sup>, which is an acceptable density for a 1:100,000 reconnaissance soil map.

### **Laboratory Methods**

All samples collected in the field were analysed at the CETENAL laboratories, comprising the following determinations:

- texture (sieving and hydrometer method)
- colour (in dry and humid after Munsell Soil Color Charts)
- electrical conductivity (in saturation extract)

- pH-water (in 1:1 solution)
- organic matter content (Walkley & Black method)
- cation exchange capacity (CEC) and exchangeable bases (Ca, Mg, K and Na; with ammonium acetate method at pH 7)
- available phosphorus (Bray-Kurtz method)

For the description of laboratory methods reference is made to CETENAL handbooks, based on standard methods as proposed by the FAO (FAO, 1970, see also Black, 1965).

### **Cartographic Methods**

The soil boundaries were drawn directly on the airphotos, from where they were transferred to the topographical base map (1:25,000) by hand on a light table. This field map was then generalised (small units omitted or jointed to bigger ones) in order to be reduced to its final scale 1:100,000. The reduction was carried out by a draftsman at the International Soil Reference and Information Centre (ISRIC) in Wageningen, The Netherlands. The preparation of the map for printing was done with computer-assisted techniques at the International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC) in Enschede, The Netherlands. Here the map was finally printed, thanks to the financial support of Unesco-MAB in Paris. Both an English and a Spanish version of the soil map were printed.

### **Map Legend**

As already indicated under office methods, the soil map legend has a three level hierarchy (see soil map in appendix):

1. Physiography (main landforms)
2. Geology (lithology, mineral "richness" of the parent material)
3. Soils (morphological and chemical/physical differences)

The soil mapping unit codes have the following composition:  
Capital letters correspond to physiographic land types:

- S mountains and major scarps
- H hills and minor scarps
- L plateaus and low hills
- F footslopes
- B *bajadas* (piedemont plains)
- V floodplains and *vegas*

- P *playas* (bottomlands)
- D dunes
- A interdunal flats

Minor letters correspond to the geological subdivision:

- a acid volcanic rocks and andesite
- ar non-gravelly, sandy *bajada* sediments
- b basalt, locally including tuff
- c limestone, limestone-conglomerate and calci-lutite
- cc recent alluvial deposits (floodplains with incised stream channels)
- d sandy *bajada* sediments with deflated surface (desert pavement)
- du interdunal sandy material (partly eolian, partly *in situ*)
- fs strongly saline lacustrine sediments
- g conglomerate (undifferentiated) for H and L landforms
- g gravelly sediments for *bajadas*
- im recent alluvial deposits of intermountainous valley bottoms
- l non-gravelly, medium to fine textured *bajada* sediments
- lg slightly gravelly *bajada* sediments
- pg very gravelly *bajada* sediments
- ps slightly saline *playa* sediments
- r sandstone and sandstone-conglomerate
- s saline *playa* sediments
- sc recent alluvial deposits (floodplains without incised stream channels)
- sh saline *playa* sediments with subsidence phenomena
- ss saline *playa* sediments near floodplains (desiccation phenomena)
- v volcanic breccia, locally including tuff
- y highly gypsiferous sand deposits (of lacustrine origin)
- ys highly gypsiferous eolian sand deposits (of lacustrine origin)

Numbers correspond to the edaphic subdivision, differentiating soil types or complexes inside the same geomorphic unit. The terminology used in the legend is based on Guidelines for Soil Profile Description (FAO, 1977) and classification names correspond to the legend of the Soil Map of the World (FAO-Unesco, 1974).

## GENERAL GEOMORPHOLOGY

### Geology

The lithological information from the area is available in the form of 1:50,000 geological maps of CETENAL. Stratigraphical information is available from CETENAL

Atlas maps at scale: 1:1.000,000 (Anonymous, 1981) and from several general geological reports (López Ramos, 1979; Kellum, 1944; Guzmán and De Cserna, 1963; Alvarez Jr., 1961). An in-depth study of the centre of the survey area has been made by Bartolino (in this volume).

Geologically, the area can roughly be divided in four areas: the eastern calcareous area, the northern sandstone area, the central and western areas, dominated by siltstones, conglomerates and volcanic rocks and the sedimentary *playa* area.

The eastern calcareous area consists of mountain ranges composed of lower Cretaceous stratified limestones, probably belonging to the Acatita formation as described by Humphrey (1956, quoted in López Ramos, 1979, p. 205). This formation is a lagoonal sedimentary series of lower and middle Albian age, consisting of interstratified limestone, gypsum, dolomitic limestone and anhydrite. Other parts of this area are composed of calci-lutites of late Cretaceous age, a lime-rich clayey deposit.

The third type of rock in this zone is a conglomerate, probably of lower Tertiary age, clearly composed of pebbles coming from the Albian limestones. To separate this conglomerate from other conglomerates occurring in the study area, this rock was denominated "limestone-conglomerate".

The northern sandstone area consists of large fossil dune fields over a sandy surface, formed by the abrasive action of wind-transported sand, where sandstone is locally cropping out (Soledad Beds). These outcrops often form parallel ridges, suggesting a folded nature of this rock formation. The whole area is most probably underlain by the same sandstone, locally interrupted by volcanic activity. This sandstone may possibly be interpreted as a late Cretaceous to early Tertiary beach facies of the retroceding sea.

Characteristically, this sandstone produces haematite minerals upon weathering, giving the sandy soils of this area a distinctly redder hue than those in other areas.

The central and western areas are characterized by outcrops of Tertiary conglomerates and of Tertiary and Quaternary volcanic rocks. The conglomerates (the conglomerate facies of Bartolino's Las Quiotentas Formation) contain a high portion of dark limestone pebbles, possibly of lower Cretaceous origin. On the CETENAL geological maps this conglomerate is separated from a "sandstone-conglomerate", which contains more sandstone pebbles than the other conglomerates (Mohovano Formation of Bartolino). In the field, however, it is often difficult to separate these two rock types, although on the aerial photographs they have different colours and textures and could therefore be mapped. During fieldwork calcareous claystone/siltstone was found at the bottom of 1.5 m deep profile pits in the lower *bajada* (siltstone facies of Las Quiotentas Formation). As all *bajadas* have been mapped as alluvium by the CETENAL geologists, it is not clear what extension this type of rock has.

The volcanic rocks in this area are mainly of Tertiary age. During the Miocene volcanic activity arose, beginning with a series of very acid lavas and gradually passing on to more basic material until terminating with basaltic lavas (Alvarez Jr., 1961, p. 9). The dominant igneous rock is basalt, while fewer hills of andesite and rhyolite oc-

cur. Locally some patches of volcanic breccia and tuff are found, associated with the basalt. The basalts in the hilly ranges between Santa María de Mohovano and El Venado Gacho are reported to be of Quaternary age (CETENAL Atlas, 1981). As a whole, the geology of the central and western areas is rather complicated because of the volcanic activities and tectonic movements that have taken place.

The sedimentary *playa* area, located between the western area on one side and the central and northern areas to the east, tectonically is a *graben*, filled during the Quaternary with a probably impressive quantity of sediments. This explains the absolute absence of hard rock outcrops. Being a low-lying sedimentary basin, it is filled up, partly in a lacustrine environment, with fine sediments from the adjacent areas and still constitutes the base level for the western half of the study area, as witnessed by the salty lake Laguna de Palomas. To the east of this lake a relatively high ridge arises of very gypsiferous sand of eolian origin. This dune ridge is fossil, as it is partly covered by a hard layer of secondary gypsum and is colonized by a special plant community.

One peculiar area exists in the eastern zone, composed of Quaternary basalt, having the form of a lava flow without major alteration due to weathering. This lava flow was originated by the Cerros Colorados volcanoes, just east of the study area boundary. These basalts are supposed to be between 15,000 and 50,000 years old (López Ramos, 1979, p. 207).

## Geomorphology

### REGIONAL SETTING

The study area forms part of two closed drainage basins in the Chihuahuan desert: the Bolsón de Mapimí and the Laguna de Palomas basins (Fig. 2). These internal drainage basins form part of the physiographical province described by Ordóñez (1949) as Northern Central Plateau (Mesa Central del Norte). This province has a flat topography of extensive plains, often enclosed by elongated mountain chains in northwest-southeast direction, many being more than 100 km long and not broader than 15 to 20 km (Ordóñez, 1949).

This physiographic province, together with the Sierra Madre Oriental, finds its continuation to the north in the Great Basin section of the Basin-and-Range province of the United States of America in Arizona, New Mexico and Texas (Kellum, 1944). Having the two Sierra Madre mountain chains to the east and west, this extensive elevated region is isolated from the sea and is composed of many closed basins, called *bolsones*, with one or more salt lakes as local base level.

The *bolsón* as functional unit is composed of mountains and hills, often at the periphery, extensive weakly sloping *bajadas* of coalescing alluvial fans and absolutely flat *playas* or bottomlands as receptacles of the transported fine sediments and salts. Pediments

are not common in these *bolsones* as they often have been buried under sediments, since the eroded material is not removed to the sea, but deposited in the same basin (Bloom, 1978, p. 321-322). As Bartolino (in the volume) pointed out, however, pediments of different ages exist in the central part of the area, only covered with a relatively thin veneer of recent sediments. The existence of such pediments is probably due to the *graben* west of the Cerro Bola fault (the *playa* area), which has functioned as a sink for the transported sediments until its level was raised to only little below the *bajadas*, as is the case now.

### GEOMORPHOLOGY OF THE RESERVE

The main geomorphic subdivision of the surveyed area is represented on the soil map, distinguishing nine physiographic units, characterized by overall slope gradients and relief intensity, as shown in table 1 (see also Fig. 1).

Table 1. Physiographic units of the survey area

Symbol	Land forms	Overall slope class	Relief intensity
S	Mountains and major scarps	> 30%	generally > 100 m
H	Hills and minor scarps	8 — 30%	< 100 m
L	Plateaus and low hills	< 8%	< 30 m
F	Footslopes	2-8% (locally < 16%)	< 20 m
B	<i>Bajadas</i>	< 3%	< 5 m
V	Floodplains and <i>vegas</i>	< 3%	< 5 m
P	<i>Playas</i>	< 1%	< 3 m
D	Dunes	< 10%	< 10 m
A	Interdunal flats	< 1%	< 5 m

Relief intensity is defined here as the maximum height difference within one square kilometer. Each physiographic unit was subdivided according to the constituting rock type or type of sediment.

The most conspicuous orographic features of the area are the limestone mountain ranges (unit Sc) in the SE and E, rising up to 330 m above the adjacent land forms and the Cerro San Ignacio, a 300 m high basalt inselberg in the centre of the area. Other lesser volcanic mountains are found in the central and southwestern parts of the reserve. One major volcanic dyke occurs in the central NW part of the area, constituted of acid rocks, forming a 2.2 km long rocky line with lateral slopes composed of the disrupted sedimentary rocks. The lateral profile of the dyke is rugged and irregular, giving rise to the imaginative local name "the devil's backbone".

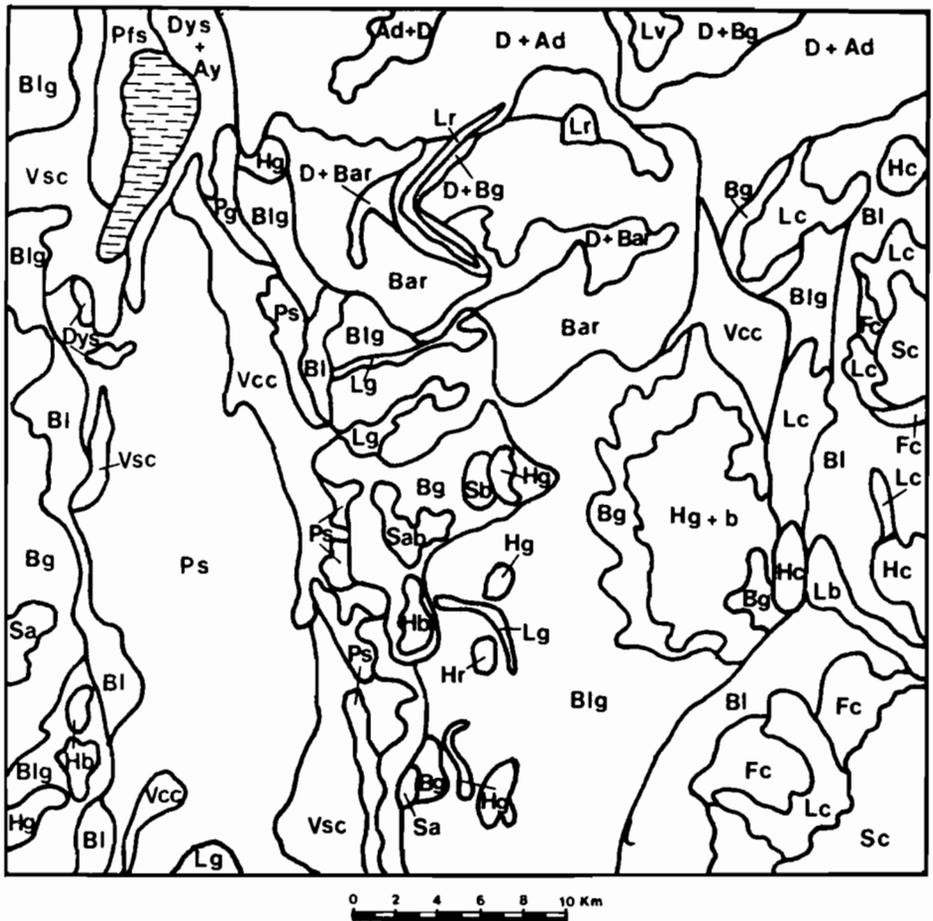


Fig. 1. Schematic geomorphological map of the survey area.

LEGEND

S	Mountains and major scarps	Lb	basalt plateau	Vcc	floodplains with incised streams
Sa	mountains of acid volcanic rocks	Lc	limestone low hills and ridges	Vsc	oegas without incised streams
Sab	mountains of acid volcanic rocks + basalt	Lg	conglomerate low hills and ridges	P	playas (bottomlands)
Sb	basalt mountains	Lr	sandstone low hills and ridges	Ps	slightly to very saline playas
Sc	limestone mountains	Lv	low hills of volcanic breccia	Pfs	strongly saline playas
H	Hills and minor scarps	F	Footslopes	D	Dunes and complex land units
Hb	basalt hills	Fc	limestone footslopes	D + Ad	dunes + interdunal flats
Hc	limestone hills	B	Bajadas (piedmont plains)	Ad + D	interdunal flats + dunes
Hg	conglomerate hills	Bg	gravelly bajadas	D + Bar	dunes + sandy bajadas
Hg + b	hills of conglomerate + basalt	Blg	slightly gravelly bajadas	D + Bg	dunes + gravelly bajadas
Hr	sandstone hills	Bl	non-gravelly loamy bajadas	Dys	high gypsiferous dunes
L	Plateaus and low hills	Bar	non-gravelly sandy bajadas	Dys + Ay	high gypsiferous dunes + interdunal depressions
		V	Floodplains and oegas		

The less conspicuous orographic features are the numerous hills, many of which are formed by various types of conglomerates. Especially the central part of the reserve is scattered with conglomerate hills, often showing an asymmetric form due to rock stratification. Clear structural *cuestas* can be encountered with a gentle dip-slope and a much steeper face-slope, but locally more inclined layers give rise to the occurrence of "hog backs", elongated rather steep ridges, like the locally called Cerro Lolos (compare Bloom, 1978, p. 262).

The hilly ranges south of *ejido* Las Lilas are a complex of conglomerate rocks, disrupted by volcanic activity, forming basalt, volcanic breccia and tuff. Several N-S faults have complicated the lithological situation even more in this zone.

Several basalt plateaus occur in the area, corresponding to Pleistocene eruptions, the biggest of these being the "tongue" entering the reserve from the Cerros Colorados volcanoes (unit LB). On the aerial photographs the flow pattern of the lava can still be recognised. From the Cerro El Pulpito and the site where El Venado Gacho settlement is located, similar, but smaller, thin basaltic lava flows have originated, forming flat, only slightly elevated hills or plateaus.

Relatively narrow belts of footslopes occur at the foot of mountains and hills, notably to the south of the Cerros Cipriano and around the Cerro San Ignacio, the Cerro Amarillo and the Cerro La Palangana. These footslopes are composed of colluvial deposits, without the interference of water as transporting agent. The footslopes of units Fc3 and Fc4 are not colluvial footslopes, but rather represent what can be interpreted as a pediment, a sloping surface of sediment in transport over bedrock. The bedrock is constituted in this case of limestone-conglomerate, as present in the nearby elongated hills (unit Lc2).

The greater part of the reserve is formed by piedmont plains or *bajadas* as these are locally called, the weakly sloping plains that connect the mountains and hills with the floodplains and *playas* or bottomlands. Upper and lower *bajadas* are distinguished, the first characterized by gravelly, nonsaline sediments (units Bpg and Bg), the latter by finer deposits, which are saline and sodic at certain depth (units Blg and Bl). In the northern part of the reserve, where sandstone is the bedrock, reddish sandy *bajadas* are found, which often are saline and sodic at depth (units Bar and Bd).

The tectonic *graben* in the western part of the survey area, filled with a certainly thick sequence of sediments, forms the local base level or extremely flat *playa* area, where sediments and salts accumulate (as far as the portion of the reserve located in the Laguna de Palomas basin is concerned, see Fig. 2). Sediments in this area are clayey, saline and sodic and contain considerable quantities of gypsum. The Psh unit presents a peculiar phenomenon of "piping" and subsequent subsidence of the surface, caused by dissolution of soluble salts, lime and gypsum at certain depth (Delhoume *et al.*, 1983; Fuller, 1975, p. 71-72). On the aerial photographs this area shows a patchy and often polygonal vegetation distribution pattern.

The floodplains of the area were subdivided in *vegas* or floodplains without distinct stream channels and floodplains with clear stream channels, a subdivision coinciding

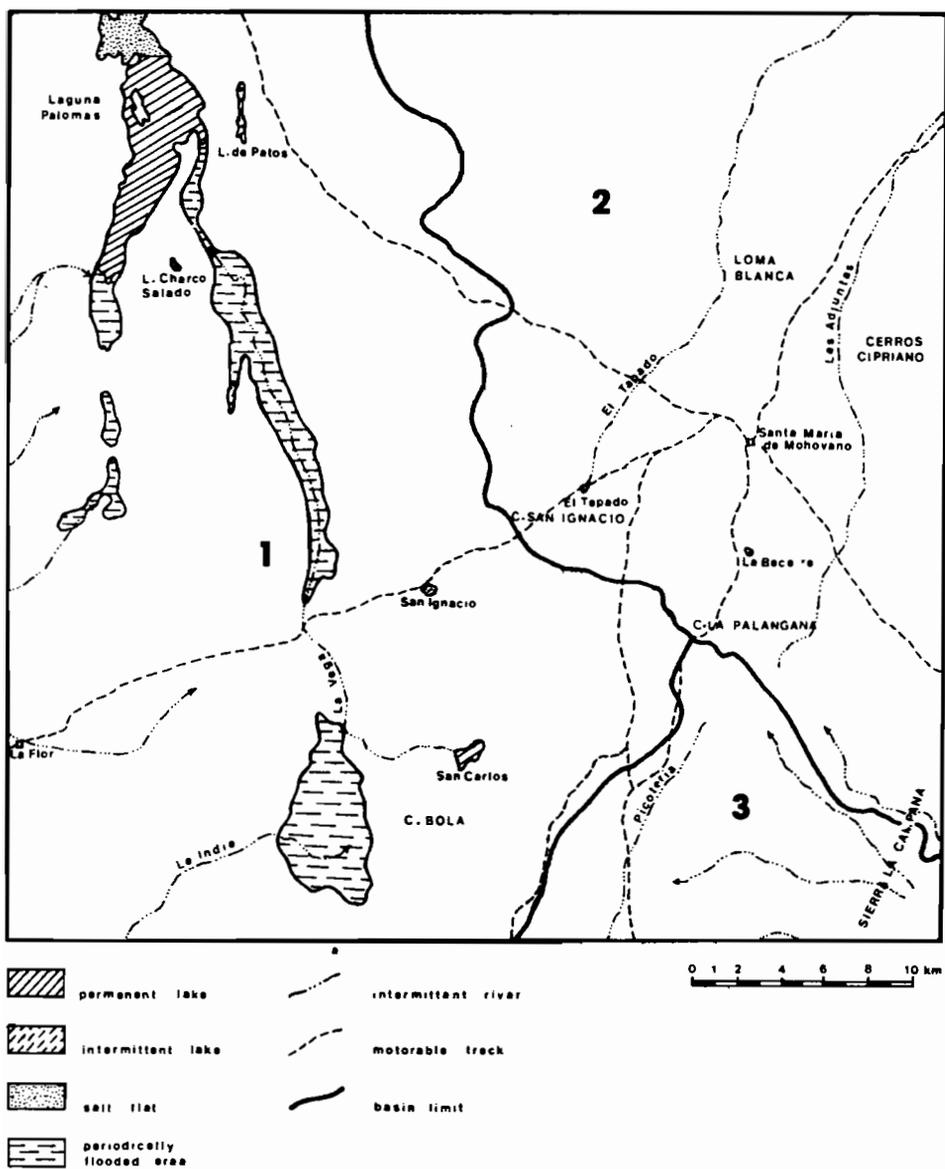


Fig. 2. Hydrologic features of the biosphere reserve (basins numbered: 1 = Laguna de Palomas subbasin; 2 = Laguna del Rey basin; 3 = Laguna Puerto Rico subbasin).

with differences in the dominating transport and sedimentation processes, reflected in the deposits of the floodplains. The vegetation often responds to these differences too.

The morphology of the northern part of the reserve is dominated by wind action, as the extensive dune fields occurring here testify. The irregular longitudinal dunes correspond to a dominant SE-NW wind direction, forming the actual landscape in the geological past, since virtually all dunes have been fixed by vegetation. East of the Laguna de Palomas a chain of dunes rise up, composed of highly gypsiferous sand, blown out of the salt lake by western winds. This high dune ridge is fossil and covered by vegetation and is already partly eroded. The isolated low hills south of the salt lake are composed of the same material and probably are remnants of the same dune ridge.

Summarizing the geomorphology of the Mapimí Biosphere Reserve, it can be stated that the plain elements dominate clearly over the steeper ones, due to the *bolsón* nature of the area (Fig. 1). The continuous erosion of the higher elements and the deposition of the eroded material in the same closed basin reduces constantly the potential energy available for erosion and transport. So in terms of erosion cycles as postulated by Davis one could classify the reserve morphology as being in an advanced stage of pediplanation.

The presence of dunes in the north, but not only there, indicates the important role of eolian processes in the modelling of the landscape. This role has obviously been more important in the recent past than at present, as dunes are largely fossil. Nowadays land forms in this arid environment are modelled mainly by water action, during the short rainy season in summer. The few torrential rains have a much bigger impact on the landscape in a very short time, than the winds have during the whole year.

## Hydrology

Hydrologically the Biosphere Reserve can be divided in three different watersheds, belonging to two major closed basins of the Chihuahuan desert (Henrickson, 1974). About two thirds of the area form part of the Laguna de Palomas basin and can be subdivided in the subbasin of the Laguna Puerto Rico, draining to the south (zone 3) and the proper Laguna de Palomas subbasin (zone 1), being the lowest part of that watershed (Fig. 2).

The northeastern part of the reserve drains towards the Laguna del Rey, not far northeast of the reserve, which is one of the salt lakes of the enormous Bolsón de Mapimí basin (Henrickson, 1974).

The Laguna de Palomas basin extends to the southwest of the reserve and the main river is the Río La India, that comes in from the southwest, along Rancherías and forms the big flood plain at the eastern flank of the *playa* area. In the rainy season this means an important influx of water, sediments and soluble salts into the reserve area.

Zones 2 and 3 drain their excess water out of the reserve area, to the northeast and south respectively, and are erosion rather than accumulation zones. The main streams in zone 2 are El Tapado and Las Adjuntas and in zone 3 the Picotería.

The location of the area in two main basins gives rise to the fact that the lowest point of the area is not at the Laguna de Palomas, as would be expected, but is located in the northeastern corner, where the rivers El Tapado and Las Adjuntas leave the reserve at lower altitudes towards the Laguna del Rey, located at 1040 m altitude approximately.

The surface drainage system of the reserve is typical for arid areas, where stream channels form and loose themselves further on, where runoff divides on a plain surface when it loses transportation capacity. Sheetfloods account for a fair part of the surface runoff after heavy rains, especially on weakly sloping terrain. On slopes over 2% surface drainage is mainly concentrated in stream channels, as is the case on mountains and hills and on the upper *bajadas*.

## SOILS AS RELATED TO GEOMORPHOLOGY

The spatial distribution of the soils of the study area in relation to geomorphology is given by the physiographic soil map (see appendix). A systematic description of all its mapping units is given by Breimer (1985). In the context of this publication only a summarizing review can be elaborated of soil properties as related to geomorphology. From the soil genetic point of view four main groups of soils can be distinguished in the area:

1. Soils developed on consolidated bedrock (physiographic units S, H and L)
2. Soils developed on colluvial deposits (physiographic unit F)
3. Soils developed on alluvial deposits (physiographic units B, V and P)
4. Soils developed on eolian deposits (physiographic units D and A).

1. *Soils of the first group* are developed on hard bedrock as exposed on mountains, escarpments, hills, ridges and other orographical features of the landscape. On the soil map these areas can be recognized easily by an overprint indicating the relief of the different units. The soils are generally shallow and stony or rocky, depending on the kind of bedrock and the slope (Lithosols and calcareous Regosols). Locally, especially in case of the conglomerate low hills the weathered mantle is thicker and moderately deep to deep very stony soils are found. Although soil formation is still in an initial stage, some secondary lime accumulation may be observed in these soils. In general it can be stated that the steeper landforms support the shallower and/or stonier soils. This general rule does not apply to the Lb unit, which represents a recent basaltic lava flow. Here a flat topography is combined with shallow, very stony soils, as a result of the limited time elapsed for weathering and soil formation. The texture of the fine earth of this group of soils is related to the type of bedrock, ranging from sandy loam to sandy clay loam on sandstone, via loam to clay loam on most volcanic rocks to silt loam to silty clay loam on limestone and other calcareous rocks. Due to the elevation in the

landscape and the good to excessive drainage of these soils, no accumulation of soluble salts nor exchangeable sodium is found.

2. *Soils of the second group*, developed on colluvial deposits at the foot of hills and mountains, are of minor importance in the survey area. They are usually deep, brown, stony to gravelly soils, with a sandy loam (Fr unit) to clay (Fb2 unit) texture. They are well drained and salinity and sodicity levels are unimportant (calcaric Regosols and haplic Xerosols mainly). A special case present the Fc3 and Fc4 units, which represent a kind of pediment at the foot of the limestone mountains (Sc unit). The upper part of this "footplain" supports soils with important, locally indurated, lime accumulation at shallow depth (calcic Xerosols), whereas the lower part is characterized by clay illuviation in the subsoil (luvic Yermosols).

3. *Soils of the third group*, developed on alluvial deposits, are the deep, more developed soils of the plains. Three important subgroups are distinguished, based in geomorphological features.

First the *bajadas*, defined as the weakly sloping plains where sediments accumulate from the adjacent hills and are partly transported to the floodplains and *playas*. *Bajada* soils of the central and western zones are differentiated in the slope direction in the gravelly upper *bajadas*, where accumulation of coarser material is the dominant process (Bpg and Bg units) and the slightly to non-gravelly lower *bajadas*, where transport of finer sediments and soluble salts dominate (Blg and Bl units). The accumulation of soluble salts and exchangeable sodium at certain depth (usually below 40-50 cm) is increasing in slope direction and becomes important in the lower *bajada* soils (slightly to moderately saline and sodic). Upper *bajada* soils usually present a lime accumulation horizon, which only locally classifies for a calcic horizon (haplic and calcic Xerosols and Yermosols). The lower *bajadas* are characterized by clay illuviation (luvic Xerosols and Yermosols), mostly combined with a lime accumulation horizon and locally a gypsic horizon. The *bajadas* of the sandstone (transition) zone does not show such a clear zonation in slope direction, probably due to their coarser texture. The main differentiation is according to the surface characteristics: a bare deflated surface (Bd unit) versus a vegetated non deflated but locally dune-covered surface (Bar unit). Most of the soils have an argillic horizon (clay illuviation), which may be exposed at the surface in Bd areas. Salinity and sodicity are irregularly distributed (partly due to the patchy vegetation), but Bd soils seem to be generally moderately to strongly saline and sodic. In the limestone zone only lower *bajadas* are found, as the upper *bajadas* are replaced by pediments (Fc3 and Fc4 units). Soils are non-gravelly with a clay subsoil (luvic Xerosols and Yermosols), locally combined with a calcic horizon.

The second group of soils developed on recent alluvial deposits are the floodplains. This physiographic unit includes all low-lying areas, where run-off water accumulates after heavy rains and is transported towards the salt lakes or artificial ponds. The floodplains and *vegas* are differentiated in two main groups, according to the development or not of distinct (incised) stream channels (Vcc and Vsc units respectively). Vsc sediments generally have rather homogeneous profiles, clayey from top to bottom, while Vcc soils

are more heterogeneous (sedimentary stratification, argillic horizons, etc.). In both types of floodplains a clear gradient of increasing salinity and sodicity from the origin towards the base level (salt lakes) is found. The clay content of the soils is also increasing in this direction. While Vsc1 represents slightly saline clay loam soils (haplic Xerosols and Yermosols), Vsc4 includes strongly saline and sodic clay soils (orthic Solonchaks and saline and sodic chromic Vertisols) near Laguna de Palomas. Beside the mentioned gradients, Vcc soils normally present a clay-illuviation horizon (luvic Yermosols) and locally sediments are clearly stratified (calcaric Fluvisols). Two special cases of floodplains are distinguished on the map: the intermountainous valley bottoms (Vim unit) with more coarse-textured soils and the interdunal floodplains (Vdu unit) with sandy soils.

The third group of soil developed on alluvial deposits are the *playas* or bottomlands, where fine sediments and soluble salts from adjoining higher terrain accumulate. There is a general gradient in the salinity of the *playas*: increasing from south to north, which is the overall flow direction. Units Pps represents the least saline *playa* area, followed by Ps1, Ps2, Ps3 in order of increasing salinity. The most saline are the salt flats (Pfs unit) bordering the Laguna de Palomas. Most *playa* soils have a clayey subsoil and a lighter textured topsoil and were classified as luvic Yermosols, although the presence of an argillic horizon is not so certain, as the texture difference between topsoil and subsoil may be due to recent deposition of sediments through sheet floods. Units Pps and Psh consist of soils with strongly developed gypsum accumulation horizons (gypsic Yermosols). Other *playa* soils often show some degree of gypsum accumulation too, in addition to the argillic horizon. The Pss units can be seen as eroded phases of Ps units, bordering floodplains, whereby salinity and sodicity are higher than in the corresponding Ps units. The Psh *playas* have been separated on the basis of special topographical features of subsidence, occurring in polygonal patterns, in which the vegetation is concentrated. These subsidence phenomena have been studied more in detail by Delhoume *et al.* (1983).

4. *The fourth major group of soils* are those developed on eolian and associated sand deposits. Inside this group two types of eolian deposits have to be differentiated. First there are the quartz sand deposits derived from the sandstones cropping out in the northernmost part of the study area. Clearly different from these are the highly gypsiferous deposits derived from the lacustrine sediments of the Laguna de Palomas and its probable former extension to the south. The two physiographic units differentiated in this major soil group are the dunes (D) and interdunal flats (A), each of which is separated in quartz sand deposits (D and Adu) and gypsiferous sand deposits (Dys and Ay). D unit soils are characterized by sand texture, weak red to reddish brown humid colours and virtually no soil profile development, except for decalcification (leaching out of calcium carbonate) of the upper 50-100 cm (eutric and locally calcaric Regosols). Between the irregular longitudinal dunes flat areas are found, forming part of the extensive abrasive plain over which the dunes are blown-up. Often the sandstone bedrock is found at shallow depth or is even cropping out in small areas. Adu unit soils are therefore

shallow to deep, light reddish brown, sandy loam to sandy clay loam soils, often with a calcic horizon (secondary lime accumulation; haplic and calcic Yermosols).

The Dys unit represents relatively high (10-20 m) ridges of gypsiferous eolian sand with deep, very pale brown, sand soils, near the top of the dunes showing an indurated gypsic horizon (secondary gypsum accumulation; calcaric Regosols and gypsic Yermosols, petrogypsic phase). Between the dune ridges flat valleys occur with redeposited material eroded from the ridges (Ay). Soils are deep, very pale brown, sandy with a gypsic or petrogypsic horizon (gypsic Yermosols).

A general statement can be made about the fertility of the soils. The natural nutrient status for plants is low, as soils have low to very low organic matter contents, very low available phosphorus contents and exchangeable potassium and magnesium amount to moderate to locally high percentages. Calcium is omnipresent in high quantities, as all soils except the dunes are calcareous. Striking differences in natural soil fertility among mapping units, apart from the indicated salinity and sodicity levels, were not detected. In general Xerosols have somewhat higher organic matter contents in the A horizon than Yermosols (see FAO-UNESCO, 1974).

#### REFERENCES CITED

- ANONYMOUS, 1981. *Atlas Nacional del medio físico* (escala 1:1.000,000). Secretaría de Programación y Presupuesto, México, D. F., 224 pp.
- ALVAREZ Jr., M., 1961. *Provincias fisiográficas de la República Mexicana*. Soc. Geol. Mex. Bol. 2, Tomo 24, pp. 1-20.
- BLACK, C.A. (ed.), 1965. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. Agron. 9, Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin.
- BLOOM, A.L., 1978. *Geomorphology. A systematic analysis of late Cenozoic landforms*. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey. 510 pp.
- BREIMER, R.F., 1985. *Soil and landscape survey of the Mapimí Biosphere Reserve, Durango, México*. UNESCO, Montevideo.
- BREIMER, R.F., A.J. VAN KEKEM and H. VAN REULER, 1986. *Guidelines for soil survey and land evaluation in ecological research*. MAB Techn. Notes 17, UNESCO, Paris.
- DELHOUME, J.P., C. MONTAÑA and A. CORNET, 1983. *Vegetation patterns and soils in the Mapimí Bolsón (Chihuahuan Desert, México). II Polygonal patterns*. Second Chihuahuan Desert Symposium, Alpine, Texas.
- FAO, 1970. *Physical and chemical methods of soil and water analysis*. FAO Soils Bulletin 10, FAO, Rome.
- FAO, 1977. *Guidelines for soil profile description*. 2d. ed. Land and Water Development Division. FAO, Rome, 66 pp.
- FAO/UNESCO, 1974. *Soil map of the world (1:5.000,000), Vol. 1 Legend*. UNESCO, Paris, 59 pp.
- FULLER, W.H., 1975. *Soils of the desert southwest*. Univ. Ariz. Press, Tucson, Arizona, 102 pp.
- GUZMÁN, E.J. and Z. DE CSERNA, 1963. *Tectonic history of Mexico. The backbone of the Americas-Tectonic history from pole to pole*. A Symposium, Memoir N° 2, Am. Assoc. Petrol. Geol., pp. 113-129.
- HENRICKSON, J., 1974. *Saline habitats and halophytic vegetation of the Chihuahuan desert region*. Trans. Symp. Biol. Resour. Chihuahuan Desert Region, United States and Mexico, Alpine, Texas, pp. 289-314.
- KELLUM, L.B., 1944. *Geologic history of northern Mexico and its bearing on petroleum exploration*. Bull. Am. Ass. Petr. Geol., vol. 28, N° 3, pp. 301-325.
- LÓPEZ RAMOS, E., 1979. *Geología de México*, Tomo 2, 2a. ed. Secr. Educ. Públ., México, D. F.

- ORDÓÑEZ, Ed., 1949. *Principales provincias geográficas y geológicas de la República Mexicana. Guía del explorador minero*. Inst. Geol., Univ. Nac. Aut. Méx., México, D. F.
- Soil Survey Staff, 1951. *Soil survey manual*. U.S.D.A., Agric. Handbook N° 18, Washington, D.F., 503 pp. (plus supplement of 1962).
- SOMBROEK, W.G. and R.F. VAN DE WEG, 1980. *Some considerations on quality and readability of soil maps and their legends*. In: International Soil Museum, Ann. Rep., 1980. Wageningen, pp. 4-17.

# Distribution Spatiale des Sols le Long d'une Toposéquence Représentative

JEAN PIERRE DELHOUME

## RESUMEN

Los diferentes tipos de suelos de la Reserva de la Biosfera de Mapimí se diferencian esencialmente por el tipo de material en el cual se desarrollan y por el proceso de deposición original de ese material. Se trata fundamentalmente de depósitos aluviales y coluviales cuya repartición en el paisaje es función de la geomorfología.

Con el fin de poner en evidencia esta distribución espacial de la cobertura edafológica, se ha estudiado una toposecuencia representativa que comprende a la mayoría de los suelos de la Reserva de Mapimí, para los cuales se presentan las características morfológicas y analíticas.

La toposecuencia estudiada se extiende a lo largo de 12 km con orientación oeste-este. Ella comienza en un cerro de 1,475 m de altitud máxima, de pendientes pronunciadas (más de 20-25%) que se reducen en el piedemonte a 8-25%. La altitud y la pendiente decrecen a continuación en forma muy gradual pasando sucesivamente de la zona de bajada superior (2 a 6-8% de pendiente), a la bajada inferior (0.5 a 2% de pendiente), y a la playa (pendiente inferior a 1%) ubicada en la zona más baja (1,110 m) y donde se localiza el colector principal de aguas.

A lo largo de este transecto topográfico se identificaron ocho unidades elementales de paisajes teniendo en cuenta suelos, vegetación y geomorfología.

Unidad 1. Zona de relieve con pendientes fuertes. Vegetación poco abundante. Suelos muy poco evolucionados: Litosoles sobre rocas duras, Regosoles sobre coluviones pedregosos.

Unidad 2. Zona de piedemonte de pendientes medias. Vegetación de composición parecida a la de la unidad precedente, pero ligeramente más abundante. Suelos poco evolucionados, más profundos: Regosoles sobre coluviones constituidos por elementos de tamaño grueso a mediano.

Los suelos de las partes más altas (Unidades 1 y 2) se caracterizan por su juventud y su escasa evolución pedogenética.

Unidad 3. Zona de bajada superior, de pendiente regular que pasa progresivamente de 6-8% a 2%. Vegetación arbustiva dominada por *Larrea tridentata* y *Opuntia rastrera*. Suelos del tipo Yermosol háplico, sobre coluviones pedregosos de elementos de tamaño mediano a fino que reposan a mediana profundidad sobre lutitas.

Unidad 4. Zona de bajada inferior, de pendientes suaves (0.5-2%). La vegetación es discontinua, presentándose como la alternancia de arcos de vegetación densa y zonas de

suelo desnudo. Los suelos son esencialmente Yermosoles y Xerosoles háplicos, sobre aluviones finos y medianos que reposan a mediana profundidad sobre lutitas.

- Unidad 5. Depresiones de bajadas inferiores, de pendientes suaves (1%), ocupadas por una formación herbácea casi monoespecífica de *Hilaria mutica*. Los suelos son muy arcillosos y de escasa porosidad. Se trata de Yermosoles gípsicos o calcáreos, sobre aluviones arcillosos que reposan a mediana profundidad sobre lutitas. Presentan una acumulación secundaria de yeso o de carbonato de calcio, distribuida de modo discontinuo en forma de manchas y nódulos.

Los perfiles de suelo observados en las zonas intermedias (Unidades 3 a 5) son polifásicos y testimonian la evolución edafológica del Cuaternario reciente. Se distingue un suelo evolucionado antiguo, truncado, sobre el cual reposa el suelo actual constituido por aportes aluviales, joven, con una dinámica y una evolución lentas.

- Unidad 6. Localizada en la zona de transición entre bajada y playa, esta unidad se desarrolla sobre material de aporte constituido por depósitos gravosos relativamente espesos. La pendiente es inferior a 1% y la vegetación presenta un estrato herbáceo dominado por *Hilaria mutica* y un estrato arbustivo dominado por *Larrea tridentata* y *Prosopis glandulosa*. Los suelos son jóvenes: se trata esencialmente de Yermosoles calcáreos, de textura media, que se desarrollan sobre un material de aporte rico en elementos gruesos. En estos suelos se observa una redistribución poco acentuada y en forma discontinua de carbonato de calcio secundario.

- Unidad 7. Se trata de la zona más baja (playa) caracterizada por una pendiente muy reducida (inferior a 0.5%). La vegetación está constituida por formaciones herbáceas (*Hilaria mutica* y *Sporobolus airoides*) y por formaciones arbustivas (con abundancia de halófitas) donde dominan *Prosopis glandulosa*, *Atriplex spp.* o *Suaeda spp.* Los suelos se desarrollan sobre un material de aporte aluvial, de textura fina, y presentan distintos grados de salinidad: Yermosoles gípsicos con fase salina o sódica, Solonchaks órticos y, localmente, Vertisoles crómicos.

- Unidad 8. Localizada también en la zona de playa, esta unidad se diferencia por la distribución horizontal de la vegetación, constituida casi únicamente por una especie: *Suaeda nigrescens*. La misma, en efecto, se localiza a lo largo de líneas que forman una red de polígonos de 30 a 40 m de lado, los espacios interiores de los polígonos están desprovistos de vegetación. El suelo es un Yermosol gípsico, con fase más o menos salina y/o sódica, desarrollado en un material de aporte aluvial de textura fina. A escasa profundidad se encuentra un horizonte de yeso secundario, constituido por pequeños cristales de unos pocos milímetros de diámetro.

Los suelos de las zonas bajas (unidades 6 a 8), desarrollados sobre materiales de aporte aluvial, se caracterizan esencialmente por su textura fina y por el grado más o menos pronunciado de salinidad que poseen, el cual puede ser, localmente, muy elevado.

Por último, presentamos también en este trabajo suelos gipsíferos desarrollados sobre dunas antiguas ubicadas fuera del transecto descrito.

## RESUMÉ

Les différents types de sols de la Réserve de la Biosphère de Mapimí se différencient essentiellement par le type de matériau dans lequel ils se développent et par le mode de mise en place de ce matériau. Il s'agit surtout d'alluvions et de colluvions, dont la répartition dans le paysage est fonction de la géomorphologie.

Afin de mettre en évidence cette distribution spatiale de la couverture pédologique, nous avons étudié une toposéquence représentative de la Réserve de Mapimi, comprenant la majorité des unités de sols de celle-ci, pour lesquelles nous présentons les caractéristiques morphologiques et analytiques.

La toposéquence étudiée, d'orientation ouest-est, s'étend sur douze kilomètres. Elle débute par un relief culminant à 1475 m, à pentes fortes (plus de 20/25%), qui se réduisent dans le piedmont (8 à 25%). L'altitude et la pente décroissent ensuite très graduellement et l'on passe successivement de la zone de *bajada* supérieure (2 à 6/8% de pente), puis à la *bajada* inférieure (0.5 à 2% de pente) et à la *playa* (pente inférieure à 1%), zone la plus basse (1110 mètres d'altitude), où est localisé l'axe principal de concentration et d'écoulement des eaux.

Le long de ce transect topographique, nous avons identifié huit unités élémentaires de paysage, incluant le sol, la végétation et la géomorphologie, décrites d'amont en aval de la toposéquence.

Unité 1: Zone de relief à pentes fortes. Végétation très peu abondante et très peu dense. Sols très peu évolués: Lithosols sur roches dures, Régosols sur colluvions caillouteuses.

Unité 2: Zone de piedmont à pentes moyennes. Végétation de composition semblable à celle de l'unité précédente, mais légèrement plus abondante. Sols peu évolués, plus épais: Régosols sur colluvions constituées d'éléments de taille grossière à moyenne.

Les sols des zones hautes (unités 1 et 2) sont caractérisés par leur jeunesse et leur faible évolution pédogénétique.

Unité 3: Zone de *bajada* supérieure, à pente régulière passant progressivement de 6-8 à 2%. Végétation arbustive dominée par *Larrea tridentata* et *Opuntia rastrera*. Sol du type Yermosol modal, sur colluvions caillouteuses à éléments de taille moyenne à fine, reposant à moyenne profondeur sur un matériau calcaro-marneux autochtone.

Unité 4: Zone de *bajada* inférieure, à pente faible (0.5 à 2%). La végétation est discontinue ou contractée, du type brousse tigrée ou *mogote* et se présente sous forme d'une alternance de bandes végétales denses ou arcs de végétation et de zones dénudées sans couverture végétale. Les sols sont essentiellement des Yermosols et des Xérosols modaux, sur alluvions fines et moyennes, reposant à moyenne profondeur sur un matériau calcaro-marneux autochtone.

Unité 5: Dépressions de *bajada* inférieure, à pente faible (1%), occupées par une formation herbeuse constituée presque uniquement d'une seule espèce: *Hilaria mutica*. Les sols sont très argileux et à faible porosité. Il s'agit de Yermosols gypseux ou calcaires, sur alluvions argileuses reposant à moyenne profondeur sur un matériau calcaro-marneux autochtone. Ils présentent une accumulation secondaire de gypse ou de calcaire, sous forme discontinue en amas et taches.

Les profils de sols observés dans les zones intermédiaires (unités 3 à 5) sont polyphasés et témoignent de l'évolution pédogénétique du Quaternaire récent. On distingue un sol évolué ancien en place, tronqué, sur lequel repose le sol actuel constitué d'apports alluviaux, jeune, à dynamique et évolution lentes.

Unité 6: Localisée dans la zone de transition *bajada-playa*, cette unité est formée d'un matériau d'apport constitué d'épandages graveleux, relativement épais. La pente est inférieure à 1% et la végétation se compose d'une strate herbacée à *Hilaria mutica* dominante et d'une strate arbustive à *Larrea tridentata* et *Prosopis glandulosa*. Les sols sont jeunes: il s'agit essentiellement de Yermosols calcaires, de texture moyenne, se dé-

veloppant dans un matériau d'apport, riche en éléments grossiers, dans lesquels s'individualise une redistribution peu accentuée de calcaire secondaire sous forme discontinue.

- Unité 7: Il s'agit de la zone la plus basse (*playa*) caractérisée par sa pente très faible (inférieure à 0.5%). La végétation est constituée par des formations herbacées (*Hilaria mutica* et *Sporobolus* spp. et des formations arbustives à *Prosopis glandulosa*, à *Atriplex* spp. et à halophytes (*Suaeda* spp.). Les sols se développent dans un matériau d'apport alluvial, de texture fine et présentent des degrés divers de salinité: Yermosol gypseux à phase saline ou sodique, Solontchaks modaux et localement Vertisols chromiques.
- Unité 8: Bien que localisée dans la zone de *playa*, cette unité s'en différencie par l'aspect sous lequel se distribue la végétation, constituée quasi uniquement d'une seule espèce: *Suaeda nigrescens*. Celle-ci est en effet localisée le long des lignes d'un réseau polygonal de 30 à 40 mètres de côté, les espaces intérieurs de ce réseau étant dépourvus de végétation. Le sol est un Yermosol gypseux, à phase plus ou moins saline et/ou sodique, développé dans un matériau de texture fine d'apport alluvial, présentant à faible profondeur un horizon de gypse secondaire en petits cristaux de quelques millimètres.

Les sols des zones basses (unités 6 à 8), développés dans des matériaux d'apport alluvial, se caractérisent essentiellement par leur texture fine et par leur degré plus ou moins prononcé de salinité, celle-ci pouvant être, localement, très élevée.

Bien que non situés le long du transect ci-dessus, sont présentés des sols gypseux développés sur dunes anciennes.

#### ABSTRACT

The different soil types of the Mapimí Biosphere Reserve are differentiated, essentially, by the type of material in which they develop, and by the original process of deposition of this material. Basically, it is a matter of alluvium and colluvium deposits, whose distribution over the terrain is a function of geomorphology.

In order to make evident the spatial distribution of the pedogenetic cover, a representative topequence has been studied, comprehending the majority of the soils of the Mapimí Reserve, for which the morphological and analytical characteristics are presented.

The topequence studied extends along a 12 kilometre, east-west oriented line. It begins at a hill with a maximum height of 1,475 m, and pronounced slopes (more than 20-25%) whose steepness lessens, at the piedmont, to 8-25%. The height, and slope decrease, thereafter, in very gradual form, passing, successively, from the upper *bajada* (2 to 6-8% slope) to the lower *bajada* (0.5 to 2% slope), and to the *playa* (slope of less than 1%), situated in the lowest zone (1,110 m), and being the site of the principal water collector.

Along this topographical transect, eight elementary units of terrain were identified, taking into account soils, vegetation and geomorphology.

Unit 1: Relief zone, with steep slopes. Sparse vegetation. Soils with very little evolution; Lithosols on hard rocks. Regosols on stony and gravelly colluviums.

Unit 2: Piedmont zone with medium slopes. Vegetation whose composition is similar to that of the preceding unit, but slightly more abundant. Soils with little evolution, which are deeper Regosols on colluviums made up of large to medium-sized elements.

The soils of the higher parts (units 1 and 2) are characterized by their youth and their scarce pedogenetic evolution.

- Unit 3: Upper *bajada* zone, with a regular slope passing, progressively from 6-8% to 2%. Shrub-type vegetation, dominated by *Larrea tridentata* and *Opuntia rastrera*. Haplic Yermosol-type soils, on stony and gravelly colluviums of medium to fine-sized elements which lie at medium depth, on siltstones.
- Unit 4: Lower *bajada* zone, with gentle slopes (0.5-2%). The vegetation is discontinuous, presenting itself as an alternation of dense vegetation arcs and zones of bare soil. The soils are, essentially, Yermosols, and haplic Xerosol on fine and medium alluviums resting, at medium depth, on siltstones.
- Unit 5: Lower *bajada* depressions, with gentle slopes (1%) occupied by an almost monospecific herbaceous formation of *Hilaria mutica*. The soils are very clayey and of scarce porosity. One is dealing with gypsic or calcareic Yermosols on clayey alluviums resting at medium depth on siltstones. They present a secondary accumulation of gypsum or calcium carbonate distributed in a discontinuous manner in the form of stains and nodules.

The soil profiles observed in the intermediate zones (units 3 to 5) are polyphasic and show proof of pedogenetic evolution of the recent Quaternary. An old, fully-developed, truncated soil is distinguished, on which lies the present-day soil which is constituted by alluvial deposits and is young, with slow dynamics and evolution.

- Unit 6: Located in the transition zone, between *bajada* and *playa* this unit develops on material whose make-up is constituted by relatively thick, gravelly deposits. The slope is less than 1% and the vegetation presents a herbaceous stratum dominated by *Hilaria mutica* and a shrub-like stratum dominated by *Larrea tridentata* and *Prosopis glandulosa*. The soils are young: one is dealing, essentially, with calcareous Yermosols, of medium texture, which develop on a material with a make-up rich in coarse elements. In these soils, one can observe a redistribution, little-accentuated and in discontinuous form, of secondary calcium carbonate.
- Unit 7: This is the lowest zone (*playa*) characterized by a very much reduced slope (less than 0.5%). The vegetation is made up of herbaceous formations (*Hilaria mutica* and *Sporobolus airoides*) and by bushy formations (with an abundance of halophytes) in which there is a dominance of *Prosopis glandulosa*, *Atriplex* spp. or *Suaeda* spp. The soils develop on a material of alluvial origin, with fine texture, and they present different grades of salinity: gypsic Yermosols with a saline or sodic phase, ortic Solonchaks and, locally, chromic Vertisols.
- Unit 8: Localized, also, in the *playa* zone, this unit is differentiated by the horizontal distribution of vegetation, made up, almost exclusively, of one species: *Suaeda nigrescens*. The latter, in fact, is located along lines forming a network of polygons with sides measuring 30 to 40 m, and whose interior spaces are lacking in vegetation. The soil is gypsic Yermosol, with a more or less saline and/or sodic phase, developed on a fine-textured material of alluvial origin. At little distance below the surface, one finds a horizon of secondary gypsum, made up of small crystals with a diameter of a few millimetres.

The soils of the low zones (units 6 to 8), developed on materials of alluvial origin, are, essentially, characterized by their fine texture and the more or less pronounced degree of salinity which they show, which can, locally, be very high.

Finally, in this study, we also present gypsic soils developed on old dunes located outside the described transect.

## INTRODUCTION

Les différents sols de la Réserve de la Biosphère de Mapimí se différencient essentiellement par le type de matériau dans lequel ils se développent et par le mode de mise en place de ce matériau. C'est ainsi que l'on distingue :

- les sols sur matériau autochtone ou *in situ*: Lithosols et Régosols sur roches volcaniques, calcaires, grès . . .
- les sols sur matériau allochtone, ou d'apport, avec deux types de mise en place du matériau:
  - mise en place terrestre: sols sur alluvions ou colluvions.
  - mise en place éolienne: sols sur dunes sableuses ou gypseuses.

Les alluvions et les colluvions constituent la majorité de ces matériaux et leur répartition dans le paysage est liée essentiellement au relief. Il en résulte que la distribution spatiale des différentes unités de sols est surtout fonction de la géomorphologie.

Afin de préciser ces variations de la couverture pédologique dans le paysage, nous avons étudié un transect ou toposéquence afin de mettre en évidence les successions et passages latéraux des différentes unités de sols, ordonnées selon la variable relief ou topographie.

La toposéquence retenue est caractéristique et représentative de la pédologie de l'ensemble de la Réserve, en ce sens qu'elle inclut la majorité des unités de sols envisagés sous leur aspect génétique, mis à part les sols développés sur matériau éolien et ceux de la zone calcaire localisée à l'est de la Réserve de Mapimí.

Le transect étudié, d'orientation ouest-est, s'étend sur 12 km de longueur. Il débute à l'est par un relief, le *cerro* San Ignacio, culminant à 1 475 mètres, à pentes fortes (supérieures à 25 %) qui se réduisent dans le piedmont (8 à 25 %). L'altitude décroît ensuite graduellement en allant vers l'ouest et l'on passe successivement de la *bajada* supérieure (2 à 6 % de pente) à la *bajada* inférieure (0.5 à 2 % de pente), puis à la *playa* (pente inférieure à 1 %). C'est dans cette dernière qu'est localisé l'axe principal de concentration et d'écoulement des eaux superficielles, à une altitude de 1 110 mètres.

Le long de cette toposéquence, nous avons identifié huit unités définies essentiellement comme des unités élémentaires de paysage, incluant le sol, la végétation (d'après Montaña, 1987) et la géomorphologie. Nous définissons ci-dessous ces unités (notées de 1 à 8), en les décrivant de l'amont vers l'aval du transect (Fig. 1). La classification pédologique utilisée est celle de la FAO/UNESCO (1974 et 1976).

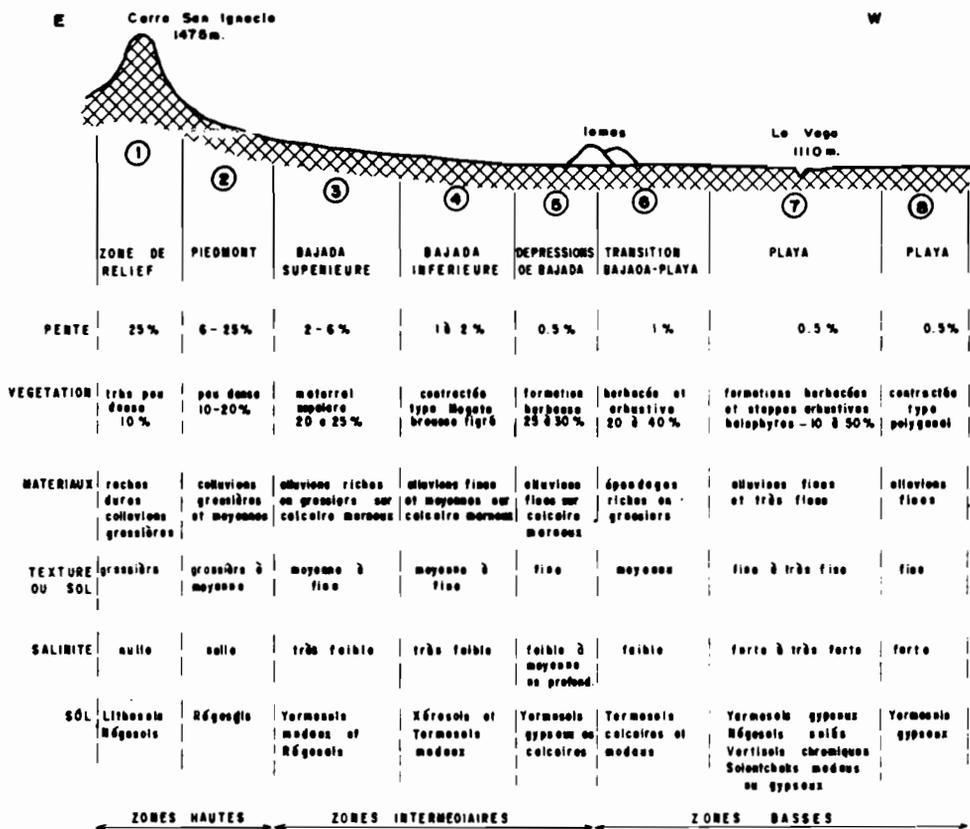


Fig. 1. Représentation schématique de la toposéquence étudiée avec ses principales caractéristiques.

## I. ZONES HAUTES

### I.1. Unité 1. Zone de relief

Cette unité correspond à un massif montagneux à pentes fortes (plus de 20 à 25%), constitué de roches volcaniques basiques.

La végétation est très peu abondante et très peu dense (moins de 10% de recouvrement), constituée surtout de ligneux hauts (*Fouquieria splendens*), de ligneux bäs (*Larrea tridentata*), de succulentes (*Opuntia microdasys*) et de quelques herbacées.

D'une manière générale, les sols de cette unité sont très peu évolués car constamment rajeunis par l'érosion hydrique et l'altération surtout physique, très pauvres, très peu épais: Lithosols sur roches dures, ou peu épais: Régosols sur colluvions caillouteuses.

L'évolution pédogénétique est très limitée pour cette unité par suite de la faiblesse de l'altération chimique, de la quasi-absence de végétation et des fortes pentes ne permettant pas une stabilisation et une fixation en place du matériau.

### I.2. Unité 2. Zone de piedmont

Dans cette unité, les sols se forment surtout sur un matériau d'apport colluvial, constitué d'éboulis de blocs, cailloux et graviers, provenant essentiellement de la désagrégation physique des roches formant les massifs montagneux. Les résidus de cette altération viennent s'accumuler dans les zones de piedmont où ils se stabilisent par suite des pentes moins fortes (8-10 à 20%).

Les sols qui se développent dans ces colluvions sont plus épais que ceux de l'unité précédente, car il y a eu souvent, lorsque la topographie le permet, apports successifs superposés, qui de plus, confèrent à ces sols une relative ancienneté. Il s'agit essentiellement de Régosols sur colluvions de nature et surtout de taille très variées, dont la réorganisation structurale est formée de nombreux vides, permettant ainsi une pénétration plus profonde du système racinaire de la végétation. Il en résulte que cette dernière est plus abondante et plus dense (recouvrement: 10 à 20%), avec une composition semblable à celle de l'unité précédente.

### I.3. Conclusions

Les sols des zones hautes sont caractérisés par leur jeunesse, leur faible évolution pédogénétique et leur nature constituée essentiellement d'éléments grossiers de toutes tailles en mélanges plus ou moins importants avec de la terre fine.

## II. ZONES INTERMEDIARES

### II.1. Unité 3. Zone de *bajada* supérieure

La zone de piedmont passe vers l'aval, par une rupture de pente assez accusée, à un glacis d'accumulation, appelé localement *bajada*. La partie amont de ce dernier a une pente régulière, qui diminue très graduellement de 6-8% à 2%.

Les sols se développent dans des alluvions constituées de cailloux, graviers et terre fine, qui deviennent de plus en plus fines vers l'aval. A moyenne profondeur (80 à 120 cm en moyenne), ces alluvions reposent sur le substrat de roches sédimentaires du type calcaire marneux, présentant différents faciés.

La végétation est une formation arbustive ou *matorral* dominée par *Larrea tridentata* avec la présence de *Opuntia rastrera* (*nopalera*). Le taux de recouvrement global moyen est de 20 à 25%.

Le ruissellement est important dans cette unité: il s'organise et se concentre rapidement en petites ravines à incision linéaire orientée dans le sens de la pente, qui vers l'aval, avec la diminution de la pente et la réduction de la vitesse d'écoulement, devient un ruissellement diffus en nappe.

Le sol type de cette unité peut être défini par le profil suivant (d'après Breimer, 1985):

Horizon A1: 0 à 24 cm — brun à brun foncé — nombreux éléments grossiers (graviers, cailloux, blocs) — texture argilo-limoneuse — structure particulière — poreux, porosité tubulaire — nombreuses racines, fines et très fines — très calcaire — transition nette et régulière.

Horizon Bk: 24 à 90 cm — brun clair — nombreux éléments grossiers (graviers, cailloux et blocs) — texture argileuse — structure polyédrique subanguleuse, nette, moyenne — peu poreux, porosité tubulaire — quelques racines, très fines et fines — quelques accumulations de calcaire secondaire, blanc, en taches et amas.

> 90 cm: roche-mère (lutite) peu altérée, à débit en polyèdres et plaquettes de quelques centimètres.

#### Caractéristiques analytiques

Profondeur (cm)	Hzon.	Texture (%)			pH eau	Conductiv. électrique (mS/cm)	Matière organique (%)	Capacité d'échange (méq/100 g sol)
		Argile	Limon	Sable				
0-24	A1	38	26	36	8.2	2 <	1.0	16.5
24-90	Bk	46	12	42	8.2	3.5	0.4	17.5

Classification: Yermosol modal, sur alluvions caillouteuses, dont la taille des éléments devient progressivement plus fine, de l'amont vers l'aval de l'unité, reposant à moyenne profondeur sur un matériau calcaro-marneux autochtone.

En fonction du degré d'évolution pédogénétique, on rencontre pour cette unité, des intergrades entre le sol ci-dessus et un sol moins évolué classé comme Régosol sur alluvions caillouteuses.

Localement, certains sols de cette unité présentent une légère redistribution de calcaire secondaire, sous forme discontinue en amas et taches, à moyenne profondeur.

## II.2. Unité 4. Formation à végétation contractée type brousse tigrée ou *mogotes* de *bajada* inférieure

Alors que les unités précédentes se définissent à partir de critères géomorphologiques et lithologiques, l'unité 4 s'individualise par l'aspect particulier sous lequel se distribue la végétation. Celle-ci est en effet discontinue ou contractée et se présente sous forme d'une alternance de bandes ou arcs de végétation dense et de zones de sol nu (Cornet *et al.*, 1983).

Les bandes végétales ont une largeur de 20 à 60 mètres, sur 150 à 300 mètres de longueur, et leur grand axe est toujours perpendiculaire à la ligne de plus grande pente. Les zones de sol nu occupent les espaces entre les arcs de végétation, avec une largeur très variable (40 à 250 mètres), indépendante et sans relations avec celle des arcs.

D'amont en aval, on observe cependant une répétitivité dans la succession des différents éléments constituant cette unité, qui s'ordonnent dans le détail de la manière suivante (Fig. 2):

1. Le sol nu amont ou espace inter-arc amont, avec deux zones:

- une zone de transit ou zone à gravillons, sans aucune végétation. Sur la surface du sol lisse, compacte et très peu poreuse, qui favorise le balayage des graines

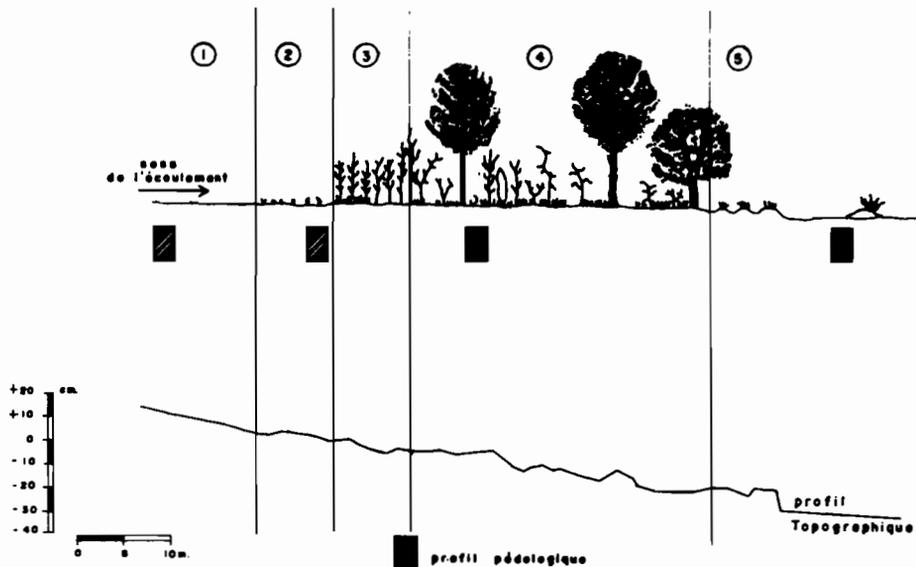


Fig. 2. Coupe transversale d'un *mogote* (d'après Cornet *et al.*, 1983). 1. Zone de transit à gravillons. 2. Zone d'arrivée ou pionnière. 3. Front à *Flourensia*. 4. Corps du *mogote*. 5. Zone aval.

par le vent, reposent de très nombreux petits graviers (1 à 5 mm, recouvrement de 60 à 80%) de nature variée (basalte, grès, calcaire . . .).

Une telle organisation au contact sol-atmosphère crée un milieu beaucoup plus favorable au ruissellement qu'à l'infiltration des eaux pluviales.

- une zone d'arrivée ou zone pionnière, qui succède vers l'aval à la zone de transit, et qui précède directement l'arc de végétation. La partie supérieure du sol est constituée par une pellicule d'environ un centimètre d'épaisseur, constituée d'un matériau de texture limoneuse (42 à 51% de limons totaux, 52 à 66% d'argile et limons totaux), sans aucun élément grossier. Ce micro-horizon superficiel contraste très nettement avec la partie superficielle équivalente du sol de la zone de transit ci-dessus, dont la texture est sableuse (16 à 21% de limons totaux, 28 à 38% d'argile et limons totaux) et qui contient de très nombreux petits éléments grossiers. De par sa texture fine, cette pellicule de surface, sous l'action de la dessiccation, se fissure selon un réseau polygonal donnant des polyèdres de quelques centimètres de côté, disjointifs et à bords relevés. Une telle organisation de la superficie du sol favorise le piégeage des graines, ainsi que l'infiltration des eaux de ruissellement, permettant ultérieurement de nombreuses germinations d'espèces comme *Tridens pulchellus*, *Bouteloua barbata*, *Sida leprosa*, et ainsi la colonisation progressive par la végétation de cette zone pionnière.

2. L'arc de végétation proprement dit, succédant immédiatement à la zone pionnière ci-dessus, où l'on distingue d'amont en aval:

- une strate arbustive constituée quasi uniquement par *Flourensia cernua*, dominant une strate herbacée dense de *Hilaria mutica*. Cette dernière espèce est présente sur l'ensemble de l'arc de végétation, avec un taux de recouvrement basal de 30 à 40%. Cette graminée pérenne est l'une des espèces à intérêt fourrager les plus importantes dans le Réserve de Mapimí.
- une strate arbustive dense où se rencontrent les espèces caractéristiques du *mogote*, comme *Prosopis glandulosa*, *Aloysia lycioides*, *Lippia graveolens*.
- une strate arbustive moins dense, plus pauvre en espèces, composée surtout de *Prosopis* plus âgés que ceux de l'unité précédente et de quelques *Acacia constricta*.
- la zone aval de l'arc végétal, occupée par de vieilles touffes dépérissantes de *Hilaria mutica* et de quelques arbustes. A ce niveau, le taux de recouvrement végétal est faible et inférieur à celui des trois zones précédentes ci-dessus.

Pour l'ensemble de l'arc de végétation, la surface du sol présente un micro relief caractéristique, constitué d'une alternance de zones en relief correspondant aux touffes végétales et de zones en dépression sans végétation.

3. L'espace inter-arc aval ou sol nu aval qui, avec une dénivellation brutale de 10 à 15 cm, fait suite à l'arc de végétation ci-dessus. On y recontre quelques cactacées et des reliques d'arbustes morts tels que *Flourensia* et *Prosopis*.

Cet espace aval du *mogote* passe progressivement à l'espace inter-arc amont de l'arc de végétation suivant.

La pente générale de cette unité est voisine de 1%, ce qui est suffisant pour que se crée et s'organise, par suite de l'état de surface du sol, un ruissellement en nappe dans la zone de transit ou zone à gravillons. Cette dernière, en jouant le rôle d'un impluvium, permet ainsi un apport d'eau complémentaire à l'arc de végétation situé plus en aval: il y a tout d'abord, dans la zone pionnière, infiltration favorisée par la fissuration de la surface du sol, et ensuite, piégeage puis infiltration et stockage de l'eau dans le sol dans la moitié amont essentiellement de l'arc de végétation, par suite du micro-relief.

Avec cette redistribution des eaux de surface, l'arc de végétation utilise ainsi, en moyenne, 1.5 à 2 fois la pluviométrie annuelle, ce qui explique la densité et la diversité de la couverture végétale à ce niveau, bien que l'on soit en milieu aride.

Cet apport d'eau de ruissellement est stocké dans le sol surtout aux niveaux de la zone pionnière et de la partie amont de l'arc de végétation, alors qu'il n'y a pratiquement plus de ruissellement arrivant à la zone aval du *mogote*. Il en résulte que dans cette dernière, la végétation est moins dense, ne recevant que l'eau pluviale, et avec les variations pluviométriques inter-annuelles qui caractérisent le milieu, en année sèche, les plantes crèvent par suite d'un déficit hydrique: ce sont les reliques d'arbustes que l'on observe à ce niveau. Inversement, la zone amont de l'arc de végétation peut survivre grâce aux apports d'eaux de ruissellement, même lors des années de sécheresse.

La zone pionnière est colonisée peu à peu par la végétation, grâce aux germinations qui s'y développent préférentiellement, par suite du piégeage des graines et de l'infiltration de l'eau dans le sol. A leur contact avec l'arc de végétation, les eaux de ruissellement sont freinées, ce qui combiné avec une très légère rupture de pente, provoquent le dépôt des éléments fins qu'elles contenaient en suspension: ceux-ci correspondent au micro-horizon superficiel de la zone pionnière, décrit ci-dessus.

En fonction du temps, il apparaît ainsi une dynamique évolutive du *mogote*: il y a colonisation progressive par la végétation de la zone amont de l'arc végétal avec, corrélativement, mort de la végétation de la zone aval. Il en résulte un déplacement lent et irrégulier vers l'amont de l'arc de végétation, qui doit se poursuivre jusqu'à ce qu'un état d'équilibre soit atteint, en fonction des conditions topographiques.

La couverture pédologique ne présente pas de discontinuités ou hétérogénéités majeures pour l'ensemble de l'unité, mis à part quelques variations dans la partie supérieure du sol, dûes essentiellement à la présence de végétation, qui ne modifient pas le type de sol, considéré sous les aspects genèse et nature du matériau dans lequel il se développe. Aussi, peut-on caractériser morphologiquement la couverture pédologique de cette unité par le profil-type ci-dessous, situé dans un arc de végétation.

Horizon A11: 0 à 4 cm — gris brun clair — à débris organiques — effervescence à l'acide — éléments grossiers, recouvrement 5%, graviers — texture limoneuse — structure polyédrique subanguleuse, fine (tendance à grumeleuse) — peu poreux — friable — quelques racines, fines — transition nette et régulière.

Horizon A12: 4 à 18 cm — gris clair — à matière organique non visible — effervescence à l'acide — éléments grossiers, recouvrement 20 %, graviers, émoussés — texture sablo-argileuse — structure polyédrique, fine — peu poreux, pores très fins, porosité tubulaire et intergranulaire — peu friable — racines, fines et moyennes, inclinées — transition distincte et régulière.

Horizon B21: 18 à 40 cm — gris clair — à matière organique non visible — effervescence à l'acide — éléments grossiers, recouvrement 20-25 %, graviers émoussés — texture argilo-sableuse — structure polyédrique fine, peu nette, tendance à massive — peu poreux, pores fins, porosité tubulaire et intergranulaire — très peu friable — quelques racines, fines et moyennes, horizontales et inclinées — transition distincte et régulière.

Horizon B22: 40 à 60/70 cm — gris-clair — apparemment non organique — effervescence à l'acide — éléments grossiers, recouvrement 25 %, graviers et quelques cailloux — texture équilibrée — structure massive à débit anguleux — très peu friable, très compact — très peu poreux, porosité intergranulaire — quelques racines fines, inclinées — transition nette et ondulée.

Horizon IIB23: 60/70 à 85/95 cm — gris-clair — non organique — forte effervescence à l'acide — pas d'éléments grossiers — texture argilo-limoneuse — structure polyédrique nette, moyenne — peu poreux, pores tubulaires fins et moyens — très peu friable — quelques racines, fines — transition distincte et ondulée.

Horizon IIB3: 85/95 à 110 cm — horizon de transition, constitué de terre fine de texture argilo-limoneuse en agrégats polyédriques fins, juxtaposée à des plaquettes de calcaire marneux non altéré — bariolage de couleur avec zones brune et beige-clair — peu poreux — pas d'éléments grossiers — forte effervescence à l'acide — rares racines, fines et très fines — peu friable — transition distincte et régulière.

Horizon IIC: 110 à 150 cm observé — roche-mère (calcaire marneux) très peu altérée, à débit en plaquettes et polyèdres, dont la taille augmente avec la profondeur — pas de racines — pas d'éléments grossiers — forte effervescence à l'acide.

### Caractéristiques analytiques

Profondeur (cm)	Horizon	Texture (%)			pH eau	Carbone organique (%)	Azote total (%)	C/N	Capacité d'échange (méq/100g)	Conductivité électrique (mS/cm)	CaCO <sub>3</sub> (%)
		Argile	Limons	Sable							
0-3	A 11	15.9	42.3	41.8	8.1	1.96	0.052	37.7	27.5	1.00	12.2
6-14	A 12	28.0	16.2	55.8	8.5	0.53	0.053	10.0	22.2	0.80	12.8
25-33	B 21	33.1	15.2	51.7	7.7	0.31	0.056	5.5	21.3	0.60	22.4
48-58	B 22	24.1	31.2	44.7	8.2	0.23	0.033	7.0	19.6	1.00	22.0
71-79	II B 23	39.4	42.4	18.2	8.4	0.21			21.3	0.75	33.7
97-105	II B 3	37.4	48.0	14.6	8.8	0.19			18.5	2.00	36.7
130-140	II C	41.0	24.7	34.3							

Classification: Xérosol modal, sur alluvions fines et moyennes, reposant à moyenne profondeur sur un matériau calcaire-marneux autochtone.

Les soixante centimètres supérieurs du sol sont constitués par un matériau allochtone d'apport alluvial provenant de l'altération et de la désagrégation physico-chimique des reliefs situés à l'amont. Ce matériau, formé d'un mélange de terre fine et d'éléments grossiers (graviers et cailloux), est venu s'épandre, vraisemblablement lors de la dernière phase pluviale du Quaternaire (22 000 à 11 000 ans BP), sur la roche calcaire en place constituant le substrat.

Le sol s'est développé ainsi dans deux matériaux superposés, d'origine et de nature différentes: de 0 à 60 cm, présence d'éléments grossiers et texture moyenne à équilibrée; au-dessous de 60 cm, absence d'éléments grossiers et texture fine. Les pH sont basiques et la conductivité électrique est faible (absence de salure). Le carbonate de calcium augmente de haut en bas du profil: il s'agit d'un calcaire primaire, d'origine lithologique, et l'on n'observe aucune forme d'accumulation secondaire de cet élément.

La teneur en carbone organique de l'horizon superficiel est voisine de 2%: il s'agit d'une matière organique très peu évoluée (rapport C/N proche de 40) provenant des apports périodiques au sol de litière (feuilles mortes surtout), qui se minéralise rapidement, puisque dès l'horizon A12 on retrouve une teneur en carbone organique et un rapport C/N voisins de ceux que l'on observe dans un sol situé dans les zones sans végétation, comme le montrent les valeurs ci-dessous:

	Sol dans arc de végétation		Sol dans zones sans végétation	
	C organique (%)	C/N	C organique (%)	C/N
Horizon A11	1.96	37.7	0.55	7.1
Horizon A12	0.53	10.0	0.45	6.7
Horizon B21	0.31	5.5	0.30	6.0

Le sol situé dans les zones sans végétation (espaces inter-arc amont et aval) présente la même succession morphologique d'horizons que le profil-type ci-dessus, avec cependant quelques faibles variations dans l'épaisseur des horizons.

C'est essentiellement sous l'influence de la végétation que se modifient certaines caractéristiques analytiques et propriétés physiques de la partie supérieure du sol, en fonction de l'absence ou de la présence d'une couverture végétale. Celle-ci, par ses apports périodiques, donne au sol une plus forte teneur en humus, qui combinée à une relative abondance de racines, favorisent l'existence d'une structure plus fine et plus arrondie (tendance à grumeleuse), améliorant ainsi les propriétés physiques du sol: meilleure aération et meilleure porosité, avec augmentation de la perméabilité. Ce sont

les différences essentielles que l'on observe pour la couverture pédologique de cette unité, entre le sol sans végétation et le sol situé dans les arcs de végétation. Mais ces différences restent limitées aux trente centimètres superficiels; au-dessous, les caractéristiques du sol sont semblables, en présence ou en l'absence d'une couverture végétale.

Du fait de sa pauvreté en matière organique, le sol situé dans les espaces inter-arc, sans végétation, est classé comme un Yermosol modal, sur alluvions fines et moyennes, reposant à moyenne profondeur sur un matériau calcaro-marneux autochtone.

### II.3. Unité 5. Dépressions à *Hilaria mutica* de bajada inférieure

L'existence de cette unité est liée à la présence de petites collines ou *lomas*, localisées essentiellement à l'aval de la *bajada* inférieure, qui en créant des contre-pentes, modifient le sens d'écoulement des eaux de surface et donnent naissance à des zones basses à pente très faible (moins de 1%), où viennent s'accumuler les eaux de ruissellement. Ce sont ces dépressions qui constituent l'unité 5 de la toposéquence.

La végétation est essentiellement une formation herbeuse, constituée presque uniquement d'une seule espèce: *Hilaria mutica*, graminée pérenne, dont le recouvrement basal est de 25 à 30%. Cette strate herbacée, où l'on note la présence de cactacées, est dominée par quelques arbustes parmi lesquels l'espèce *Prosopis glandulosa* est la plus abondante.

Comme pour l'unité précédente, la végétation se distribue de manière contractée, mais alors que dans l'unité 4 la discontinuité dans la répartition spatiale de la couverture végétale avait une échelle multi-décamétrique, pour la présente unité, l'échelle est métrique. Il y a en effet alternances de touffes végétales de 30 à 40 cm de diamètre, en relief de 5 à 10 cm, et de zones de sol nu en dépressions.

Par suite de cette microtopographie et de la localisation de cette unité dans les zones basses du paysage, il y a des apports d'eaux importants par ruissellement, qui sont piégés dans les espaces en dépressions situés entre les touffes végétales, et stockés dans le sol.

Nous retrouvons ainsi, comme pour l'unité précédente, une formation végétale fonctionnant, dans ce milieu aride, avec une quantité d'eau nettement supérieure (plus de 50%) à la pluviométrie naturelle.

L'étude morphologique et analytique de plusieurs profils de sols situés dans cette unité montre que la couverture pédologique est continue et homogène. Nous caractérisons celle-ci par le profil morphologique et les résultats analytiques suivants:

Horizon A11: 0 à 6 cm — horizon discontinu, développé essentiellement sous les touffes de végétation — gris-brunâtre-clair — à matière organique non visible — effervescence à l'acide — très peu d'éléments grossiers, recouvrement inférieur à 1%, graviers — texture argilo-limoneuse — structure lamellaire en superficie,

passant rapidement à polyédrique sub-anguleuse, fine, nette — fragile — poreux, porosité tubulaire, pores fins et moyens, quelques-uns grossiers — racines, fines et moyennes, localisées essentiellement sous les touffes végétales — transition nette et régulière.

Horizon B21: 6 à 60 cm — gris-brun-rougeâtre — à matière organique non visible — pas d'éléments grossiers — effervescence à l'acide — texture argileuse — structure polyédrique, moyenne, nette — non fragile — très peu poreux, porosité tubulaire, pores très fins — racines jusqu'à 30 cm, fines et moyennes, obliques, passant au-dessous à quelques racines, horizontales, très fines et fines — pas de faces de glissement — transition distincte et régulière. (Horizon caractérisé par sa texture fine, sa faible porosité et sa forte cohésion qui forme obstacle à la pénétration des racines).

Horizon II C1cs: 60 à 90 cm — gris-brunâtre-clair — apparemment non organique — effervescence à l'acide — pas d'éléments grossiers — éléments secondaires, recouvrement 15 à 20%, sous forme discontinue, en amas et taches blanchâtres, de gypse — texture argilo-limoneuse — structure polyédrique, nette, fine — peu poreux, pores tubulaires, fins et très fins — présence d'éléments en plaquettes, de 1 à 2 mm, de roche-mère (calcaire marneux peu altéré) — pas de racines — peu fragile — transition distincte et régulière. (Horizon d'altération physico-chimique de la roche-mère où s'est développée une accumulation secondaire de gypse).

Horizon II C2: 90 à 150 cm observé — roche-mère présentant à la partie supérieure une fragmentation physique en polyèdres et plaquettes de 5 à 20 mm, dont la taille augmente progressivement avec la profondeur.

#### Caractéristiques analytiques

Profondeur (cm)	Horizon	Texture (%)			pH eau	Carbone org. (%)	Azote total (%)	C/N	Conduct. électr. (mS/cm)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Gypse (%)	Capacité d'échange (méq/100 g)
		Argile	Limon	Sable								
0-6	A 11	37.5	20.0	42.5	8.4	0.55	0.062	8.9	1.2	19.0	7.5	19.7
12-20	B 21	51.5	12.0	36.5	8.9	0.57	0.061	9.3	1.1	23.0	8.9	22.5
30-40	B 21	51.1	14.0	34.9	8.9	0.38	0.043	8.8	0.5	21.3	9.5	23.5
45-55	B 21	55.1	12.0	32.9	8.8	0.38	0.033	11.5	6.8	20.7	9.9	24.5
75-82	II C1cs			26.9	8.2	0.34	0.020	17.0	11.9	17.6	17.1	32.1
110-120	II C2									17.3	4.8	

Classification: Yermosol gypseux, sur alluvions argileuses, reposant à moyenne profondeur sur un matériau calcaro-marneux autochtone.

La texture du sol est argileuse dès la surface. Il s'agit essentiellement d'une argile

de type smectite, associée à de l'illite. Malgré ces caractéristiques, le sol ne présente pas de propriétés vertiques (fentes, faces de glissement).

La teneur en matière organique, moins de 1%, est faible, avec des rapports C/N voisins de 9, indiquant un humus bien évolué.

La conductivité électrique reste négligeable dans les 40 cm supérieurs du sol; au-dessous, elle devient notable surtout en profondeur où elle atteint 12 mS/cm. Il s'agit d'une salinité d'origine lithologique provenant de la roche-mère.

En ce qui concerne le carbonate de calcium, on note un très léger appauvrissement en surface, tandis que le gypse présente à moyenne profondeur une augmentation très nette, correspondant à une accumulation secondaire sous forme discontinue. Compte tenu de l'hydrodynamique actuelle de ce type de sol (faible infiltration, front d'humectation ne dépassant pas 50 à 60 cm), cette redistribution du gypse en profondeur ne peut être qu'un caractère hérité d'une pédogenèse plus ancienne.

Certains sols de cette unité présentent, au lieu d'une accumulation secondaire de gypse, une redistribution de calcaire. Celle-ci est localisée en profondeur (70 à 90 cm), de manière discontinue en taches et amas, les autres caractéristiques morphologiques et analytiques restant similaires à celles du profil ci-dessus. Dans ce cas, le sol est classé comme un Yermosol calcaire, sur alluvions argileuses, reposant à moyenne profondeur sur un matériau calcaro-marneux autochtone. La répartition de ce dernier type de sol dans le paysage est liée essentiellement à la proximité d'un relief constitué de roches calcaires ou de roches volcaniques basiques.

#### II.4. Conclusions

Les sols des unités 3, 4 et 5 ci-dessus sont très semblables par leur morphologie et par les matériaux dans lesquels ils se sont formés. Ils se développent en effet dans deux matériaux différents superposés: une roche calcaro-marneuse en profondeur, autochtone, sur laquelle sont venus s'épandre de manière continue des apports alluviaux.

La mise en place de ces derniers est à mettre en liaison avec la dernière glaciation Quaternaire (Wisconsin), à laquelle correspond dans la zone d'étude, une période humide. Durant celle-ci d'importants phénomènes d'érosion ont modifié les paysages et provoqué en particulier, une abrasion de la partie supérieure des sols préexistants, avec corrélativement dépôts de nouveaux matériaux sur ceux-ci.

Progressivement à partir de la fin de la période humide ci-dessus (10 000-8 000 ans BP), le climat est devenu plus chaud et plus sec, aboutissant au climat aride que nous observons aujourd'hui. Dans un tel milieu, la dynamique et l'évolution actuelles des sols, du fait des faibles précipitations, ne peuvent être que limitées, et ne concernent, dans la plupart des cas, que la partie supérieure du profil pédologique par suite de la nature argileuse du sol qui s'oppose à une infiltration vers la profondeur des solutions.

Les profils de sols que l'on observe actuellement dans les zones intermédiaires sont ainsi les témoins de l'évolution pédogénétique du Quaternaire récent. Ce sont des sols polyphasés, avec en profondeur un sol évolué ancien en place, tronqué, caractérisé lo-

calement par une redistribution secondaire d'éléments comme le gypse ou le calcaire, sur lequel repose le sol actuel, constitué d'apports alluviaux, relativement jeune, à dynamique et évolution lentes.

Pour l'ensemble des sols des zones intermédiaires, il faut noter l'absence de salinité notable dans les 60 centimètres supérieurs et le classement granulométrique du matériau d'apport qui devient de plus en plus fin à mesure que l'on s'éloigne des reliefs.

Ces zones se caractérisent aussi par le type de répartition de la végétation dans le paysage. Celle-ci est en effet discontinue ou contractée, avec deux échelles de distribution:

- une répartition à l'échelle multidécamétrique: il y a alternances de zones à végétation (quelques dizaines de mètres de diamètre) et de zones de sol nu sans couverture végétale, alternances pouvant être irrégulières ou bien présenter une régularité dans la succession et la répétitivité des alternances (cas de l'unité 4, formation de brousse tigrée ou *mogote*).
- une répartition à l'échelle mètre dans les zones à végétation (cas de l'unité 5, formation d'*Hilaria mutica*): il y a alternances de touffes végétales en relief sur le sol (quelques dizaines de centimètres de diamètre) et de zones de sol nu en dépression, créant une microtopographie qui joue un rôle important dans la redistribution et le stockage de l'eau dans le sol au niveau stationnel.

Avec cette végétation contractée, il se créent des surfaces à fort ruissellement dans les zones de sol nu, avec corrélativement piégeage d'eau complémentaire dans les zones de végétation. Il en résulte ainsi une distribution sélective de l'eau dans le paysage avec une infiltration et un stockage différentiels dans le sol, selon la localisation topographique et la présence ou l'absence d'une couverture végétale. A terme, cela peut induire une évolution pédogénétique différenciée entre les zones de végétation et les zones de sol nu, qui traduirait l'influence, à postériori, d'un couvert végétal sur un milieu pédologique préexistant.

### III. ZONES BASSES

#### III.1. Unité 6. Épandages graveleux de la zone de transition *bajada-playa*.

Par suite de la structure géologique, le substrat de la zone de transition *bajada-playa* présente une alternance de strates, plus ou moins redressées, d'un matériau calcaire-marneux et de conglomérats. Ces derniers, plus résistants, ont été mis à l'affleurement par érosion différentielle et ont donné naissance à des épandages graveleux constitués surtout de graviers, cailloux et pierres de nature diverse (calcaire, basalte, grès . . .). La distribution de ces épandages est cependant hétérogène, avec des variations dans leur épaisseur et dans leurs compositions granulométrique et minéralogique.

La pente est très faible (légèrement inférieure à 1%) et la végétation se présente, ici aussi, de manière discontinue et irrégulière avec alternance d'espaces dénudés pra-

tiquement sans végétation et de zones végétales plus ou moins denses (recouvrement de 20 à 40%). Dans celles-ci, on distingue une strate herbacée dominée par *Hilaria mutica* et une strate arbustive à *Larrea tridentata* et *Prosopis glandulosa*. On note la présence de crassuléscentes, avec surtout le genre *Opuntia*.

Le profil de sol caractéristique de cette unité peut être décrit morphologiquement de la manière suivante:

En surface, pierrosité notable (recouvrement 15 à 20%) constituée de graviers et cailloux surtout, arrondis, de roches volcaniques et de grès.

Horizon A1: 0 à 50/55 cm — gris-brun clair — à matière organique non visible — forte effervescence à l'acide — éléments grossiers, recouvrement 30 à 35%, graviers et cailloux, arrondis — texture équilibrée — structure polyédrique subanguleuse, peu nette, fine — peu poreux, porosité tubulaire, pores fins et quelques-uns moyens — quelques racines, fines, sub-horizontales et inclinées — friable — transition distincte et légèrement ondulée.

Horizon B21ca: 50/55 à 75/80 cm — gris-clair — apparemment non organique — forte effervescence à l'acide — éléments secondaires, de calcaire, en taches, amas et nodules blanchâtres, recouvrement 10 à 12% — éléments grossiers, recouvrement 25 à 30%, graviers et cailloux, arrondis — texture limono-argileuse — structure massive à éclats anguleux — peu poreux, quelques pores fins, tubulaires — peu friable — très peu de racines, fines, horizontales — transition nette et légèrement ondulée.

Horizon B22: 75/80 à 150 cm observé — gris-clair — apparemment non organique — forte effervescence à l'acide — éléments grossiers très peu abondants, recouvrement inférieur à 1%, petits graviers arrondis — texture limoneuse à équilibrée en surface passant vers la profondeur à limono-sableuse et sablo-limoneuse — structure polyédrique anguleuse peu nette avec tendance à massive à éclats anguleux — peu poreux en surface devenant légèrement plus poreux au-dessous, porosité tubulaire et intergranulaire — pas de racines — peu friable.

### Caractéristiques analytiques

Profondeur (cm)	Hzon.	Texture			pH	Carbone org. (%)	Azote total (%)	C/N	CaCO <sub>3</sub> (%)	Conduct. élect. (mS/cm)	Capacité d'échange (méq/100 g)
		Argile	Limon	Sable							
0-6	A1	16.8	16.7	66.5	7.7	0.53	0.042	12.6	32.6	0.45	13.7
12-24	A1	20.8	26.7	52.5	7.8	0.59	0.070	8.4	37.7	0.35	18.6
30-42	A1	18.8	32.7	48.5	7.8	0.59	0.042	14.0	39.8	0.45	12.9
52-65	B21ca	21.4	30.7	47.9	8.1	0.51	0.070	7.3	50.0	0.45	15.0
88-100	B22	18.9	31.4	49.7	7.7	0.55			42.3	0.75	14.5

Classification = Yermosol calcaire, de texture moyenne, sur épandages graveleux.

La texture de la terre fine est moyenne et la teneur en humus est très faible, avec cependant une répartition homogène sur l'ensemble du profil. Le sol ne présente pas de salure, la conductivité électrique restant inférieure à 1 mS/cm. Un horizon de redistribution de calcaire secondaire, sous forme discontinue, s'est individualisé à moyenne profondeur, mais il s'agit d'une accumulation plus ou moins accentuée et l'on rencontre ainsi tous les intergrades entre le Yermosol calcaire et le Yermosol modal.

D'une manière générale, les sols de cette unité se développent dans un matériau d'apport relativement épais et riche en éléments grossiers. Leur évolution pédogénétique actuelle est limitée.

### III.2. Unité 7. Zone de *playa*

Par suite d'un jeu de failles, la *playa* est un fossé d'effondrement où sont venus s'accumuler, au cours des temps géologiques, des sédiments alluviaux et lacustres sur de grandes épaisseurs.

Actuellement, cette unité se présente comme une surface plane à pente très faible (inférieure à 0.5%), dans laquelle un axe central d'écoulement canalise les eaux superficielles vers une *laguna* à forte concentration saline, située au nord-ouest de la Réserve de Mapimi et qui correspond au niveau de base d'un bassin endoreïque.

Les eaux de ruissellement, plus ou moins chargées en sels solubles, se redistribuent très lentement et de manière irrégulière dans cette zone de *playa*, par suite de la pente très faible, de l'évaporation, du micro-relief et de l'hétérogénéité spatiale dans la répartition des pluies. Il en résulte ainsi une succession de cycles dissolution-dépôt des sels solubles contenus dans ces eaux qui, progressivement et irréversiblement viennent se déposer dans les sols, essentiellement dans la partie supérieure de ceux-ci.

La couverture pédologique de cette unité présente ainsi des degrés variables de salinité, et les différents sols de *playa*, qui se développent généralement dans un matériau d'apport alluvial de texture fine, sont les suivants, d'après González-Barrios, 1986:

- des Yermosols gypseux, présentant un horizon d'accumulation secondaire de gypse à moyenne profondeur, avec un faciès salin et/ou sodique plus ou moins accentué. Certains de ces sols présentent de plus des propriétés vertiques peu accentuées (fentes essentiellement).
- des Régosols faiblement à moyennement salés et à phase sodique, développés dans un matériau de texture fine à moyenne.
- des Vertisols chromiques, à faciès salin et sodique.
- des Solontchaks modaux, certains d'entre eux présentant un horizon d'accumulation secondaire riche en gypse.

La végétation de cette unité est constituée soit de formations herbacées dominées par quelques arbustes, soit de steppes arbustives ou sub-arbustives.

Les espèces herbacées les plus importantes sont *Hilaria mutica*, *Sporobolus airoides* et *Sporobolus spiciformis*, tandis que parmi les arbustes dominant *Prosopis glandulosa*, *Atriplex acanthocarpa*, *Atriplex canescens* et des espèces halophytes comme *Suaeda nigrescens* et *Suaeda suffrutescens*.

Nous présentons ci-dessous deux profils de sols caractéristiques de l'unité, un vertisol chromique et un solontchak gypseux.

1. Vertisol chromique: situé près de l'axe central d'écoulement, canalisateur des eaux de surface

#### Description morphologique

Horizon A11: 0 à 10 cm — gris-brunâtre — à matière organique non décelable — pas d'éléments grossiers — forte effervescence à l'acide — texture argilo-limoneuse — structure polyédrique sub-anguleuse, fine, nette — peu poreux, pores tubulaires très fins, et fins — très fragile — quelques racines, fines, inclinées — transition nette et régulière.

Horizon B21sa: 10 à 65/70 cm — gris-brunâtre — à matière organique non décelable — pas d'éléments grossiers — forte effervescence à l'acide — texture argileuse — structure prismatique grossière, bien développée et nette dans la moitié supérieure de l'horizon — peu poreux à très peu poreux, pores tubulaires, très fins — fentes verticales, de quelques millimètres à 2 centimètres de large, débutant au sommet de l'horizon et se terminant à la base de celui-ci — quelques faces de glissement, peu nettes et peu accentuées — peu fragile à très peu fragile — très peu de racines, fines et moyennes — transition distincte et légèrement ondulée.

Horizon B22sa: 65/70 à 115 cm — gris-brun rougeâtre — non organique — pas d'éléments grossiers — forte effervescence à l'acide — texture argileuse — structure polyédrique, peu nette, moyenne — très peu poreux, pores tubulaires très fins — très peu fragile — pas de racines — pas de fentes — pas de faces de glissement — transition graduelle et régulière.

Horizon B23sa: 115 à 160 cm observé — gris-brun-clair — non organique — pas d'éléments grossiers — forte effervescence à l'acide — texture argileuse — structure polyédrique sub-anguleuse, très nette, moyenne — peu poreux, pores tubulaires très fins et fins — pas de fentes — pas de faces de glissement — très peu fragile — pas de racines.

## Caractéristiques analytiques

Profondeur (cm)	Horizon	Texture (%)			pH	Carbone org. (%)	Azote total (%)	C/N	CaCO <sub>3</sub> (%)	Gypse (%)
		Argile	Limon	Sable						
0-10	A11	40.2	45.0	14.8	8.2	0.62	0.080	7.8	23.6	11.8
20-32	B21sa	46.8	38.4	14.6	8.7	0.47	0.062	7.6	23.1	12.7
40-56	B21sa	45.5	40.3	12.3	8.7	0.34	0.050	6.8	23.6	13.7
80-96	B22sa	49.8	38.8	9.3	8.5				26.8	14.5
132-148	B23sa	46.1	42.9	8.6	8.4				27.5	14.2

Profondeur (cm)	Horizon	Conduct. électr. (mS/cm)	Capacité d'échange (méq/100 g)	Na échangeable (méq/100 g)	% Na échangeable
0-10	A11	24.0	22.3	6.8	30.5
20-32	B21sa	21.7	23.6	14.2	60.2
40-56	B21sa	17.6	24.8	18.8	75.6
80-96	B22sa	13.8	25.4	17.9	70.5
132-148	B23sa	12.0	24.9	17.3	69.5

Classification: Vertisol chromique, à caractères vertiques peu accentués, halomorphe, sur alluvions à texture fine.

Développé dans un matériau alluvial de texture argileuse, le sol présente des propriétés vertiques nettes, mais peu développées. La teneur en humus est faible, avec un rapport C/N bas indiquant une matière organique évoluée. La salinité est relativement importante, surtout dans la partie supérieure du sol où la conductivité est supérieure à 20 mS/cm, avec une décroissance régulière de haut en bas du profil. Il s'agit essentiellement de chlorures associés surtout au sodium. A noter la forte proportion de cet élément sous forme échangeable dans le complexe absorbant. Le carbonate de calcium et le gypse sont primaires et sont constitutifs du matériau originel du sol.

- Solontchak gypseux (d'après González-Barrios, 1986): localisé en bordure ouest de la Laguna de Palomas, et à environ 19 kilomètres au nord-ouest de la toposéquence décrite ci-dessus.

### Description morphologique

Horizon A1sa-cs: 0 à 45 cm — gris-brun-clair — peu organique — pas d'éléments grossiers — effervescence à l'acide — éléments secondaires, avec une répartition gé-

néralisée, en cristaux de gypse (rose des sables, fer de lance), de quelques millimètres à quelques centimètres et en taches blanchâtres — texture limono-sableuse — structure massive — peu poreux, porosité intergranulaire — peu friable — quelques racines, fines et très fines — transition nette et légèrement ondulée.

Horizon B21sa-cs: 45 à 70 cm — gris-brun-clair — apparemment non organique — effervescence à l'acide — pas d'éléments grossiers — éléments secondaires de gypse, en lignes blanchâtres superposées de quelques centimètres d'épaisseur, et en nombreux cristaux de quelques millimètres — texture argilo-limoneuse — structure massive — poreux, porosité intergranulaire — pas de racines — transition distincte et régulière.

Horizon B22sa-cs: 70 à 105/110 cm — gris-clair — apparemment non organique — pas d'éléments grossiers — effervescence à l'acide — éléments secondaires, de gypse, formant une croûte/encroûtement horizontal, discontinu, compact et contenant de très nombreux cristaux très fins de gypse — texture argilo-sableuse — très peu poreux — pas de racines — transition nette et légèrement ondulée.

Horizon B23sa-cs: 105/110 à 145 cm — gris-brun clair — non organique — pas d'éléments grossiers — effervescence à l'acide — éléments secondaires, en cristaux de gypse, de 1 à 5 centimètres (rose des sables) — texture limono-argileuse — structure massive — peu poreux, pores tubulaires, fins et très fins — pas de racines.

### Caractéristiques analytiques

Profondeur (cm)	Horizon	pH	Carbone org (%)	Azote total (%)	C/N	CaCO <sub>3</sub> (%)	Gypse (%)	Conduct. élect. (mS/cm)	Capacité d'échange (méq/100 g)	% Na échangeable
0-6	A1sa-cs	8.1	0.24	0.022	10.9	13.0	46.8	3.4	11.5	7.3
16-24	A1sa-cs	8.4	0.12	0.012	10.0	15.0	38.6	19.7	15.0	100
36-42	A1sa-cs	8.4	0.08	0.010	8.0	12.0	41.7	29.6	9.7	100
52-68	B21sa-cs	8.1	0.09	0.009	10.0	9.0	52.1	58.4	6.0	100
85-95	B22sa-cs	8.1				7.0	67.7	51.9	4.5	100
122-132	B23sa-cs	7.9				22.0	13.7	86.6	16.1	100

Classification: Solontchak modal, à encroûtement gypseux de nappe, à phase sodique, sur matériau d'apport alluvial de texture moyenne à fine.

Ce type de sol est caractérisé d'une part par une forte salinité, et d'autre part, par l'existence d'une accumulation secondaire importante de sulfate de calcium.

Le profil salin est descendant, c'est-à-dire que la salinité augmente avec la profondeur: la conductivité électrique passe en effet de 20 mS/cm près de la surface à plus de 80 mS/cm en profondeur. Cette salinité est à mettre en liaison avec l'existence d'une nappe phréatique, riche en sels solubles parmi lesquels dominent les chlorures associés à du sodium et secondairement à du calcium et du magnésium.

L'accumulation secondaire de gypse est liée, de même, au battement de la nappe. Celle-ci est venue déposer à moyenne profondeur le gypse en solution qu'elle contenait, sous forme d'un encroûtement très riche en gypse. En surface, on observe une augmentation de la teneur en sulfate de calcium, due aux remontées capillaires de solutions contenant du gypse dissous, lequel est venu se déposer à la superficie du sol par suite de l'évaporation.

A noter la très faible teneur en matière organique.

### III.3. Unité 8. Zone à végétation contractée type polygonal, de *playa*.

Bien que située dans la *playa*, cette unité s'individualise par l'aspect sous lequel se distribue la végétation: celle-ci est en effet du type contractée et occupe les côtés d'un réseau polygonal irrégulier, très nettement visible sur photographies aériennes.

Ce réseau, constitué de lignes se recoupant, est mis en évidence par la végétation qui, en s'installant de manière dense le long de ces lignes, fait ressortir en l'amplifiant le réseau polygonal, par contraste avec les espaces entre les lignes pratiquement dépourvus de toute végétation.

Dans le détail (Fig. 3), la maille polygonale est très irrégulière, avec des côtés orientés en tous sens et parfois interrompus. Ceux-ci ont une longueur variant de 10 à 40 mètres et une largeur de 3 à 5 mètres avec la végétation. La pente générale moyenne est de 0.2%.

Des relevés micro-topographiques font apparaître dans la partie médiane des lignes du réseau, des dépressions de la surface du sol de 10 à 30 cm de profondeur et de 1 à 2 mètres de largeur, qui sont présentes sur chaque ligne et sur toute la longueur de celle-ci.

La végétation est constituée par une communauté quasi mono-spécifique de *Suaeda nigrescens* ayant colonisé les côtés du réseau polygonal avec des arbustes atteignant 1 à 2 mètres de hauteur. Sous cette strate arbustive on rencontre une strate herbacée très pauvre en espèces et d'un faible taux de recouvrement, constituée essentiellement par *Hilaria mutica*, *Sida leprosa* et *Bouteloua barbata*.

Dans les espaces intérieurs du réseau polygonal, la surface du sol est dénudée, pratiquement sans végétation. On rencontre seulement quelques buissons de *Suaeda* en très mauvais état et des restes d'arbustes morts.

Le profil pédologique suivant est caractéristique et représentatif du sol de cette unité.

Horizon A11: 0 à 4 cm — gris-brun-clair — très peu organique — effervescence à l'acide — pas d'éléments grossiers — texture équilibrée — structure particulière — peu poreux, pores très fins, tubulaires et intergranulaires — peu friable — quelques racines, très fines et fines — transition nette et régulière.

Horizon A 12: 4 à 30 cm — gris-brun — très peu organique — effervescence à l'acide — pas d'éléments grossiers — texture argilo-limoneuse — structure polyédrique

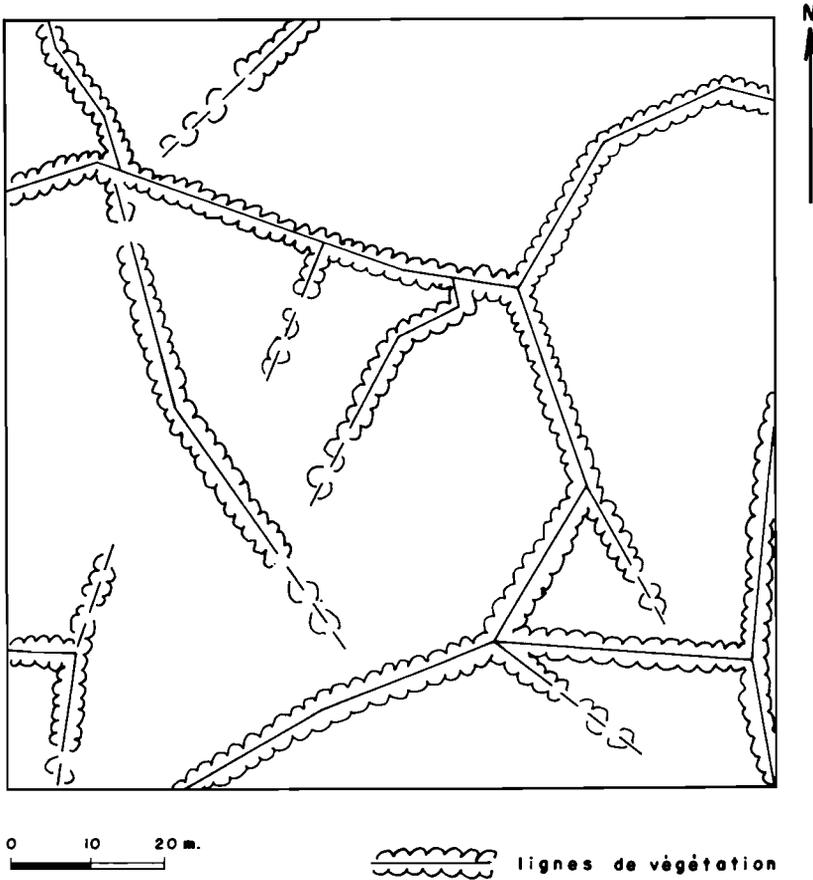


Fig. 3. Diagramme du réseau polygonal en projection horizontale (100 x 100 m) (d'après Delhoume *et al.*, 1983).

fine, peu nette — peu poreux, pores très fins, intergranulaires et tubulaires — quelques racines, très fines et fines — très peu friable — transition nette et régulière.

Horizon B21cs: 30 à 55 cm — gris-brun-clair — très peu organique — effervescence à l'acide — pas d'éléments grossiers — éléments secondaires, en nombreux cristaux de gypse, de 1 à 3 mm, répartis de manière uniforme dans l'horizon et juxtaposés à la terre fine — texture limono-argileuse — structure polyédrique fine, nette, très fragile — très friable — peu poreux, pores intergranulaires — très peu de racines, fines et très fines — transition graduelle et régulière.

Horizon B22: 55 à 140 cm observé — gris-brun-clair — apparemment non organique — pas d'éléments grossiers — effervescence à l'acide — éléments secondaires,

de gypse, en cristaux de 1 à 3 mm, localisés de 55 à 100 cm, dont la quantité diminue avec la profondeur — texture argileuse à très argileuse — structure polyédrique fine jusqu'à 70 cm de profondeur, grossière de 70 à 90 cm puis fine au-dessous — très peu friable — très peu poreux — quelques faces de glissement à la partie supérieure de l'horizon — quelques fentes, verticales, de 0.5 à 1 cm de large, débutant au sommet de l'horizon et se terminant à 90 cm de profondeur.

### Caractéristiques analytiques

Profondeur (cm)	Horizon	Texture (%)			pH eau	Carbone organ. (%)	Azote total (%)	C/N	Conduct. électr. (mS/cm)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Gypse (%)
		Argile	Limon	Sable							
0-4	A11	18.3	26.3	55.4	8.2	0.36	0.042	8.6	1.2	16.3	8.8
6-12	A12	40.3	14.3	45.4	8.1	0.40	0.033	12.1	2.8	15.3	10.6
18-25	A12	38.0	16.7	45.4	8.2	0.35	0.039	9.0	4.0	18.4	12.8
32-45	B21cs	24.3	28.3	47.4	8.1	0.30			14.5	21.4	37.6
58-68	B22	44.0	18.7	37.3	8.9				25.0	19.4	22.0
75-85	B22	48.3	30.3	21.4	8.7				20.9	21.4	12.5
110-120	B22	60.3	20.3	19.4	8.7				20.0	22.4	10.0

Classification: Yermosol gypseux, sur alluvions argileuses, halomorphe et à faciès verticale.

La texture est fine dès l'horizon A12, et la teneur en matière organique est très faible. Celle-ci est bien évoluée avec un rapport C/N variant de 9 à 12. Le profil salin est descendant et augmente de manière assez brutale à partir de l'horizon B21cs. Il s'agit essentiellement de chlorures et de sulfates associés au sodium et au calcium. L'accumulation secondaire de gypse s'individualise très nettement à mi-profondeur.

Au niveau des lignes de végétation, la morphologie du profil pédologique ci-dessus est différente (Fig. 4): on observe en effet, à la verticale de l'axe médian des lignes ou côtés du réseau polygonal, un affaissement en coin des horizons pédologiques. Cette morphologie particulière laisse supposer qu'il y a eu effondrement de l'horizon gypseux B21cs dans un vide de l'horizon argileux sous-jacent, avec corrélativement, affaissement des horizons A et ainsi, abaissement de la superficie du sol, donnant l'aspect actuel en dépression de cette dernière.

Pour l'ensemble des diverses descriptions de sol réalisées dans cette unité, on observe la même morphologie particulière des horizons décrite ci-dessus au niveau de l'axe médian des côtés du réseau polygonal, ainsi que des caractéristiques analytiques semblables à celles du profil pédologique type.

Une particularité des sols de cette unité est la présence, en bordure des lignes de végétation, d'excroissances circulaires de la superficie du sol. Ces micro-buttes de 1

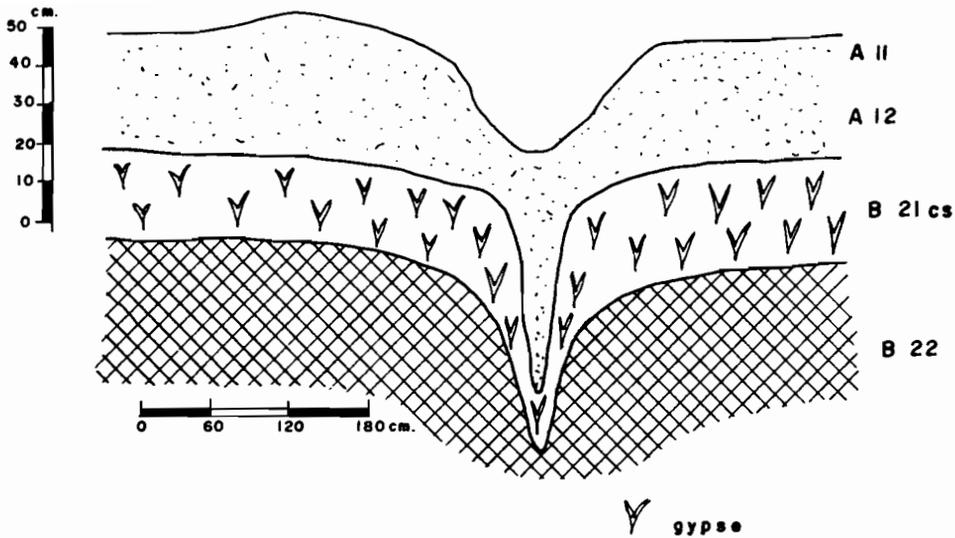


Fig. 4. Coupe transversale du sol, au niveau d'une ligne de végétation (d'après Delhoume *et al.*, 1983).

à 1.50 mètre de diamètre et de 10 à 20 centimètres de hauteur en leur centre, correspondent à des zones de forte concentration saline. La conductivité électrique y atteint en effet 40 à 50 mS/cm sur 50 à 60 centimètres d'épaisseur. Le sol de ces plages de salure présente une structure très dégradée, particulière, et l'on y observe de nombreuses efflorescences blanchâtres correspondant à des dépôts secondaires de sels.

La genèse de ce réseau polygonal fait intervenir divers processus physico-chimiques qui se combinent, et débute, comme nous avons pu l'observer, par l'apparition de lignes rectilignes à la surface du sol, en légère dépression, de 10 à 30/40 mètres de longueur. Ces lignes correspondent en fait à des fentes de retrait verticales du sol, prenant naissance au sommet de l'horizon argileux B22 et traversant celui-ci sur 20 à 40 cm d'épaisseur, avec une largeur pouvant atteindre plusieurs centimètres.

L'horizon B21cs d'accumulation secondaire de gypse, du fait de sa forte friabilité, a tendance à fluer dans les vides ainsi créés dans l'horizon sous-jacent par l'ouverture des fentes. Corrélativement, il y a abaissement progressif des horizons supérieurs du sol (A11 et A12) aboutissant à la formation d'une zone en dépression à la surface du sol, telle que celle que nous observons dans l'axe médian des lignes de végétation.

Ces phénomènes sont vraisemblablement favorisés et accentués d'une part par des alternances dissolution-dépôt du gypse et des sels et, d'autre part, par des variations de volume des minéraux hydratés lors de la dessiccation.

Diverses lignes en dépression apparaissent ainsi peu à peu à la surface du sol qui, en se recoupant, délimitent un réseau polygonal irrégulier. Leur micro-topographie en creux en fait des zones privilégiées de concentration et d'accumulation des eaux plu-

viales, où se conserve plus longtemps l'humidité du sol. Dans ce milieu aride, cette redistribution préférentielle de l'eau ne peut que favoriser la colonisation progressive des lignes en dépression par la végétation, qui débute par des germinations constituées presque uniquement de *Suaeda nigrescens*. Celles-ci se développent ensuite et aboutissent à des lignes de végétation dense, mettant en évidence le réseau polygonal que l'on observe actuellement, par contraste avec les espaces inter-lignes dépourvus de végétation.

#### III.4. Conclusions

Les sols des zones basses (unités 6 à 8), à pente très faible, se développent dans un matériau d'apport alluvial, de texture fine, atteignant plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur.

Il s'agit de zones d'accumulation des eaux superficielles plus ou moins chargées en sels solubles, lesquels se déposent progressivement dans les sols. Il en résulte ainsi une couverture pédologique présentant des degrés variables de salinité, avec une gamme de sols possédant le caractère halomorphe avec une intensité plus ou moins accusée, ainsi que des propriétés verticales.

Localement, on observe une formation végétale contractée du type polygonal, dont l'origine est due à l'apparition d'un réseau de fentes de retrait verticales dans un sol argileux présentant un horizon d'accumulation secondaire de gypse en cristaux de quelques millimètres.

#### IV. SOLS GYPSEUX SUR DUNES ANCIENNES

Le niveau de base du bassin endoreïque dans lequel est située la zone ouest de la Réserve de Mapimí, est constitué par une *laguna* où viennent s'accumuler les eaux de surface, riches en éléments dissous (gypse, sels). Ces derniers s'y déposent progressivement, formant ainsi un milieu à haute concentration saline.

La bordure est de cette *laguna* comporte un cordon de dunes atteignant vingt mètres de hauteur et s'étirant sur une quinzaine de kilomètres de longueur avec une largeur moyenne de cinq cent mètres. Il s'agit d'une formation éolienne constituée d'un matériau sableux riche en gypse. Ce dernier forme en surface un encroûtement résistant et compact devenant localement une croûte, qui a protégé la dune de son démantèlement. Les versants sont cependant entaillés par des ravines et griffes d'érosion hydrique.

La végétation est très pauvre avec un faible taux de recouvrement (10 à 20%). Les espèces dominantes sont *Larrea tridentata* et *Haplopappus heterophyllus*.

Le profil pédologique suivant est caractéristique de cette formation dunaire. Il est localisé près du sommet (pente 1%) et l'on note en surface du sol la présence d'éléments grossiers de croûte gypseuse de 10 à 20 centimètres de longueur.

## Description morphologique

**Horizon A11cs:** 0 à 50 cm — blanchâtre avec zones jaunâtres — apparemment non organique — effervescence à l'acide — éléments secondaires de gypse, en croûte et encroûtement à aspect massif, avec une répartition généralisée — texture sablo-limoneuse — structure massive — peu poreux, pores fins et moyens, tubulaires et intergranulaires — très peu de racines — très peu friable — transition distincte et régulière.

**Horizon B21cs:** 50 à 90 cm — beige clair — non organique — effervescence à l'acide — éléments secondaires de gypse, en encroûtement friable, avec une répartition généralisée — texture sablo-limoneuse — structure massive avec tendance à particulière localement — peu poreux, porosité intergranulaire — peu friable — pas de racines — transition distincte et régulière.

**Horizon B22cs:** 90 à 150 cm observé — ocre jaunâtre — non organique — effervescence à l'acide — éléments secondaires de gypse, en taches et traînées blanchâtres et en micro-cristaux de 1 mm, avec une répartition généralisée, mais dont l'abondance diminue avec la profondeur — texture limono-sableuse — structure massive — peu poreux, porosité intergranulaire — pas de racines.

## Caractéristiques analytiques

Profondeur (cm)	Horizon	Carbone organ. (%)	Azote total (%)	C/N	Conduct. électrique (mS/cm)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Gypse (%)
0-8	A11cs	0.30	0.040	7.5	2.5	5.2	69.4
12-22	A11cs	0.28	0.037	7.6	2.5	6.3	68.6
35-40	A11cs	0.22	0.032	6.9	2.5	6.5	67.3
52-65	B21cs				2.8	7.6	56.3
78-90	B21cs				2.9	10.3	48.2
110-120	B22cs				1.3	7.0	40.8
125-145	B22cs				11.7	9.1	39.6

**Classification:** Yermosol à croûte/encroûtement gypseux fortement développé, sur matériau de texture grossière d'origine éolienne.

Le sol se développe dans un matériau sableux où s'est individualisée une accumulation très importante de gypse secondaire, sous forme de croûte/encroûtement, dont la teneur décroît de haut en bas du profil. La salinité est faible et ce n'est qu'en profondeur qu'apparaît une conductivité relativement élevée.

Ce profil de sol est celui où la redistribution du gypse secondaire est la plus forte-

ment individualisée. Sur les versants de la dune, l'accumulation de sulfate de calcium n'atteint pas le stade croûte/encroûtement et il se redistribue essentiellement sous forme de taches et amas ainsi que de manière diffuse, avec des teneurs inférieures (20 à 40%) à celles du profil ci-dessus. Dans ce cas, le sol est un Yermosol ou un Régosol à faciés gypseux plus ou moins accentué.

A mesure que l'on se rapproche de la *laguna*, la salinité du sol devient de plus en plus importante, avec des conductivités atteignant, dès la surface, 10 à 15 mS/cm, et celles-ci se maintiennent sur toute l'épaisseur du profil. En plus des caractéristiques ci-dessus, les sols deviennent ainsi halomorphes avec le plus souvent un faciés sodique.

La mise en place de cette formation éolienne est à mettre en liaison avec les alternances climatiques du Quaternaire. Durant une phase interpluviale de celui-ci, le climat est devenu progressivement plus sec et plus aride ce qui a favorisé, durant la période la plus sèche de l'année, la déflation du fond de la *laguna*. Les produits de cette érosion éolienne, constitués essentiellement de pseudo-sables riches en gypse, sont venus s'accumuler en bordure de la *laguna* pour former un cordon dunaire qui s'apparente aux bourrelets éoliens ou lunettes que l'on observe en bordure de certaines dépressions fermées de zones arides.

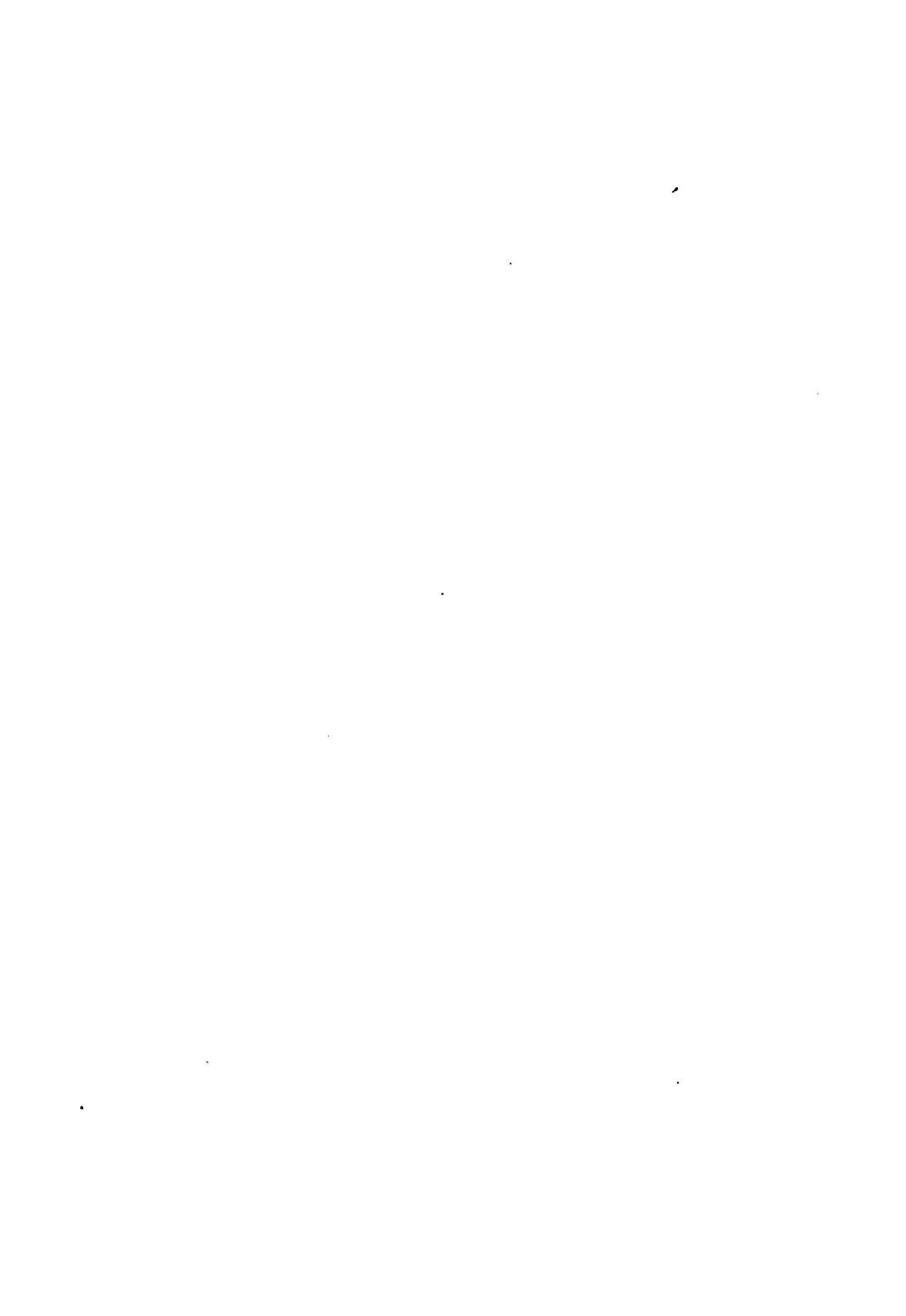
La dune s'est formée sur la rive opposée aux vents dominants actifs, ce qui explique sa présence uniquement sur une des bordures de la *laguna*. Deux buttes-témoins résiduelles de cette formation sont localisées à environ cinq kilomètres de l'extrémité sud de la *laguna* actuelle, ce qui laisse supposer que cette dernière avait une plus grande extension.

La mise en place de ce cordon dunaire est antérieure à la dernière période humide du Quaternaire (pluvial Wisconsin, 22 000 ans — 11 000 ans BP). Au cours de cette dernière, l'axe principal d'écoulement des eaux de surface a en effet recoupé et entaillé la dune gypseuse ci-dessus, de façon à pouvoir se déverser dans la *laguna* qui constitue le niveau de base. Au cours de ce dernier pluvial, la *laguna* avait une plus grande extension et progressivement, à partir de la fin de la période humide (10 000 ans BP environ), celle-ci s'est réduite corrélativement avec la diminution des pluies et l'aridité croissante.

#### REFERENCES CITÉES

- BREIMER, R., 1985. *Soil and landscape survey of the Mapimi Biosphere Reserve, Durango, México*. UNESCO, Montevideo, Uruguay, 128 p.
- CORNET, A., J. P. DELHOUME and C. MONTAÑA, 1983. *Vegetation Patterns and Soils in the Mapimi Bolson (Chihuahuan Desert, Mexico)*. I. *Vegetation Arcs*. Second Chihuahuan Desert Symposium, Alpine, Texas, 20-21 october 1983.
- DELHOUME, J. P., C. MONTAÑA and A. CORNET, 1983. *Vegetation Patterns and Soils in the Mapimi Bolson (Chihuahuan Desert, Mexico)*. II. *Polygonal Patterns*. Second Chihuahuan Desert Symposium, Alpine, Texas, 20-21 october 1983.
- FAO/UNESCO, 1974. *Soil map of the world, 1:5.000.000*. Vol. I. Legend. UNESCO, Paris, 59 pp.
- FAO/UNESCO. *Mapa mundial de suelos, 1:5.000.000*. Vol. I. Leyenda. UNESCO, Paris, 60 pp. and Vol. III, México y América Central. UNESCO, París, 104 pp.

- GONZÁLEZ BARRIOS, J.L., 1986. *Estudio de la repartición de la salinidad en una zona baja (playa) de una cuenca endorreica en el desierto de Chihuahua*. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Monterrey, N.L., 280 pp., 4 mapas.
- MONTAÑA, C., 1987. Las formaciones vegetales. In: Montaña, C. (ed.). *Estudio Integrado de los Recursos Vegetación, Suelos y Agua en la Reserva de la Biosfera de Mapimí. I. Ambiente Natural y Humano*. Instituto de Ecología, México. (En prensa).



# Las Formaciones Vegetales

CARLOS MONTAÑA

## RESUMEN

En este trabajo se presenta la cartografía de la vegetación (a escala 1:100,000) de un área de 172,000 ha, que comprende a la Reserva de la Biosfera de Mapimí y su área de influencia.

Las formaciones vegetales son descritas sobre la base de estratificación (tipos biológicos dominantes y alturas) y cobertura. Se agregan además, en cada caso, las especies dominantes de cada estrato.

Los límites de las formaciones (o mosaicos de formaciones) fueron determinados a partir de la fotointerpretación de imágenes aéreas blanco y negro (escala 1:65,000). Posteriormente 270 comprobaciones de terreno permitieron determinar la estructura vertical, los tipos biológicos dominantes, las especies dominantes y las coberturas de los estratos.

Las unidades cartográficas fueron agrupadas en 76 categorías (que se describen en el texto) caracterizadas por presentar los mismos estratos, tipos biológicos dominantes y especies dominantes. A su vez, estas 76 unidades se agruparon en 14 categorías de rango superior definidas por las distintas combinaciones de tipos biológicos dominantes.

Algo más del 80% del área cartografiada es cubierta por las formaciones (y mosaicos) resultantes de 5 combinaciones de tipos biológicos. Entre éstas, 2 combinaciones ocupan más del 50% de la superficie: formaciones dominadas por herbáceas y leñosas bajas (25.95%) y formaciones dominadas por leñosas altas y leñosas bajas (25.16%). Las tres restantes son: formaciones dominadas por herbáceas, leñosas altas y leñosas bajas (16.58%), por leñosas bajas exclusivamente (10.04%) y por herbáceas y leñosas altas (5.5%).

Las características topográficas de las cuencas endorreicas que ocupan el área cartografiada, y su consecuente influencia en la redistribución del agua condicionan la presencia de extensas formaciones (y mosaicos) donde las herbáceas (principalmente gramíneas perennes) desempeñan el rol de bioformas codominantes junto con nano y microfanerófitas principalmente. Dichas formaciones ocupan el 52.23% del área estudiada y se distribuyen: a) a lo largo de vías de escurrimiento; b) ocupando la mayor parte de las geoformas playas y de las geoformas vegas no incluidas en a; c) ocupando la mayoría de las bajadas ubicadas fuera de la Zona de Bajadas y Sierras de Origen Calcáreo.

La dominancia de las bioformas suculentas, por su parte, está restringida a algunas bajadas, mesa de basalto y a los relieves más enérgicos. En particular, la dominancia de suculentas cilíndricas está restringida a sierras calcáreas y la de suculentas platicaulas no se presenta nunca en la Zona de Bajadas y Sierras de Origen Calcáreo.

La combinación de la dominancia de nano y microfanerófitas ocupa principalmente las bajadas y piedemontes de las sierras calcáreas e importantes superficies de la Zona de Dunas. También se presenta en lomadas, sierras bajas y algunas bajadas de la Zona de Bajadas y Sierras de Origen Igneo y Sedimentario.

Los mosaicos que presentan patrones horizontales de distribución con alternancia de manchones de vegetación densa y espacios casi desnudos (que se presentan en bajadas donde el escurrimiento es esencialmente no encauzado) ocupan un 32.16% de la superficie y tanto su estructura como su composición florística varían de acuerdo con las unidades de paisaje.

En total se encontraron 35 especies que desempeñan el rol de dominantes. De ellas, las que ocupan mayores superficies (tomando como superficies de una especie [en su carácter de dominante] a la superficie ocupada por las formaciones y mosaicos donde ella participa como dominante) son: *Prosopis glandulosa*, *Larrea tridentata*, *Hilaria mutica*, *Fouquieria splendens*, *Acacia constricta*, *Flourensia cernua*, *Cordia parvifolia*, *Atriplex canthocarpa*, *Acacia greggii*, *Opuntia rastrera*, *Dalea scoparia* y *Yucca elata*.

Un análisis de la distribución de las especies dominantes en las geoformas mostró que *Larrea tridentata* es la especie que ejerce dominancia sobre la mayor cantidad de geoformas. Las geoformas de relieve menos energético (vegas, playas y bajadas) son las que presentan menos diversidad de especies dominantes.

## RESUMÉ

Dans le présent travail est présentée la cartographie de la végétation (à l'échelle du 1:100,000) d'une surface de 172,000 ha, incluant la Réserve de la Biosphère de Mapimi et ses environs. Les formations végétales ont été décrites sur la base de leur stratification (types biologiques dominants et hauteurs) et de leur couverture, avec l'indication des espèces dominantes de chaque strate dans la description.

Les limites des formations, ou des mosaïques de formations, ont été déterminées d'abord par photointerprétation des images panchromatiques (échelle 1:65,000). Ensuite, la structure verticale, les types biologiques dominants, les espèces dominantes et les couvertures des strates ont été précisés au moyen de 270 relevés de terrain.

Les unités cartographiées ont été groupées en 76 catégories caractérisées par la présence des mêmes strates, des mêmes types biologiques dominants et des mêmes espèces dominantes. Ensuite, ces 76 unités ont été groupées en 14 catégories de rang supérieur définies par les différents combinaisons des types biologiques dominants.

Un peu plus de 80% de la surface cartographiée est couverte par des formations (et mosaïques) résultants de cinq combinaisons de types biologiques. Parmi celles-ci, deux combinaisons couvrent plus de 50% de la surface: il s'agit des formations dominées par des herbacées et des ligneuses basses (25.95%) et des formations dominées par des ligneuses hautes et des ligneuses basses (25.16%). Les trois autres combinaisons sont des formations dominées soit par des herbacées, des ligneuses hautes et des ligneuses basses (16.58%), soit par des ligneuses basses seulement (10.04%), soit par des herbacées et des ligneuses hautes (5.5%).

Les caractéristiques topographiques des bassins endoréiques qui occupent la zone étudiée, ainsi que leur influence dans la redistribution des eaux de pluie, donnent lieu à la présence de vastes formations (et mosaïques) où les herbacées (principalement des graminées pérennes) jouent le rôle de codominantes avec des nano et des microphanérophytes principalement. Ces formations occupent 52.23% de la zone d'étude et se trouvent: a) le long des axes de drainage; b) dans la majeure partie des géoformes *playas* et des géoformes *vegas* non incluses dans a); c) dans la plupart des *bajadas*, sauf celles de la zone de *bajadas* et *sierras* calcaires.

La dominance des bioformes succulentes est restreinte à quelques *bajadas*, à un plateau de basalte et aux reliefs les plus énergiques. En particulier, la dominance des succulentes à tiges cylindriques est restreinte aux *sierras* calcaires et celle des succulentes à raquettes ne se présente jamais dans la zone des *bajadas* et *sierras* calcaires.

La combinaison de la dominance des nano et microphanérophytes se présente principalement dans les *bajadas* et piémonts des *sierras* calcaires et dans de vastes surfaces de la zone de

dunes. Cette même combinaison se retrouve dans des collines, *sierras* basses et quelques *bajadas* de la zone de *bajadas* et *cerros* d'origine ignée ou sédimentaire.

Les mosaïques qui présentent des réseaux horizontaux de distribution sous forme d'alternance de taches de végétation dense et d'espaces presque dénudés, localisées dans les *bajadas* à ruissellement en nappe, couvrent 32.16% de la surface. Leur structure et leur composition floristique varient en fonction des unités de paysage.

Un total de 35 espèces dominantes a été trouvé. Celles qui occupent les surfaces les plus grandes (en considérant comme surface de l'espèce, la surface occupée par les formations et mosaïques où elle participe comme dominante) sont: *Prosopis glandulosa*, *Larrea tridentata*, *Hilaria mutica*, *Fouquieria splendens*, *Acacia constricta*, *Flourensia cernua*, *Cordia parvifolia*, *Atriplex canthocarpa*, *Acacia greggii*, *Opuntia rastrera*, *Dalea scoparia* et *Yucca elata*.

L'analyse des distributions des espèces dominantes dans les géoformes a montré que l'espèce qui domine dans le plus grand nombre de géoformes est *Larrea tridentata*. Par ailleurs, la plus faible diversité d'espèces dominantes se trouve dans les géoformes à reliefs les moins énergiques (*vegas*, *playas* et *bajadas*).

#### ABSTRACT

In this paper a vegetation map (172,000 ha, scale 1:100,000) of the Mapimi Biosphere Reserve and surrounding areas is presented. Plant formations are described on the basis of stratification (dominant life forms and heights) and cover. Also, dominant species of each stratum are indicated.

Boundaries of plant formations (or mosaics of formations) were first delineated in black and white aerial photographs (1:65,000 scale). Subsequently, 270 field surveys were made to determine the vertical structure, dominant life forms, dominant species and strata cover of the different formations.

Mapping units were grouped in 76 categories characterized by presenting the same strata, dominant life forms and dominant species. These 76 units were grouped in 14 categories of higher rank defined by the different combinations of dominant life forms. More than 80% of the mapped area is covered by the formations resulting of five combinations of dominant life forms. Between these, two combinations cover more than 50% of the area: formations dominated by low woody and herbaceous plants (25.95%), and formations dominated by tall woody and low woody plants (25.16%). The three remaining formations are: formations dominated by herbaceous, tall woody and low woody plants (16.58%), by low woody plants only (10.04%) and by herbaceous and tall woody plants (5.5%).

Topographic features and its consequences on redistribution of the rain water in the landscape determine the presence of extensive formations (and mosaics) where herbaceous plants (principally perennial grasses) usually codominate with nano or microfanerophytes. These formations occupy 52.23% of the area and are distributed: a) along intermittent water courses; b) in the majority of *playas* and *vegas* not included in a); c) in almost all of *bajadas* outside the landscape unit *Bajadas* and *Sierras* of calcareous sedimentary origin.

The combination of dominance of nano and microfanerophytes occupies principally the *bajadas* and piedemonts of calcareous *sierras* and important areas of the Dune Zone. It is present, also, in *lomadas*, low *sierras* and some *bajadas* of the landscape unit *Bajadas* and Hills of Igneous and Sedimentary Origin.

Mosaics of formations presenting horizontal patterns of dense vegetated patches surrounded by almost denuded areas occupy 32.16% of the area. They occur on *bajadas* where surface runoff is essentially in sheet flow and vegetation structure as well as floristic composition varies according to the different landscape units.

Thirty five dominant species were found. Among these, those covering the major areas (considering the area occupied by a dominant species as the area covered by the formations and mosaics where the species is present as dominant) are: *Prosopis glandulosa*, *Larrea tridentata*, *Hilaria mutica*, *Fouquieria splendens*, *Acacia constricta*, *Flourensia cernua*, *Cordia parvifolia*, *Atriplex canthocarpa*, *Acacia greggii*, *Opuntia rastrera*, *Dalea scoparia* and *Yucca elata*.

An analysis of the distribution of dominant species on landforms shows that *L. tridentata* is the species that dominates in the greatest number of landforms. The topographically lower landforms (*vegas*, *playas* and *bajadas*) present the lowest diversity of dominant species.

## INTRODUCCIÓN

En este trabajo se presenta la cartografía (a escala 1:100,000) y una descripción resumida de las formaciones vegetales de la Reserva de la Biosfera de Mapimí y su área de influencia.

El objetivo que se persigue es proporcionar una descripción de la vegetación que sirva fundamentalmente para dos fines: a) constituir un marco de referencia para los trabajos de investigación ecológica, básicos y aplicados, que se realicen en el área, y b) proporcionar un documento de base que permita hacer comparaciones a largo plazo sobre la evolución de la vegetación en un área de manejo controlado de los recursos naturales.

Entre las variadas posibilidades de expresión cartográfica de la vegetación se decidió utilizar un enfoque basado en formaciones vegetales por ser el más apropiado para los fines mencionados anteriormente y porque permite expresar adecuadamente una de las características notables de la vegetación de esta zona semiárida: la gran diversidad de patrones horizontales de distribución de la vegetación. En efecto, la redistribución en el paisaje del principal factor limitante (el agua) está en el origen de patrones particulares de distribución horizontal de la vegetación que han sido descritos en otras zonas áridas y semiáridas del mundo (eg. Monod [1954], White [1971], Walter y Stadelmann [1974], Walter y Breckle [1985]), y en la Reserva de Mapimí por Cornet *et al.* (1983) y Delhoume *et al.* (1983).

Las formaciones vegetales se definen en este trabajo sobre la base de estratificación (tipos biológicos dominantes y alturas) y cobertura. Se agregan además, en cada caso, las especies dominantes en cada estrato.

El término formación no es utilizado en el sentido general y amplio (como el descrito por Aubreville [1970], por ejemplo), sino en el sentido original (según Mueller Dombois y Ellenberg [1974]) referido a una unidad de vegetación real cartografiable que es fácilmente reconocida por un tipo biológico dominante o por una combinación de tipos biológicos. Una significación similar es asignada por Fosberg (1967) y Godron *et al.* (1983) quienes utilizan una estrategia divisiva en sus sistemas de clasificación en lugar de una estrategia aglomerativa como la utilizada en el presente trabajo.

Con el fin de preservar la información analítica que define operacionalmente a las formaciones se evitó deliberadamente el uso de categorías fisonómicas de tipo sintético

como pastizales, matorrales, etc. De este modo, la complejidad resultante en la lectura e interpretación del mapa se ve compensada con una presentación coherente con los objetivos y escala del trabajo.

La terminología utilizada para denominar las bioformas suculentas se adoptó siguiendo los criterios de Mueller Dombois y Ellenberg (1974) para las denominaciones en lengua inglesa. Las denominaciones en español siguen los criterios de Miranda (1955) (suculentas platicaulas y cilíndricaulas) y de Rzedowski (1978) (suculentas rosetófilas).

## METODOLOGÍA

El área estudiada comprende 172,000 ha y su ubicación y características ambientales se describen en los diferentes capítulos de este mismo volumen.

A partir de la fotointerpretación de imágenes aéreas blanco y negro (escala 1:65,000) se delimitaron 191 unidades cartográficas que correspondían a formaciones vegetales puras o a mosaicos de formaciones. Posteriormente 270 comprobaciones de terreno permitieron determinar la estructura vertical, los tipos biológicos dominantes, las especies dominantes y las coberturas de los estratos (ver en la leyenda del mapa las categorías y códigos utilizados). Debido a la relativa simplicidad de la estructura vertical de la vegetación de zonas áridas y semiáridas fue posible mantener el criterio de describir como máximo 2 estratos por formación. En el caso de formaciones de un solo estrato se mencionan las 2 primeras especies dominantes, por el contrario en el caso de formaciones con 2 estratos se menciona una dominante por estrato.

En la descripción de las formaciones vegetales que se presenta más adelante las 191 unidades cartografiadas están agrupadas en 76 categorías caracterizadas por una misma estructura vertical y las mismas especies dominantes (esto es, 76 grupos de unidades cartografiadas que presentan los mismos estratos, tipos biológicos dominantes y especies dominantes). A su vez, estas 76 unidades se agrupan en 14 categorías de rango superior definidas por las distintas combinaciones de tipos biológicos dominantes. A cada una de estas 14 categorías corresponde un color en el mapa (a excepción de las combinaciones de suculentas platicaulas-rosetófilas (unidad cartográfica H1) y suculentas rosetófilas-cilíndricaulas (unidad cartográfica I1), para las cuales se usó un solo color). Cinco colores adicionales fueron usados para destacar otras características estructurales (referidas principalmente a patrones de distribución horizontal) que son especificadas en las respectivas descripciones.

Dentro de estas 14 categorías, y a los fines de clarificar la exposición, las formaciones y mosaicos se presentan agrupadas de la siguiente manera: en primer lugar se describen las formaciones puras agrupadas a su vez según presenten uno o dos estratos. En segundo lugar se describen los mosaicos considerando una primera división de acuerdo al número de elementos que se reconocen. Al interior de esta clasificación se consideran separadamente los mosaicos cuyos elementos poseen un solo estrato y los mosaicos donde alguno de los elementos tiene dos estratos.

En las descripciones las referencias a las grandes unidades ambientales (ver capítulo correspondiente en este mismo volumen) se hace con la siguiente codificación:

- Zona I : Playa Sur
- Zona II : Playa Norte
- Zona IIIa : Bajadas y Sierras de Origen Ígneo y Sedimentario Sector Central
- Zona IIIb : Bajadas y Sierras de Origen Ígneo y Sedimentario Sector Oeste
- Zona IV : Zona de Transición de Modelado Eólico-Fluvial
- Zona V : Zona de Dunas
- Zona VI : Bajadas y Sierras de Origen Calcáreo
- Zona VII : Mesa de Basalto

Las referencias a geoformas se hacen, a su vez, utilizando la codificación de la leyenda del mapa de suelos presentado en este mismo volumen y en Breimer (1985). Las indicaciones referentes a suelos se tomaron de las mismas fuentes y siguen los criterios de la clasificación FAO/UNESCO (1974) levemente modificados para la República Mexicana.

Los autores de los binomios latinos de las especies pueden consultarse en el trabajo de Ruiz de Esparza incluido en este mismo volumen.

Las coberturas de los estratos herbáceos representan la cobertura basal de las especies perennes, salvo que se indique lo contrario en la descripción.

Las superficies de las unidades fueron medidas con planímetro (Tabla 1).

## DESCRIPCIÓN DE LAS FORMACIONES

1. Formaciones o mosaicos de formaciones caracterizadas por estratos leñosos altos y estratos leñosos bajos. (Unidades cartográficas A1 a A11).

Cabe mencionar que en la definición de leñosas altas interviene solo el criterio de altura, es decir leñosas de más de 2 m. En nuestro caso ello implica la inclusión de una micrófita de tallo único (*Prosopis glandulosa*) junto con una especie que se ramifica desde la base como *Fouquieria splendens*, y una monocotiledónea leñosa (*Yucca rigida*) que podría considerarse en la categoría de árboles rosulados (Mueller Dombois y Ellenberg, 1974) por la disposición de las hojas (relativamente crasulescentes) en el ápice de los tallos. La citada bioforma de *Prosopis glandulosa* se presenta a lo largo de vías de escurrimiento tanto en piedemontes como en bajadas, playas o vegas, mientras que *Fouquieria splendens* y *Yucca rigida* ocupan principalmente interfluvios de piedemontes y bajadas superiores o lomas y laderas de cerros.

TABLA 1. Superficies ocupadas por los grupos de formaciones

Combinación de tipos biológicos dominantes*	Unidades cartográficas	Superficie (ha)	Superficie (%)
LA; LB	A1 a A11	43,275.34	25.16
LA; H	B1 a B2	9,541.92	5.55
LB	C1 a C16	17,275.49	10.04
LB; H	D1 a D20	44,641.25	25.95
LB; SC	E1 a E4	5,535.66	3.22
LB; SC; SR	F1	384.76	0.22
LB; SR	G1 a G3	1,793.91	1.04
SC; SR	H1	115.43	0.07
SR; SL	I1	1,231.22	0.72
LA; LB; H	J1 a J7	28,515.15	16.58
LA; LB; SR	K1 a K3	6,612.98	3.85
LA; LB; SC	L1 a L3	3,544.56	2.06
LA; LB; H; SC	M1 a M3	2,895.29	1.68
LB; H; SC;	N1	524.23	0.30
LB; H; SC; SR	N2	3,717.70	2.16
Cuerpos de agua		2,395.11	1.40
		172,000.00	100.00

\* Ver codificación en mapa de vegetación.

Dentro de esta categoría se usaron 2 colores adicionales para destacar algunos caracteres estructurales. El primero de ellos (unidades cartográficas A7 a A9) incluye mosaicos donde la vegetación se presenta como la alternancia de arcos de vegetación densa y zonas denudadas o de baja cobertura. El segundo color (unidades cartográficas A10 y A11) incluye formaciones donde la vegetación se concentra a lo largo de vías de escurrimiento. En realidad esta característica se presenta también en otras unidades donde la topografía condiciona un escurrimiento encauzado, pero el caso que nos ocupa se destacó porque es el único donde se presenta la combinación de un estrato leñoso alto (de 2 a 4 m de altura) y otro leñoso bajo inferior a 0.50 m de altura.

### 1.1 Formaciones puras (Unidades cartográficas A1, A2 y A11).

#### 1.1.1 (Unidad cartográfica A1).

Ocupa dos áreas próximas entre sí (de alrededor de 400 ha y 150 ha, respectivamente), en la porción sur de la Zona IIIa. Se presenta en lomadas (geoforma Hg) sobre Regosoles y está caracterizada por un estrato de leñosas bajas dominado por *Larrea tridentata* y un estrato de leñosas altas dominado por *Yucca rigida*. En ningún caso el estrato de leñosas altas supera el 10% de cobertura siendo en la mayoría de los casos inferior al 5%. Por el contrario, el estrato de leñosas bajas varía entre 5% y 30% de cobertura. Puede aparecer un estrato de leñosas más bajas (aproximadamente 50 cm), gramíneas perennes o anuales y otras herbáceas pero siempre con cobertura inferior al 10%.

#### 1.1.2 (Unidad cartográfica A2).

Esta unidad se presenta principalmente en las Zonas IIIa y IIIb y en la Zona VI. En mucho menor grado se presenta aisladamente en la Zona IV. Además de una buena porción de las laderas de piedemonte (geoforma F) de la Sierra de la Campana y de los Cerros Cipriano (en la Zona VI), ocupa (principalmente en la Zona III) numerosas unidades pequeñas (en general de menos de 200 ha) en las geoformas con relieve relativamente más enérgico del área de estudios, esto es sierras y cerros altos, cerros bajos, lomadas, piedemontes (geoformas S, H, L y F) y, excepcionalmente algunas bajadas pedregosas (geoforma Bp). Los suelos son siempre pedregosos y en la mayoría de los casos someros: Litosoles y Regosoles calcáreos con fases líticas y pedregosas y, parcialmente, petrocálcica (raramente sobre Yermosoles o Xerosoles háplicos con fases pedregosas y gravosas). La roca madre puede ser volcánica o sedimentaria (principalmente conglomerados) en la Zona III, y rocas calcáreas en la Zona VI.

El estrato leñoso alto es dominado por *Fouquieria splendens* y el leñoso bajo por *Larrea tridentata*. Las coberturas de los estratos son similares a las descritas para la unidad A1.

#### 1.1.3 (Unidad cartográfica A11).

Esta unidad se encuentra en la Zona IIIb. Se asienta sobre bajadas limosas (geoforma B1) en Yermosoles y Xerosoles lúvicos con fases sódica y salina. La vegetación se caracteriza por un estrato de leñosas altas (ocupado por *Prosopis glandulosa*) y un estrato de leñosas bajas (dominado por *Atriplex acanthocarpa*). La cobertura de la formación es muy variable llegando a ser muy densa a lo largo de los numerosos ejes de escurrimiento que recorren esta bajada.

### 1.2 Mosaicos de formaciones con dos elementos (Unidades cartográficas A3 a A5, A7, A8 y A10).

#### 1.2.1 (Unidad cartográfica A3).

Ocupa un área de alrededor de 400 ha en la Zona IIIb. Situado sobre cerros bajos y lomadas (geoforma H) con roca madre formada por conglomerados, se desarrolla

sobre un Regosol calcáreo con fase lítica y pedregosa. El primer elemento del mosaico es dominado por *Fouquieria splendens* y *Larrea tridentata* y el segundo por *Yucca rigida* y *Larrea tridentata*.

#### 1.2.2 (Unidad cartográfica A4).

Esta unidad se presenta ocupando 5 áreas de la Zona VI. Abarca superficies importantes principalmente en laderas de piedemonte (geoforma F), pero aparece también ligada a otras geoformas de relieve enérgico (geoformas L y H) y, en menor grado, a las porciones superiores de algunas bajadas limosas (geoforma B1). La roca madre puede ser conglomerado calizo, caliza o calcilitita. Los suelos pueden ser Regosoles calcáreos (fase pedregosa y parcialmente lítica), Xerosoles háplicos y cálcicos (fases pedregosa o gravosa y, a veces, petrocálica), Yermosoles lúvicos y háplicos (a veces con fases líticas, pedregosas o gravosas) y, por último, en bajadas limosas Xerosoles y Yermosoles cálcicos o lúvicos (a veces con fases salina y sódica).

Un elemento del mosaico es dominado por *Fouquieria splendens* y *Larrea tridentata* y el otro por *Larrea tridentata* y *Cordia parvifolia*. El primer elemento citado tiende a ocupar las estaciones de mayor pedregosidad o aquellas donde el horizonte petrocálico aflora.

#### 1.2.3 (Unidad cartográfica A5).

Se presenta en una área ubicada al noreste de la Zona V ocupando lomadas (geoforma L) y el complejo de dunas que las rodean y parcialmente las cubren. El primer elemento es dominado por *Fouquieria splendens* y *Larrea tridentata* y el segundo por *Larrea tridentata* y *Acacia constricta*. El primero de ellos se presenta en las lomadas cuyo sustrato es de rocas volcánicas y sedimentarias (conglomerados), los suelos son Regosoles calcáreos y Yermosoles háplicos. El elemento dominado por *Larrea tridentata* y *Acacia constricta* vegeta en las dunas asociadas (sobre Regosoles eútricos, a veces calcáreos).

#### 1.2.4 (Unidad cartográfica A7).

Se presenta repartida en 8 áreas de la Zona VI y guarda relaciones de continuidad con la unidad A4 ocupando posiciones más bajas en la toposecuencia y de menor pendiente. Se sitúa típicamente en bajadas limosas (geoforma B1) sobre Xerosoles y Yermosoles cálcicos o lúvicos o Yermosoles háplicos (generalmente con fases salinas y sódicas). El elemento dominado por *Prosopis glandulosa* y *Flourensia cernua* aparece como manchones discontinuos de vegetación densa (generalmente con forma aproximada de arco con el eje mayor perpendicular a la pendiente), a lo largo de vías de drenaje en las porciones superiores de las bajadas donde el escurrimiento es encauzado. Por el contrario, en las porciones inferiores donde el escurrimiento no es encauzado dichos manchones aparecen distribuidos más o menos homogéneamente en la matriz dada por el elemento dominado por *Larrea tridentata* y *Cordia parvifolia*.

### 1.2.5 (Unidad cartográfica A8).

Esta unidad, situada en la Zona VI, está definida por el mismo mosaico fisonómico y las mismas especies dominantes que la unidad cartográfica A8. No obstante se la cartografió en forma separada porque el elemento dominado por *Larrea tridentata* y *Cordia parvifolia* está mucho más extendido y en consecuencia la importancia areal del elemento dominado por *Prosopis glandulosa* y *Flourensia cernua* es mucho menor.

### 1.2.6 (Unidad cartográfica A10).

Esta unidad se presenta en las Zonas II y I en sus límites con la Zona IIIb. En efecto, uno de los elementos del mosaico representa la continuación de la unidad cartográfica A11 que se asienta en la Zona IIIb. Se desarrolla sobre Yermosoles y Xerosoles lúvicos con fases sódica y salina en playas (geoforma P), sobre Yermosoles gípsicos en dunas de yeso (geoforma Dys) y en menor medida sobre Yermosoles háplicos y Vertisoles crómicos con fases salina y sódica en algunas vegas (geoforma V).

A los fines de la cartografía se consideró sólo la vegetación de las dunas y las playas. Debido a lo reducido de su extensión no se describe la vegetación de las vegas que, por otra parte, se continúan y llega a su máxima expresión en la unidad que se encuentra al este.

El primer elemento del mosaico es una combinación de un estrato leñoso alto (dominado por *Prosopis glandulosa*) y un estrato leñoso bajo (dominado por *Atriplex acanthocarpa*). Este elemento ocupa las playas y se continúa hacia el oeste por las bajadas limosas que gradualmente las reemplazan. El segundo elemento está caracterizado por dos estratos de leñosas bajas, uno de hasta 1.50 m de altura dominado por *Larrea tridentata*, y el otro (hasta 60 cm de altura) dominado por *Haplopappus heterophyllus*. Este elemento ocupa las dunas de yeso.

## 1.3 Mosaicos de más de 2 elementos (Unidades cartográficas A6 y A9).

### 1.3.1 (Unidad cartográfica A6).

Ubicada en la Zona V esta unidad ocupa un afloramiento de areniscas y conglomerados y las dunas asociadas. Los suelos son Regosoles calcáreos (fases pedregosa y gravosa) en el afloramiento; Regosol eútrico (en las dunas); Xerosol o Yermosol háplico (parcialmente fase gravosa) en los espacios interdunas.

La topografía y la diversidad de sustratos condicionan la presencia de este mosaico de vegetación caracterizado por 4 elementos. Dos de ellos vegetan en el sustrato variablemente rocoso del afloramiento, esto es, un elemento con un estrato de leñosas altas (ocupado por *Fouquieria splendens*) y un estrato de leñosas bajas (dominado por *Larrea tridentata*), y otro elemento con un estrato de leñosas bajas dominado por *Larrea tridentata* y *Cordia parvifolia*. Los otros dos elementos vegetan en las dunas. esto es, un elemento

con un estrato de leñosas bajas (dominado por *Dalea scoparia* y *Yucca elata*) que se ubica en las porciones superiores de las dunas, y otro elemento que ocupa las porciones inferiores y las interdunas con un estrato de leñosas bajas (dominado por *Acacia constricta* y *Acacia greggii*).

### 1.3.2 (Unidad cartográfica A9).

Ocupa grandes extensiones en la Zona V sobre Regosoles eútricos y calcáreos en la geoforma dunas y Yermosoles háplicos y cálcicos (parcialmente con fase lítica) en las depresiones interdunas. La relativa diversidad ambiental de tal paisaje y su extensión en superficie condicionan una consecuente diversidad en la vegetación. De tal forma que sin pretender ser exhaustivos, se han retenido 4 elementos para caracterizar la unidad. Dos elementos corresponden a los espacios interdunas, los cuales en este caso son relativamente extensos y en ellos la vegetación se presenta en general como manchones densos (con cobertura a veces superior al 50%) en forma de arcos, rodeados por vegetación menos densa. Los elementos retenidos para la descripción son, por una parte un elemento caracterizado por un estrato de leñosas altas (dominado por *Prosopis glandulosa*) y un estrato de leñosas bajas (dominado por *Flourensia cernua*) que se presenta en los espacios interdunas que reciben un aporte importante de agua y que poseen suelos relativamente más finos; por otra parte un elemento caracterizado por un estrato de leñosas bajas (dominado por *Larrea tridentata* y *Acacia constricta*) en la porción de espacios interdunas con texturas más arenosas. Los restantes 2 elementos corresponden a las dunas propiamente dichas, esto es, un elemento caracterizado por un estrato de leñosas bajas (dominado por *Dalea scoparia* y *Yucca elata*) ocupando en general las porciones superiores de las dunas altas (de hasta 10 m); y otro elemento caracterizado también por un estrato de leñosas bajas (dominado por *Lycium berlandieri* y *Acacia greggii*) ocupando las porciones intermedias de dunas altas o las porciones superiores de dunas más bajas.

## 2. Formaciones o mosaicos de formaciones que se caracterizan por estratos leñosos altos y herbáceos. (Unidades cartográficas B1 y B2).

Estas formaciones ocupan las posiciones inferiores de la toposecuencia a lo largo de los colectores principales que transportan de modo temporario el agua de lluvia hasta los fondos de depresiones endorreicas. Ocupan buena parte de la geoforma vega sobre suelos de texturas finas (Xerosoles y Yermosoles lúvicos o háplicos generalmente con fases sódica y salina, Vertisoles crómicos con fases sódica y salina y, en menor grado Fluvisoles).

### 2.1 Formaciones puras. (Unidad cartográfica B1).

Se distribuye a lo largo de las vías de escurrimiento en las Zonas III, V y VI. El

estrato leñoso es siempre dominado por *Prosopis glandulosa* y llega a veces a superar el 25% de cobertura. El estrato herbáceo (dominado por *Hilaria mutica*) es, en general, más denso llegando a superar en algunos casos el 50% de cobertura.

Ocupa vegas y valles intermontanos (geoformas V y Vim) sobre Xerosoles y Yermosoles háplicos o lúvicos.

## 2.2 Mosaicos de más de 2 elementos (Unidad cartográfica B2)

Ubicada en la porción este de las Zonas I y II esta unidad ocupa un área elongada de alrededor de 30 km a lo largo del principal de los colectores que desembocan en la Laguna de Palomas. El estrato arbóreo, ocupado por *Prosopis glandulosa*, tiene siempre una cobertura inferior al 5%, mientras que el estrato herbáceo puede llegar a superar el 25% y es dominado alternativamente por *Hilaria mutica*, *Sporobolus airoides* o *Panicum obtusum*.

Se presenta en vegas sobre suelos de texturas finas e imperfectamente drenados (Yermosoles lúvicos y Vertisoles crómicos con fases sódica y salina).

## 3. Formaciones caracterizadas únicamente por estratos leñosos bajos. (Unidades cartográficas C1 a C16).

### 3.1 Formaciones puras (Unidades cartográficas C1 a C4, C8 a C10, C14 a C16).

#### 3.1.1 Formaciones puras de un solo estrato (Unidades cartográficas C1 a C4 y C15).

##### 3.1.1.1 Con un estrato leñoso de 1 a 2 m de altura (Unidades cartográficas C1 a C4).

Se trata de formaciones donde además del estrato leñoso no es posible caracterizar un estrato herbáceo debido a su escasa cobertura (en general inferior al 1%) y a la variabilidad florística, lo que dificulta la identificación de las especies dominantes.

Para esta formación se reconocen 4 variantes según las especies dominantes:

- *Larrea tridentata* y *Prosopis glandulosa*
- *Larrea tridentata* y *Acacia constricta*
- *Larrea tridentata* y *Cordia parvifolia*
- *Prosopis glandulosa* y *Ziziphus obtusifolia*

Las formaciones dominadas por *Larrea tridentata* y *Prosopis glandulosa* son formaciones de muy baja cobertura (excepcionalmente pueden llegar al 25%). Se presentan en la Zona III y en la Zona I. En la Zona III ocupan superficies relativamente pequeñas (en general inferiores a 500 ha), a veces en situaciones que pueden relacionarse con

antiguos disturbios (sobrepastoreo y/o agricultura de temporal). Se presenta en bajadas ligeramente gravosas, gravosas o limosas (geoformas B1g, Bg o B1), en general sobre Yermosoles háplicos a veces de leve a moderadamente salinos. En la Zona I se presenta en una superficie de algo menos de 2,000 ha ocupando la mayor parte del área de playa menos salina (geoforma Pps).

La unidad dominada por *Larrea tridentata* y *Acacia constricta* fue encontrada en pequeños afloramientos de conglomerado al norte de la presa San Carlos (Zona IIIa).

Las formaciones dominadas por *Larrea tridentata* y *Cordia parvifolia* son relativamente densas (pueden superar el 50% de cobertura) y se presentan en bajadas gravosas o poco gravosas (geoformas Bg y Bpg) al sur del cerro Coronas en la Zona IIIb.

La unidad dominada por *Prosopis glandulosa* y *Ziziphus obtusifolia* ocupa una pequeña extensión (alrededor de 300 ha) en vegas (geoforma V) de la Zona IIIa. La cobertura es muy baja (inferior al 5%) y muestra evidentes signos de anterior alteración por agricultura y sobrepastoreo.

#### 3.1.1.2 Con estrato de leñosas entre 0.5 m y 1 m de altura (Unidad cartográfica C15).

Esta pequeña unidad se presenta en una isla de la Laguna de Palomas en una playa fuertemente salina (geoforma Pfs). Su cobertura es muy baja y las dominantes son *Allenrolfea occidentalis* y *Atriplex canescens*.

#### 3.1.2 Formaciones puras en las cuales se reconocen 2 estratos (Unidades C8 a C10, C14 y C16).

De acuerdo a la altura de las leñosas dominantes se las puede agrupar de la siguiente manera.

##### 3.1.2.1 Formaciones en las cuales se reconoce un estrato de 1 a 2 m y otro de 0.5 a 1 m (Unidades C8 a C10).

De acuerdo a las dominantes se reconocen 3 variantes:

La primera variante (unidad cartográfica C8) es dominada por *Allenrolfea occidentalis* y *Suaeda suffrutescens*. Esta unidad se presenta sobre vegas y playas (geoformas V y P) ubicadas al norte y al este de la Laguna de Palomas en la Zona II. Los suelos son fuertemente salinos (Solonchaks gléicos y órticos). La cobertura vegetal es muy baja (inferior al 5%).

La segunda (unidad cartográfica C9) presenta como dominantes a *Larrea tridentata* y *Haplopappus heterophyllus*. Su distribución está circunscrita a los alrededores de la Laguna de Palomas (Zona II) y aparece asociada al sistema de dunas fósiles con alto contenido de yeso que la rodean. La cobertura vegetal puede llegar al 25%. Ocupa en general áreas de reducida extensión excepto en la costa este de la laguna donde se extiende sobre una superficie de alrededor de 10 km de largo por 1 km de ancho.

La tercera variante (unidad cartográfica C10) tiene como dominantes a *Allenrolfea occidentalis* y *Atriplex acanthocarpa*. Ocupa alrededor de 400 ha al noroeste de la Laguna de Palomas (Zona II). Se asienta sobre vegas en suelos de textura fina y salinos.

### 3.1.2.2 Formaciones en las cuales se presentan un estrato de 1 a 2 m y otro de 0.25 a 0.50 m (Unidad cartográfica C14).

Se trata de formaciones dominadas por *Prosopis glandulosa* y *Atriplex acanthocarpa* que se presentan en forma discontinua a lo largo del límite entre las Zonas I y IIIa (una pequeña área adicional se encuentra hacia el oeste de la Zona I cerca del Bajío La Calavera). Se asientan principalmente sobre geoforma playa aunque se extienden también hacia algunas bajadas limosas (geoforma B1) de la Zona IIIa.

### 3.1.2.3 Formaciones en las cuales se reconoce un estrato de 0.50 a 1 m y otro de 0.25 a 0.50 m (Unidad cartográfica C16).

Se trata de una unidad de escasa cobertura (menos del 10%) y de reducida extensión (alrededor de 300 ha) dominada por *Suaeda suffrutescens* y *Atriplex acanthocarpa*. Está ubicada al este de la Laguna de Palomas muy cerca del límite entre las Zonas I, II y IIIa. Ocupa parcialmente bajadas y playas sobre Yermosoles lúvicos con fase salina y sódica.

## 3.2 Mosaicos de 2 elementos (Unidades cartográficas C5 y C11 a C13).

### 3.2.1 Mosaicos de formaciones de 2 elementos en cada uno de los cuales se reconoce un solo estrato (Unidad C5).

Mosaico compuesto por un elemento dominado por *Larrea tridentata* y *Cordia parvifolia* y otro dominado por *Larrea tridentata* y *Acacia constricta*. Se presenta sobre las laderas de piedemonte (geoforma Fc) del Cerro Palangana en la Zona VI sobre Regosoles calcáreos. La cobertura de la vegetación es en general baja (menos del 10%).

### 3.2.2 Mosaicos de 2 elementos donde alguno de los cuales tiene más de un estrato (Unidades cartográficas C11 a C13).

#### 3.2.2.1 (Unidad cartográfica C11).

Se trata de un mosaico donde para un elemento se reconocen dos estratos leñosos dominados respectivamente por *Larrea tridentata* y *Haplopappus heterophyllus*. El segundo elemento presenta un solo estrato dominado por *Prosopis glandulosa* y *Castela texana*. Ambos elementos son de baja cobertura. Ocupa algo menos de 600 ha inmediatamente al norte de Santa María de Mohovano en la Zona IIIa. Se presenta en una bajada gra-

vosa (geoforma Bg) y muestra evidentes signos de antiguas alteraciones por sobrepastoreo y agricultura.

#### 3.2.2.2 (Unidad cartográfica C12)

Esta unidad se presenta en el extremo este de la Zona II ocupando un área cubierta por dunas fósiles con alto contenido de yeso y los correspondientes espacios interdunas. A pesar de la variabilidad en la vegetación se reconocieron 2 elementos: el primero de ellos se presenta sobre las dunas y está dominado por *Larrea tridentata* y *Haplopappus heterophyllus* mientras que el segundo aparece asociado a los espacios interdunas y está dominado por *Larrea tridentata* y *Prosopis glandulosa*. Ocupa una superficie alargada en sentido norte-sur de aproximadamente 9 km de largo por 2 km de anchura máxima.

#### 3.2.2.3 (Unidad cartográfica C13).

Esta unidad se presenta en manchones de menos de 300 ha en la costa oeste de la Laguna de Palomas dentro de la Zona II. Se asienta sobre playas (geoforma P) en suelos fuertemente salinos (Solonchaks). Se reconocen dos elementos: el primero dominado por *Allenrolfea occidentalis* y *Atriplex canescens* y el segundo por *Larrea tridentata* y *Haplopappus heterophyllus*. Este último elemento ocupa en general posiciones topográficas un poco más elevadas relacionadas probablemente con la existencia de antiguas dunas de yeso muy erosionadas.

### 3.3 Mosaicos de más de 2 elementos (Unidades cartográficas C6 y C7).

#### 3.3.1 (Unidad cartográfica C6).

Mosaico formado por 3 elementos dominados respectivamente por *Prosopis glandulosa* y *Flourensia cernua*; *Prosopis glandulosa* y *Larrea tridentata*; *Lycium berlandieri* y *Acacia constricta*. Está ubicado en la porción oeste de la Zona V donde la combinación de dunas de distintos tamaños y alturas y de espacios interdunas de diversas extensiones se traduce en una relativa complejidad en la vegetación. Los espacios interdunas son ocupados por una formación dominada por *Prosopis glandulosa* y *Flourensia cernua* o por *Prosopis glandulosa* y *Larrea tridentata*. Las dunas pueden estar ocupadas por esta última formación en sus partes bajas o por una formación dominada por *Lycium berlandieri* y *Acacia constricta*.

Hacia el norte y noreste los límites con las unidades vecinas no son muy marcados. La superficie ocupada por este mosaico es de aproximadamente 1,000 ha. El elemento dominado por *Prosopis glandulosa* y *Flourensia cernua* es el más denso pudiendo llegar al 50% de cobertura.

#### 3.3.2 (Unidad cartográfica C7).

Mosaico formado por 4 elementos dominados respectivamente por: *Dalea scoparia*

y *Yucca elata*; *Larrea tridentata* y *Acacia greggii*; *Lycium berlandieri* y *Acacia greggii*; *Larrea tridentata* y *Acacia constricta*.

Esta unidad ocupa una extensión de alrededor de 3,000 ha en la porción noroeste de la Zona V. Tiene relaciones de continuidad con la unidad cartográfica C6 y, al igual que ésta, presenta una gran heterogeneidad en la vegetación que ha sido resumida reteniendo 4 elementos. Dos elementos corresponden a las dunas propiamente dichas, el primero (dominado por *Dalea scoparia* y *Yucca elata*) ocupa en general las porciones superiores de las dunas altas (hasta 10 m), mientras que el segundo (dominado por *Lycium berlandieri* y *Acacia greggii*) ocupa las porciones intermedias de las dunas altas o las porciones superiores de las dunas bajas. Los dos elementos restantes ocupan los espacios interdunas. En ambos *Larrea tridentata* se presenta como dominante, en un caso compartiendo la dominancia con *Acacia constricta* en el otro con *Acacia greggii*.

4. Formaciones caracterizadas por estratos leñosos bajos y herbáceos (Unidades D1 a D20).

Se utilizaron 3 colores para distinguir, dentro de estas formaciones, algunas variaciones estructurales importantes. El primer color (que comprende a las unidades cartográficas D16 a D18) distingue a los mosaicos de formaciones que se presentan en la Zona IV con una estructura horizontal repetitiva de manchones de vegetación densa y áreas parcialmente denudadas.

El segundo color (que comprende a las unidades cartográficas D19 y D20) incluye a los mosaicos donde alguno de los elementos presenta un estrato de leñosas de 1 a 2 m y otro de leñosas de 0.25 a 0.50 m. Estos mosaicos ocupan una superficie importante de la Zona I.

El tercer color (unidades cartográficas D1 a D15) incluye al resto de las formaciones. En la mayoría de los casos estas formaciones, o alguno de los elementos en el caso de mosaicos, presentan un estrato de leñosas de 1 a 2 m y uno de herbáceas de 0.25 a 0.50 m. Estas unidades comprenden algo más de la mitad de la superficie de la Zona I y otras pequeñas áreas en las restantes zonas excepto la V.

4.1 Formaciones puras (Unidades cartográficas D1 a D3 y D15).

4.1.1 (Unidad cartográfica D1).

Comprende 11 áreas de diferentes tamaños ubicadas en geoforma playa en la Zona I, en bajadas limosas y vegas (geoformas B1 y V) de la Zona III y, en menor proporción, de la Zona VI. Los dominantes son *Prosopis glandulosa* en el estrato arbustivo e *Hilaria mutica* en el estrato herbáceo.

4.1.2 (Unidad cartográfica D2).

Comprende 2 áreas reducidas (de 500 ha y 250 ha aproximadamente cada una),

ubicadas sobre vegas de la Zona I y una zona más grande (alrededor de 1,000 ha) asentada también sobre vegas pero en la Zona II. El estrato arbustivo (dominado por *Prosopis glandulosa*) nunca sobrepasa el 5% de cobertura mientras que el estrato herbáceo (dominado por *Sporobolus airoides*) puede superar el 50%.

#### 4.1.3 (Unidad cartográfica D3).

Esta formación ocupa superficies de variado tamaño en la Zona I sobre geoforma playa. En algunos sitios se presenta con un microrrelieve particular resultante de hundimientos del terreno a lo largo de grietas de varias decenas de metros de longitud originadas en el subsuelo (Delhoume *et al.*, 1983). Esto da como resultado la existencia de una red pseudopoligonal de depresiones alargadas (entre 1 y 2 m de ancho por 0.50 a 1 m de profundidad) donde se concentra la vegetación. La dominante del estrato arbustivo es *Suaeda nigrescens* y la del estrato herbáceo es *Hilaria mutica*.

#### 4.1.4 (Unidad cartográfica D15).

Esta unidad se presenta en playas de la porción noreste de la Zona I muy cerca del límite con la Zona IIIa. Se trata de una formación relativamente densa que puede llegar al 50% de cobertura y presenta como dominantes a *Atriplex acanthocarpa* y *Sporobolus airoides*.

### 4.2 Mosaicos de formaciones con dos elementos (Unidades D4 a D10, D12 a D14, D16 y D19).

#### 4.2.1 (Unidad cartográfica D4).

Se trata en general de formaciones relativamente densas en las cuales el estrato herbáceo puede superar el 50% de cobertura. El primer elemento del mosaico es dominado por *Prosopis glandulosa* e *Hilaria mutica*, y el segundo por *Prosopis glandulosa* y *Sporobolus spiciformis*. Se presenta en vegas (geoforma V) de la Zona II ocupando un área relativamente importante al oeste de la Laguna de Palomas. También se presenta en la Zona IV.

#### 4.2.2 (Unidad cartográfica D5).

Un elemento del mosaico está dominado por *Prosopis glandulosa* e *Hilaria mutica* y el segundo por *Prosopis glandulosa* y *Sporobolus airoides*. Se presenta al sudeste de la Zona I ocupando una importante extensión en geoforma vega. La cobertura del estrato herbáceo en ambos elementos es en general superior al 50%.

#### 4.2.3 (Unidad cartográfica D6).

Ocupa importantes extensiones sobre geoforma playa en la Zona I. Los dos ele-

mentos del mosaico tienen como dominante del estrato herbáceo a *Hilaria mutica*; el estrato arbustivo por el contrario es dominado por *Prosopis glandulosa* en un caso y por *Suaeda nigrescens* en el otro. Las coberturas son variables pudiendo llegar en algunos casos al 50%.

#### 4.2.4 (Unidad cartográfica D7).

El primer elemento es dominado por *Prosopis glandulosa* y *Sporobolus airoides* y el segundo por *Suaeda nigrescens* y *Sporobolus airoides*. Ocupa una extensión reducida alrededor de la presa Los Tildillos sobre geoforma vega en la Zona I. La cobertura del estrato herbáceo puede llegar al 50%.

#### 4.2.5 (Unidad cartográfica D8).

Se trata de un mosaico donde un elemento presenta estratos herbáceo y leñoso y el segundo elemento presenta únicamente un estrato leñoso. El primer elemento es dominado por *Prosopis glandulosa* e *Hilaria mutica*, mientras que el segundo es dominado por *Larrea tridentata* y *Prosopis glandulosa*. Ocupa 5 áreas de tamaños variables sobre bajadas ligeramente gravosas (geoforma B1g) en la Zona III y una porción de la Zona I sobre la geoforma playa en su variante menos salina.

#### 4.2.6 (Unidad cartográfica D9).

Este mosaico ocupa una reducida extensión (alrededor de 200 ha) sobre bajadas ligeramente gravosas (geoforma B1g) en la Zona III muy cerca de su límite con la Zona IV. Un elemento del mosaico es dominado por *Prosopis glandulosa* e *Hilaria mutica* con coberturas que pueden sobrepasar el 25%, mientras que el segundo elemento es dominado por *Prosopis glandulosa* y *Ziziphus obtusifolia* con coberturas en general inferiores al 5%.

#### 4.2.7 (Unidad cartográfica D10).

Este mosaico se presenta en el extremo sudoeste del área estudiada sobre bajadas ligeramente gravosas de la Zona III. Uno de los elementos presenta dos estratos (leñoso y herbáceo) de coberturas bajas (en general inferior al 25%) dominados por *Prosopis glandulosa* e *Hilaria mutica* respectivamente. El segundo elemento presenta solamente un estrato arbustivo de mayor cobertura (puede llegar al 50%) dominado por *Larrea tridentata* y *Cordia parvifolia*.

#### 4.2.8 (Unidad cartográfica D12).

Este mosaico se presenta en las dunas con alto contenido de yeso que se encuentran

al sur de la Laguna de Palomas en la Zona II. Un elemento es dominado por *Larrea tridentata* y *Sporobolus cryptandrus* y el otro es dominado por *Larrea tridentata* y *Haplopappus heterophyllus*. Ambos elementos raramente llegan al 20% de cobertura.

#### 4.2.9 (Unidad cartográfica D13).

Este mosaico está ubicado al norte de la Zona I sobre Solonchaks órticos y Fluvisoles calcáreos en geoforma vega. Un elemento presenta un estrato leñoso dominado por *Prosopis glandulosa* y otro herbáceo dominado por *Sporobolus airoides*. El segundo elemento presenta dos estratos dominados por leñosas (respectivamente *Suaeda suffrutescens* y *Atriplex canthocarpa*). Ambos elementos son de baja cobertura (raramente pasan el 10%).

#### 4.2.10 (Unidad cartográfica D14).

Este mosaico se presenta al este de la Laguna de Palomas en la Zona II en su límite con la Zona IIIa. Ocupa una unidad elongada de alrededor de 6 km de largo sobre geoformas playa y vega introduciéndose parcialmente en la bajada vecina. Un elemento presenta dos estratos dominados por leñosas (*Suaeda suffrutescens* y *Atriplex canthocarpa* respectivamente). El segundo elemento presenta un estrato herbáceo (dominado por *Sporobolus spiciformis*) y un estrato leñoso (dominado por *Suaeda suffrutescens*).

#### 4.2.11 (Unidad cartográfica D16).

Esta unidad se presenta sobre bajadas arenosas (geoforma Bar) en un área relativamente importante de la Zona IV, limitando por el sur con la Zona III. Se reconocen dos elementos que alternan entre sí y con espacios totalmente desnudos. Ambos elementos presentan un estrato leñoso y otro herbáceo. El primer elemento es dominado por *Prosopis glandulosa* e *Hilaria mutica* y el segundo por *Prosopis glandulosa* y *Sida leprosa*. En este último caso la cobertura del estrato dominado por *Sida leprosa* incluye tanto a las especies perennes como anuales.

#### 4.2.12 (Unidad cartográfica D19).

Este mosaico ocupa importantes superficies sobre playas de la Zona I. Los dos elementos que lo constituyen presentan en general coberturas superiores al 25%. El primero de ellos está compuesto por un estrato leñoso (dominado por *Prosopis glandulosa*) y otro herbáceo (dominado por *Hilaria mutica*). El segundo elemento presenta ambos estratos dominados por leñosas (*Prosopis glandulosa* y *Atriplex canthocarpa*).

### 4.3 Mosaicos de formaciones que presentan más de 2 elementos (Unidades cartográficas D11, D17, D18 y D20).

#### 4.3.1 (Unidad cartográfica D11).

Este mosaico ocupa una superficie de alrededor de 1,200 ha en la Zona IV sobre bajadas arenosas y dunas (geoformas Bar y D). En este mosaico se reconocieron 3 elementos. El primero de ellos es dominado por *Prosopis glandulosa* e *Hilaria mutica* y se presenta exclusivamente en las bajadas arenosas. Los otros dos elementos presentan solamente estratos arbustivos: uno de ellos dominado por *Larrea tridentata* y *Acacia constricta* se presenta sobre las bajadas arenosas y las porciones bajas de las dunas; el otro elemento es dominado por *Dalea scoparia* y *Yucca elata* y se presenta exclusivamente en las dunas.

#### 4.3.2 (Unidad cartográfica D17).

Este mosaico ocupa la mayor parte de la superficie de la Zona IV sobre bajadas arenosas (geoformas Bar y Bd) y dunas. A los dos elementos que alternan con espacios denudados y que fueron descritos para la unidad cartográfica D16 (esto es, un elemento dominado por *Prosopis glandulosa* e *Hilaria mutica* y otro elemento dominado por *Prosopis glandulosa* y *Sida leprosa*) se agrega un tercer elemento que se presenta en relación con las dunas y que es dominado por *Larrea tridentata* y *Dalea scoparia*. Como en el caso de la unidad cartográfica D16 la cobertura del estrato dominado por *Sida leprosa* incluye tanto a la de especies perennes como anuales.

#### 4.3.3 (Unidad cartográfica D18).

Este mosaico se presenta en la Zona IV sobre bajadas arenosas (geoformas Bar y Bd) y dunas. La topografía del terreno condiciona una gran variabilidad en la vegetación. Se reconocieron 2 elementos que vegetan sobre las bajadas (dominados respectivamente por *Prosopis glandulosa* e *Hilaria mutica* y por *Prosopis glandulosa* y *Sida leprosa*) y otros dos elementos que se presentan en las dunas (dominados respectivamente por *Larrea tridentata* y *Acacia constricta* y por *Lycium berlandieri* y *Dalea scoparia*). Como en el caso de las unidades D16 y D17 la cobertura del estrato dominado por *Sida leprosa* incluye a la de especies perennes y anuales.

#### 4.3.4 (Unidad cartográfica D20).

Este mosaico se presenta en una unidad elongada de aproximadamente 12 km de largo que corre paralela al curso del colector principal que recorre la Zona I. Se reconocieron 3 elementos que vegetan sobre la geoforma playa. Dos elementos presentan estratos dominados por leñosas y herbáceas mientras que el tercer elemento presenta ambos estratos dominados por leñosas. En el primer elemento las dominantes son *Prosopis glandulosa* y *Sporobolus airoides*; en el segundo *Suaeda nigrescens* e *Hilaria mutica*, y en el tercer elemento *Suaeda nigrescens* y *Atriplex canthocarpa*.

5. Formaciones o mosaicos de formaciones caracterizadas por estratos leñosos bajos y suculentos platicaulales. (Unidades cartográficas E1 a E4).

Estas formaciones ocupan algunos piedemontes y porciones superiores de bajadas de la Zona III y un área de la Zona V.

#### 5.1 Formaciones puras (Unidad cartográfica E1).

Esta formación ocupa 3 áreas ubicadas en la Zona IIIa sobre bajadas gravosas (geoforma Bg) y bajadas poco gravosas (geoforma Bpg). Las dominantes son *Larrea tridentata* y *Opuntia rastrera*.

#### 5.2 Mosaicos de 2 elementos (Unidades cartográficas E2 a E4).

##### 5.2.1 (Unidad cartográfica E2).

Este mosaico ocupa un área de alrededor de 750 ha sobre bajadas gravosas y dunas en la porción noreste de la Zona V. Un elemento es dominado por *Flourensia cernua* y *Opuntia rastrera* y el otro por *Acacia constricta* y *Acacia greggii*.

##### 5.2.2 (Unidad cartográfica E3).

Este mosaico se presenta sobre bajadas arenosas (geoforma Bar) y dunas ocupando una superficie de alrededor de 600 ha en la Zona V. Un elemento es dominado por *Prosopis glandulosa* y *Opuntia rastrera* y el otro por *Larrea tridentata* y *Acacia constricta*.

##### 5.2.3 (Unidad cartográfica E4).

Este mosaico ocupa un área importante en el extremo noreste de la Zona V sobre dunas y espacios interdunas (geoformas D y Adu). Las dominantes del primer elemento son *Zinnia acerosa* y *Opuntia rastrera* y las del segundo elemento son *Acacia constricta* y *Acacia greggii*.

6. Mosaico de formaciones caracterizado por estratos leñosos bajos, suculentos platicaulales y suculentos rosetófilos. (Unidad cartográfica F1).

Ocupa una extensión de algo menos de 400 ha en la Zona IIIa sobre lomas de conglomerado (geoforma Hg), bajadas gravosas (geoforma Bg) y parcialmente sobre laderas de piedemonte (geoforma Fb). Las dominantes del primer elemento (el cual tiende a ocupar las posiciones topográficas más elevadas) son *Larrea tridentata* y *Agave asperrima*; las dominantes del segundo elemento son *Larrea tridentata* y *Opuntia rastrera*.

7. Formaciones o mosaicos de formaciones caracterizadas por estratos leñosos bajos y suculentos rosetófilos (unidades cartográficas G1 a G3).

Estas formaciones ocupan algunos cerros de las Zonas IIIa y VI.

- 7.1 Formaciones puras (Unidades cartográficas G1 y G3).

- 7.1.1 (Unidad cartográfica G1).

Ocupa 2 pequeñas áreas sobre lomas (geoforma Hc y Hg). Una de ellas está ubicada en la Zona VI y la otra en la Zona III muy cerca del límite entre ambas. Las dominantes son *Larrea tridentata* y *Agave asperrima*.

- 7.1.2 (Unidad cartográfica G3).

Se presenta en un área de reducida extensión (menos de 300 ha) sobre la Sierra La Palangana (geoforma Sc) dentro de la Zona VI. Las dominantes son *Euphorbia antisyphilitica* y *Agave lecheguilla*.

- 7.2 Mosaico de formaciones (Unidad cartográfica G2).

Este mosaico ocupa varias áreas reducidas sobre lomas (geoformas Hg, Hb, Lg y Lb) en la Zona IIIa muy cerca del límite de la Zona VI. Las dominantes del primer elemento son *Larrea tridentata* y *Agave asperrima* y las del segundo elemento son *Larrea tridentata* y *Agave lecheguilla*.

8. Formaciones caracterizadas por estratos suculentos platicales y suculentos rosetófilos. (Unidad cartográfica H1).

Ocupa una pequeña extensión (aproximadamente 120 ha) sobre el Cerro Bola (geoforma Sa y Fa) al sudoeste de la Zona IIIa. Las dominantes son *Opuntia microdasys* y *Hechtia glomerata*. En algunos lugares se observa un estrato de leñosas más altas pero siempre de escasa cobertura.

9. Formaciones caracterizadas por estratos suculentos rosetófilos y suculentos cilíndricos. (Unidad cartográfica I1).

Ocupa alrededor de 1,200 ha sobre los Cerros Cipriano (geoforma Sc) al noreste de la Zona VI y, parcialmente, sobre algunos piedemontes aledaños. Las dominantes son *Hechtia glomerata* y *Opuntia bradtiana*. A veces aparece un estrato leñoso de mayor altura pero de escasa cobertura.

10. Formaciones o mosaicos de formaciones caracterizadas por estratos leñosos altos, leñosos bajos y herbáceos. (Unidades cartográficas J1 a J7).

Para esta categoría se emplearon dos colores con el fin de destacar características de la estructura horizontal de la vegetación. El primer color (unidades cartográficas J6 y J7) se utilizó para distinguir las unidades de esta categoría que se presentan como un mosaico de formaciones densas en forma de arcos perpendiculares a la pendiente rodeados por zonas desprovistas de vegetación o de cobertura vegetal baja (inferior al 10%). Las mismas están ubicadas en las bajadas de la Zona III.

El segundo color (unidades J1 a J5) comprende a las formaciones restantes. Las mismas se ubican en: a) algunas bajadas de la Zona III; b) la porción exterior de algunas vegas (continuándose en las bajadas aledañas) que acompañan a los grandes ejes de escurrimiento que sirven de límite entre las Zonas IIIa y VI; c) algunas vegas de la Zona I que limitan con bajadas de la Zona IIIb.

10.1 Mosaicos de 2 elementos (Unidades cartográficas J1 a J5).

10.1.1 (Unidad cartográfica J1).

Ocupa dos áreas de reducida extensión en la Zona IIIa sobre bajadas y lomas bajas (geoformas Blg y Lg). El primer elemento presenta como dominantes a *Fouquieria splendens* y *Larrea tridentata*. El segundo a *Prosopis glandulosa* e *Hilaria mutica*.

10.1.2 (Unidad cartográfica J2).

Se trata de mosaicos de formaciones densas (superan a veces el 50% de cobertura) que se presentan sobre vegas (geoformas Vsc y Vcc) y bajadas (geoforma B1) en el límite entre la Zona I y la Zona IIIb. Un elemento es dominado por *Prosopis glandulosa* y *Atriplex canthocarpa* y el otro por *Prosopis glandulosa* e *Hilaria mutica*.

10.1.3 (Unidad cartográfica J3).

Este mosaico se presenta ocupando bajadas (geoformas Bg y Blg) en tres áreas de la Zona III: dos en la Zona IIIa (en las inmediaciones del Cerro La Palangana y del Cerro Las Cuevas) y la tercera en la Zona IIIb, cerca del Cerro Coronas. Los dominantes del primer elemento son *Prosopis glandulosa* e *Hilaria mutica* y los del segundo elemento son *Prosopis glandulosa* y *Larrea tridentata*.

10.1.4 (Unidad cartográfica J4).

Este mosaico se presenta en la Zona IIIb sobre bajadas gravosas (geoforma Bg) al pie del Cerro Coronas. Los dominantes del primer elemento son *Prosopis glandulosa* e *Hilaria mutica* y los del segundo elemento son *Larrea tridentata* y *Cordia parvifolia*.

### 10.1.5 (Unidad cartográfica J5).

Este mosaico se extiende en dos áreas a lo largo de los dos colectores que limitan a las Zonas IIIa y VI. Los dos elementos del mosaico están dominados por *Prosopis glandulosa* e *Hilaria mutica*. El carácter que se usó para diferenciar ambos elementos es la altura del estrato dominado por *Prosopis glandulosa*. En efecto, a medida que aumenta la distancia desde las porciones centrales de las vegas hacia las bajadas que las rodean disminuye el porte de esta especie. De tal forma, en esta unidad se observa un mosaico de formaciones donde el estrato superior supera los 2 m en algunos casos y en otros no.

## 10.2 Mosaicos de más de 2 elementos (Unidades cartográficas J6 y J7).

### 10.2.1 (Unidad cartográfica J6).

Comprende 10 áreas distribuidas ampliamente en la Zona III, aunque una de ellas se continúa en la Zona IV. Se presenta sobre la mayor parte de la superficie de las bajadas de la Zona IIIa (geoformas Blg y en menor medida Bg); sobre algunas bajadas de la Zona IV (geoformas Bar y Bd) y sobre algunas bajadas de la Zona IIIb (geoformas Blg y en menor medida Bg). Dos de los elementos reconocidos son formaciones densas (generalmente sobrepasan el 50% de cobertura) dominados por *Prosopis glandulosa* e *Hilaria mutica*. La diferencia entre ambos elementos está dada por la altura del estrato leñoso. El tercer elemento es en general de cobertura baja (inferior al 10% aunque excepcionalmente puede llegar a un 20%) y sus dominantes son *Larrea tridentata* y *Prosopis glandulosa*.

### 10.2.2 (Unidad cartográfica J7).

Este mosaico ocupa un área reducida (menos de 100 ha) sobre bajadas (geoformas Bpg y Blg) de la porción noreste de la Zona VI. Como en el caso de la unidad cartográfica J6, los dos elementos de vegetación densa son dominados por *Prosopis glandulosa* e *Hilaria mutica*. El tercer elemento es dominado por *Larrea tridentata* y *Cordia parvifolia*.

## 11. Mosaicos de formaciones caracterizadas por estratos leñosos altos, leñosos bajos y suculentos rosetófilos (Unidades cartográficas K1 a K3).

### 11.1 (Unidad cartográfica K1).

Ocupa dos pequeñas áreas de la Zona IIIa sobre lomas (geoformas Hb y Hr), o sobre cerros (geoforma Sa) o laderas de piedemonte (geoforma Fa). Las dominantes del primer elemento son *Fouquieria splendens* y *Larrea tridentata* y las del segundo elemento son *Larrea tridentata* y *Agave asperrima*.

### 11.2 (Unidad cartográfica K2).

Ocupa más de 2,000 ha en las serranías (geoformas Hr y Hb) que se extienden sobre el Cerro Venado Gacho y Santa María de Mohovano dentro de la Zona IIIa. Las dominantes del primer elemento son *Fouquieria splendens* y *Larrea tridentata* y las del segundo elemento son *Larrea tridentata* y *Agave lecheguilla*.

### 11.3 (Unidad cartográfica K3).

Este mosaico se presenta en la Zona VI ocupando la Sierra La Campana y otras montañas ubicadas al norte de la anterior (geoformas Sc). Las dominantes del primer elemento son *Fouquieria splendens* y *Agave lecheguilla* y las del segundo son *Hechtia glomerata* y *Euphorbia antisiphilitica*.

12. Mosaicos de formaciones caracterizados por estratos leñosos altos, leñosos bajos y suculentos platicauls (Unidades cartográficas L1 a L3).

### 12.1 (Unidad cartográfica L1).

Se presenta sobre el Cerro San Ignacio (geoforma Sb) ocupando una extensión reducida dentro de la Zona IIIa. Las dominantes del primer elemento son *Fouquieria splendens* y *Larrea tridentata* y las del segundo son *Larrea tridentata* y *Opuntia microdasys*. A veces se presenta un estrato de gramíneas perennes de importancia variable.

### 12.2 (Unidad cartográfica L2).

Este mosaico se presenta en dos áreas ubicadas al pie de sistemas montañosos de la Zona IIIa. La primera de ellas al pie del Cerro San Ignacio y la segunda al pie de las serranías que se extienden entre el Cerro Venado Gacho y Santa María de Mohovano. Ocupa la porción superior de las bajadas (geoformas Bg y Bpg). Las dominantes del primer elemento son *Fouquieria splendens* y *Larrea tridentata* y las del segundo elemento son *Larrea tridentata* y *Opuntia rastrera*.

### 12.3 (Unidad cartográfica L3).

Se extiende íntegramente sobre la mesa de basalto (geoforma Lb) que constituye la Zona VII. Las dominantes del primer elemento son *Yucca torreyi* y *Larrea tridentata* y las del segundo son *Fouquieria splendens* y *Opuntia rastrera*.

13. Mosaicos de formaciones caracterizadas por estratos leñosos altos, leñosos bajos, herbáceos y suculentos platicauls. (Unidades cartográficas M1 a M3).

Estos mosaicos aparecen en algunas bajadas de la Zona IIIa. Sus elementos presen-

tan un patrón de distribución horizontal similar al de las unidades cartográficas J6 y J7, pero en este caso el elemento de vegetación menos densa tiene como dominante de un estrato a una suculenta platicaula (*Opuntia rastrera*).

### 13.1 Mosaicos de 2 elementos (Unidades cartográficas M1 y M2).

#### 13.1.1 (Unidad cartográfica M1).

Se presenta sobre tres áreas de bajadas (geoforma Bg y en menor grado Blg). Las dominantes del elemento más denso son *Prosopis glandulosa* e *Hilaria mutica* y las dominantes del elemento restante son *Larrea tridentata* y *Opuntia rastrera*.

#### 13.1.2 (Unidad cartográfica M2).

Este mosaico ocupa un área reducida en las bajadas del Cerro Las Cuevas (Zona IIIa.) Desde el punto de vista de estratificación y especies dominantes es igual a la unidad cartográfica M1, pero se la mapeó en forma separada por ser distinto el arreglo espacial de los elementos. En este caso la distribución de los mismos está influenciada por la presencia de numerosos pequeños cauces.

### 13.2 Mosaico de más de 2 elementos (Unidad cartográfica M3).

Ocupa una superficie de algo menos de 600 ha al oeste del Cerro San Ignacio sobre una bajada (geoforma Bg) interrumpida por pequeñas lomadas (geoforma Lg). Dos elementos vegetan en la bajada y tienen como dominantes a *Prosopis glandulosa* e *Hilaria mutica* el primero de ellos y a *Larrea tridentata* y *Opuntia rastrera* el segundo. El elemento que vegeta en las lomadas es dominado por *Fouquieria splendens* y *Larrea tridentata*.

### 14. Mosaicos de formaciones caracterizadas por estratos leñosos bajos, herbáceos y suculentos platicaulos (Unidad cartográfica N1), y mosaico de formaciones caracterizado por los estratos mencionados más un estrato de suculentos rosetófilos (Unidad cartográfica N2).

A pesar de estar caracterizados por diferentes combinaciones de estratos, estos dos mosaicos se reunieron en una sola categoría con el fin de evitar el uso de un color adicional para una unidad de pequeña extensión como la N1.

#### 14.1 (Unidad cartográfica N1).

Esta categoría está representada por una sola unidad que se presenta en la Zona IV sobre bajadas (geoforma Bar). Si bien se presentan en forma muy aislada algunas dunas bajas se describieron solamente dos elementos correspondientes a las bajadas.

Un elemento presenta un solo estrato leñoso dominado por *Prosopis glandulosa* y *Ziziphus obtusifolia*. El segundo elemento (más denso), presenta un estrato dominado por *Opuntia rastrera* y otro dominado por *Hilaria mutica*. Cabe mencionar que en algunos casos *Prosopis glandulosa* puede llegar a ser dominante en este último elemento.

#### 14.2 (Unidad cartográfica N2).

Este mosaico se presenta en un área de alrededor de 3,700 ha sobre bajadas (geoforma Bar) de la Zona IV. Como en el caso de la unidad cartográfica N1, a pesar de la presencia esporádica de dunas bajas se describieron solamente 2 elementos que se presentan fundamentalmente en las bajadas. El primer elemento presenta un estrato leñoso dominado por *Larrea tridentata* y otro dominado por una suculenta rosetófila (*Agave asperima*). El segundo elemento (más denso) presenta un estrato herbáceo dominado por *Hilaria mutica* y otro dominado por una suculenta platicaula (*Opuntia rastrera*). Como en el caso de la unidad N1, *Prosopis glandulosa* puede ser dominante en este último elemento.

## DISCUSIÓN

Aproximadamente la mitad del área cartografiada está ocupada por formaciones dominadas por herbáceas y leñosas bajas (25.95%) y por formaciones dominadas por leñosas altas y leñosas bajas (25.16%) (ver Tabla 1). Agregando las formaciones dominadas por herbáceas, leñosas altas y leñosas bajas (16.58%), por leñosas bajas exclusivamente (10.04%) y por herbáceas y leñosas altas (5.5%) se llega a más del 80% del área de estudios.

Las características topográficas de las cuencas endorreicas que ocupan el área cartografiada, y su consecuente influencia en la redistribución del agua condicionan la presencia de extensas formaciones donde las herbáceas (principalmente gramíneas perennes) desempeñan el rol de bioformas codominantes junto con nano y microfanerófitas principalmente. En efecto, las formaciones donde las herbáceas participan de algún modo como dominantes ocupan un total de 89,835.54 ha, distribuidas: a) a lo largo de vías de avenamiento (compartiendo la dominancia con leñosas altas [unidades B1 y B2] o con leñosas altas y bajas [unidades J2 y J5]); b) ocupando la mayor parte de las geoformas playas y de las geoformas vegas no incluidas en el punto anterior (compartiendo la dominancia con leñosas bajas [unidades D1 a D7, D12 a D15, D19 y D20]); c) ocupando la mayoría de las bajadas ubicadas fuera de la Zona VI (compartiendo la dominancia con leñosas bajas [unidades D8 a D11 y D16 a D18], con leñosas altas y bajas [unidades J1, J3, J4, J6 y J7], con leñosas altas, leñosas bajas y suculentas platicaulas [unidades M1 a M3], con leñosas bajas y suculentas platicaulas [unidad N1] o con leñosas bajas, suculentas platicaulas y suculentas rosetófilas [unidad N2]).

La dominancia de bioformas suculentas, por su parte, está restringida a algunas

bajadas (en las Zonas IIIa y IV), a la mesa de basalto de la Zona VII y a los relieves más enérgicos de las Zonas III y VI. En particular, la dominancia de suculentas cilíndricales está restringida a sierras calcáreas y la de suculentas platicales no se presenta nunca en la Zona de Bajadas y Sierras de Origen Calcáreo.

La combinación de dominancia de nano y microfanerófitas ocupa principalmente las bajadas y piedemontes de las sierras calcáreas (Zona VI) e importantes superficies en la Zona de Dunas. También ocupa lomadas, sierras bajas y algunas bajadas de la Zona III.

Los mosaicos que presentan patrones horizontales de distribución con alternancia de manchones de vegetación densa y espacios casi desnudos (vegetación "contractée", en el sentido utilizado por Monod (1954), por oposición a vegetación "difusa"), ocupan un 32.16% de la superficie (cabe mencionar que no se incluye en este porcentaje a la vegetación "contractée" que se presenta a lo largo de vías de escurrimiento, sino a la que se presenta en la geoforma bajadas cuando el escurrimiento es esencialmente no encauzado).

En los mosaicos de este tipo que se presentan en la Zona III el elemento de vegetación densa es siempre dominado por *Hilaria mutica* y *Prosopis glandulosa* (esta última especie con bioforma de nano o microfanerófito). Por el contrario, sobre la base de las diferencias en el elemento de vegetación menos densa se divide en dos tipos: uno donde tal elemento es dominado sólo por leñosas bajas (que ocupa el 12.51% del área estudiada; unidades J6 y J7) y otro donde tal elemento es dominado por leñosas bajas y suculentas platicales (que ocupa el 1.68% de la superficie; unidades M1 a M3). Este último tiende a reemplazar al mosaico anterior pendiente arriba (es decir, en las porciones superiores de las bajadas).

Los mosaicos de vegetación "contractée" que se presentan en la Zona VI (elemento de vegetación densa dominado por leñosas altas (*Prosopis glandulosa*) y leñosas bajas (*Flourensia cernua*); elemento de vegetación menos densa dominado por leñosas bajas exclusivamente (*Larrea tridentata* y *Cordia parvifolia*) ocupan el 5.90% del área cartografiada (unidades A7 y A8).

En la Zona V este patrón de vegetación se presenta en los espacios interdunas sobre una superficie algo inferior a las 8,000 ha (4.61% del área total estudiada; unidad A9). Cabe mencionar que esa superficie incluye tanto a las dunas (que tienen otra vegetación) como a los espacios interdunas donde se presentan arcos de vegetación densa (dominados por leñosas altas (*Prosopis glandulosa*) y leñosas bajas (*Flourensia cernua*), y, en general, con un estrato más o menos importante de gramíneas), rodeados de vegetación menos densa dominada por leñosas bajas (*Larrea tridentata* y *Acacia constricta*).

Por último, en la Zona IV este patrón de vegetación ocupa cerca de 13,000 ha (7.46% del área estudiada) en dos tipos de mosaicos bien diferenciados. El primero, donde intervienen suculentas como dominantes (unidades N1 y N2) ocupa algo más de 4,000 ha. El segundo, donde las dominantes son nanofanerófitas y herbáceas (unidades D16 a D18) ocupa el 4.99% del área de estudios.

Una idea aproximada de la importancia de las especies dominantes se obtuvo me-

dian­te un muestreo sistemáti­co de 315 puntos del mapa. Es de destacar que el porcen­ta­je de presen­cias en los puntos muestreados no es un estimador del área cubierta por cada especie como dominante, sino del área cubierta por las formaciones y los mosaicos en los cuales ella aparece como una de las dominantes. El hecho de desconocer la superficie ocupada por cada uno de los elementos en el interior de cada mosaico hace imposible el cálculo de la superficie realmente ocupada por cada especie como dominante. Esto es particularmente claro en la sobre­evalua­ción de la importancia de *Dalea scoparia* y *Yucca elata* (y en menor medida de *Acacia greggii* y *Acacia constricta*) quienes se presentan en áreas localizadas (porciones superiores de las dunas altas las primeras), de los grandes mosaicos existentes en la Zona V.

Las 12 especies con mayores frecuencias determinadas por este método fueron: *Prosopis glandulosa* (64.44%), *Larrea tridentata* (56.19%), *Hilaria mutica* (50.48%), *Fouquieria splendens* (20.00%), *Acacia constricta* (12.38%), *Flourensia cernua* (11.43%), *Cordia parvifolia* (11.11%), *Atriplex acanthocarpa* (10.48%), *Acacia greggii* (9.84%), *Opuntia rastrera* (9.84%), *Dalea scoparia* (9.52%), *Yucca elata* (8.57%).

Superponiendo al mapa de geomorfología y suelos (Breimer, 1985) exactamente la misma grilla de puntos utilizada para el muestreo del mapa de vegetación se puede explorar la distribución de las especies dominantes en las diferentes geoformas. En efecto, la combinación de la información obtenida en ambos muestreos permite determinar la combinación de geoforma y especies dominantes correspondiente a cada punto. De este modo se preparó una tabla de contingencia de especies dominantes por geoformas para la cual un análisis realizado con el estadístico G (Ezcurra y Montaña, 1985) permitió rechazar, con un nivel de confianza superior al 1 por mil, la hipótesis nula de equidistribución de las especies dominantes en las diferentes geoformas.

En la Tabla 2 se presentan (para las especies dominantes de mayor frecuencia) los cocientes entre las frecuencias observadas y esperadas bajo la hipótesis nula. Se observa que la dominante más repartida en el paisaje es *Larrea tridentata* quien está ausente sólo en las vegas y se presenta con frecuencias inferiores a las esperadas sólo en playas y sierras altas. Las otras dos especies dominantes que ocupan grandes superficies (*Prosopis glandulosa* e *Hilaria mutica*), por el contrario, aparecen con frecuencia mayores a las esperadas sólo en vegas, playas y bajadas. *Fouquieria splendens*, por su parte, aparece como dominante en las geoformas de relieve más enérgico (su presencia en dunas y áreas interdunas refleja su aparición en afloramientos de arenisca y conglomerado que ocurren a veces en la Zona de Dunas). El resto de las especies mostradas registran una distribución más restringida como es el caso, por ejemplo, de *Acacia constricta*, *Dalea scoparia*, *Acacia greggii* y *Yucca elata* que aparecen con mayor frecuencia que la esperada sólo en dunas y áreas interdunas.

El análisis de la tabla de contingencia total (no mostrada) revela que las geoformas de relieve menos enérgico (vegas, playas y bajadas) son las que presentan menor número de especies dominantes si se tienen en cuenta las superficies ocupadas por cada geoforma (superficies estimadas a partir de la frecuencia de puntos obtenida en el muestreo).

TABLE 2. Distribución de las especies dominantes más frecuentes en las geoformas. (Cada celda de la tabla indica el cociente entre la frecuencia observada y la frecuencia esperada bajo la hipótesis de equidistribución de las especies en las distintas geoformas)

	Sierras y cerros altos	Lomas altas	Lomas bajas	Laderas* pedemonte	Mesa basalto	Bajadas	Vegas	Playas	Dunas y áreas Interdunas
<i>Prosopis glandulosa</i>	0	0	.34	.08	0	1.26	1.52	1.25	.85
<i>Larrea tridentata</i>	.16	1.65	1.75	1.55	1.75	1.37	0	.09	1.40
<i>Hilaria mutica</i>	0	0	0	0	0	1.35	1.64	1.56	.26
<i>Fouquieria splendens</i>	3.12	3.36	3.27	5.45	4.90	.50	0	0	.33
<i>Acacia constricta</i>	0	0	0	.88	0	0	0	0	6.51
<i>Flourensia cernua</i>	0	0	1.91	.48	0	1.25	0	0	3.05
<i>Cordia parvifolia</i>	0	.93	3.92	2.94	0	1.51	0	0	.59
<i>Atriplex acanthocarpa</i>	0	0	0	0	0	.56	1.17	3.68	0
<i>Acacia greggii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	6.87
<i>Opuntia rastrera</i>	0	0	0	0	9.98	1.96	0	0	1.33
<i>Dalea scoparia</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	6.87
<i>Yucca elata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	6.87

\* Incluye lomas elongadas de piedemonte de la Zona VI.

## AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar su agradecimiento a E. Le Floc'h del CEPE L. Emberger por su valioso asesoramiento en técnicas de expresión cartográfica de la vegetación. A M. Vilanova y al equipo de arte gráfico de la misma institución por la elaboración de la versión en colores del mapa. A J. Rzedowski por la lectura crítica del manuscrito. Al programa MAB-UNESCO por el financiamiento de la impresión del mapa en colores. A la dirección del CEPE L. Emberger por las facilidades otorgadas para traba-

jar en esa institución. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACyT) y al Convenio CONACyT/CNRS por el apoyo financiero brindado.

#### BIBLIOGRAFÍA

- AUBREVILLE, A., 1970. Vocabulaire de biogéographie appliquée aux régions tropicales. *Adansonia*. Ser. 2, 10(1): 439-497.
- BREIMER, R., 1985. *Soil and landscape survey of the Mapimi Biosphere Reserve (Durango, Mexico)*. UNESCO-MAB. Montevideo, 128 p.
- CORNET, A., J.P. DELHOUME y C. MONTAÑA, 1983. *Vegetation Patterns and Soils in the Mapimi Bolson (Chihuahuan Desert, Mexico)*. I. *Vegetation Arcs*. Transactions of the Second Chihuahuan Desert Symposium, Alpine, Texas. (In press).
- DELHOUME, J.P., C. MONTAÑA y A. CORNET, 1983. *Vegetation Patterns and Soils in the Mapimi Bolson (Chihuahuan Desert, Mexico)*. II. *Polygonal Patterns*. Transactions of the Second Chihuahuan Desert Symposium, Alpine, Texas. (In press).
- EZCURRA, E. y C. MONTAÑA, 1984. On the measurement of association between plant species and environmental variables. *Acta OEcologica, OEcologia Generalis* 5(1): 21-33.
- FAO/UNESCO, 1974. *Soil map of the world. 1. Legend*. UNESCO, Paris.
- FOSBERG, F.R., 1967. A classification of vegetation for general purposes, pp. 73-120. In: Peterken, G.F. (Ed.) *Guide to the Check Sheet for IBP areas. IBP Handbook 4*. Blackwell. Londres.
- GODRON, M., PH. DAGET, G. LONG, CH. SAUVAGE, E. LE FLOCH, L. EMBERGER, J. POISSONET et J.P. WACQUANT, 1968. *Code pour le relevé méthodique de la végétation et du milieu*. Editions du C.N.R.S. 292 p.
- MIRANDA, F., 1955. *Formas de vida vegetales y el problema de la delimitación de las zonas áridas de México*, pp. 85-119. In: Mesas Redondas sobre problemas de las zonas áridas de México. Ediciones del Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables, México, D.F.
- MONOD, T., 1954. Modes "contracté" et "diffus" de la végétation Saharienne, pp. 35-44. In: CloudsleyThompson, J.L. *Biology of Deserts*. Institute of Biology. Londres.
- RZEDOWSKI, J., 1978. *Vegetación de México*. Limusa, 432 p.
- WALTER, H. y S.W. BRECKLE, 1985. *Ecological Systems of the Geobiosphere. 1. Ecological Principles in Global Perspective*. Springer Verlag.
- WALTER, H. y E. STADELMANN, 1974. A new approach to the water relations of desert plants, pp. 214-310. In: Brown, G.W. (Ed.) *Desert Biology*. Vol. II. Academic Press.
- WHITE, L.P., 1971. Vegetation stripes on the sheet wash surfaces. *Journal of Ecology*. 59(2): 615-622.



# La Vegetación y sus Relaciones con el Ambiente

CARLOS MONTAÑA

## RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados de un análisis fitoecológico de 154 censos de vegetación realizados en la Reserva de la Biosfera de Mapimí.

El objetivo es explorar las relaciones vegetación ambiente a través del uso de metodologías de análisis multivariado y proporcionar una descripción resumida de las comunidades vegetales encontradas.

Un análisis de correspondencias de la matriz de especies por variables ambientales permite inferir la importancia relativa de los factores ambientales en la distribución de las especies y, en consecuencia, sobre la organización de las comunidades vegetales. Los resultados muestran la importancia de las siguientes variables: tipo de formación pedo-geomorfológica, grado de submersión, fase sódica, fase pedregosa-gravosa, profundidad de aparición del sustrato rocoso, textura del suelo, pendiente, salinidad, litología, posición topográfica, geoforma y unidad de paisaje.

El análisis de esta matriz pone también en evidencia la existencia de un gradiente ambiental que puede sintetizarse a través de la variable geoforma pero que en realidad incluye la interacción compleja de varias variables.

A su vez un análisis de correspondencias de la matriz de especies por censos permite expresar en un número reducido de dimensiones las principales direcciones de variación florística en el conjunto estudiado y determinar si existen discontinuidades (es decir grupos de censos y de especies claramente separados entre ellos) o si esta variación se realiza de manera más o menos continua (es decir que los cambios en composición florística se realizan paulatinamente a lo largo de las direcciones de variación). Los resultados de esta ordenación indican que las comunidades vegetales no parecen formar conjuntos estructurados, predecibles y claramente diferenciados de especies. Por el contrario las comunidades se presentan constituyendo un gradiente de formaciones vegetales en respuesta al gradiente ambiental detectado por el análisis de la matriz de especies por variables. A lo largo de ese gradiente se observa un reemplazo paulatino de las bioformas dominantes y un aumento en la diversidad desde las comunidades que vegetan los fondos de las cuencas endorreicas hacia las que vegetan en las porciones superiores de esas cuencas.

Por último, se presenta una tipología y una descripción de las comunidades encontradas basadas en caracteres estructurales y florísticos.

## RESUMÉ

Dans ce travail sont présentés les résultats d'une analyse phytoécologique réalisée sur 154 relevés de végétation de la Réserve de la Biosphère de Mapimí, avec pour objectifs d'une part, l'exploration des relations végétation-milieu à l'aide de méthodes d'analyses multivariées et d'autre part, la présentation d'une description résumée des communautés végétales rencontrées.

Un analyse de correspondances faite sur la matrice des espèces et variables du milieu permet d'estimer l'importance relative des différents facteurs dans la distribution des espèces, et par voie de conséquence sur l'organisation des communautés végétales. Les résultats montrent l'importance des variables suivantes: type de formation pédo-géomorphologique, submersion, phase sodique, phase pierreuse-caillouteuse, profondeur de la couche meuble, texture du sol, pente, salinité, lithologie, position topographique, géoforme, et unité de paysage. L'analyse de cette matrice met aussi en évidence la présence d'un gradient de l'environnement qui peut être synthétisé par la variable géoforme mais qui en réalité inclue l'interaction complexe de nombreuses autres variables.

De plus, une analyse de correspondances faite sur la matrice des espèces et relevés permet de représenter dans un espace à dimensions réduites les principales directions de variation floristique et déterminer s'il existe des discontinuités dans les données (c'est-à-dire des groupes de relevés et d'espèces nettement séparés du reste) ou bien si la variation se produit de manière continue (c'est-à-dire que les changements dans la composition floristique se font graduellement le long des directions de variation). Les résultats de cette ordination montrent que les communautés végétales ne semblent pas former d'ensembles d'espèces structurées, prévisibles et différenciés clairement. Au contraire, les communautés varient selon un gradient où les formations végétales suivent le gradient du milieu trouvé dans l'analyse de la matrice des espèces et variables mentionnée ci-dessus. Tout au long de ce gradient, on constate un remplacement graduel des types biologiques dominants et une augmentation de la diversité floristique qui est minimale dans les communautés des bas-fonds et augmente vers les communautés des reliefs les plus énergiques.

Dans la dernière partie du travail, une typologie et une description des communautés sont présentées.

## ABSTRACT

In this paper the results of a phytoecological analysis on 154 vegetation "relevés" from the Mapimí Biosphere Reserve are presented. The objectives were to explore vegetation-environment relationships through multivariate analysis and to provide a resumed description of the plant communities in the reserve.

The results of a Correspondence Analysis on the matrix of species and environmental variables permit to infer the relative importance of the latter on the distribution of species and, consequently, on plant community organization. These results show the importance of the following factors: pedo-geomorphologic formation, flooding, sodic phase, rocky-gravelly phase, depth of rocky substrate, soil texture, slope, salinity, lithology, topographic position, landform and landscape unit. Besides this, the analysis shows the existence of an environmental gradient which is synthetized by the variable landform but, in fact, includes the complex interaction of several variables.

On the other hand, a Correspondence Analysis of the matrix of "relevés" and species permits to express in reduced dimensions the principal trends of floristic variation and, also, to asses discontinuities in the structure of the data (that is, the presence of sets of species and "relevés" clearly isolated) or if vegetation varies in a more or less continuous fashion along a floristic gradient. The results show that plant communities do not form structured, predicta-

ble and clearly differentiated sets of species. On the contrary, vegetation is organized along a gradient of plant formations associated to the environmental gradient above mentioned. Along this gradient, dominant life forms changes and diversity increases from communities occupying basin bottoms towards communities that live in the upper portions of closed basins.

Finally, a typology and a description of plant communities based on structural and floristic characters is presented.

## INTRODUCCIÓN

En este trabajo se presentan los resultados de un análisis fitoecológico de 154 censos de vegetación realizados en la Reserva de la Biosfera de Mapimí.

El área estudiada comprende 172,000 ha y su ubicación y características se describen en los distintos capítulos de este mismo volumen.

El objetivo del trabajo es explorar las relaciones entre vegetación y ambiente a través del uso de metodologías de análisis multivariado y presentar una tipología de las comunidades vegetales estudiadas. Para la caracterización de esa tipología se usan criterios estructurales y florísticos. El concepto de formaciones vegetales es utilizado con un criterio similar al empleado en el mapa de vegetación que se presenta en este mismo volumen. No obstante la escala de trabajo permite llegar a un nivel de detalle que sería imposible mantener en la cartografía de 172,000 ha a escala de 1:100,000. En efecto, las formaciones que se describen aquí representan formaciones puras (nunca mosaicos) percibidas a escala 1:1 en una superficie de 1,000 m<sup>2</sup>.

## ANTECEDENTES

Muy pocos estudios cuantitativos sobre las relaciones entre vegetación y ambiente han sido publicados para el Desierto Chihuahuense en general (consultar por ejemplo a Marroquín (1976), Morafka (1977), Rzedowski (1981), Brown (1982), Mac Mahon y Wagner (1985)).

Desde el punto de vista biogeográfico la región estudiada pertenece al Distrito Chihuahuense de la Provincia Xerófila Mexicana (Dominio Caribe de la Región Neotropical) según el esquema biogeográfico para América Latina de Cabrera y Willink (1973). Otros autores, en particular Brown (1982) la consideran incluida en la región Neártica (ver discusión de Rzedowski 1981). Según el esquema de divisiones florísticas de México de Rzedowski (1981) la región pertenece a la Provincia Altiplanicie (Región Xerofítica Mexicana del Reino Neotropical). Por su parte Morafka (1977) la incluye en la Subprovincia Mapimiana de la Provincia Desierto Chihuahuense basándose en la distribución de la herpetofauna.

La vegetación corresponde al Matorral desértico micrófilo de acuerdo a la cartografía de los tipos de vegetación de México presentada por Flores Mata *et al* (1971), y al Matorral xerófilo según el mapa de Rzedowski (1981).

Para el área estudiada, los trabajos a nivel estatal de la Comisión Técnico Consultiva para la Determinación de los Coeficientes de Agostadero (COTECOCA, 1978, 1979a, 1979b), reconocen 5 tipos de vegetación cartografiados a escala 1:1,000,000. Ellos son: matorral mediano subinermé, pastizal halófito arborescente, pastizal halófito abierto, matorral mediano subespinoso y matorral crasirosulifolio espinoso.

González (1983) en su trabajo sobre la vegetación de Durango reconoce 3 tipos de vegetación para el área: matorral xerófito, pastizales y vegetación halófila. A su vez, Martínez y Morello (1977) describen 9 unidades fisonómico-florísticas para un área reducida del Bolsón de Mapimí.

## METODOLOGÍA

### Muestreo de la Vegetación y de Variables Ambientales

El muestreo se realizó con un diseño estratificado al azar, sujeto a las restricciones de acceso que presenta la zona. Los estratos utilizados fueron las unidades de vegetación y ambiente descritas por Montaña y Breimer en este mismo volumen.

De este modo se relevaron 154 sitios de muestreo en cada uno de los cuales se registró, sobre una superficie de 1000 m<sup>2</sup>, el valor de importancia de las especies vasculares de acuerdo a la escala de cobertura-abundancia de Braun Blanquet (Mueller Dombois y Ellenberg, 1974). Simultáneamente se determinó el estado de las siguientes variables ambientales (salvo indicación en contrario las variables fueron codificadas con ligeras modificaciones a las propuestas de Godron *et al* (1968)): pendiente, tipo de formación pedo-geomorfológica, grado de submersión, tipo y grado de erosión, posición topográfica, unidad de vegetación y ambiente (de acuerdo a la división propuesta por Montaña y Breimer en este mismo volumen), litología, textura de los primeros 30 cm de suelo, profundidad de aparición del sustrato rocoso, horizontes diagnósticos (argílico, gípsico o cálcico), fase pedregosa-gravosa, salinidad, fase sódica, geoforma (para codificación ver Fig. 1), altitud (para codificación ver Fig. 1). También se codificaron los siguientes descriptores de la vegetación: cobertura de los estratos de 25 a 50 cm y de 1 a 2 m, primera y segunda especie dominante.

A los efectos de los análisis numéricos se retuvieron sólo las especies presentes en más de 4 censos.

Las referencias a geoformas y suelos se hacen siguiendo los criterios de Breimer (1985). Los autores de los binomios latinos correspondientes a las especies pueden consultarse en el trabajo de Ruiz de Esparza publicado en este mismo volumen.

### Tratamiento de Datos

La información recogida en el terreno fue organizada en dos matrices: una de especies por censos y otra de especies por variables ambientales. Ambas fueron sometidas a un análisis de correspondencias.

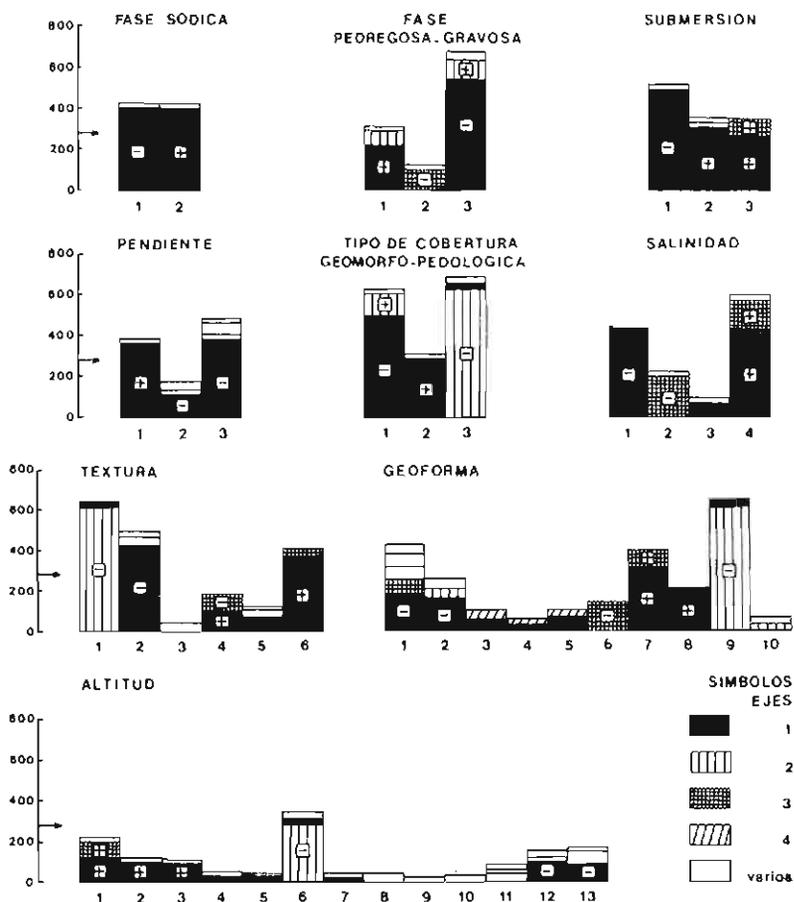


Figura 1. Contribuciones absolutas de los estados de variables en los 5 primeros ejes (las flechas indican la tnercia media de los 108 estados considerados en el análisis)

La codificación de las variables es la siguiente. FASE SÓDICA: 1 ausente, 2 presente. FASE PEDREGOSA-GRAVOSA: 1 ausente, 2 gravosa, 3 pedregosa. SUBMERSIÓN: 1 jamás inundada, 2 inundaciones accidentales, 3 inundaciones periódicas. PENDIENTE: 1 de 0 a 0.9%, 2 de 1 a 3.9%, 3 superior al 4%. TIPO DE FORMACIÓN PEDO-GEOMORFOLÓGICA: 1 monogénica, 2 poligénica aluvial, 3 poligénica eólica. SALINIDAD: 1 inferior a 4 mmhos/cm, 2 de 4 a 8 mmhos/cm, 3 de 8 a 16 mmhos/cm, 4 superior a 16 mmhos/cm. TEXTURA: 1 arenosa, 2 franca, 3 limo-arenosa, 4 limo-arcillosa, 5 limosa, 6 arcillosa. GEOFORMA (en cada caso se indica la pendiente (P) y la intensidad de relieve (IR) dominantes IR: diferencia máxima de altura por km<sup>2</sup>. Según Breimer, 1985): 1 sierras y cerros altos (P > 30%; IR > 100 m), 2 lomas altas (8% < P < 30%; IR < 100 m), 3 lomas bajas (P < 8%; IR < 30 m), 5 laderas y lomas elongadas de piedemonte (2% < P < 8% (localmente P < 16%)), IR < 20 m) 6 bajadas (1 < P < 3%; IR < 5 m), 7 playas (P < 1%; IR < 3 m), 8 vegas (P < 3%; IR < 5 m), 9 dunas (P < 10%; IR < 10 m), 10 áreas planas y depresiones interdunas (P < 1%; IR < 5 m). ALTITUD: (cotas superiores de cada clase): 1 1100 msm, 2 1110 msm, 3 1115 msm, 4 1120 msm, 5 1125 msm, 6 1130 msm, 7 1140 msm, 8 1150 msm, 9 1170 msm, 10 1185 msm, 11 1200 msm, 12 1225 msm, 13 superior a 1225 msm

Este método de análisis numérico ha sido desarrollado independientemente por diversos autores bajo diversas denominaciones: "contingency table analysis", "R-Q technique", "reciprocal averaging", "correspondence analysis" "reciprocal ordering" y "analyse factorielle des correspondances" (Legendre y Legendre, 1979). Se lo utiliza para el análisis de tablas de contingencia entre los distintos estados de una variable (filas) y los estados de otra variable (columnas), o bien tablas de contingencia entre grupos de variables (ejemplo: especies vegetales cada una dividida en clases de abundancia) en las filas y otro grupo de variables (ejemplo: factores abióticos divididos en clases) en las columnas.

Las bases teóricas pueden consultarse en Benzecri (1973), Hill (1973, 1974), Orloci (1975), entre otros. Según los resultados de estudios comparativos de varias metodologías en uso (Hill (1973), Esteve (1978), Gauch (1982)), es considerada entre las más aconsejables o entre las de mejor performance para el análisis de matrices fitosociológicas.

En nuestro caso se utilizaron los programas disponibles en el CEPE L. Emberger (Montpellier, Francia). Debido a que los mismos siguen los lineamientos expuestos por Benzecri (1973), las referencias metodológicas que se resumen a continuación se hacen sobre la base de la terminología usada por ese autor.

El método permite obtener una representación simultánea de la estructura de la nube de puntos que representan a un conjunto (ejemplo: filas) en el espacio definido por el otro conjunto (ejemplo: columnas) y viceversa. La estructura de la nube viene dada por las distancias entre los puntos (medidas con una métrica de Chi Cuadrado). Dichas distancias son función de la semejanza entre las distribuciones de los elementos (que representan esos puntos) con respecto a todos los elementos del otro conjunto.

La heterogeneidad o inercia de esa nube (que corresponde a la suma de los cuadrados de las distancias de cada punto con respecto al origen, ponderadas por las respectivas frecuencias ligadas a cada punto) es absorbida por los sucesivos ejes factoriales extraídos.

La proporción de inercia total absorbida por cada eje es expresada por el cociente entre el autovalor de cada eje y la suma de todos los autovalores (traza de la matriz).

A su vez, la inercia extraída por cada eje es igual a la suma de los cuadrados de las coordenadas de cada punto multiplicados por sus respectivas frecuencias.

El análisis de la estructura de esa nube se basa esencialmente (eg. Waksman *et al* (1975), Hiernaux (1975), Lebart *et al* (1977)) en el estudio de las contribuciones absolutas y relativas.

La contribución absoluta de un elemento en un eje es una medida de la participación de ese elemento en ese eje y corresponde al producto del cuadrado de su coordenada en el eje por su frecuencia total. La suma de las contribuciones absolutas de todos los elementos con respecto a un eje es igual a la inercia absorbida por ese eje. Las contribuciones relativas indican la proporción de la inercia total de cada elemento que es absorbida por el eje en cuestión. Es decir, que la suma de las contribuciones relativas de un elemento para todos los ejes es igual a la inercia total del elemento.

Como se mencionó antes, en nuestro caso la información fue resumida en dos matrices.

La primera es una matriz de presencia ausencia de especies en los censos, es decir el valor  $x_{ij}$  de cada celda de la matriz es igual a 1 ó 0 según que la especie  $i$  esté presente o no en el censo  $j$ . En nuestro caso sus dimensiones son de 154 columnas (censos) por 125 filas (especies). Cabe mencionar que en total se encontraron 198 especies pero se incluyeron en el análisis aquellas que estuvieran presentes en más de 4 censos, o sea 125 especies.

Esta primera matriz permite la ordenación simultánea de las especies (de acuerdo a su distribución en los censos) y de los censos de acuerdo a sus composiciones florísticas. Es entonces una ordenación absolutamente florística donde las variables ambientales no intervienen en el análisis.

La segunda matriz es de especies (columnas) por variables ambientales divididas en clases (descriptores) en las filas. El valor  $x_{ij}$  de cada celda de la matriz es igual al número de veces en que se registró la presencia de la especie  $j$  simultáneamente con el descriptor  $i$ . El total por columna es igual al número de presencias de la especie multiplicado por el número de variables analizadas, y el total por filas es igual al número de presencias de todas las especies en el estado de variable considerado.

El análisis de la matriz de especies por descriptores fue abordado con el fin de explorar la importancia de cada descriptor sobre la composición florística de los censos, ya que en este caso las especies son ordenadas de acuerdo a su distribución con respecto a los descriptores. La dimensión de la matriz es de 125 especies por 108 descriptores.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### **Análisis de la Matriz de Descriptores por Especies**

En la Figura 1 se muestran los histogramas de las contribuciones absolutas de los estados de algunas variables a los cinco primeros ejes. Con el fin de evaluar la importancia relativa de los valores alcanzados por las contribuciones se indica el valor de la inercia media de los estados (flecha en los gráficos) calculada como el cociente entre la inercia total de la matriz y el número total de estados. También se ha indicado, para las contribuciones superiores a 80, el signo correspondiente a la coordenada sobre el eje.

Una rápida inspección (tanto de las contribuciones mostradas en la figura como las no mostradas) permite constatar que la mayoría de las contribuciones elevadas se registran en el primer eje, unas pocas corresponden al segundo eje, mientras que el tercero, cuarto y quinto eje no registran contribuciones de importancia. En ese sentido cabe mencionar que los autovalores de los cinco primeros ejes representan respectivamente el 44.5%, 19.0%, 8.3%, 4.4% y 2.8% de la inercia total de la matriz.

El estudio de las contribuciones importantes en el primer eje indica que hacia el sentido positivo se ubica un grupo de estados de variables que definen condiciones ambientales contrastadas con las que se encuentran en el sentido negativo del eje.

Al interior de cada variable esto es particularmente claro con: tipo de formación pedo-geomorfológica donde se opone el estado monogénico contra el poligénico aluvial; salinidad donde se oponen las conductividades inferiores a 8 mmhos contra las superiores a 16 mmhos; textura donde se oponen las francas frente a las arcillosas; fase sódica (ausente contra presente); fase pedregosa-gravosa (ausente contra pedregosa); submersión (jamás inundada contra inundaciones periódicas y accidentales); pendiente (menos de 1% contra más de 4%).

Una inspección más detallada de los signos de las contribuciones inferiores a 200 permite extender esto a: profundidad de aparición del sustrato rocoso (más de 1 m contra menos de 1 m); litología (aluvión contra el resto de los estados); posición topográfica (depresión abierta contra el resto de los estados); geoforma (sierras y cerros altos, lomas altas, lomas bajas, mesa de basalto, laderas y lomas elongadas de piedemonte, dunas, áreas planas y depresiones interdunas contra bajadas, playas y vegas); altitud (desde 1100 hasta 1125 msm contra 1130 a 1265 msm).

En resumen, el primer eje separa por un lado los ambientes de fondo de cuencas endorreicas que se caracterizan por una elevada salinidad, pendientes muy bajas, presencia de fase sódica, ausencia de fases pedregosas o gravosas, inundaciones accidentales o periódicas, suelos desarrollados sobre material de transporte aluvial, texturas arcillosas, situaciones topográficas de depresiones abiertas, baja altitud, geoformas vegas o playas o, parcialmente, porciones inferiores de bajadas.

A estos ambientes de fondo de cuencas, que se ubican hacia el sentido positivo del eje, se oponen (ubicándose hacia el sentido negativo) los ambientes correspondientes a las porciones superiores de las cuencas caracterizados por una salinidad leve o nula, pendientes de moderadas a fuertes o muy fuertes, ausencia de fase sódica, presencia de fases pedregosas o gravosas, jamás inundadas, suelos desarrollados sobre material no transportado, texturas predominantemente francas, situaciones topográficas de cumbre o alta o media pendiente, altitudes superiores a 1130 msm, geoformas de relieve energético (sierras, lomas, laderas y porciones superiores de bajadas).

En cuanto al eje 2, es claro que las contribuciones importantes caracterizan, hacia el sentido negativo, a los ambientes de dunas. Esto es, ambientes desarrollados sobre material de transporte eólico, texturas arenosas, geoforma dunas.

Una síntesis del gradiente a lo largo del eje 1 queda manifiesta por las coordenadas de las geoformas: sierras y cerros altos (-1.23), lomas altas (-0.95), laderas y lomas elongadas de piedemonte (-0.67), mesa de basalto (-0.64), lomas bajas (-0.59), áreas planas y depresiones interdunas (-0.42), dunas (-0.37), bajadas (0.09), vegas (0.81), playas (0.94). El análisis de las coordenadas en el segundo eje, por otra parte, indica la contraposición entre dunas (-1.71), áreas planas y depresiones interdunas (-0.66) y el resto de las geoformas que registran coordenadas entre -0.04 (lomas bajas) y 0.72 (sierras y cerros altos).

Con respecto a los ejes 3, 4 y 5, se observa en la figura 1 que no registran contribuciones de importancia en ningún eje.

En la Figura 2 se muestran las posiciones de las especies respecto al plano definido

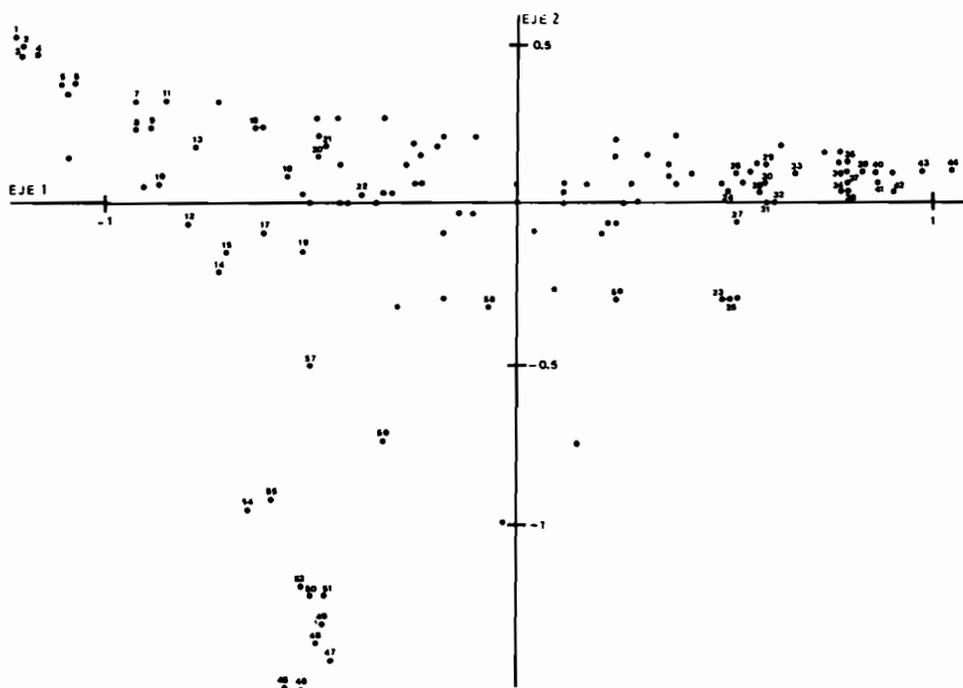


Figura 2. Posición de las especies con respecto a los ejes 1 y 2 del análisis de la matriz de especies por descriptores. La codificación de las especies de mayores contribuciones absolutas en el eje 1 es la siguiente. 1 *Hechtia glomerata*, 2 *Tecoma stans*, 3 *Agave lecheguilla*, 4. *Heteropogon contortus*, 5 *Bouteloua gracilis*, 6 *Euphorbia antisiphilitica*, 7 *Cassia bahinioides*, 8 *Coldenia greggii*, 9 *Fouquieria splendens*, 10 *Opuntia microdasys* 11 *Agave asperrima*, 12 *Coldenia hispidissima*, 13 *Yucca torreyi*, 14 *Dalea neomexicana*, 15 *Jatropha dioica*, 16 *Viguiera stenoloba*, 17 *Opuntia imbricata*, 18 *Tridens pulchellus*, 19 *Acacia constricta*, 20 *Krameria grayi*, 21 *Cordia parvifolia*, 22 *Larrea tridentata*, 23 *Physalis hederifolia*, 24 *Atriplex canescens*, 25 *Hoffmanseggia densiflora*, 26 *Prosopis glandulosa* var. *torreyana*, 27 *Ziziphus obtusifolia*, 28 *Solanum eleagnifolium*, 29 *Euphorbia* sp, 30 *Conyza coulteri*, 31 *Bouteloua barbata*, 32 *Oligomeris linifolia*, 33 *Hilaria mutica*, 34 *Heliotropium molle*, 35 *Sporobolus spiciformis*, 36 *Machraerantha parviflora*, 37 *Chloris virgata*, 38 *Sida leprosa*, 39 *Sida leprosa* var. *sagittifolia*, 40 *Portulaca oleracea*, 41 *Salsola kali*, 42 *Atriplex acanthocarpa*, 43 *Sporobolus airoides*, 44 *Suaeda nigrescens*.

La codificación de las especies de mayores contribuciones absolutas en el eje 2 es la siguiente. 45 *Dalea scoparia*, 46 *Dalea* cfr. *lanata*, 47 *Yucca elata*, 48 *Helianthus petiolaris*, 49 *Sporobolus flexuosus*, 50 *Dithyrea wislizenii*, 51 *Palafoxia sphaelata*, 52 *Phacelia congesta*, 53 *Sporobolus cryptandrus*, 54 *Zinnia acerosa*, 55 *Zexmenia brevifolia*, 56 *Acacia greggii*, 57 *Baileya multiradiata*, 58 *Tidestromia gemmata*, 59 *Lycium berlandieri*, 25 *Atriplex canescens*, 5 *Bouteloua gracilis*, 6 *Euphorbia antisiphilitica*.

por los ejes 1 y 2. Se indican asimismo los nombres de las especies necesarias para explicar el 75% de la inercia de cada eje. Este porcentaje fue elegido arbitrariamente bajo el supuesto de que las especies necesarias para explicar el 25% restante de inercia arrojan poca información interpretable, lo cual fue comprobado empíricamente en nuestro caso.

Los resultados muestran que en el eje 2 las inercias están concentradas en un número menor de especies que en el eje 1. Efectivamente, en el segundo eje 18 especies absorben el 75% de la inercia, mientras que en el eje 1 tal inercia es absorbida por 44 especies.

Las especies con mayores contribuciones en el sentido negativo del eje 1 corresponden a las comunidades que vegetan los ambientes de fondos de cuencas que fueron discutidos más arriba. Las especies con contribuciones elevadas en el sentido positivo corresponden, por el contrario, a las comunidades que ocupan las partes superiores de las cuencas.

Con respecto al eje 2, dos de las 18 especies retenidas se ubican en el sentido positivo (*Bouteloua gracilis* y *Euphorbia antisiphilitica*). Las 16 restantes que se ubican en el sentido negativo son características de las comunidades que vegetan en las geoformas dunas y áreas llanas y depresiones interdunas.

### Análisis de la Matriz de Censos por Especies

En la Figura 3 se muestra la ubicación de los censos con respecto al plano definido por los dos primeros ejes del análisis de la matriz de censos por especies. Para cada censo se indica la geoforma correspondiente.

Se observa que el eje 2 opone unos pocos censos realizados en ambientes de dunas (ubicados hacia el sentido positivo del eje) contra el resto que se ubica alrededor del origen.

A lo largo del eje 1, por otra parte, los censos se distribuyen sin formar grupos netos respondiendo al gradiente ambiental comentado más arriba. Como era de esperarse a la luz de esos resultados, un análisis de varianza entre las coordenadas de los censos en el eje 1 y geoforma resultó altamente significativo ( $P < 0.0001$ ).

En respuesta a tal gradiente ambiental (que aparece bien sintetizado por la variable geoforma pero que en realidad incluye la interacción compleja de varias variables como se vio en la sección anterior), la vegetación aparece ordenada en un gradiente de formaciones vegetales como puede observarse en la Figura 4. En la misma se presentan las posiciones de los censos con respecto a los ejes 1 y 2 con indicación de las formaciones vegetales correspondientes. Un análisis de varianza entre las coordenadas de los censos en el eje 1 y las formaciones vegetales resultó altamente significativo ( $P < 0.0001$ ).

Cabe destacar que a lo largo de ese gradiente se observa un aumento en la diversidad de las comunidades. En efecto, una regresión lineal entre las coordenadas de los censos y el número de especies arrojó un coeficiente de regresión positivo significativa-

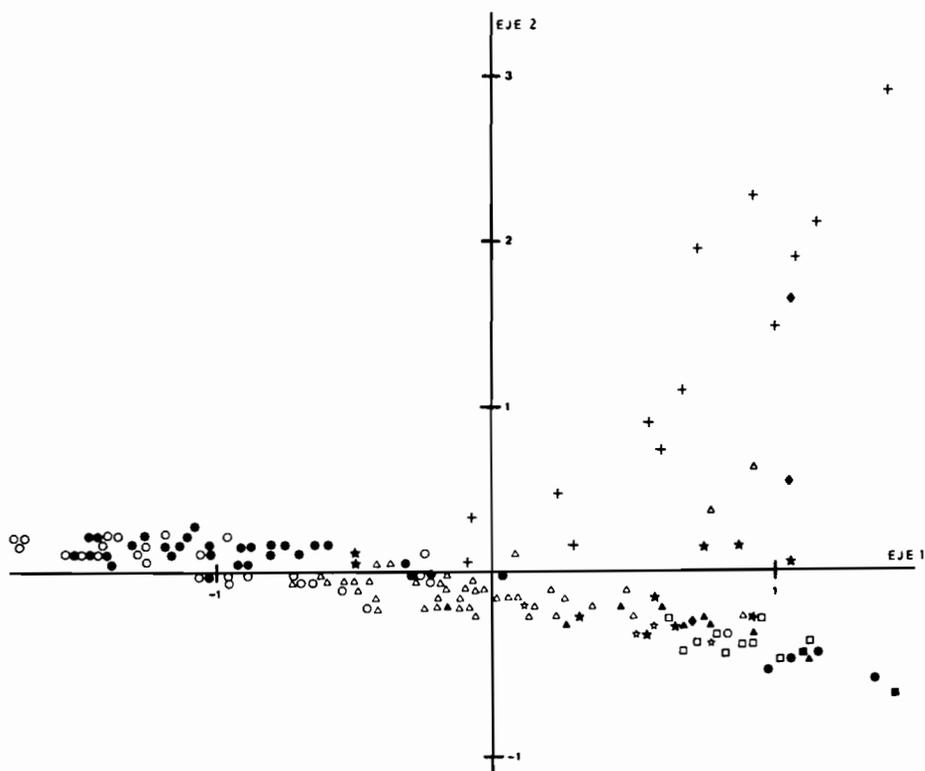


Figura 3. Posición de los censos en el plano definido por los ejes 1 y 2 del análisis de la matriz de especies por censos. Se indican las geomorfomas codificadas de la siguiente manera. Círculos vacíos; vegas. Círculos llenos; playas. Triángulos vacíos: bajadas. Triángulos llenos: laderas y lomas elongadas de piedemonte. Estrellas vacías: mesa de basalto. Estrellas llenas; lomas bajas. Cuadrados vacíos: lomas altas. Cuadrados llenos: sierras y cerros altos. Cruces: dunas. Rombos llenos: áreas planas y depresiones interdunas.

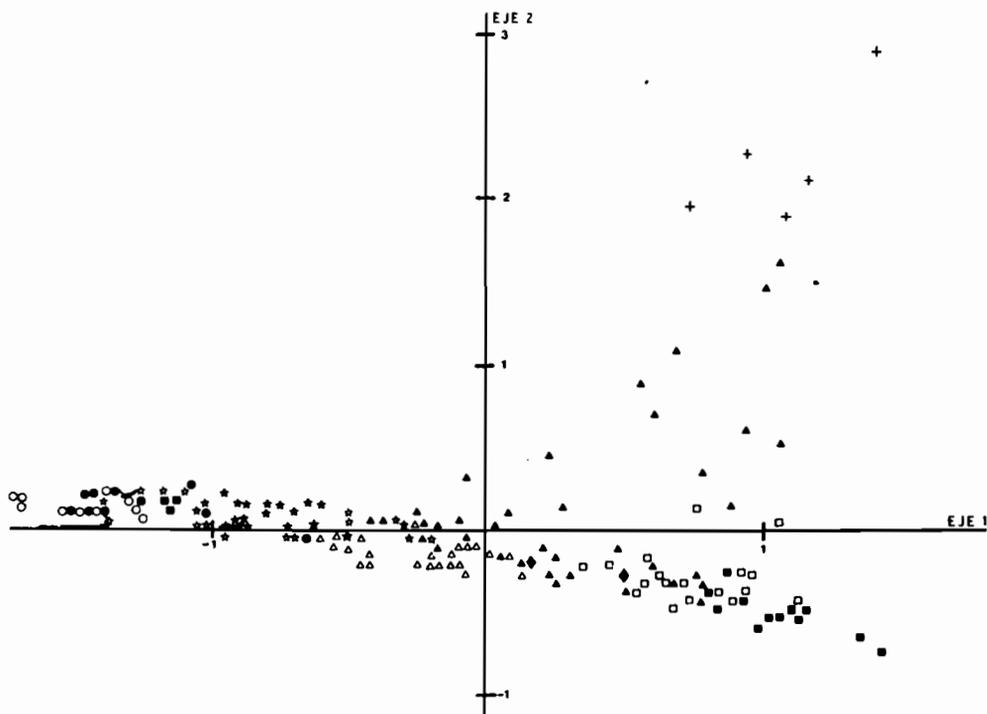


Figura 4. Posición de los censos con respecto a los ejes 1 y 2 del análisis de la matriz de censos por especies. Para cada censo se indica la formación vegetal de acuerdo con la siguiente codificación. Círculos vacíos: formaciones dominadas por gramíneas amacolladas perennes y nanofanerófitas (variante con dominancia de especies de *Sporobolus*). Círculos llenos: dominadas por gramíneas amacolladas perennes y nanofanerófitas (variante con dominancia de *Hilaria mutica* y arbustos enanos). Estrellas llenas: dominadas por nanofanerófitas, latifoliadas herbáceas y gramíneas anuales. Triángulos vacíos: dominadas por gramíneas amacolladas perennes y nanofanerófitas (variante con estructura horizontal en arcos de vegetación). Triángulos llenos: dominadas por nanofanerófitas. Rombos llenos: dominadas por nanofanerófitas y suculentas platicaulas. Cuadrados vacíos: dominadas por nano y microfanerófitas. Cuadrados llenos: dominadas por nano, microfanerófitas y suculentas rosetófilas. Cruces: dominadas por nanofanerófitas áfilas.

mente distinto de cero para  $P < 0.0001$  (el ajuste de la regresión lineal fue mejor que el de una regresión cuadrática). Este tipo de variación en la diversidad relacionada con variables que condicionan la estructura del habitat (ej. topografía, textura, profundidad de los horizontes explorables por las raíces, etc.) ha sido mencionado por otros autores (Noy Meir, 1985. Mares *et al*, 1985).

La ordenación indica que las comunidades no parecen formar conjuntos estructurados, predecibles y claramente diferenciados de especies, lo cual (según Mac Mahon y Wagner, 1985) parece tipificar en muchos casos a las comunidades de desierto.

Puede observarse, sin embargo, un reemplazo paulatino en las bioformas dominantes como respuesta al gradiente ambiental. Hacia el extremo negativo se ubican comunidades dominadas por gramíneas amacolladas perennes (*Sporobolus airoides* y *S. spiciformis*). Los elementos leñosos están ausentes o tienen valores de importancia muy bajos. En todo caso su presencia parece manifestarse y aumentar siguiendo un gradiente de disminución en la intensidad y frecuencia de inundaciones.

Con un cambio de la dominancia en el estrato herbáceo (disminución de ambas especies de *Sporobolus* y aumento de *Hilaria mutica*) y el aumento de importancia de las leñosas, se pasa al gran complejo de vegetación que se presenta en la geoforma playa. En este complejo se verifica una variación casi continua, es decir sin límites fisonómicos o de composición florística netos, entre comunidades caracterizadas por un estrato de 50 cm ocupado por gramíneas y arbustos enanos (*Hilaria mutica* y *Atriplex canthocarpa*), y otro estrato arbustivo que excepcionalmente puede pasar los 2 m de altura, pero que generalmente oscila entre 1 m y 2 m. La presencia o ausencia de este estrato arbustivo permite diferenciar, por una parte, formaciones dominadas por gramíneas amacolladas perennes y arbustos enanos cuando se presenta sólo el estrato de 50 cm, y por otra parte, formaciones dominadas por gramíneas perennes y nanofanerófitas cuando se presentan los dos estratos. En esta última categoría se incluyen, además de comunidades de la geoforma playa de las unidades de paisaje Playa norte y Playa sur, algunas comunidades que se presentan en la geoforma vega en otras unidades de paisaje.

Posteriormente, alrededor del origen del eje 1, se encuentran las comunidades que vegetan en las porciones inferiores y medias de las bajadas. Ellas pueden ser dominadas (a) por gramíneas perennes y nanofanerófitas (variante con estructura horizontal en arcos de vegetación), (b) por nanofanerófitas, latifoliadas herbáceas y gramíneas anuales, o bien (c) por nanofanerófitas exclusivamente.

Estas formaciones son reemplazadas en el gradiente, a su vez, por otras dominadas bien por nanofanerófitas o suculentas platicaulas (ubicadas principalmente en porciones superiores de bajadas), o bien por nanofanerófitas y microfanerófitas (ubicadas principalmente en laderas y lomas elongadas de piedemonte, lomas y algunas bajadas superiores).

Por último, ya en el extremo positivo del eje, se ubican las formaciones dominadas por nano, microfanerófitas y suculentas rosetófilas (ubicadas en las geoformas sierras y cerros altos, lomas altas y laderas y lomas elongadas de piedemonte). Mezcladas con

ellas en el eje 1 pero claramente diferenciadas por el eje 2 aparecen las formaciones dominadas por nanofanerófitas áfilas que vegetan en las dunas.

Una síntesis idealizada de los cambios de dominancia de las distintas bioformas a lo largo del eje 1 se da en la figura 5, y, en la sección siguiente se presenta de forma un poco más detallada la tipología de las comunidades vegetales encontradas.

Con respecto a la figura 5 cabe aclarar que la dominancia de microfanerófitas se refiere a *Fouquieria splendens* y eventualmente *Yucca torreyi* en las porciones superiores de las toposecuencias. No se tuvo en cuenta la eventual dominancia de la bioforma microfanerófitas que a veces presenta *Prosopis glandulosa* a lo largo de vías de avenamiento y que, de esta manera, debiera ubicarse en el extremo izquierdo de la figura.

### Tipología de las Comunidades Vegetales

1. Formaciones dominadas por gramíneas amacolladas perennes y nanofanerófitas (variante con dominancia de especies de *Sporobolus*).

Caracterizadas por un estrato de gramíneas amacolladas perennes de crecimiento aproximadamente anular de alrededor de 50 cm de altura y otro estrato dominado por

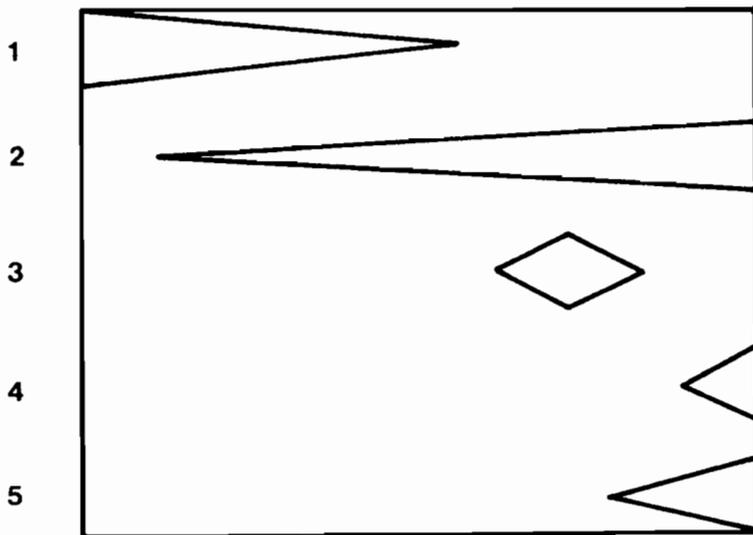


Figura 5. Síntesis idealizada de los cambios en la dominancia de las distintas bioformas a lo largo del primer eje. 1 gramíneas perennes, 2 nanofanerófitas, 3 suculentas platicaulas, 4 suculentas rosetófilas, 5 microfanerófitas.

latifoliadas herbáceas y gramíneas anuales de alrededor de 20 cm. En algunos casos puede presentarse también como dominante en este estrato una gramínea estolonífera (*Panicum obtusum*).

Por encima de estos estratos herbáceos se presenta a veces un estrato muy abierto de nanofanerófitos.

Las gramíneas dominantes en el estrato alto son *Sporobolus airoides* y *S. spiciformis*, pudiendo a veces aparecer *Hilaria mutica*. Las tres especies son fuertemente consumidas por el ganado, lo cual determina que en condiciones de pastoreo excesivo este estrato no sobrepase los 20 cm observándose un impacto diferencial sobre las tres especies. El hábito basifilo de las dos especies de *Sporobolus* favorece el consumo casi total de la parte aérea, mientras que el hábito caulifilo y la tendencia a una rápida lignificación y silicificación de los tallos de *H. mutica* impide el consumo total de la parte aérea.

En el estrato bajo pueden encontrarse *Sida leprosa* var. *sagittaeifolia*, *Euphorbia* sp., *Panicum hirticaule*, *Chloris virgata*, *Bouteloua barbata*, *Portulaca oleracea*, *Sesuvium verrucosum*, etc.

En grado variable se presentan algunas malezas como *Xanthium strumarium* y *Salsola kali*.

En el estrato de leñosas (que en algunos casos puede faltar) pueden aparecer (siempre con muy baja cobertura) *Atriplex acanthocarpa*, *Prosopis glandulosa* (que en algunos casos puede alcanzar el tamaño de una microfanerófita), *Suaeda suffrutescens*, *Ziziphus obtusifolia*, etc.

La cobertura de follaje de los estratos herbáceos es en general superior al 50%.

Estas formaciones se presentan en general en la geoforma vega en las unidades de paisaje Playa Sur y Playa Norte, pudiendo aparecer también en la Zona de transición eólico-fluvial. A menudo manifiestan importantes procesos de erosión hídrica con formación y profundización de cauces por erosión retrocedente.

## 2. Formaciones dominadas por gramíneas amacolladas perennes y nanofanerófitas (variante con dominancia de *Hilaria mutica* y/o arbustos enanos).

En este caso se usa la categoría de arbustos enanos en el sentido de Fosberg (1967), es decir leñosas inferiores a 50 cm, para caracterizar a *Atriplex acanthocarpa* el cual se presenta en general bastante ramoneado y con alturas inferiores, pero que en condiciones exclusión de pastoreo puede incluso superar los 50 cm.

Se trata de comunidades que en su forma típica se presentan con un estrato de 50 cm ocupado casi exclusivamente por *Hilaria mutica* y/o *Atriplex acanthocarpa*. La importancia relativa de cada una de estas especies es muy variable y se pueden encontrar desde estaciones donde el dominio de *Atriplex acanthocarpa* permitiría tipificar como estepas subarbuscivas hasta estaciones donde el predominio de *Hilaria mutica* permitiría tipificar como pastizales. Ocasionalmente puede presentarse en este estrato *Sporobolus airoides* y en menor medida *S. spiciformis*. Dependiendo de las precipitaciones puede aparecer con cierto grado de importancia *Salsola kali*.

Por arriba de este estrato pueden presentarse aisladamente y con valores de impor-

tancia muy bajos, otros arbustos de no más de 2 m como *Atriplex canescens*, *Suaeda nigrescens*, *Ziziphus obtusifolia*, *Lycium* *cf.* *berlandieri* y *Koeberlinia spinosa*. *Prosopis glandulosa* por el contrario se presenta con mayor constancia y, en general, con mayor grado de importancia en este estrato.

Por debajo del estrato de *A. acanthocarpa* e *H. mutica* aparece otro de 20 cm ocupado por latifoliadas herbáceas perennes (a menudo de hábito rastrero) o anuales y gramíneas anuales tales como *Heliotropium molle*, *Sida leprosa*, *S. leprosa* *var.* *sagittaeifolia*, *Euphorbia* *sp.*, *Chloris virgata*, *Bouteloua barbata*, *Oligomeris linifolia*, *Heliotropium greggi*, *Panicum hirticaule*, *Sporobolus* *cf.* *patens*, *Aristida* *sp.*, *Eragrostis cilianensis*, etc.

Se trata siempre de formaciones relativamente abiertas donde las perennes, en general, no sobrepasan el 50% de cobertura de follaje. La cobertura de anuales por el contrario es muy variable dependiendo de las precipitaciones.

Se presentan básicamente en la geoforma playa en la unidad de paisaje Playa sur y, en menor grado Playa norte.

Muy esquemáticamente se las podría ubicar como una transición entre las formaciones descriptas en 1 y las descriptas en 3. Ello implica ubicarlas en una situación intermedia en un gradiente de intensidad y duración de inundaciones decrecientes en el sistema de geoformas vega y playa. Esto es, entre las formaciones dominadas por especies de *Sporobolus* que se ubicarían en el extremo más inundable (exceptuando obviamente los bajos salinos que representan el fondo de cuencas y microcuencas endorreicas) y las formaciones de playa donde las nanofanerófitas llegan a agruparse en un estrato bien definido. Interactuando con este gradiente hay toda una dinámica de salinidad y agua en el suelo que no ha sido investigada aún.

### 3. Formaciones dominadas por gramíneas amacolladas perennes y nanofanerófitas (variante con dominancia de *Hilaria mutica* y diversos arbustos).

Son las formaciones de mayor importancia areal en la unidad de paisaje Playa sur, aunque también se presentan fuera de ella pero en este caso, siempre ligadas a ejes de escurrimiento.

Dentro de este grupo las comunidades se caracterizan por la presencia de 3 estratos. Uno dominado por nanofanerófitas que raramente pasan los 2 m y en el cual pueden aparecer como dominantes *Atriplex canescens*, *Suaeda nigrescens* y/o *Prosopis glandulosa*. Un segundo estrato de 50 cm dominado por *Hilaria mutica* y/o *Atriplex acanthocarpa*. El tercer estrato (de 20 cm) está ocupado por herbáceas más bajas.

La dominancia en el estrato de nanofanerófitas permite distinguir algunas variantes fisonómico-florísticas que trataremos a continuación separadamente, a pesar de que en el terreno se presentan como una variación continua entre ellas e incluso con las formaciones dominadas por *Hilaria mutica* y *Atriplex acanthocarpa* descriptas más arriba.

### 3.1 Formaciones dominadas por *Suaeda nigrescens* e *Hilaria mutica*.

En la forma típica de esta variante el estrato de nanofanerófitas aparece ocupado exclusivamente por individuos relativamente espaciados de *Suaeda nigrescens*. El estrato de 50 cm es algo más denso y es ocupado por *Hilaria mutica* con una cobertura cercana al 50%.

En el estrato de 20 cm pueden aparecer *Sida leprosa*, *Heliotropium molle*, *Chloris virgata*, *Bouteloua barbata*, *Allionia incarnata*, *Machraerantha parviflora*, *Tidestromia gemmata*, *Portulaca oleracea*, *Salsola kali*, *Conyza coulteri*, etc.

En algunas zonas se presenta exclusivamente *Suaeda nigrescens* acompañada por unas pocas latifoliadas herbáceas y gramíneas anuales a lo largo de depresiones elongadas en forma de canales que pueden medir más de 50 m de largo por 2 m de ancho y por menos de 1 m de profundidad. Estas depresiones elongadas se presentan bajo la forma de una retícula seudopoligonal en suelos que presentan un horizonte gípsico (Delhoume *et al*, 1983). Poblaciones densas de *Suaeda nigrescens* se desarrollan a lo largo de las depresiones, mientras que los espacios intercanales aparecen prácticamente desnudos.

### 3.2 Formaciones dominadas por *Atriplex canescens*, *Hilaria mutica* y *Prosopis glandulosa*.

Esta es la variante más rica en especies de todas las comunidades que se presentan en los ambientes de playa. Tal diversidad se manifiesta con mayor grado en el estrato de nanofanerófitas y en el de herbáceas de 20 cm. El estrato de 50 cm se presenta poco diversificado y es ampliamente dominado por *Hilaria mutica*, pudiendo aparecer a veces *Atriplex acanthocarpa* y esporádicamente *Sporobolus airoides*.

El estrato de nanofanerófitas es dominado ampliamente por *Prosopis glandulosa* y *Atriplex canescens*. Ocasionalmente pueden aparecer individuos de *Ziziphus obtusifolia*, *Lycium* *cfr. berlandieri*, *Koerberlinia spinosa*, *Suaeda nigrescens*, etc.

*Prosopis glandulosa* se presenta a menudo con una forma multicaule característica asociado a madrigueras de roedores. Las madrigueras se presentan formando un domo aproximadamente circular de hasta 4 m de diámetro. La parte inferior de los tallos de *Prosopis* está cubierta por el material del domo del cual emergen numerosos tallos que pueden llegar a un centenar y que no sobrepasan, en general, 1.50 m de altura.

En el estrato más bajo de herbáceas pueden aparecer *Sida leprosa*, *Heliotropium molle*, *Solanum eleagnifolium*, *Euphorbia* *sp.*, *Salsola kali*, *Oligomeris linifolia*, *Sida leprosa* *var. sagittaeifolia*, *Bouteloua barbata*, *Chloris virgata*, *Panicum hirticaule*, *Aristida* *sp.*, *Setaria* *sp.*, *Heliotropium greggii*, *Conyza coulteri*, *Salvia reflexa*, etc.

También pueden presentarse en estas comunidades, pero siempre con valores de importancia muy bajos, algunas cactáceas como *Opuntia leptocaulis*, *Echinocereus merckeri*, *Opuntia schottii*, etc.

En los casos de degradación peridoméstica observados en la geoforma playa (alrededor de pozos de agua), *Prosopis glandulosa* es la única leñosa presente, apareciendo en un estrato de individuos maduros y aislados sobre montículos de suelo remanentes

de erosión. El estrato de 50 cm ha desaparecido totalmente en estos casos y el estrato de 20 cm es prácticamente inexistente.

### 3.3 Formaciones dominadas por *Prosopis glandulosa* e *Hilaria mutica*.

Estas comunidades, a diferencia de las descritas en 3.1 y 3.2 no se presentan en la geoforma playa, sino a lo largo de cursos de agua temporarios en las geoformas vegas que se ubican fuera de las unidades de paisaje Playa Sur y Playa Norte.

Cabe destacar que en estas unidades. *Prosopis glandulosa* tiende a presentarse bajo una forma monoaxial pudiendo en algunos casos llegar al tamaño de una microfanerófita. En esas circunstancias puede estar acompañado por *Acacia farnesiana*.

El estrato de nanofanerófitas es dominado por *Prosopis glandulosa* presentándose algunas veces *Castela texana*, *Ziziphus obtusifolia*, *Celtis pallida*, etc. Ocasionalmente pueden observarse elementos de las comunidades de bajadas vecinas tales como *Opuntia violacea*, *Opuntia rastrera*, *Larrea tridentata*, etc.

El estrato de 50 cm es ocupado casi exclusivamente por *Hilaria mutica* con valores de cobertura que pueden pasar el 50%. En el estrato más bajo puede encontrarse *Sida leprosa* var. *sagittaeifolia*, *Euphorbia* sp., *Machraerantha parviflora*, *Conyza coulteri*, *Hoffmannseggia densiflora*, *Heliotropium greggii*, *Sida leprosa*, *Verbesina encelioides*, *Sphaeralcea angustifolia*, *Croton pottsii*, *Amaranthus* sp., *Evolvulus pilosus*, *Panicum hirticaule*, etc.

### 4. Formaciones dominadas por nanofanerófitas, latifoliadas herbáceas y gramíneas anuales.

Estas formaciones se caracterizan por la presencia de dos estratos: uno de nanofanerófitas que no pasa los 2 m, muy abierto, y otro de herbáceas de alrededor de 10 cm.

El primer estrato es dominado por *Prosopis glandulosa*, presentándose a veces *Castela texana*, *Ziziphus obtusifolia* y excepcionalmente *Atriplex canescens*. *Prosopis glandulosa* se presenta como mono o multicaule pero no hay madrigueras de roedores asociadas y la forma multicaule tiene raramente más de 5 tallos que se ramifican desde la base.

En el estrato bajo se presentan *Sida leprosa*, *Bouteloua barbata*, *Oligomeris linifolia*, *Euphorbia* sp., *Heliotropium greggii*, *Aristida* sp., *Sporobolus* sp., *Heliotropium molle*, etc.

Pueden aparecer algunas suculentas como *Coryphantha micromeris*, *Echinocereus merkeri*, *Hamatocactus hamatacanthus*, *Opuntia leptocaulis*, *Opuntia schottii*, etc.

Esta formación se presenta básicamente en la geoforma bajada arenosa en la Zona de Transición eólico-fluvial.

### 5. Formaciones dominadas por gramíneas amacolladas perennes y nanofanerófitas (variante con estructura horizontal en arcos de vegetación).

En este grupo se reúnen una serie de comunidades que se presentan en la geoforma bajada. Una de las características más destacables es que no se presentan como una

vegetación continua sino en manchones dispuestos en forma de arcos de vegetación cuyo eje principal es siempre perpendicular a la pendiente. El espacio entre arcos está ocupado por otras comunidades de baja cobertura dominadas por *Larrea tridentata* que se describen en 6 y 7.

La forma y distribución de estas bandas varía en las distintas unidades de paisaje (Sierras y bajadas de origen ígneo y sedimentario, Sierras y bajadas de origen calcáreo, Zona de transición eólico-fluvial, Zona de dunas), pero tal aspecto no será abordado aquí. Un estudio más detallado de este patrón de vegetación en la Zona de Sierras y bajadas de origen ígneo y sedimentario muestra que su dinámica actual está condicionada por la redistribución del agua de escurrimiento, lo que determina la existencia de áreas de captación y escurrimiento (ocupadas por un matorral muy abierto) y áreas de infiltración y consumo del agua (arcos de vegetación), Cornet *et al* (1983).

Desde el punto de vista de estratificación se puede caracterizar a estas formaciones por 4 estratos. El superior (que a veces puede faltar) está ocupado por individuos de *Prosopis glandulosa* que alcanzan la talla de una microfanerófita y que raramente sobrepasan los 5 m de altura. Por debajo de este estrato se encuentra otro de nanofanerófitas bastante diversificado y que normalmente es dominado por *Prosopis glandulosa* y *Flourensia cernua*. Un tercer estrato (de alrededor de 50 cm) es ocupado por gramíneas perennes y algunos arbustos pequeños o sufrútices. Por último, un estrato que no sobrepasa los 20 cm es ocupado por latifoliadas herbáceas y gramíneas.

Sobre la base de algunas diferencias en el estrato de 50 cm y en el estrato de nanofanerófitas pueden dividirse en dos grupos.

#### 5.1 Formaciones en las que *Hilaria mutica* domina el estrato de gramíneas perennes.

En este caso *Hilaria mutica* forma un estrato continuo que puede aproximarse al 100% de cobertura de follaje. Pueden acompañarla otras herbáceas o arbustos pequeños como *Solanum eleagnifolium*, *Sphaeralcea angustifolia*, *Bahia absinthifolia*, *Haplopappus heterophyllus*, *Setaria macrostachya*, *Trichloris crinita*, *Pappophorum mucronulatum*, *Aristida wrightii*, *Parthenium incanum*, *Trixis californica*, *Perezia nana*, *Lantana achyranthifolia*, *Muhlenbergia porteri*, *Krameria grayi*, *Opuntia leptocaulis*, *Trichachne californica*, *Commelina erecta*, etc.

El estrato de nanofanerófitas es dominado generalmente por *Prosopis glandulosa* y *Flourensia cernua* y pueden aparecer *Aloysia gratissima*, *Castela texana*, *Buddleja scordioides*, *Ziziphus obtusifolia*, *Aloysia wrightii*, *Citharexylum brachyanthum*, *Lycium berlandieri*, *Lippia graveolens*, *Acacia constricta*, *Larrea tridentata* (siempre con valores de importancia muy bajos), etc. En algunos casos pueden presentarse también suculentas platicaulas como *Opuntia rastrera* u *O. violácea*.

En el estrato de 20 cm pueden aparecer *Heliotropium greggii*, *Bouteloua barbata*, *Chloris virgata*, *Heliotropium molle*, *Viguiera cordifolia*, *Hoffmanseggia densiflora*, *Conyza coulteri*, *Panicum hirticaule*, *Sida leprosa*, *Euphorbia sp.*, *Sida filicaulis*, *Argythamnia neomexicana*, *Bahia absinthifolia*, *Scleropogon brevifolius*, *Machraeranthera parviflora*, *Baileya multiradiata*, etc.

Estas comunidades ocupan algunas bajadas de escurrimiento no encauzado de la

Zona de Sierras y bajadas de origen ígneo y sedimentario y de la Zona de Transición y áreas planas o depresiones interdunas en la Zona de Dunas.

## 5.2 Formaciones en las que *Muhlenbergia porteri* domina el estrato de gramíneas perennes.

En este caso el estrato de 50 cm es menos rico en especies y de mucho menor cobertura que en el anterior (raramente pasa el 50% de cobertura de follaje). Además no se presenta en forma continua sino que aparece en forma de manchones debajo de los arbustos. La especie dominante es normalmente *Muhlenbergia porteri* y suelen acompañarla *Trichachne californica*, *Lantana achyranthifolia*, *Parthenium incanum*, *Sphaeralcea angustifolia*, *Perezia nana*, *Setaria macrostachya*, raramente *Opuntia leptocaulis*, etc.

En el estrato más bajo suelen presentarse *Scleropogon brevifolius*, *Tridens pulchellus*, *Sida filicaulis*, *Heliotropium gregii*, *Allionia incarnata*, etc.

El estrato de nanofanerófitas es dominado normalmente por *Prosopis glandulosa* y *Flourensia cernua*. Pueden presentarse también *Lycium berlandieri*, *Citharexylum brachyanthum*, *Larrea tridentata*, *Cordia parvifolia*, *Aloysia wrightii*, *Buddleja scordioides*, *Acacia constricta*, etc.

Estas comunidades se presentan básicamente en la unidad de paisaje Bajadas y sierras de origen calcáreo y son, en general más pobres en especies que las descritas anteriormente.

## 6. Formaciones dominadas por nanofanerófitas.

Estas formaciones se caracterizan por la presencia de 3 estratos. El más alto raramente sobrepasa los 2 m y en él es generalmente dominante *Larrea tridentata*. El segundo estrato no sobrepasa los 80 cm y está ocupado por leñosas y eventualmente suculentas. El tercer estrato (de menos de 30 cm), está ocupado por herbáceas anuales o perennes y algunas sufrútices. Si se registra la presencia de gramíneas perennes siempre es con coberturas muy bajas (inferiores al 10%). Estas comunidades ocupan áreas de importancia variable en todas las unidades de paisaje.

Se presentan en las geoformas bajadas, lomas y laderas elongadas de piedemonte, mesa de basalto, algunas lomas bajas, dunas, áreas planas y depresiones interdunas y, en menor grado, se presentan como intrusiones en la geoforma playa.

Sobre la base de la dominancia de algunas especies se las divide de la manera indicada en los puntos 6.1 a 6.4.

Cabe mencionar que, por falta de información detallada no se describe aquí al grupo de comunidades halófilas dominadas por nanofanerófitas que ocupan una reducida extensión alrededor de la Laguna de Palomas. Las mismas presentan sólo 2 de los 3 estratos mencionados anteriormente (los 2 estratos inferiores), no registran la presencia de suculentas y las dominantes suelen ser *Allenrolfea occidentalis* y *Suaeda sufrutescens*.

### 6.1 Formaciones dominadas por *Larrea tridentata* y *Prosopis glandulosa*.

En este caso *Larrea tridentata* comparte la dominancia en el estrato de nanofanerófitas con *Prosopis glandulosa*. Pueden presentarse también *Flourensia cernua*, *Lycium berlandieri*, *Ziziphus obtusifolia*, *Castela texana*, *Atriplex canescens*, *Koeberlinia spinosa*, etc. El segundo estrato es muy pobre y a veces casi inexistente. La especie más constante en él es *Haplopappus heterophyllus* y pueden acompañarla algunos ejemplares jóvenes de las especies del estrato superior o algunas suculentas como *Opuntia leptocaulis*, *Hamatocactus hamatocanthus*, etc.

El tercer estrato es muy variable en su composición y pueden presentarse *Sphaeralcea angustifolia*, *Salsola kali*, *Baileya multiradiata*, *Sida leprosa*, *Tidestromia gemmata*, *Allionia incarnata*, *Bahía absinthifolia*, *Machraerantha scabrella*, *Heliotropium molle*, *Tridens pulchellus*, etc.

Estas comunidades se presentan en algunas playas y en algunas bajadas.

### 6.2 Formaciones dominadas por *Larrea tridentata* y *Haplopappus heterophyllus*.

Desde el punto de vista de su composición florística estas unidades representan un empobrecimiento de las anteriores. En el estrato superior suele presentarse exclusivamente *Larrea tridentata*, en el segundo *Haplopappus heterophyllus* y en el tercero, que es muy variable y de muy escasa cobertura, pueden aparecer *Allionia incarnata*, *Baileya multiradiata*, *Nicolletia edwardsii*, etc.

En general se presenta en dunas de yeso fósiles y, cuando existe un horizonte petrogíptico cercano a la superficie, puede aparecer *Fouquieria splendens*. También puede encontrarse en otras geoformas como bajadas, playas o áreas planas y depresiones interdunas.

### 6.3 Formaciones dominadas por *Larrea tridentata* y *Cordia parvifolia*.

En estas comunidades el estrato superior es dominado por *Larrea tridentata* y *Cordia parvifolia*. Pueden acompañarlas *Flourensia cernua*, *Lycium berlandieri*, *Acacia constricta*, etc. En el segundo estrato suelen aparecer *Parthenium incanum*, *Coldenia greggii*, *Krameria grayi*, *Haplopappus heterophyllus*, etc. A veces pueden presentarse algunas suculentas como *Opuntia imbricata* y *O. leptocaulis* y, fuera de la Zona de bajadas y sierras de origen calcáreo *Opuntia rastrera*, *O. microdasys*, etc.

En el estrato más bajo suelen aparecer *Tridens pulchellus*, *Allionia incarnata*, *Bahía absinthifolia*, *Muhlenbergia porteri*, *Hoffmanseggia* cfr. *densiflora*, *Sphaeralcea angustifolia*, *Verbena encelioides*, *Sida filicaulis*, *Nicolletia edwardsii*, *Heliotropium greggii*, *Aristida* sp., *Enneapogon desvauxii*, *Scleropogon brevifolius*, etc.

Estas comunidades se presentan principalmente en bajadas, lomas bajas, laderas y lomas elongadas de piedemonte de la unidad de paisaje Bajadas y sierras de origen calcáreo. Aparece también en la unidad Mesa de basalto. En general tienden a vegetar en ambientes con fase gravosa o con un horizonte petrocálcico y, a medida que se va

pasando a una fase pedregosa o bien que el horizonte petrocálcico se encuentra más cercano a la superficie o aflorante aparece un estrato de microfanerófitas ocupado por *Fouquieria splendens* y eventualmente por *Yucca torreyana* indicando una transición hacia las formaciones dominadas por *Fouquieria splendens*.

#### 6.4 Formaciones dominadas por *Larrea tridentata* y/o *Acacia constricta* en combinación con otros arbustos.

Desde el punto de vista de especies dominantes este grupo es el más heterogéneo de todos los considerados en 6, pero se ha preferido tratarlo como grupo separado cuando en realidad representa, desde el punto de vista florístico, una transición del resto de las comunidades tratadas en 6 hacia las tratadas en 10.

Se presentan en la geoforma dunas y áreas planas y depresiones intermedanasas.

En el estrato de hasta 2 m se presentan generalmente como dominantes *Acacia constricta* y/o *Larrea tridentata*. Pueden acompañarlas *Lycium berlandieri*, *Acacia greggii*, *Yucca elata*, *Prosopis glandulosa*, *Opuntia imbricata*, *Dalea scoparia*, *Flourensia cernua*, *Cordia parvifolia*, etc.

En el estrato de hasta 80 cm pueden aparecer *Zexmenia brevifolia*, *Helianthus petiolaris*, *Jatropha dioica*, *Haplopappus heterophyllus*, *Opuntia leptocaulis*, *Opuntia rastrera*, etc.

En el estrato de hasta 30 cm pueden presentarse *Sporobolus flexuosus*, *Zinnia acerosa*, *Dalea* cfr. *lanata*, *Dithyrea wislizenii*, *Baileya multiradiata*, *Tidestromia gemmata*, *Dalea neomexicana*, etc.

#### 7. Formaciones dominadas por nanofanerófitas y suculentas platicaulas.

Estas comunidades están estrechamente relacionadas con las descritas en 6 y 8. La diferencia fundamental radica en la dominancia de suculentas platicaulas (principalmente *Opuntia rastrera*) en el estrato de 80 cm, lo cual se traduce en un cambio fisiológico lo suficientemente importante como para tratarlas separadamente.

El estrato de hasta 2 m está dominado por *Larrea tridentata* y pueden acompañarla *Castela texana*, *Prosopis glandulosa*, *Lippia graveolens*, *Fouquieria splendens*, etc.

*Opuntia rastrera* puede estar acompañada en el estrato de hasta 80 cm por *Opuntia microdasys*, *Agave asperrima*, *Viguiera stenoloba*, *Jatropha dioica*, *Krameria grayi*. En el tercer estrato pueden aparecer *Sphaeralcea angustifolia*, *Hoffmanseggia densiflora*, *Machraeranthera scabrella*, *Bahia absinthifolia*, *Argythamnia neomexicana*, *Tridens pulchellus*, *Solanum eleagnifolium*, *Setaria macrostachya*, *Aristida adscensionis*, *Trichachne californica*, *Trichloris crinita*, etc.

Se presenta principalmente en bajadas poco gravosas de la Zona de Bajadas y sierras de origen ígneo y sedimentario.

#### 8. Formaciones dominadas por nano y microfanerófitas.

Estas comunidades se presentan básicamente en las geoformas lomas altas, lomas bajas, laderas y lomas elongadas de piedemonte, mesa de basalto y en, menor proporción en bajadas.

Se pueden reconocer 4 estratos que en esencia son los 3 reconocidos en 6, a los cuales se agrega un estrato de microfanerófitas ocupado por *Fouquieria splendens* a quien raramente puede acompañar *Yucca torreyana*.

El estrato de nanofanerófitas está dominado por *Larrea tridentata* y pueden aparecer también *Acacia constricta*, *Cordia parvifolia*, *Castela texana* y más raramente *Flourensia cernua*, *Lippia graveolens*, *Buddleja marrubifolia*, etc.

En el estrato de hasta 80 cm pueden encontrarse *Jatropha dioica*, *Euphorbia antisiphilitica*, *Opuntia rastrera*, *O. imbricata* (que puede pasar los 80 cm), *O. leptocaulis*, *O. microdasys*, *Krameria grayi*, etc.

En el estrato más bajo suelen aparecer *Tridens pulchellus*, *Bahia absinthifolia*, *Coldenia greggii*, *Bouteloua gracilis*, *Allionia incarnata*, *Muhlenbergia porteri*, *Nicolletia edwardsii*, *Coldenia hispidissima*, etc.

#### 9. Formaciones dominadas por nanofanerófitas, microfanerófitas y suculentas rosetófilas.

Se pueden reconocer 4 estratos. Uno superior a 2 m, que está ocupado por *Fouquieria splendens* y raramente por *Yucca torreyana*. Otro de menos de 2 m ocupado por nanofanerófitas como *Acacia* cfr. *roemmeriana*, *Tecoma stans*, *Lippia graveolens*, *Larrea tridentata*, *Buddleja marrubifolia*, *Acacia constricta*, *Randia pringlei*, etc.

El tercer estrato, de hasta 80 cm, puede aparecer ocupado por *Agave asperrima*, *Jatropha dioica*, *Euphorbia antisiphilitica*, *Viguiera stenoloba*, *Opuntia rastrera*, *O. microdasys*, *Krameria grayi*, *Parthenium incanum*, etc.

Por último, un cuarto estrato que raramente pasa los 50 cm, se presenta a menudo dominado por suculentas rosetófilas como *Hechtia glomerata* y *Agave lecheguilla*. Pueden aparecer también *Bouteloua gracilis*, *Heteropogon contortus*, *Aristida* sp, *Coldenia greggii*, *Tridens pulchellus*, *Sida* cfr. *filicaulis*, *Bahia absinthifolia*, *Cassia bauhinioides*, *Argythamnia nyome-xicana*, *Aristolochia wrightii*, *Muhlenbergia porteri*, *Opuntia bradtiana*, *Selaginella lepidophylla*, muy raramente *Hilaria mutica* etc.

Estas formaciones aparecen fundamentalmente en las geoformas sierras y cerros altos, en lomas altas y, en menor medida, en laderas y lomas elongadas de piedemonte.

#### 10. Formaciones dominadas por nanofanerófitas áfilas.

En estas formaciones se pueden reconocer 2 estratos. Uno de hasta 2 m donde dominan nanofanerófitas áfilas como *Ephedra trifurca* y *Dalea scoparia* a quienes pueden acompañar *Acacia greggii*, *Acacia constricta*, *Lycium berlandieri*, *Yucca elata*, *Larrea tridentata*, *Opuntia imbricata*, etc.

En el segundo estrato, de menos de 50 cm, pueden aparecer *Zexmenia brevifolia*, *Sporobolus flexuosus*, *Zinnia acerosa*, *Dalea lanata*, *Dithyrea wislizenii*, *Helianthus petiolaris*, *Baileya multiradiata*, *Jatropha dioica*, etc.

Estas comunidades se presentan exclusivamente en la geoforma dunas.

## AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar su agradecimiento a R. Breimer (UNESCO-ROSTLAC, Montevideo, Uruguay) por la información sobre suelos. A J. Lepart y A.M. Baccou (CNRS/CEPE Emberger, Montpellier, Francia) por su ayuda en la realización de los análisis de correspondencias. A R. Ruiz de Esparza y A. Cornet por la identificación de algunas especies. A J. Rzedowski por la lectura crítica del manuscrito. A la dirección del CEPE Emberger por las facilidades otorgadas para trabajar en esa institución. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT) y al Convenio CNRS/CONACYT por el apoyo financiero brindado.

## BIBLIOGRAFÍA

- BENZECRI, J.P. 1973. *L'analyse des données. II. L'analyse des correspondances* Dunod. 619 p.
- BREIMER, R. 1985. *Soil and landscape survey of the Mapimi Biosphere Reserve (Durango, México)*. UNESCO-MAB. Montevideo, 128 p.
- BROWN, D.E., Chihuahuan Desertscrub, In: BROWN, D.E., (ed.). Biotic communities of the American Southwest-United States and Mexico. *Desert Plants* 4(1-4): 169-179.
- CABRERA, A.L. y A. WILLINK. 1973. *Biogeografía de América Latina*. O.E.A. Monografía 13, Serie Biología, Washington, D.C., 117 p.
- CORNET, A., J.P. DELHOUME y C. MONTAÑA. 1983. *Vegetation Patterns and Soils in the Mapimi Bolson (Chihuahuan Desert, Mexico), I. Vegetation Arcs*. The Second Chihuahuan Desert Symposium, Alpine, Texas, october 1983. (En prensa).
- COTECOCA. 1978. *Coefficientes de Agostadero de Estado de Chihuahua*. COTECOCA-SARH, México, D.F., 151 p.
- COTECOCA. 1979a. *Coefficientes de Agostadero del Estado de Durango*. COTECOCA-SARH, México, D.F., 200 p.
- COTECOCA. 1979b. *Coefficientes de Agostadero del Estado de Coahuila*. COTECOCA-SARH, México, D.F., 255 p.
- DELHOUME, J.P., C. MONTAÑA y A. CORNET. 1983. *Vegetation Patterns and Soils in the Mapimi Bolson (Chihuahuan Desert, Mexico), II. Polygonal Patterns*. The Second Chihuahuan Desert Symposium, Alpine, Texas, october 1983. (En prensa).
- ESTEVE, J. 1978. Les méthodes d'ordination: éléments pour une discussion. *Biometrie et Ecologie* 1:223-250.
- FLORES MATA, G., J. JIMÉNEZ LÓPEZ, X. MADRIGAL SÁNCHEZ, F. MONCAYO RUIZ y F. TAKAKI TAKAKI, 1971. *Memoria del mapa de Tipos de Vegetación de la República Mexicana*. SARH, México, D. F., 59 p.
- FOSBERG, F.R. 1967. A classification of vegetation for general purposes. p. 73-120. IN: Peterken, G.F. (Ed.) *Guide to the Check Sheet for IBP areas, IBP Handbook 4*. Backwell. Londres.
- GAUCH, H.G. 1982. *Multivariate Analysis in Community Ecology*. Cambridge University Press. 298 p.
- GODRON, M., PH. DAGET, G. LONG, CH. SAUVAGE, E LE FLOCH, L. EMBERGER, J. POISSONET et J.P. WAQUANT 1968. *Code pour le relevé méthodique de la végétation et du milieu* Editions du C.N.R.S. 292 p.
- GONZÁLEZ, S. 1983. La Vegetación de Durango. *Cuadernos de Investigación Tecnológica CIIDIR-IPN* 1(1):1-114.
- HIERNAUX, P. 1975. *Etude phytécologique des savannes du pays Baoulé méridional (Cote d'Ivoire centrale)*; Thèse, USTL, Montpellier, 206 p.
- HILL, M.O. 1973. Reciprocal averaging: an eigenvector method of ordination. *Journal of Ecology* 61:237-249.
- HILL, M.O. 1974. Correspondence analysis: a neglected multivariate method. *Applied Statistics* 23(3):340-354.
- LEBART, L., A. MORINEAU y N. TABARD. 1977. *Techniques de la Description Statistique*. Dunod. 351 p.

- LEGENDRE, L. y P. LEGENDRE. 1979. *Ecologie Numerique, 2. La Structure de Donées Ecologiques*. Masson et Presses Universitaires du Quebec. París. 247 p.
- MAC MAHON, J.A. y F.H. WAGNER. 1985. The Mohave, Sonoran and Chihuahuan Deserts of North America. p. 105-202. IN: Evenari, M., I. Noy Meir y D.W. Goodall (eds.). *Hot Deserts and Arid Shrublands*. Vol. A. Elsevier. 361 p.
- MARES, M.A., J. MORELLO y G. GOLDSTEIN. 1985. The Monte Desert and other subtropical semi-arid biomes of Argentina, with comments on their relation to north american arid areas. p. 203-238. IN: Evenari, M., I. Noy Meir y D.W. Goodall (eds.). *Hot Deserts and Arid Shrublands*. Vol. A. Elsevier. 361 p.
- MARROQUIN, J.S. 1976. Vegetación y florística del nordeste de México. I. Aspectos sincológicos en Coahuila. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural XXXVII*: 69-93.
- MARTÍNEZ, E. y J. MORELLO. 1977. *El Medio Físico y las Unidades Fisonómico-florísticas del Bolsón de Mapimí*. Instituto de Ecología, México, D.F. 63 p.
- MORAFKA, D.J. 1977. *A Biogeographical Analysis of the Chihuahuan Desert Through its Herpetofauna*. Dr. W. Junk, La Haya, 313 p.
- MUELLER DOMBOIS, D. y H. ELLENBERG. 1974. *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. Wiley. 547 p.
- ORLOCI, L. 1978. *Multivariate Analysis in Vegetation Research*. Dr. W. Junk, La Haya. 451 p.
- RZEDOWSKI, J. 1981. *Vegetación de México*. Ed. Limusa. 432 p.
- WAKSMAN, G., M. MÉNARD y J. BÉLANGER. 1975. Analyse factorielle des relations entre le milieu et la production: étude des tremblais de la section Laurentienne. *Canadian Journal of Forest Research* 5(4):662-680.



# Lista de las Especies Vasculares

ROSARIO RUIZ DE ESPARZA VILLARREAL

## RESUMEN

En este trabajo se presenta la lista provisoria de especies encontradas en la Reserva de la Biósfera de Mapimí y alrededores. La determinación de los ejemplares se realizó sobre la base de las floras regionales existentes (Texas, Nuevo México, Arizona y Desierto Sonorense) y fueron confirmadas por especialistas o corroboradas en los herbarios de diferentes Universidades.

Se encontraron en total 313 especies distribuidas en 197 géneros y en 60 familias. De ninguna manera se considera a esta lista completa dado que algunas serranías y zonas de dunas de difícil acceso no fueron suficientemente cubiertas durante las campañas de recolección. Las familias mejor representadas son: *Gramineae* (62 especies), *Compositae* (38 especies) y *Cactaceae* (30 especies). Los tipos biológicos más abundantes son: hemicriptófitos (98 especies), caméfitos (75 especies), terófitos (71 especies) y nanofanerófitos (48 especies). Las especies suculentas están incluidas en los microfanerófitos (una especie), nanofanerófitos (10 especies) y caméfitos (26 especies).

## RESUMÉ

Ce travail présente la liste provisoire des espèces rencontrées dans la Réserve de la Biosphère de Mapimi et ses environs. La détermination des exemplaires a été faite à l'aide des flores régionales disponibles (Texas, New Mexico, Arizona et Sonoran Desert), déterminations confirmées ensuite par des spécialistes ou bien corroborées dans des herbiers de différentes Universités.

Un total de 313 espèces appartenant à 197 genres et 60 familles a été inventorié. Cependant, cette liste est considérée incomplète par insuffisance d'échantillonnage de quelques zones d'accès très difficile. Les familles les mieux représentées sont: *Gramineae* (62 espèces), *Compositae* (38 espèces) et *Cactaceae* (30 espèces). Les types biologiques les plus abondants sont: hémicriptophytes (98 espèces), chaméphytes (75 espèces), thérophytes (71 espèces) et nanophanérophytes (48 espèces). Les espèces succulentes se répartissent dans les microphanérophytes (1 espèce), nanophanérophytes (10 espèces) et chaméphytes (26 espèces).

## ABSTRACT

In this paper the provisional list of species found in the Mapimi Biosphere Reserve and its surrounding areas is presented. The determination of specimens was made on the basis of

the existing regional flora (Texas, New Mexico, Arizona and the Sonoran Desert) and was confirmed by specialists or corroborated in the herbaria of different Universities.

In total, 313 species were found, distributed into 197 genera and 60 families. This list is, by no means, considered complete, since some mountainous regions and zones of dunes, with difficult access, were not sufficiently well-covered during the collection field-trips. The best represented families are; *Gramineae* (62 species), *Compositae* (38 species) and *Cactaceae* (30 species). The most abundant life forms are: hemicryptophytes (98 species), chamaephytes (75 species), therophytes (71 species) and nanophanerophytes (48 species). The succulent species are included in the microphanerophytes (one species), nanophanerophytes (10 species) and chamaephytes (26 species).

## INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es presentar la lista provisoria de especies encontradas en la Reserva de la Biosfera de Mapimí y alrededores. La ubicación y las características ambientales del área pueden consultarse en los diversos capítulos de este mismo volumen. La lista florística fue confeccionada sobre la base de 1090 ejemplares colectados y depositados en el herbario del Centro Regional Norte Árido del Instituto de Ecología. Los ejemplares fueron determinados sobre la base de las floras regionales existentes (Kearney y Peebles, 1960; Shreve y Wiggins, 1964; Correl y Johnston, 1979; Martin y Hutchins, 1980). En el caso de la familia *Gramineae* se tomó como base la obra de Hitchcock (1971). La mayoría de las determinaciones fueron confirmadas por especialistas o fueron corroboradas en los herbarios de la Escuela Superior de Biología de la Universidad Autónoma de Guadalajara, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional y del Rancho Experimental La Campana-SARH (Chihuahua). Los tipos biológicos de las especies se determinaron teniendo en cuenta el sistema de Raunkiaer (1937) modificado por Ellenberg y Mueller Dombois (1967).

## RESULTADOS

Se registraron en total 313 especies distribuidas en 197 géneros y en 60 familias (Tabla 1). De ninguna manera se considera a esta lista completa ya que algunas serranías y zonas de dunas de difícil acceso no fueron suficientemente cubiertas durante las campañas de recolección. En la Tabla 2 se presenta el espectro biológico correspondiente. Las suculentas están incluidas con los microfanerófitos (una especie), nanofanerófitos (10 especies) y caméfitos (26 especies).

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue realizado en el marco de una Tesis de Licenciatura llevada a cabo en el Centro Regional Norte Árido del Instituto de Ecología y presentada en

la Universidad Autónoma de Guadalajara. La autora agradece al Instituto de Ecología y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico brindado y a J. Rzedowski, A. Cornet, C. Montaña, C.L. Díaz Luna, J.A. Villarreal Q., J. Valdéz Reyna y G. Melgaza por su valiosa asesoría en la determinación de ejemplares botánicos.

#### BIBLIOGRAFÍA

- CORREL, D.S. y M.C. JOHNSTON. 1979. *Manual of the Vascular Plants of Texas*. University of Texas at Dallas, Texas. 1881 pp.
- ELLENBERG, H. y D. MUELLER DOMBOIS. 1967. A key to Raunkiaer plant life forms with revised subdivisions. In: Mueller Dombois, D. y H. Ellenberg. 1974. *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. John Wiley, New York. 547 pp.
- HITCHCOCK, A.S. 1971. *Manual of the Grasses of the United States* 2nd. Ed. Dover Publications, New York. 1051 pp.
- KEARNEY, T.H.R. y R.H. PEEBLES. 1960. *Arizona Flora*. 2nd. Ed. University of California Press, Berkeley, California. 1081 pp.
- MARTIN, W.C. y C.R. HUTCHINS. 1980. *A Flora of New Mexico*. J. Cramer. 2591 pp.
- RAUNKIAER, C. 1937. *Plant Life Forms*. Claredon, Oxford. 104 pp.
- SHREVE, F. y I.L. WIGGINS. 1964. *Vegetation and Flora of the Sonoran Desert*. Stanford University Press. Stanford, California. 1740 pp.

Tabla 1  
Lista Florística

NOMBRE CIENTÍFICO	TIPO BIOLÓGICO
<b>ACANTHACEAE</b>	
<i>Ruellia af. yucatanana</i> (Leonard) Tharp. et Barkl.	H
<i>Siphonoglossa pilosella</i> (Ness) Torr.	H
<b>AIZOACEAE</b>	
<i>Glinus lotoides</i> L.	T
<i>Sesuvium verrucosum</i> Raf.	H
<b>ALISMATAACEAE</b>	
<i>Echinodorus rostratus</i> (Nutt.) Engelm.	T
<b>AMARANTHACEAE</b>	
<i>Amaranthus palmeri</i> Wats.	T
<i>Amaranthus torreyi</i> (Gray) Wats.	T
<i>Dicraurus leptocladus</i> Hook.	NF
<i>Tidestromia gemmata</i> I.M. Johnst.	H
<b>AMARYLLIDACEAE</b>	
<i>Agave asperrima</i> Jacobi	C
<i>Agave lecheguilla</i> Torr.	C
<i>Polianthes variegata</i> (Jacobi) Shinnery	G
<i>Zephyranthes longifolia</i> Hemsl.	G
<b>ANACARDIACEAE</b>	
<i>Rhus microphylla</i> Engelm.	NF
<b>ARISTOLOCHIACEAE</b>	
<i>Aristolochia wrightii</i> Seem.	H
<b>ASCLEPIADACEAE</b>	
<i>Asclepias linaria</i> Cav.	C
<i>Asclepias oenotheroides</i> Cham. et Schlecht.	H
<i>Asclepias viridiflora</i> Raf.	H
<i>Sarcostemma crispum</i> Benth.	C
<b>BIGNONIACEAE</b>	
<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. var. <i>angustata</i> Rehd.	NF

NOMBRE CIENTÍFICO

TIPO BIOLÓGICO

BORAGINACEAE

<i>Coldenia canescens</i> DC.	C
<i>Coldenia greggii</i> (T. et G.) Gray	H
<i>Coldenia hispidissima</i> (T. et G.) Gray	C
<i>Cordia parvifolia</i> A. DC.	NF
<i>Heliotropium curassavicum</i> L. var. <i>curassavicum</i>	H
<i>Heliotropium greggii</i> Torr.	H
<i>Heliotropium molle</i> (Torr.) I.M. Johnst.	H
<i>Heliotropium torreyi</i> I.M. Johnst.	C

BROMELIACEAE

<i>Hechtia glomerata</i> Zucc.	C
--------------------------------	---

CACTACEAE

<i>Ancistrocactus uncinatus</i> (Gal.) Benson	C
<i>Coryphantha cornifera</i> (DC.) Lemaire	C
<i>Coryphantha indensis</i> Bremer	C
<i>Coryphantha macromeris</i> (Engel.) Lemaire	C
<i>Coryphantha scheeri</i> var. <i>robustispina</i> (Schott) Benson	C
<i>Echinocactus horizonthalonius</i> Lemaire	C
<i>Echinocereus merkerii</i> Hildmann	C
<i>Echinocereus pectinatus</i> var. <i>rigidissimus</i> (Engel.) Rümpler	C
<i>Echinomastus durangensis</i> (Rünge) Britton et Rose	C
<i>Echinomastus unguispinus</i> (Engel.) Britton et Rose	C
<i>Epithelantha micromeris</i> (Engel.) Weber	C
<i>Escobaria tuberculosa</i> (Engel.) Britton et Rose	C
<i>Hamatocactus hamatacanthus</i> (Mil.) Borg.	NF
<i>Homalocephala texensis</i> (Hopffer) Britton et Rose	C
<i>Lophophora williamsii</i> (Lemaire) Coulter	C
<i>Mammillaria</i> af. <i>gummifera</i> Engelmänn	C
<i>Mammillaria gummifera</i> var. <i>applanata</i> (Engel.) Benson	C
<i>Mammillaria lasiacantha</i> Engelmänn	C
<i>Mammillaria pottsii</i> Scheer	C
<i>Opuntia bradtiana</i> (Coulter) Brandegee	C
<i>Opuntia imbricata</i> (Harworth) De Candolle	MF
<i>Opuntia leptocaulis</i> var. <i>brevispina</i> (Engel.) Watson	NF
<i>Opuntia leptocaulis</i> var. <i>robustior</i> Berger	NF
<i>Opuntia microdasys</i> (Lehmann) Pfeiffer	NF
<i>Opuntia</i> af. <i>polyacantha</i> Harworth	C
<i>Opuntia rastrera</i> Weber	NF

NOMBRE CIENTÍFICO	TIPO BIOLÓGICO
<i>Opuntia schottii</i> var. <i>grahamii</i> (Engel.) Benson	C
<i>Opuntia schottii</i> var. <i>schottii</i> Engelmann	C
<i>Opuntia violacea</i> Engelmann	NF
<i>Peniocereus greggii</i> (Engel.) Britton et Rose	C
CAPPARIDACEAE	
<i>Polanisia dodecandra</i> (L.) DC.	T
CARYOPHYLLACEAE	
<i>Drymaria sperguloides</i> Gray	H
CHENOPODIACEAE	
<i>Allenrolfea occidentalis</i> (Wats.) O. Ktze	NF
<i>Atriplex acanthocarpa</i> (Torr.) Wats.	C
<i>Atriplex canescens</i> (Pursh) Nutt.	NF
<i>Atriplex obovata</i> Moq.	NF
<i>Chenopodium glaucum</i> L. subsp. <i>glaucum</i>	H
<i>Salsola kali</i> L.	T
<i>Suaeda nigrescens</i> I.M. Johnst. var. <i>glabra</i> I.M. Johnst.	NF
<i>Suaeda suffrutescens</i> Wats.	NF
COCHLOSPERMACEAE	
<i>Amoreuxia palmatifida</i> Moc. et Sesse	G
COMMELINACEAE	
<i>Commelina erecta</i> L. var. <i>angustifolia</i> (Michx.) Fern.	T
COMPOSITAE	
<i>Ambrosia psilostachya</i> DC.	C
<i>Artemisia filifolia</i> Torr.	C
<i>Baccharis glutinosa</i> (R. et P.) Pers.	H
<i>Bahia absinthifolia</i> Benth	C
<i>Bahia biternata</i> Gray	H
<i>Baileya multiradiata</i> Harv. et Gray	H
<i>Brickellia laciniata</i> Gray	H
<i>Conyza coulteri</i> Gray	H
<i>Dicranocarpus parviglorus</i> Gray	T
<i>Dyssodia aurea</i> (Gray) A. Nels. var. <i>polychaeta</i> (Gray) M.C. Johnst.	T
<i>Dyssodia pentachaeta</i> (DC.) Robins	T

NOMBRE CIENTÍFICO

TIPO BIOLÓGICO

<i>Flaveria trinervia</i> (Spreng.) Mohr	T
<i>Florestina tripteris</i> DC.	T
<i>Flourensia cernua</i> DC.	NF
<i>Gymnosperma glutinosum</i> (Spreng.) Less.	NF
<i>Haplopappus heterophyllus</i> (Gray) Blake	NF
<i>Helenium autumnale</i> L.	H
<i>Helianthus petiolaris</i> Nutt.	T
<i>Machaeranthera australis</i>	C
<i>Machaeranthera parviflora</i> Gray	T
<i>Machaeranthera scabrella</i>	C
<i>Nicolletia edwardsii</i> Gray	T
<i>Palafoxia sphacelata</i> (Torr.) Cory	T
<i>Parthenium confertum</i> Gray	C
<i>Parthenium incanum</i> H.B.K.	NF
<i>Pectis angustifolia</i> Torr.	T
<i>Pectis papposa</i> Gray	T
<i>Porophyllum scoparium</i> Gray	C
<i>Sartwellia puberula</i> Rydb.	C
<i>Sonchus asper</i> (L.) Hill	H
<i>Sonchus oleraceus</i> L.	T
<i>Trixis californica</i> Kell.	NF
<i>Verbesina encelioides</i> (Cav.) Gray	C
<i>Viguiera cardifolia</i>	T
<i>Viguiera stenole</i> Blake	NF
<i>Xanthium strumarium</i> L.	T
<i>Zexmenia brevifolia</i> Gray	NF
<i>Zinnia acerosa</i> (DC.) Gray	C

CONVOLVULACEAE

<i>Breweria multicaulis</i> Brandg.	C
<i>Cressa depressa</i> Goodd.	H
<i>Cuscuta umbellata</i> H.B.K.	P
<i>Evolvulus alsinoides</i> L.	H
<i>Evolvulus muttallianus</i> R. et S.	H
<i>Evolvulus pilosus</i> Nutt.	T
<i>Ipomoea costellata</i> Torr.	T

CRUCIFERAE

<i>Descurainia pinnata</i> (Walt.) Britt.	T
<i>Dithyrea wislizenii</i> Engelm.	C

NOMBRE CIENTÍFICO	TIPO BIOLÓGICO
<i>Eruca sativa</i> Mill.	T
<i>Greggia camporum</i> Gray	C
<i>Lepidium fremontii</i> S. Wats.	H
<i>Nerisyrenia linearifolia</i> (Wats.) Greene	C
<i>Sisymbrium irio</i> L.	T
<i>Stanleya pinnata</i> (Pursh) Britt.	H
<b>CUCURBITACEAE</b>	
<i>Apodanthera undulata</i> Gray	G
<i>Ibervillea tenuisecta</i> (Gray) Small	G
<b>CYPERACEAE</b>	
<i>Cyperus esculentus</i> L.	H
<i>Eleocharis montevidensis</i> Kunth	H
<i>Scirpus paludosus</i> A. Nels.	H
<b>EPHEDRACEAE</b>	
<i>Ephedra trifurca</i> Torr.	NF
<b>EUPHORBIACEAE</b>	
<i>Argythamnia neomexicana</i> Muell.	C
<i>Croton af. leucophyllus</i> Muell. Arg.	T
<i>Croton pottsii</i> (Kl.) Muell. Arg.	C
<i>Euphorbia antisyphilitica</i> Zucc.	C
<i>Euphorbia dentata</i> Michx.	T
<i>Euphorbia hexagona</i> Nutt.	T
<i>Euphorbia serpyllifolia</i> Pers.	T
<i>Euphorbia strictior</i> Holz.	H
<i>Jatropha dioica</i> Cerv.	NF
<i>Tragia brevispica</i> Engelm. et Gray	H
<b>FOUQUIERIACEAE</b>	
<i>Fouquieria splendens</i> Engelm.	MF
<b>GRAMINEAE</b>	
<i>Andropogon saccharoides</i> Swartz	H
<i>Aristida adscensionis</i> L.	T
<i>Aristida fendleriana</i> Steud.	H
<i>Aristida glauca</i> (Nees) Walp.	H
<i>Aristida pansa</i> Woot. et Standl.	H

NOMBRE CIENTÍFICO

TIPO BIOLÓGICO

<i>Aristida roemeriana</i> Scheele	H
<i>Aristida ternipes</i> Cav.	H
<i>Aristida wrightii</i> Nash	H
<i>Bouteloua aristidoides</i> (H.B.K.) Griseb.	T
<i>Bouteloua barbata</i> Lag.	T
<i>Bouteloua breviseta</i> Vasey	H
<i>Bouteloua curtispindula</i> (Michx.) Torr.	H
<i>Bouteloua filiformis</i> (Fourn.) Griffiths	H
<i>Bouteloua gracilis</i> (H.B.K.) Griffiths	H
<i>Bouteloua trifida</i> Thurb.	H
<i>Bouteloua uniflora</i> Vasey	H
<i>Brachiaria fasciculata</i> (Sw.) Panodi	T
<i>Cenchrus ciliaris</i> L.	H
<i>Chloris virgata</i> Swartz	T
<i>Cottea pappophoroides</i> Kunth	T
<i>Echinochloa colonum</i> (L.) Link	T
<i>Enneapogon desvauxii</i> Beauv.	T
<i>Eragrostis barrelieri</i> Daveau	T
<i>Eragrostis cilianensis</i> (All.) Lutati	T
<i>Eragrostis pilosa</i> (L.) Beauv.	T
<i>Eragrostis simplex</i> Scribn.	T
<i>Eragrostis swalleni</i> Hitchc.	H
<i>Eriochloa contracta</i> Hitchc.	T
<i>Heteropogon contortus</i> (L.) Roem. et Schult.	H
<i>Hilaria mutica</i> (Buckl.) Benth.	H
<i>Leptochloa fascicularis</i> (Lam.) A Gray	T
<i>Muhlenbergia arenacea</i> (Buckl.) Hitchc.	H
<i>Muhlenbergia arenicola</i> Buckl.	H
<i>Muhlenbergia fragilis</i> Swallen	T
<i>Muhlenbergia monticola</i> Buckl.	H
<i>Muhlenbergia porteri</i> Scribn.	H
<i>Muhlenbergia torreyana</i> (Schult.) Hitchc.	H
<i>Panicum arizonicum</i> Scribn. et Merr.	T
<i>Panicum flexile</i> (Gattinger) Scribn.	T
<i>Panicum hallii</i> Vasey	H
<i>Panicum hirticaule</i> Presl	T
<i>Panicum maximum</i> Jacq.	H
<i>Panicum obtusum</i> H.B.K.	H
<i>Panicum stramineum</i> Hitchc. et Chase	T
<i>Pappophorum mucronulatum</i> Ness	H

NOMBRE CIENTÍFICO	TIPO BIOLÓGICO
<i>Scleropogon brevifolius</i> Phil.	H
<i>Setaria grisebachii</i> Fourn.	T
<i>Setaria macrostachya</i> H.B.K.	H
<i>Sporobolus airoides</i> (Torr.) Torr.	H
<i>Sporobolus cryptandrus</i> (Torr.) A. Gray	H
<i>Sporobolus flexuosus</i> (Thurb.) Rydb.	H
<i>Sporobolus patens</i> Swallen	T
<i>Sporobolus pioretii</i> (Roem. et Schult.) Hitchc.	H
<i>Sporobolus pulvinatus</i> Swallen	T
<i>Sporobolus spiciformis</i> Swallen	H
<i>Sporobolus teretifolius</i> Harper	H
<i>Tragus berteronianus</i> Schult.	T
<i>Trichachne californica</i> (Benth.) Chase	H
<i>Trichloris crinita</i> (Lag.) Parodi	H
<i>Tridens muticus</i> (Torr.) Nash	H
<i>Tridens pulchellus</i> (H.B.K.) Hitchc.	H
<i>Trisetum af. wolfii</i> Vasey	T
<b>HYDROPHYLLACEAE</b>	
<i>Nama parvifolium</i> (Torr.) Greenm.	T
<i>Nama purpusii</i> Brandegee	H
<i>Nama torynophyllum</i> Greenm.	H
<i>Nama xylopodum</i> (Woot. et Standl.) C.L. Hitchc.	H
<i>Phacelia congesta</i> Hook. var. <i>congesta</i>	H
<b>KOEBERLINIACEAE</b>	
<i>Koeberlinia spinosa</i> Zucc.	MF
<b>KRAMERIACEAE</b>	
<i>Krameria glandulosa</i> Rose et Painter	C
<i>Krameria grayi</i> Rose et Painter	C
<b>LABIATAE</b>	
<i>Salazaria mexicana</i> Torr.	NF
<i>Salvia reflexa</i> Hornem.	T
<i>Scutellaria microphylla</i> Benth.	H
<b>LEGUMINOSAE</b>	
<i>Caesalpinioideae</i>	
<i>Cassia bahinioides</i> Gray var. <i>arizonica</i> Robins	C

NOMBRE CIENTÍFICO	TIPO BIOLÓGICO
<i>Cassia bahinioides</i> Gray var. <i>bahinioides</i>	C
<i>Cassia covesii</i> Gray	NF
<i>Hoffmanseggia densiflora</i> Gray	G
<i>Mimosoideae</i>	
<i>Acacia berlandieri</i> Benth.	MF
<i>Acacia constricta</i> Benth. var. <i>constricta</i>	NF
<i>Acacia farnesiana</i> L. Willd	MF
<i>Acacia greggii</i> Gray	MF
<i>Acacia neovernicosa</i> Isely	NF
<i>Acacia roemeriana</i> Scheele	NF
<i>Acacia schaffneri</i> (S. Wats.) Herm.	NF
<i>Prosopis glandulosa</i> Torr. var. <i>torreyana</i> (L. Benson) M.C. Johnst.	MF
<i>Papilionoideae</i>	
<i>Dalea aurea</i> Nutt.	H
<i>Dalea neomexicana</i> (Gray) Cory	H
<i>Dalea pogonathera</i> Gray	H
<i>Dalea scoparia</i> Gray	NF
LILIACEAE	
<i>Dasyllirion wheeleri</i> Wats.	NF
<i>Yucca elata</i> Engelm.	NF
<i>Yucca rigida</i> (Engelm.) Trelease	NF
<i>Yucca torreyi</i> Shafer	NF
LOASACEAE	
<i>Cevallia sinuata</i> Lag.	C
<i>Eucnide bartonioides</i> Zucc.	C
<i>Mentzelia pumila</i> (Nutt.) Torr. et Gray var. <i>procera</i> (Woot. et Standl.) J. Darl.	C
LOGANIACEAE	
<i>Buddleja marrubifolia</i> Benth.	NF
<i>Buddleja scordioides</i> H.B.K.	NF
LORANTHACEAE	
<i>Phoradendron flavescens</i> (Pursh) Nutt. var. <i>orbiculatum</i> Engelm.	Sp

NOMBRE CIENTÍFICO	TIPO BIOLÓGICO
<b>LYTHRACEAE</b>	
<i>Ammannia coccinea</i> Rottb.	T
<b>MALPIGHIACEAE</b>	
<i>Janusia gracilis</i> Gray	H
<b>MALVACEAE</b>	
<i>Abutilon incanum</i> (Link) Sweet	C
<i>Anoda pentaschista</i> Gray	T
<i>Hibiscus coulteri</i> Harv.	C
<i>Hibiscus denudatus</i> Benth.	H
<i>Hibiscus denudatus</i> Benth. var. <i>denudatus</i>	C
<i>Hibiscus denudatus</i> Benth. var. <i>involucellatus</i> Gray	C
<i>Malvastrum coromandelianum</i> (L.) Gke.	H
<i>Sida filicaulis</i> T. et. G.	H
<i>Sida hederacea</i> (Hook.) Gray	T
<i>Sida leprosa</i> (Ort.) K. Schum.	H
<i>Sida leprosa</i> (Ort.) K. Schum. var. <i>sagittaeifolia</i> (Gray)	
Iclem	H
<i>Sida spinosa</i> L.	T
<i>Sphaeralcea angustifolia</i> (Cav.) D. Don	C
<b>MARTYNIACEAE</b>	
<i>Proboscidea altheaefolia</i> Dcne.	H
<i>Proboscidea fragrans</i> (Lindl.) Dcne.	H
<b>NYCTAGINACEAE</b>	
<i>Allionia incarnata</i> L.	T
<i>Anulocaulis eriosolenus</i> (Gray) Standl.	H
<i>Boerhaavia af. erecta</i> L.	T
<i>Mirabilis oxybaphoides</i> (Gray) Gray	C
<i>Selinocarpus angustifolius</i> Torr.	C
<b>OLEACEAE</b>	
<i>Menodora scabra</i> Gray var. <i>laevis</i> (Woot. et Standl.) Steyerf.	C
<b>ONAGRACEAE</b>	
<i>Godetia quadrivulnera</i> (Dougl.) Spach.	T
<i>Oenothera speciosa</i> Nutt.	H

NOMBRE CIENTÍFICO	TIPO BIOLÓGICO
<b>OROBANCHACEAE</b>	
<i>Orobanche ludoviciana</i> Nutt.	P
<b>POLEMONIACEAE</b>	
<i>Ipomopsis laxiflora</i> (Coul.) V. Grant	C
<i>Ipomopsis longiflora</i> (Torr.) V. Grant	H
<i>Ipomopsis stewartii</i> I.M. Johnst.	C
<b>POLYGALACEAE</b>	
<i>Polygala obscura</i> Benth.	H
<b>POLYGONACEAE</b>	
<i>Eriogonum hemipterum</i> (T. en G.) S. Stokes	H
<i>Polygonum pennsylvanicum</i> L.	T
<i>Rumex verticillatus</i> L.	H
<b>PORTULACACEAE</b>	
<i>Portulaca oleraceae</i> L.	T
<i>Talinum angustissimum</i> (Gray) Woot. et Standl.	G
<b>RANUNCULACEAE</b>	
<i>Clematis drummondii</i> T. et G.	C
<b>RESEDACEAE</b>	
<i>Oligomeris linifolia</i> (Vahl) Macbr.	C
<b>RHAMNACEAE</b>	
<i>Condalia lycioides</i> (Gray) Weberb.	NF
<i>Ziziphus obtusifolia</i> (T. et G.) Gray	NF
<b>RUBIACEAE</b>	
<i>Randia pringlei</i> Gray	NF
<b>RUTACEAE</b>	
<i>Thamnosma texana</i> (Gray) Torr.	H
<b>SCROPHULARIACEAE</b>	
<i>Castilleja integra</i> Gray	C
<i>Leucophyllum laevigatum</i> Standl. var. <i>laevigatum</i>	NF
<i>Stemodia schottii</i> Holz.	H

NOMBRE CIENTÍFICO	TIPO BIOLÓGICO
<b>SELAGINELLACEAE</b>	
<i>Selaginella lepidophylla</i> (Hook. et Grev.) Spring	H
<b>SIMAROUBACEAE</b>	
<i>Castela texana</i> (T. et G.) Rose	NF
<b>SOLANACEAE</b>	
<i>Datura inoxia</i> Mill.	H
<i>Lycium berlandieri</i> Dun. var. <i>parviflorum</i> (Gray) Terrac.	NF
<i>Nicotiana glauca</i> Grah.	MF
<i>Nicotiana trigonophylla</i> Dun.	H
<i>Physalis hederifolia</i> Gray	H
<i>Physalis hederifolia</i> Gray var. <i>hederifolia</i>	C
<i>Solanum citrullifolium</i> A. Br.	T
<i>Solanum elaeagnifolium</i> Cav.	C
<i>Solanum rostratum</i> Dun.	T
<b>TAMARICACEAE</b>	
<i>Tamarix pentandra</i> Pall.	MF
<b>ULMACEAE</b>	
<i>Celtis pallida</i> Torr.	MF
<b>VERBENACEAE</b>	
<i>Aloysia gratissima</i> (Gill. et Hook.) Troncoso	NF
<i>Bouchea prismatica</i> O. Ktze. var. <i>brevirostra</i> Grenz.	G
<i>Citharexylum brachyanthum</i> (Gray) Gray	NF
<i>Lantana achyranthifolia</i> Desf.	C
<i>Lippia graveolens</i> H.B.K.	NF
<i>Phyla incisa</i> Small	NF
<i>Phyla strigulosa</i> (Mart. et Gal.) Moldenke var. <i>sericea</i> (O. Ktze.) Moldenke	NF
<i>Verbena bipinnatifida</i> Nutt. var. <i>latilobata</i> Perry	H
<i>Verbena ciliata</i> Benth. var. <i>ciliata</i>	T
<i>Verbena neomexicana</i> (Gray) Small var. <i>xylopoda</i> Perry	C
<b>ZYGOPHYLLACEAE</b>	
<i>Fagonia scoparia</i> Brandg	C
<i>Kallstroemia grandiflora</i> Gray	T
<i>Kallstroemia hirsutissima</i> Vail	T

NOMBRE CIENTÍFICO	TIPO BIOLÓGICO
<i>Kallstroemia perennans</i> B.L. Turner	H
<i>Larrea tridentata</i> (DC.) Cov.	NF
<i>Tribulus terrestris</i> L.	T

Tabla 2  
Espectro biológico

Tipo Biológico	Número de especies	%
Microfanerófitos (MF)	10	3.19
Nanofanerófitos (NF)	48	15.34
Caméfitos (C)	75	23.96
Hemicritófitos (H)	98	31.31
Geófitos (G)	8	2.56
Terófitos (T)	71	22.68
Parásitos (P)	2	.64
Hemiparásitos (Sp)	1	.32



## El Hombre y su Impacto en los Ecosistemas a Través del Ganado

HENRI BARRAL

### RESUMEN

El problema de la utilización de los agostaderos en la Reserva de Mapimí debe considerarse en estrecha relación con las cargas animales soportadas por estos últimos.

En efecto, el impacto del ganado sobre la vegetación es función de 4 parámetros.

- 1. El tipo de ganadería practicada por la población del área considerada, de acuerdo con sus características socio-económicas (intensiva o extensiva, sedentaria o transhumante, de leche o de carne, etc.).
- 2. El número de animales existentes (por categorías cuando varias especies se encuentran asociadas).
- 3. La naturaleza y la composición de las formaciones vegetales utilizadas.
- 4. Las estaciones de utilización: épocas y duración.

Si bien, en lo que se refería a los puntos 3 y 4, disponíamos de información sumamente precisa gracias al mapa de vegetación a escala de 1/100.000 de la Reserva de Mapimí (Montaña, 1987), así como de una cantidad apreciable de datos básicos suministrados en el trabajo de Morello y Camberos (1979), en cambio en lo relacionado con los puntos 1 y 2 los datos disponibles tenían que ser actualizados.

En este trabajo, luego de examinar rápidamente las principales características socio-económicas que imperan en la Reserva de la Biosfera de Mapimí, las cuales habían sido objeto de un estudio anterior (Whyte y Burton, 1981), exponemos el método que empleamos para lograr el conteo del ganado vacuno existente dentro de la reserva —las demás especies animales existentes tales como cabras, ovejas, caballos y burros no presentan mayor importancia, en relación con los vacunos— así como los resultados obtenidos.

Hemos evaluado en 6500/7000 cabezas el número de vacunos existentes en la Reserva en 1986.

Si bien es cierto que las observaciones que han permitido llegar a este resultado, así como las que se refieren al uso de los agostaderos, deben ser precisadas y completadas con observaciones repetidas de acuerdo con las secuencias estacionales, ha sido posible esbozar un esquema general de utilización de los agostaderos y al mismo tiempo lograr una estimación de las cargas estacionales y por ende anuales.

Esquemáticamente pueden distinguirse 3 áreas de pastoreo en cuanto a su utilización estacional:

- Un área de estación lluviosa y post-lluviosa (agostaderos de bajos inundables, de vegas y de playas).
- Un área de estación seca, fría y templada (agostaderos de bajadas).
- Un área de estación seca y cálida (agostaderos de bajadas superiores y de laderas, constituidos sobre todo por las cactáceas: nopaleras).

Estas distintas áreas han sido cartografiadas a escala de 1/200.000, valiéndose como fondo cartográfico, del mapa de vegetación a 1/100.000 mencionado anteriormente.

Por otra parte, grandes extensiones de la Reserva no son objeto de ninguna forma de utilización pastoril, sea porque el estrato herbáceo está ausente o es muy pobre, sea porque el factor limitante es la ausencia de agua.

Todas estas áreas también aparecen en el mapa de utilización de la vegetación adjunto a este trabajo.

Por otra parte, estas diversas observaciones suscitan interrogantes sobre la compatibilidad entre las cargas soportadas por los agostaderos de la Reserva y su capacidad de regeneración. Los rasgos de degradación que se observan en varios lugares parecen más bien consecutivos a un sobrepastoreo antiguo que actual, pero el problema queda pendiente.

En este enfoque, hemos pensado, a manera de conclusión, que podría ser interesante esbozar una breve comparación entre los ecosistemas sometidos al pastoreo de la Reserva de Mapimí y los de la región del "Gourma" en el territorio de la República del Mali, en África del Oeste, donde trabajamos durante varios años, debido a las numerosas afinidades ecológicas existentes entre ambas regiones, pero también a las diferencias importantes en el campo de la utilización de los agostaderos y de las cargas soportadas por los mismos. Esto nos ha llevado a evocar el problema del umbral de degradación irreversible, o en otros términos de la fijación de la carga máxima de ganado a la que pueden ser sometidos los agostaderos de la Reserva de Mapimí.

## RESUMÉ

Le problème de l'utilisation des parcours dans la Réserve de Mapimí doit être étroitement relié aux charges supportées par ceux-ci. En effet, l'impact du bétail sur la végétation est fonction de 4 paramètres:

- 1. Type d'élevage pratiqué par la population, en fonction de ses caractéristiques socio-économiques.
- 2. Nombre d'animaux (et leur nature quand plusieurs espèces sont associées).
- 3. Nature et composition des formations végétales mises à contribution.
- 4. Saisons d'utilisation et durée totale.

Si, dans le 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> domaine nous disposons d'une information extrêmement précise grâce à la carte de végétation au 1/100.000 de la Réserve de Mapimí (Montaña, 1987) et d'un nombre appréciable de données de base contenues dans le rapport de Morello et Camberos (1979), en revanche, en ce qui concerne les points 1 et 2, les données disponibles demandaient à être actualisées.

Dans ce travail, donc, après un rapide examen des principales caractéristiques socio-économiques qui prévalent dans la Réserve de la Biosphère de Mapimí, et qui avaient fait l'objet d'une étude antérieure (Whyte et Burton, 1981), nous exposons la méthode que nous avons employée pour procéder au dénombrement du bétail bovin existant dans la réserve —les autres espèces animales: chèvres, moutons, chevaux et anes ne présentant qu'un intérêt secondaire— ainsi que les résultats obtenus.

Nous avons évaluée à 6500/7000 têtes le nombre de bovins existant dans la Réserve en 1986.

Certes, les observations qui ont conduit à cette évaluation comme celles qui portent sur l'utilisation des parcours doivent être affinées et faire l'objet, pour cela, d'observations répétées saisonnièrement, mais il a été cependant possible d'esquisser un schéma général d'utilisation des parcours ainsi que de parvenir à une approximation des charges supportées saisonnièrement par ceux-ci et rapportées ensuite à l'année.

Schématiquement, il semble que l'on puisse distinguer 3 aires pastorales d'utilisation différente:

- une aire de saison pluvieuse et post-pluvieuse (parcours de bas-fonds inondables de *vegas* et de *playas*).
- un aire de saison sèche froide et tempérée (parcours de zones de glacis).
- un aire de saison sèche torride (parcours de hauts glacis et de versants constitués surtout par des cactacées: *nopaleras*).

Ces différentes aires ont été cartographiées au 1/200.000 en utilisant comme fond de carte, la carte de végétation du 1/100.000 mentionnée ci-dessus.

D'autre part, de vastes étendues de la Réserve ne font l'objet d'aucune utilisation pastorale soit parce que la strate graminéenne y est absente ou excessivement pauvre, soit parce que le facteur limitant est l'absence d'eau.

Toutes ces zones apparaissent également sur la carte d'utilisation de la végétation jointe à ce rapport.

Ces diverses observations nous ont conduit par ailleurs à nous interroger sur la compatibilité des charges actuellement supportées par les parcours de la réserve avec leur capacité de régénération. Les signes de dégradation que l'on observe ici et là paraissent d'avantage liés à un surpâturage ancien qu'à un surpâturage actuel, mais le problème reste posé.

Dans cette optique, nous avons pensé, en guise de conclusion, qu'il pouvait être intéressant d'esquisser une brève comparaison entre les écosystèmes paturés de la Réserve de Mapimí et ceux de la région du Gourma, au Mali, en Afrique de l'ouest, où nous avons travaillé pendant plusieurs années, en raison des nombreuses affinités écologiques existant entre les 2 régions et des différences importantes en matière d'utilisation des parcours et des charges supportées. Ceci nous a conduit à évoquer le problème du seuil de dégradation irréversible, autrement dit de la fixation de la charge maxima que sont susceptibles de supporter les parcours de la Réserve de Mapimí.

#### ABSTRACT

The problem of range use on the Mapimí Reserve should be considered in close linkage with the stocking rates borne by said range.

In fact, the impact of livestock on vegetation is a function of four parameters:

- 1. The type of stock-farming carried out by the population in the area considered, according to its socio-economic characteristics (intensive or extensive, sedentary or nomadic, dairy or beef, etc.)
- 2. The number of animals in existence (by category, when various species are associated with each other.)
- 3. The nature and composition of the plant formations which are used.
- 4. The season of use: times and duration.

While, with regard to Points 3 and 4, we had access to extremely precise information, the vegetation map, on a scale of 1/100.000 of the Mapimí Reserve (Montaña, 1987), as well as a considerable quantity of basic data supplied in the work of Morello and Camberos (1979), in contrast, with relation to Points 1 and 2, the available data had to be brought up to date.

In this paper, after a quick examination of the main socio-economic characteristics prevalent on the Mapimí Biosphere Reserve, which had been the object of a previous study (Whyte and Burton, 1981), we expound the method used by us to achieve a count of the cattle which exist within the Reserve (the other animal species which exist, such as goats, sheep, horses, and donkeys are of little importance, in relation to the cattle), as well as the results obtained.

We have assessed at 6,500/7,000 heads the number of cattle existing on the Reserve in 1986.

While it is true that the observations which have allowed us to reach this result, as well as those referring to range use, must be made precise, and filled out, by observations repeated according to the seasonal sequences, it has been possible to sketch out a general scheme of range use and at the same time, achieve an estimate of the seasonal, and consequently annual, loads.

Schematically, it is possible to distinguish three range areas, with regard to their seasonal use:

—A rainy- and post-rainy-season area (floodable lowland ranges, *vegas* and *playas*.)

—A dry-, cold-, and temperate-season area (*bajada* ranges.)

—A dry- and warm-season area (upper *bajada* ranges, and mountain slopes, mainly vegetated by cactacea: *nopaleras*).

These different areas have been mapped on a 1/200,000 scale, using, as cartographic background, the vegetation map on a 1/100,000 scale mentioned previously. On the other hand, great sketches of the Reserve are subject to no form of pastoral use, either because there is little to no herbaceous stratum, or because the limiting factor is absence of water.

All the areas also appear on the vegetation-use map attached to this document.

On the other hand, these various observations raise questions about compatibility among the stocking rates borne by the Reserve's ranges and their regenerative capacity. The traces of degradation observed in various places seem to be consecutive upon an ancient, rather than present-day, overgrazing, but the problem remains as a question for future research.

In this approach we have thought, in the way of conclusion, that it might be interesting to sketch out a brief comparison between the ecosystems undergoing pasturing on the Mapimí Reserve, and those of the "Gourma" region, in the territory of the Republic of Mali, in West Africa, where we worked for several years, due to the numerous ecological affinities existing between the two regions, but also, due to the important differences in range use, and of the stocking rates borne by the latter. This has caused us to bring up the problem of the irreversible, degradation-threshold, or, in other words, of the fixing of a maximum stocking rate, which can be borne by the Mapimí Biosphere's ranges.

## INTRODUCCIÓN

La ganadería extensiva de cría de vacunos es la actividad económica más importante en la zona de influencia de la Reserva de la Biosfera de Mapimí. En consecuencia, la regulación de la cantidad de ganado y de las variaciones estacionales de las cargas animales soportadas por los agostaderos es uno de los problemas más cruciales a resolver para realizar un manejo adecuado de los recursos.

Los únicos datos disponibles previamente al respecto eran estimaciones de 1980-1981 (Whyte y Burton, 1981) que cubrían un área inferior a la cubierta en nuestro trabajo y que arrojaban un número de 3,600 cabezas. Sin embargo, esta cifra no resultaba de operaciones de conteo sistemático, sino de informaciones obtenidas mediante entrevistas efectuadas a los ganaderos de la zona, siendo necesario entonces actualizarla a través de una encuesta específica, en base a una evaluación directa del ganado.

En efecto, en todas las áreas del mundo en las que se practica la ganadería extensiva, los ganaderos suelen manifestar una marcada tendencia a disimular el número de animales que poseen a veces por razones fiscales, pero también porque a menudo des-

conocen el número de animales que poseen a pesar de reconocer, en algunos casos, individualmente cada animal de su hato.

Por otra parte, el aspecto de la vegetación en ciertas porciones del área estudiada, y particularmente la presencia de zonas denominadas peladeros en el margen oriental de la gran vega, por ejemplo, así como en los alrededores de ciertos presones, sugiere densidades animales superiores a las que se podrían inferir de los datos de Whyte-Burton.

Estas zonas de sobrepastoreo, además son señaladas por Morello y Camberos (1979) en los términos siguientes: "En los ejidos se reconocen los siguientes procesos de sobrepacido:

- Ampliación de los peladeros y colonización por *Salsola* (hierba voladora).
- Avance de gobernadora en sabanetales.
- Retracción de pajonales de *Sporobolus airoides* y sabanetales.

Parecen indicar vagamente que la relación cobertura de fitomasa viva/suelo desnudo ha cambiado dramáticamente como para ser detectada por todos los ejidatarios consultados" (*op. cit.* pp. 31 y 32), y luego, los mismos autores añaden: "Sólo detectamos lo siguiente:

- Poblaciones adultas de mezquite fuera del alcance del ramoneo.
- Alta abundancia de especies con compuestos químicos anti-herbívoros (ojasen, *Larrea*, candelilla, etc.).
- Suelo desnudo siempre en mayor porcentaje que la cobertura de fitomasa.
- Microrelieve por erosión encauzada en densa red de carcavamiento. Domina la actividad erosiva lineal sobre la laminar" (*op. cit.* p. 32).

Sin embargo, fue evidente que limitarse a una evaluación global del ganado de la zona de estudio con el fin de calcular la densidad general de los animales, no tendría mucho sentido debido a la heterogeneidad de los agostaderos y a la desigual distribución del ganado en relación con los mismos resultante de la estructura agraria, es decir de la división de la zona en distintos ejidos y ranchos ganaderos.

Por este motivo nos hemos empeñado, tomando como base de trabajo el mapa de vegetación elaborado por Montaña (1987), en delimitar las áreas de pastoreo de estación lluviosa y post-lluviosa a partir de la observación directa y las áreas de pastoreo de principio y de fin de estación seca mediante informaciones recogidas entre los ganaderos y vaqueros de la zona. La delineación de estas últimas áreas deberá ser, no obstante, precisada mediante observación directa en trabajos posteriores.

Vamos pues, a continuación, a exponer la metodología que hemos aplicado y los resultados que hemos logrado en materia de evaluación del ganado y de las densidades estacionales soportadas por los distintos tipos de agostaderos. Sin embargo, y debido al impacto de la estructura agraria en este último proceso, nos parece conveniente proceder aquí a una breve actualización de los datos socio-económicos que caracterizan

a la población humana que utiliza los recursos naturales renovables de la reserva de Mapimí.

## ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS

### La población

Un primer estudio socioeconómico de la población de la Reserva de la Biosfera de Mapimí fue realizado en 1981 (Whyte y Burton, 1981). En el mismo se expone en una forma muy clara el funcionamiento de los ejidos y ranchos ganaderos de la zona, así como los problemas planteados por la dificultad de la vida (insuficiencia de las infraestructuras, alejamiento de los centros urbanos, etc.) que traen como consecuencia la salida de las mujeres con niños en edad escolar y finalmente el despoblamiento paulatino de la reserva.

En efecto, parece que la población ha disminuido desde 1981, puesto que en el informe Whyte-Burton se menciona la presencia de seis asentamientos humanos dentro de los límites del área estudiada, mientras que en 1986 sólo se encuentran cinco asentamientos que son:

Ejido de la Flor	31 personas
Rancho San Ignacio	9 personas
Las Lilas	5 personas
Santa María de Mohovano	3 personas
La Soledad -sur-	3 personas

O sea, en total 51 personas que representan la población permanente del área (a las que se puede sumar la familia que vive en el Laboratorio del Instituto de Ecología, que son tres personas más, dando un total de 54 personas). Esto sin contar la población permanente del poblado de Carrillo, ubicado pocos kilómetros al norte del área y compuesta por varias centenas de habitantes.

En relación con el informe Whyte-Burton se nota el abandono del sector llamado Venado Gacho en el que vivía una familia en 1981, así como el casi abandono del poblado de Santa María de Mohovano que contaba con dos familias y siete solteros en 1981 y que no consta más que de tres solteros en 1986, y finalmente el poblado de Las Lilas con dos familias en 1981 contra una sola en 1986.

En cambio, en el caso del Ejido La Flor parece que la población se ha mantenido aproximadamente al mismo nivel mientras que en el caso del rancho San Ignacio se ha incrementado ligeramente, puesto que el informe Whyte-Burton mencionaba únicamente la presencia de una familia y de tres solteros en este asentamiento mientras que en 1986 existían dos familias y un soltero.

Pero de todas maneras la presión humana directa a la que podrían estar sometidos los ecosistemas que rodean a la reserva a través de la caza, de la pesca, de la recolección de productos vegetales o minerales e incluso de algunas ínfimas actividades agrícolas, por parte de la población residente, tendrían un impacto muy débil sobre los mismos.

Hasta la explotación de la "candelilla" (actividad realizada fuera del área estudiada) parece estar mermando si se toma en cuenta el hecho de que el único asentamiento que se dedica a esta forma de actividad es el poblado de Santa María de Mohovano en donde viven en forma permanente únicamente tres personas.

Desde luego, la situación es totalmente distinta en lo que se refiere a la presión indirecta sobre el medio, ejercida a través de la ganadería, y en la que participa ampliamente la población residente en la periferia de la reserva, particularmente en Ceballos y Thahualilo (Durango) y en Carrillo y aún en Jiménez (Chihuahua).

### El ganado

Las características del ganado son descritas por Morello y Camberos (1979). Aquí nos limitaremos a señalar que el mismo presenta un mosaico genético con predominio de raza Hereford. En menor medida, y de introducción más reciente, se presenta Aberdeen Angus. Por su parte, las razas originadas en *Bos indicus* más comunes en el Bolsón de Mapimí son: Cebú, Beefmaster, Santa Gertrudis y Pardo Suiza (Morello y Camberos, 1979).

Resultaría particularmente interesante en el campo socioeconómico establecer, a partir del número de cabezas de ganado existente, cuántas familias sacan una parte o la totalidad de sus recursos del área a través de la explotación del ganado, y también identificar con precisión los lugares de residencia de estas familias y de esta forma delimitar el área de influencia de la reserva en el campo económico. Sin embargo, una investigación de este tipo plantearía problemas casi imposibles de resolver ya que supondría un verdadero censo del ganado y el conocimiento del dueño de cada animal.

En el campo de la ganadería las diferencias entre los conteos de animales que hemos efectuado, así como las conclusiones que hemos sacado de estos últimos por una parte, y las estimaciones de cantidades de animales que constan en el informe Whyte-Burton por otra parte, son bastante importantes ya que hemos evaluado en 6.500/7.000 cabezas (más probablemente 6.700) el ganado de la zona de estudio, mientras que en el informe Whyte-Burton el mismo estaba estimado en 3.600 cabezas.

Expondremos posteriormente el método utilizado para lograr este resultado y también desarrollaremos el tema de la distribución espacial del ganado dentro del área, pero cabe indicar aquí:

- Que dentro de una de las principales unidades de producción ganadera (rancho San Ignacio), en realidad la cantidad de ganado ha sido prácticamente reducida

en un 50% desde 1981, pero que los datos de esa época fueron considerablemente sub-evaluados.

- Que el ejido La Flor no tenía más que 100 cabezas hasta el 15 de noviembre de 1986 (mientras que en 1981 tenía 500 cabezas) por haber abandonado la práctica del ganado “a cuidado”.
- Que en el informe Whyte-Burton no se ha tomado en cuenta el ganado existente en el sur del área estudiada por nosotros y particularmente el ganado del sector llamado Las Tortugas (ejido Granja Morelos) y tampoco el ganado de los ranchos Venado Gacho y San Felipe. En el norte del área estudiada, el ganado del ejido Los Alamos (al norte del ejido La Flor) así como el ganado del pueblo de Carrillo (ubicado fuera del área pero cuyo ganado suele paecer dentro de la misma, en el sector del Charco Salado) tampoco fueron contemplados en ese estudio. Cabe mencionar que la población de estos lugares reside fuera de los límites de la reserva y por ende no fue objeto de la encuesta Whyte-Burton.

### Problemas de comercialización

En lo que se refiere al sistema de comercialización del ganado y particularmente a la exportación hacia los Estados Unidos, parece que el esquema general descrito por Whyte y Burton sigue vigente: “The marketing arrangements vary between the different land holding units. The ranch owner sells in september; he sells male calves directly to an american importer; old cows are first fattened on another ranch before being sold to a local private dealer. Ejido La Flor also sells directly to a private trader, whereas La Soledad and Santa María sell to the government (Credit Bank). Las Lilas sells to an ejidal working cooperative. The ejido sell animals in November-December and March rather than in September. These different marketing arrangements are significant for rangeland management” (Whyte y Burton, 1981).

Sin embargo, en los pormenores se notan varios cambios tales como:

- El abandono generalizado entre los ejidatarios del sistema de tenencia del ganado “a cuidado” a raíz de los innumerables problemas que han surgido con los propietarios de los animales encargados.
- Una marcada tendencia entre los mismos a renunciar al crédito bancario, con el fin de decidir libremente sobre las modalidades de venta del ganado, con la excepción del ejido La Flor.

En efecto los miembros de este ejido han firmado un contrato para el engorde de 300 becerros con una entidad bancaria, la cual ha comprado estos animales (200 kg. de peso promedio) en el estado de Michoacán y los ha entregado a los ejidatarios a mediados de noviembre de 1986. Se espera un beneficio a repartirse entre los diferentes integrantes del ejido al vender estos becerros al cabo de un año, siempre que alcan-

cen un peso promedio de 350 kg. en este plazo. El problema es que son animales de raza cebú y por lo tanto rechazados por los importadores norteamericanos, debido a su escasa resistencia al frío, y que en el mercado local hay poca demanda para animales de 350 kg. a precios remuneradores, de acuerdo con algunos informantes. Además, los mismos ejidatarios tuvieron que contratar un préstamo de varios millones de pesos para comprar 15 kilómetros de tubería para hacer llegar agua durante la estación seca a los pastizales de vega ubicados al noreste del ejido, y también para comprar una prensa para marcarlos, etc.

Por estos motivos, el margen de seguridad de los ejidatarios en el caso de pérdidas de animales (afortunadamente poco probable debido a la pluviosidad excepcionalmente favorable en 1986) o de precios poco remuneradores, parece bastante reducido.

Este ejemplo ilustra lo arriesgado que es siempre la ganadería en las zonas áridas, con su carácter de especulación e incluso apuesta, a pesar de que suele representar la única forma de actividad humana que permite el aprovechamiento de los recursos renovables de estas áreas.

## EVALUACIÓN DEL GANADO VACUNO

### Metodología

A raíz de la prolongación inhabitual de la estación lluviosa en octubre de 1986, el conteo del ganado resultó bastante difícil. En efecto, los charcos grandes y pequeños —sobre todo en la gran vega central— estaban llenos y por lo tanto los animales estaban sumamente dispersos, sin que se observaran las concentraciones importantes que suelen producirse alrededor de los aguajes durante la estación seca.

Por este motivo fue preciso contar los animales en los agostaderos, estando la mayoría de ellos diseminados en las zonas bajas (vegas y playas).

Con este fin aproximadamente 300 km. de "cortes" fueron efectuados en los distintos sectores del área (lo que representa como mínimo 600 km. recorridos dentro de los límites de la misma entre idas y vueltas).

Por otra parte, si se considera que la distancia promedio útil para el conteo de animales adultos (usando binoculares de aumento  $\times 9$  y en condiciones de visión regulares) es de más o menos 1.500 m, se puede considerar que la superficie teóricamente "rastreada" efectuando estos cortes fue de 90.000 ha (1.500 m. a ambos lados de la trayectoria del vehículo utilizado, o sea tres km. de ancho por 300 km. recorridos).

Desde luego, la "red" de los cortes efectuados fue más densa en las áreas accidentadas, o sea en las que presentaban obstáculos para la visión del ganado, mientras que en las grandes planicies fue posible, en ciertas ocasiones y siempre que no se aglomera-

ran en rebaños muy densos, contar animales adultos a 2.000 y hasta 3.000 m. de distancia desde puntos elevados tales como cerro Bola, el pico Teyra, el cerro Las Lilas, la duna de yeso al suroeste del Charco Salado, la Loma Blanca, las laderas del cerro San Ignacio, etc.

Finalmente, con el fin de eliminar los riesgos de doble conteo, los animales fueron contados únicamente durante el primer recorrido efectuado, aún cuando las condiciones de circulación imponían regresar por el mismo itinerario e incluso cuando durante el regreso aparecían animales en determinados tramos de trayecto en los que no se les había observado a la ida.

Pero el problema planteado por este tipo de evaluación era precisamente el del grado de sub-evaluación del mismo. En efecto, contrariamente a las zonas de África en las que acostumbramos a llevar a cabo operaciones de conteo de ganado, en el norte de México los becerros se crían con las madres en el campo, mientras que en África suelen quedar encerrados en corrales hechos con ramas de arbustos espinosos hasta el destete. Ahora bien, sucede que en el campo una proporción importante de los becerros se vuelve casi invisible a más de 100 m de distancia quedando disimulados por la vegetación y lo mismo sucede cuando las vacas se juntan para conformar rebaños con sus crías, puesto que los animales pequeños desaparecen entre los adultos. También pasan desapercibidos a menudo en el campo animales adultos rumiando a la sombra después de tomar agua y, en algunos casos, animales ariscos que se echan a correr cuando oyen el ruido de un motor.

Afortunadamente, tuvimos la suerte de poder contar todo el ganado de una de las unidades de producción (rancho San Ignacio) en ocasión del encierro anual realizado con el fin de destetar y marcar los becerros y de apartar los animales destinados a la venta. Sabiendo así cuál era el número exacto de cabezas de ganado existentes en el rancho y estando este último completamente cercado, efectuamos a continuación una serie de cortes dentro de los límites del mismo, volviendo a contar los mismos animales esta vez libres en los agostaderos: este nuevo conteo arrojó como resultado un número de animales que representaba apenas un 45% del ganado existente.

Por otra parte, el rancho San Ignacio es muy representativo de la zona en lo que a condiciones naturales se refiere, ya que abarca las principales unidades fisiográficas características de esta zona (cerros, bajadas, playas y vegas) con sus respectivas formaciones vegetales.

Por estos motivos consideramos que este coeficiente de 45% puede ser extrapolado y que representa la proporción global de los animales contados en relación con los animales existentes en la zona de estudio, a fines de 1986.

## Los resultados

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, hemos llegado a los siguientes resultados:

		Animales contados en el campo	Animales probables
1	Carrillo, La Soledad, Rancho San Ignacio	1.105	2.450
2	Colonia Ganadera, Las Lilas, Santa María de Mohovano, Venado Gacho	579	1.300
3	Granja Morelos, Rancho San Felipe	1.172	2.600
4	Jaboncillo, Los Álamos, La Flor	183	400
TOTAL		3.039	6.750

Hemos reagrupado intencionalmente en este cuadro las distintas unidades de producción ganadera de acuerdo a criterios de vecindad geográfica, ya que los datos de cantidades de animales a nivel de cada unidad de producción siempre han de ser considerados como confidenciales.

Por otra parte, las cifras probables han podido ser comprobadas en base a:

- Informaciones proporcionadas por personas ajenas sobre el número de cabezas de tal o cual ejido.
- Informaciones relacionadas con las cantidades de agua consumidas por los animales durante la estación seca, cuando el agua es acarreada en camiones, sabiendo que el consumo diario promedio es de 30 litros por cabeza con temperaturas diurnas de 40°C (contra 20 litros en la temporada fresca y 10 litros en la estación lluviosa).
- Informaciones relacionadas con la cantidad de becerros vendidos por determinado ejido o ganadero, etc.

La misma obligación de reserva no nos permite detallar estas informaciones a nivel de las distintas unidades de producción, pero confirman que en 1986 la cantidad de ganado vacuno que utilizó los agostaderos del área estudiada estuvo comprendida entre 6.500 y 7.000 cabezas.

En cuanto a las cabras y a los borregos, se puede estimar en 450 cabezas el conjunto de las dos especies, mientras que estimamos en 350 cabezas la cantidad de yeguas, en su mayoría destinadas a la producción de mulas, sobre todo en el sector ubicado al oeste de la Laguna de Palomas.

Lamentablemente, debido a las diferencias de métodos utilizados, es difícil decir

si estas cifras traducen un aumento real del ganado en la zona de estudio, en comparación con los datos de 1981. Lo que sí parece cierto es que en todas las unidades de producción relevadas por Whyte y Burton (1981), el ganado ha disminuído o se ha mantenido estable.

En cuanto al ganado vacuno, indudablemente ha disminuído dentro del Rancho San Ignacio, pero en 1981 este rancho tenía una cantidad de animales más importante que la que constaba en el informe Whyte-Burton.

En el norte y noreste de la zona (ejidos Las Lilas, Santa María de Mohovano y Unión Ganadera) los resultados a que hemos llegado no son muy diferentes de los del informe citado y son más bien algo inferiores (1.300 cabezas contra 1.400) lo que podría reflejar un estancamiento del ganado en esta área.

En cambio, en lo que se refiere al sur de la zona de estudio (sector de Las Tortugas: presones Los Desvíos, San Carlos y cerro Bola) ya hemos mencionado el hecho de que el informe Whyte-Burton no contempla este sector, de tal suerte que es imposible formular cualquier hipótesis.

Finalmente, en lo que se refiere al ganado caprino y ovino, así como a las yeguas, opinamos que estas diferentes clases de animales se han multiplicado desde 1981 pero moderadamente, y esto de acuerdo a estimaciones basadas más en entrevistas sostenidas con algunos moradores de la zona que en conteos sistemáticos como en el caso del ganado vacuno.

En conclusión, no pensamos que esta zona haya experimentado variaciones espectaculares en materia de densidades de ganado en el transcurso de los cinco o seis últimos años, pero sí en un pasado más remoto como veremos más adelante.

## EL ESTUDIO DEL APROVECHAMIENTO DE LOS AGOSTADEROS

### Metodología

El estudio detallado de las variaciones estacionales en las cargas animales soportadas por los agostaderos supone un seguimiento sistemático a lo largo del año de una muestra de ganado que tenga libre acceso a los diferentes ecosistemas representativos del área, con observaciones repetidas mensualmente como mínimo.

Estas observaciones deben contemplar los puntos siguientes:

- Identificación de los sitios de abrevamiento.
- Ritmos de abrevamiento.
- Identificación de las formaciones vegetales utilizadas en un momento dado valiéndose de los mapas de vegetación existentes, y cartografía de los límites de las áreas de pastoreo alcanzadas a partir del punto de abrevamiento en un momento dado.
- Identificación de las especies consumidas preferencialmente por el ganado dentro de cada formación vegetal.

Evaluación de la cantidad de biomasa consumida por el ganado dentro de una formación vegetal dada en un período dado. En las zonas áridas de África, por ejemplo, se calcula que un cebú consume en promedio 6.5 kg. de materia seca diariamente, de tal modo que es fácil calcular la cantidad consumida por un grupo de animales en un área de pastoreo cartografiada de acuerdo con las observaciones realizadas durante un período dado.

La finalidad de un estudio de este tipo es determinar si existe o no peligro de degradación de la vegetación por causa de sobrepastoreo y supone un estudio previo de la oferta forrajera realizado por un especialista en Ecología Vegetal.

Sin embargo, en función de la información colectada hasta ahora, no hemos podido aplicar este esquema y por lo tanto, sólo estamos en medida de proporcionar una primera estimación muy general y muy aproximada de las densidades animales soportadas por las principales áreas ecológicas de la zona de estudio, simplemente a partir de la observación de la situación global efectuada en la estación post-lluviosa, es decir, en octubre-noviembre de 1986, y de las informaciones recolectadas mediante entrevistas con los ganaderos de la zona de estudio.

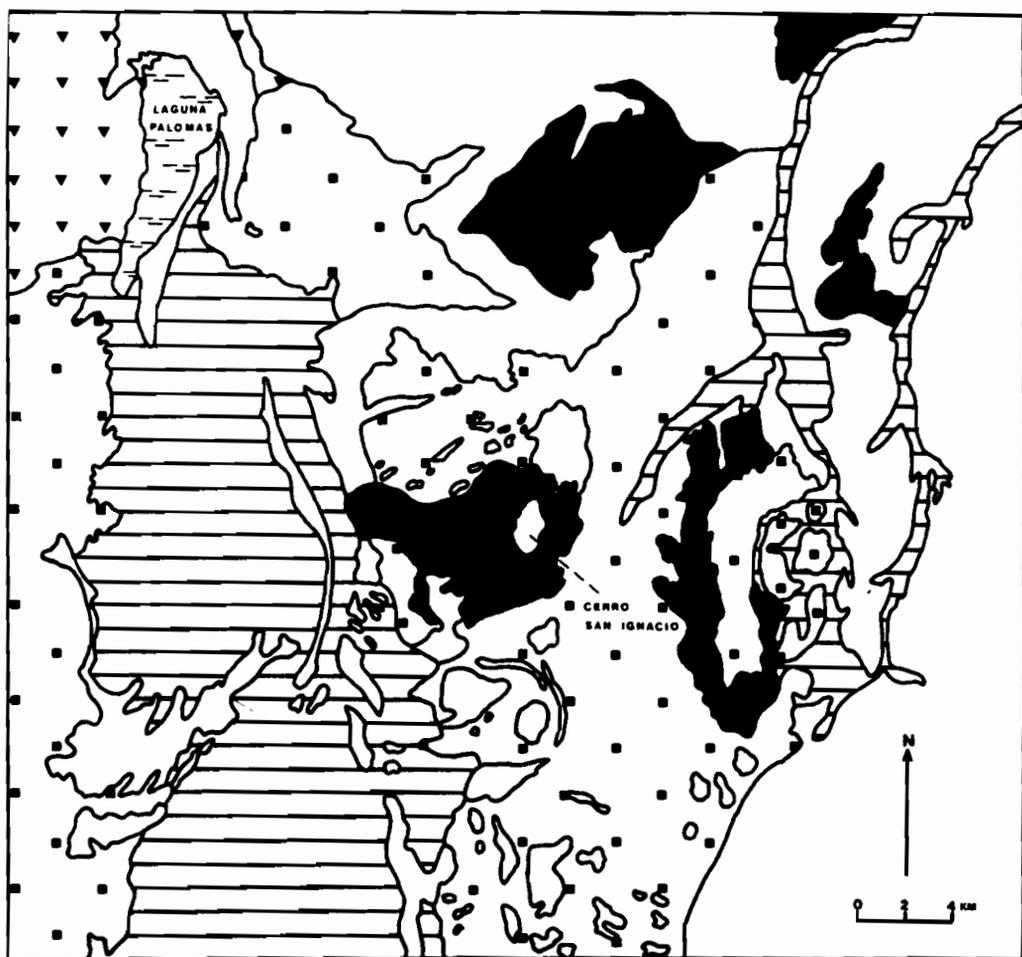
Además, hemos utilizado las valiosas informaciones de Morello y Camberos (1979) y del mapa de vegetación (Montaña 1987) el cual hemos usado como guía de campo y como fondo cartográfico para delimitar las áreas estacionales de pastoreo, como veremos a continuación.

### Las secuencias estacionales

De acuerdo con estas diversas fuentes de información, parece que se pudieran distinguir las siguientes tres situaciones fundamentales en lo que se refiere a la utilización de los agostaderos del área en relación con las condiciones climáticas (Mapa 1):

1.- La situación de estación lluviosa y post-lluviosa, que va aproximadamente de principios de junio a fines de octubre. A pesar de la gran variabilidad de las precipitaciones, Cornet (1987) afirma que el 71% del total anual de precipitaciones cae de junio a septiembre incluidos. Por estación post-lluviosa nos referimos a una temporada con precipitaciones escasas (básicamente el mes de octubre), pero durante la cual los charcos temporarios de vegas están todavía llenos y la vegetación herbácea todavía verde, tanto las gramíneas perennes (como *Hilaria mutica* y *Sporobolus airoides*) como las anuales, conocidas estas últimas por los moradores del área como "zacates de agua". Esta temporada es pues la de los agostaderos de vegas y playas.

2.- La situación de estación seca, fría y templada, o sea desde principios de noviembre hasta fines de marzo: de acuerdo con Cornet (1987), la temperatura promedio de estos meses es inferior a 20°C (y el promedio de las máximas es inferior a 30°C). No obstante, los pastizales de vegas y de playas (pajonales y sabanetales) empiezan



Mapa 1. Utilización de los recursos vegetales de la Reserva de Mapimí. Rayado horizontal: áreas de pastoreo de estación lluviosa y post-lluviosa. Cuadrados llenos: área de pastoreo de estación seca, fría y templada. Negro: áreas de pastoreo de estación seca y cálida (nopaleras). Blanco: áreas sin uso pastoril (dunas, lomas y sierras calcáreas, etc.). Triángulos llenos: áreas subutilizadas. Fondo cartográfico elaborado en base al mapa de vegetación de Montaña (1987).

a mermar y, según Morello y Camberos (1979), es cuando “comienza la crisis forrajera neta y domina el forrajeo sobre el pastoreo”.

Por otra parte, los únicos recursos en aguas superficiales en esta época son los presones, los cuales por razones obvias se encuentran en su mayoría asentados en áreas de colinas y por ende relativamente distantes de las grandes vegas y otros bajíos.

Por consiguiente, en esta estación los agostaderos más utilizados por el ganado se hallan en aquellas zonas clasificadas como bajadas inferiores y cubiertas por una vegetación de tipo mogotes, según la terminología local. Se trata de grandes extensiones de matorrales en los cuales la vegetación se concentra en manchones alargados compuestos por varias especies leñosas incluyendo el mezquite (*Prosopis glandulosa*), la gobernadora (*Larrea tridentata*) y otras especies como (*Flourensia cernua*), etc. pero también por gramíneas anuales o perennes, incluyendo la sabaneta (*Hilaria mutica*) siempre apetecida por el ganado.

Además, cabe notar aquí que en esta misma temporada una parte del ganado acostumbra consumir “navajita” (*Bouteloua gracilis*) en los sectores accidentados, tales como la línea de relieves que se extiende desde el cerro Las Lilas al norte hasta el cerro Venado Gacho al sur, sobre todo en los días de intenso frío, puesto que los animales encuentran en estas áreas sitios abrigados del viento.

Durante esta temporada, la distancia recorrida por el ganado desde los agujajes hasta las áreas de pastoreo puede alcanzar 6 o 7 km.

3.- La situación de estación seca y cálida, es decir principalmente de los meses de abril y mayo en los que la temperatura diaria promedio supera los 20°C (con un promedio de máximas superiores a 30°C y una evapotranspiración de 348 mm en mayo, de un total anual de 2.805 mm, según Cornet, 1987), se caracteriza por una concentración del ganado en las bajadas superiores e incluso en las laderas de los cerros y de las lomas, en busca de la vegetación suculenta que crece en esos ambientes.

En aparente paradoja, en efecto, el ganado se concentra en las zonas más húmedas durante la estación lluviosa y en las zonas más áridas durante el apogeo de la estación seca, ya que en esta última temporada las gramíneas perennes que crecen en las vegas y en las bajadas inferiores se han lignificado demasiado para ser consumidas, mientras que las anuales han desaparecido por el pisoteo o por la acción del viento, etc. Por lo tanto, los últimos recursos forrajeros consisten en los nopales, sobre todo *Opuntia rastrera* y *O. microdasys* (nopal cegador) que son las dos especies más apetecidas, a pesar de que esta última lesiona los ojos del ganado con sus diminutas espinas.

Por este motivo, muchos vaqueros se dedican a “chamuscar”, con una especie de lanza-llamas, las espinas de los nopales (de acuerdo a Morello y Camberos, 1979: “un vaquero puede chamuscar *Opuntia* para 200 animales/día. Otro valor frecuentemente citado es que un vaquero chamusca para 60 animales”). Además, el consumo de los nopales presenta la ventaja de reducir ligeramente las necesidades biológicas en agua del ganado, gracias precisamente a la proporción elevada de líquido almacenado en los tejidos vegetales de este tipo de forraje.

En efecto, en esta temporada la mayor parte de los presones se encuentran ya secos

(el único presón verdaderamente permanente de la reserva es el presón San Carlos) y se hace necesario acarrear el agua para el ganado hasta las nopaleras, con pipas o mediante tuberías, bombeando el agua de los pozos permanentes o de los ojos de agua, como en La Flor, en San Ignacio o en Las Lilas.

### Las áreas de pastoreo: relatividad del concepto

Ahora bien, si a estas tres temporadas tales como acabamos de caracterizarlas, corresponden tres áreas de pastoreo distintas, estas últimas no se diferencian entre si únicamente en base a criterios ecológicos sino también de accesibilidad por el ganado en relación con la oferta de agua. Ciertos pastizales de vega por ejemplo al noreste y al este de la presa San Carlos son utilizados aparentemente durante la primera parte de la estación seca y no durante la estación lluviosa por la siguiente razón: el ganado de éstas áreas acostumbra utilizar estos pastizales mientras toma agua en el presón San Carlos debido a su proximidad. En la estación lluviosa, en cambio, el mismo ganado consume los zacates de la gran vega central, tomando el agua de los charcos temporarios de estación lluviosa. También puede ocurrir que ciertos animales consuman nopales desde el principio de la estación seca (hemos observado vacas comiendo nopales a principios de noviembre en el sector de Loma Blanca, en la parte noreste del área estudiada).

De acuerdo con los vaqueros del área, ciertos animales manifiestan preferencias o hábitos alimenticios particulares.

Por estos diversos motivos, es preciso relativizar este concepto de "áreas de pastoreo" y reiterar que estas últimas, tales como las hemos cartografiado a continuación, tienen simplemente un carácter indicativo y también que este trabajo constituye, para su autor, tan sólo una primera aproximación a la ecología del pastoralismo con enfoque geográfico en el norte de México, y que la cantidad de datos recogidos hasta ahora no nos han permitido realizar un análisis más preciso del sistema y de su funcionamiento.

### Las áreas no utilizadas por el ganado

Llama la atención el hecho de que una buena parte del territorio estudiado no es objeto de utilización por parte del ganado debido a dos motivos principales: la ausencia o casi ausencia de un estrato herbáceo y la ausencia de agujajes en determinados sectores.

La ausencia o la insuficiencia del estrato herbáceo se pone de manifiesto en primer lugar en la zona de dunas al norte del área estudiada. Estas dunas se caracterizan por una vegetación particular en la que dominan *Fouquieria splendens*, *Larrea tridentata*, *Dalea scoparia*, *Yucca elata*, etc. (ninguna de estas especies es apetecida por el ganado).

También se observa la ausencia o escasez del estrato herbáceo en aquellas áreas

conocidas como "peladeros", muchas de ellas ubicadas en los alrededores de los agujeros o en lugares donde el ganado acostumbra a descansar. Estos peladeros presentan, por lo general, un aspecto verdaderamente desértico, con grandes extensiones de suelo desnudo y con raros poblamientos de *Larrea tridentata*. Algunos de ellos están cubiertos por un pavimento de desierto poco desarrollado (Breimer, 1985).

Finalmente, las colinas calcáreas al este de la reserva se caracterizan por una vegetación leñosa en la que predominan *Fouquieria splendens*, *Larrea tridentata*, así como varias especies de agaves (*Agave lecheguilla* por ejemplo) y "candelilla" (*Euphorbia antisiphilitica*), (Montaña, 1987).

La única especie de gramínea que se da con cierta frecuencia en estos ámbitos es *Bouteloua gracilis*, pero de todos modos queda fuera del alcance del ganado por la ausencia de agujeros.

### Las áreas sub-utilizadas

Además de las áreas de pastoreo y de las áreas sin uso pastoril, se puede considerar que existe en la zona de estudio, una tercera categoría de áreas que se caracterizan a la vez por una importante oferta forrajera y por una casi ausencia de ganado vacuno. Es el caso de todas aquellas áreas situadas al oeste de la Laguna de Palomas que presentan grandes extensiones de pastizales de *Hilaria mutica* y de *Sporobolus spiciformis* (Montaña, 1987), pero que son utilizados únicamente para la crianza de yeguas y burros cuya finalidad es la producción de mulas, de tal manera que se puede decir que la relativa subutilización de estos agostaderos resulta más de circunstancias socioeconómicas que ecológicas.

## MAPA DE UTILIZACIÓN DE LOS RECURSOS VEGETALES: PRESENTACIÓN

Este mapa ha sido realizado a partir del mapa de vegetación a escala 1:100.000 de Montaña (1987), como lo hemos mencionado anteriormente, pero reducido a escala 1:200.000 por razones de coincidencia de la publicación, sin que esta reducción acarree ninguna pérdida de información.

La extrema precisión de dicho mapa de vegetación ha posibilitado la transposición y la reducción de escala de documentos de trabajo previamente elaborados a 1:65.000 que es la escala de las fotografías aéreas utilizadas en el campo.

En efecto, pudimos identificar sin dificultad en el mapa de vegetación, los límites de las áreas de pastoreo que habíamos localizado en el campo y sobre las fotografías aéreas, ya que casi siempre coincidían con límites de mosaicos en el mapa de vegetación.

En nuestro mapa constan pues las distintas áreas estacionales de pastoreo y las áreas sub o no utilizadas tal como las caracterizamos en el capítulo anterior.

La superficie total representada es de 172.000 ha. Las superficies parciales que hemos medido son las siguientes:

— Áreas de pastoreo	99.762,46 ha o sea 58,0% del total
— Áreas sin uso	64.529,46 ha o sea 37,5% del total
— Áreas subutilizadas	5.328,05 ha o sea 3,0% del total
— Presones y lagunas	2.395,11 ha o sea 1,5% del total
 Superficie total	 172.015,11 ha      100%

En cuanto a las áreas de pastoreo que totalizan 99.762,46 ha, consideramos que se descomponen en áreas estacionales como sigue:

— Áreas de estación lluviosa y post-lluviosa	37.528 ha o sea 37,6% de todas las áreas de pastoreo y 21,8% del total.
— Áreas de estación seca, templada y fría	49.051,69 ha o sea 49,1% de todas las áreas de pastoreo y 28,5% del total.
— Áreas de estación seca y cálida	13.182,68 ha o sea 13,2% de todas las áreas de pastoreo y 7,6% del total

De estas cifras se desprende que la superficie aprovechada por el hombre a través del ganado representa aproximadamente 61% del conjunto, y también que las áreas de pastoreo de estación lluviosa y post-lluviosa que son utilizadas durante cinco meses al año, o sea durante el 41% del tiempo representan tan sólo el 37,6% de todas las áreas de pastoreo. Como la productividad de dichas áreas es mucho más elevada que la de las áreas de estación seca, es de suponer que este hecho traduzca una situación de relativo equilibrio entre la oferta forrajera y las densidades animales, y que el ganado abandone estas áreas de estación lluviosa al cabo de cinco meses, más por falta de agujajes que por falta de pastizales.

En realidad, en esta materia las cosas están lejos de ser claras como veremos a continuación.

## LAS DENSIDADES ANIMALES

De acuerdo con las superficies utilizadas, con su período de uso y con el número de animales implicados, es posible calcular las densidades animales soportadas por las principales áreas de pastoreo durante su período de utilización y por ende extrapolar las densidades animales promedio soportadas por las mismas.

## Áreas de estación lluviosa y post-lluviosa (Mapa 2)

Hemos evaluado en 5.300 cabezas pertenecientes a los ejidos La Soledad, Los Alamos, Jaboncillo, al poblado de Carrillo, a los ranchos San Ignacio, San Felipe y al ejido Granja Morelos, el ganado que utiliza los agostaderos de *Sporobolus airoides* y de *Hilaria mutica* de la gran depresión tectónica, o gran vega occidental, desde la Laguna de Palomas al norte hasta el límite sur de la zona de estudio, menos una superficie de 9.000 ha cercada y perteneciente al ejido La Flor. El resto representa 21.131 ha, o sea 3.9 ha por cabeza de ganado durante cinco meses que se pueden extrapolar a 9.4 ha por cabeza al año.

Las 9.000 ha correspondientes al ejido La Flor en cambio han soportado densidades insignificantes estos últimos años debido al reducido número de animales existentes hasta tal punto que, en las fotografías tomadas por el satélite SPOT, esta zona resalta cual una parcela experimental, lo que demuestra "a contrario" la importancia de la presión soportada por los agostaderos de vegas y playas periféricos.

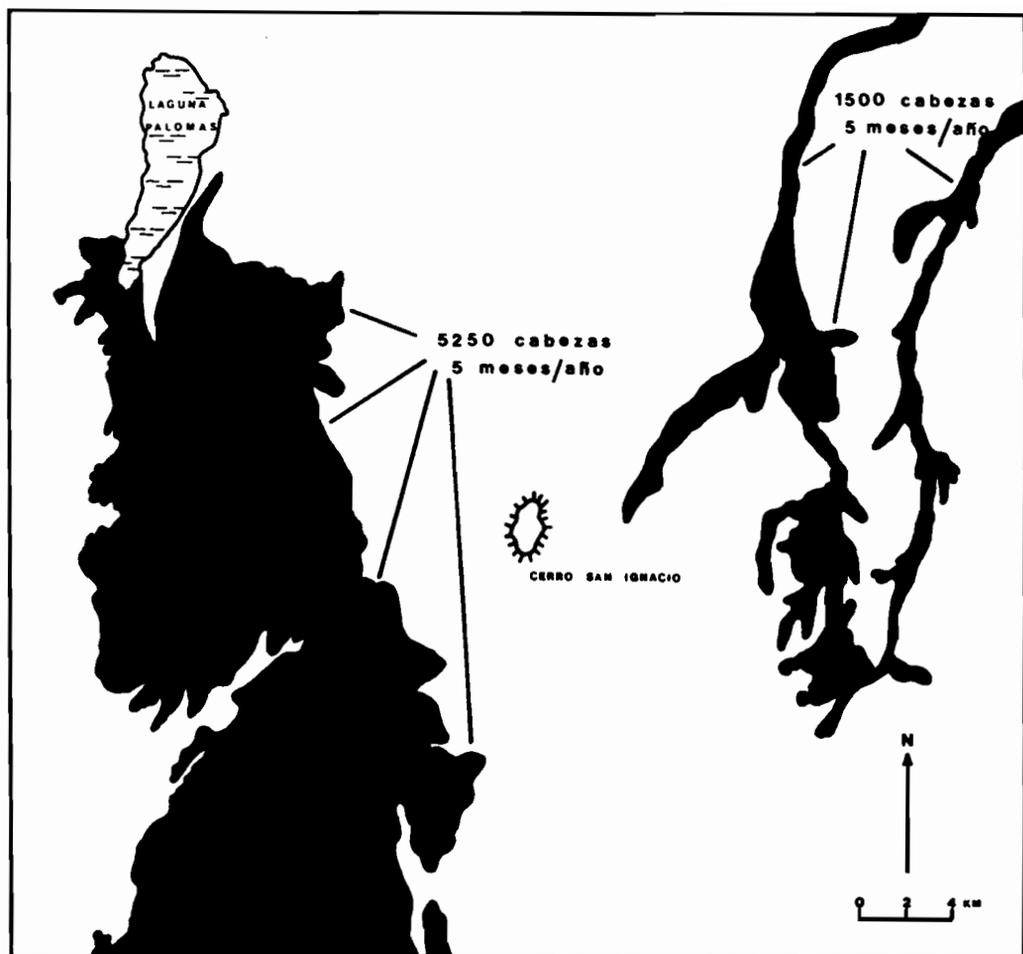
En cuanto a las áreas de pastoreo de estación lluviosa y post-lluviosa del este del área estudiada, conformadas por los cauces de los arroyos que discurren hacia el N-NE a partir del sistema cerro Las Lilas-cerro Venado Gacho, abarcan una superficie total de 6.396,5 ha y soportan una carga que estimamos en 1.500 cabezas de ganado, pertenecientes a los ejidos Las Lilas, Santa María de Mohovano y Unión Ganadera, así como al rancho Venado Gacho, durante cinco meses, o sea 4,9 ha por cabeza durante cinco meses o 11,7 ha por cabeza al año.

## Áreas de estación seca, fría y templada (Mapa 3)

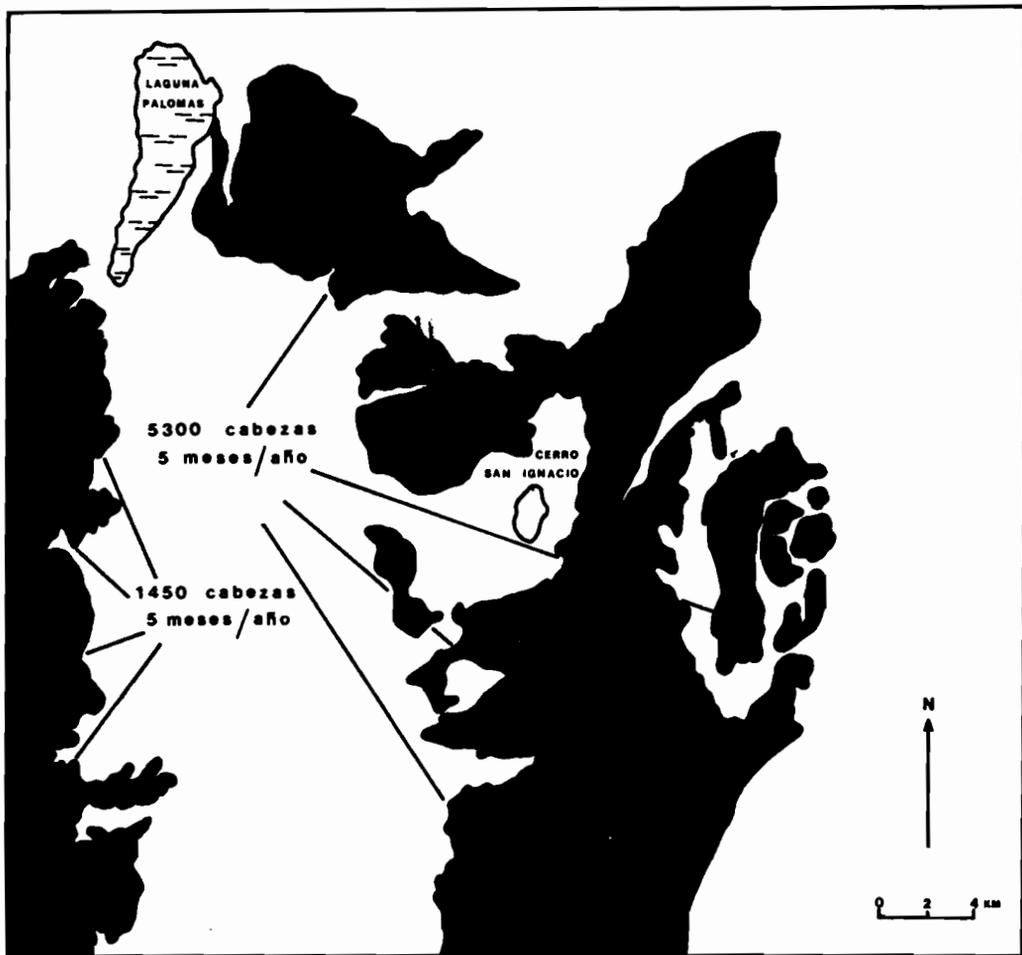
En el mapa 3 estas áreas aparecen repartidas en tres sectores distintos, siendo el sector oriental el más grande con una superficie de 31.074 ha, al que conviene agregar el sector norte que tiene una superficie de 6.911,4 ha.

La superficie total de estos dos sectores es pues 37.985,4 ha y se puede considerar que los agostaderos que los conforman soportan aproximadamente 5.300 cabezas de ganado también durante cinco meses (de principios de noviembre hasta fines de marzo), o sea una superficie de 7,16 ha por cabeza de ganado durante esta temporada, lo que corresponde a 17,2 ha por cabeza al año.

En lo que se refiere al tercer sector, ubicado en el margen oeste de la gran vega occidental, estimamos en 1.450 cabezas el número de animales que utiliza estos agostaderos, pero no estamos en capacidad de calcular las densidades animales que los mismos soportan. En efecto, esta área se extiende hacia el oeste mucho más allá de los límites del mapa y no disponemos de ninguna información que permita delimitarla ni sobre el ganado existente fuera del área cartografiada.



Mapa 2. Áreas de pastoreo de estación lluviosa y post-lluviosa. Fondo cartográfico elaborado en base al mapa de vegetación de Montaña (1987).



Mapa 3. Áreas de pastoreo de estación seca, fría y templada. Fondo cartográfico elaborado en base al mapa de vegetación de Montaña (1987).

## Áreas de estación seca cálida (Mapa 4)

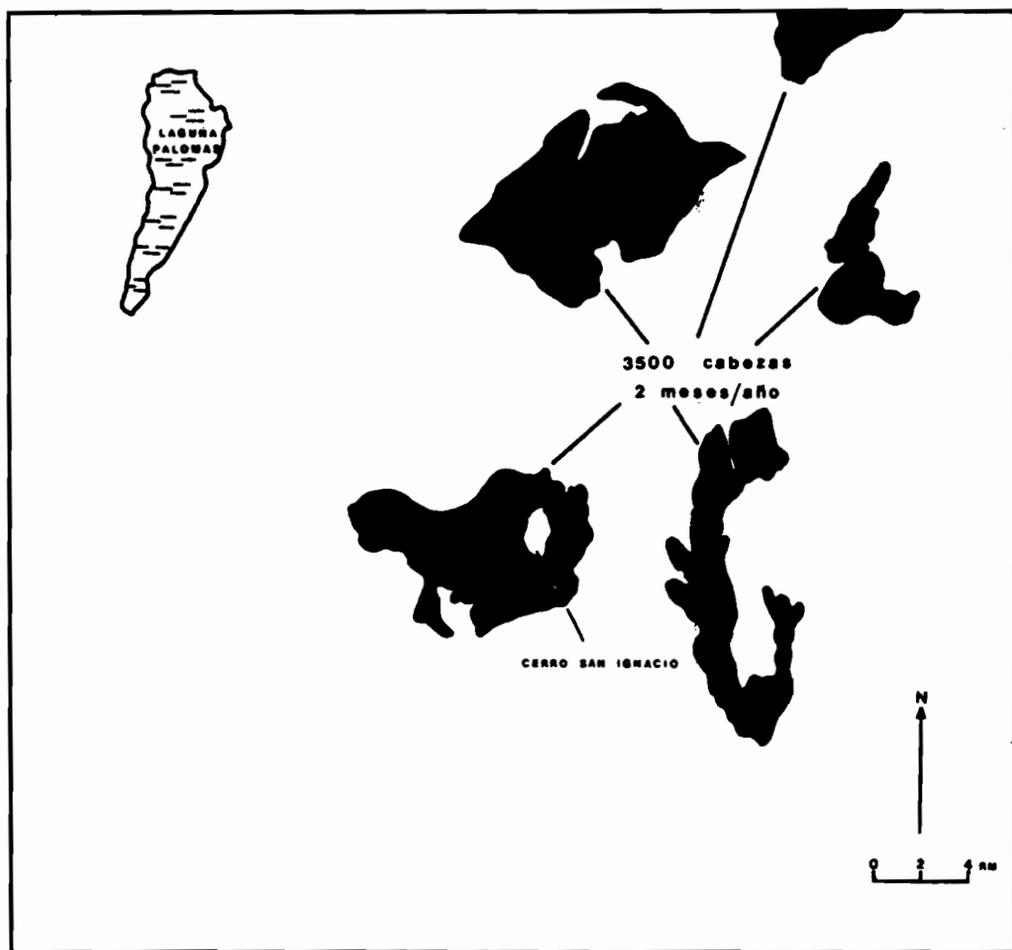
El área de pastoreo utilizada durante esta temporada (meses de abril y mayo) también está dividida en varios sectores que coinciden con las nopaleras existentes en las laderas del cerro San Ignacio (sector suroeste), en el sistema cerro Las Lilas, cerro Venado Gacho, (sector sureste) en la Loma Blanca (sector noreste) y, finalmente, en algunos sectores interdunas (sectores noroeste y norte), el conjunto llega a sumar 13.183 ha. Estas áreas son objeto de una utilización intensa por parte del ganado de los ranchos San Ignacio y Venado Gacho, así como de los ejidos Las Lilas, Santa María de Mohovano, Unión Ganadera y La Soledad. Estimamos en 3.500 cabezas la cantidad de animales que utilizan estas nopaleras durante dos meses en promedio, lo que corresponde a una superficie de 3,8 ha por cabeza durante esta temporada y a 22,8 ha por cabeza al año.

Aunque estas cifras constituyan tan solo aproximaciones por los motivos antes mencionados, y aunque esperamos estar en medida de precisarlos en el futuro a través de observaciones repetidas de acuerdo con las variaciones estacionales, puede ser interesante compararlas con las cargas potenciales calculadas por la Comisión Técnico-Consultiva para la Determinación Regional de los Coeficientes de Agostadero de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (COTECOCA, 1978, 1979a, 1979b).

### Densidad de animales y sobrepastoreo actual

Las conclusiones de la citada Comisión pueden ser resumidas como sigue:

- Playas y vegas del Bolsón de Mapimí (áreas de pastoreo de estación lluviosa y post-lluviosa): las cargas recomendadas varían de 14,8 ha por cabeza al año con agostaderos en excelentes condiciones hasta 32,7 ha por cabeza al año con agostaderos en pobres condiciones.
- Planos de la “zona del silencio” (sic): esta denominación, que hace referencia a una creencia según la cual existiría en la parte centro-norte del área de estudios una zona con anomalías en las transmisiones radioeléctricas, designa en efecto las áreas de pastoreo de estación seca, fría y templada, o sea las zonas de bajadas inferiores con agostaderos de mogotes: las cargas recomendadas son de 24,39 ha por cabeza y por año con agostaderos en condiciones excelentes y de 42,29 ha por cabeza y por año con agostaderos en malas condiciones.
- Lomeríos del Bolsón de Mapimí: esta última categoría abarca la mayor parte de las nopaleras utilizadas durante la estación seca cálida, y aquí las recomendaciones de la Comisión son de 26,44 ha por cabeza y por año con agostaderos en excelentes condiciones y de 62,84 ha por cabeza y por año con agostaderos en malas condiciones.



Mapa 4. Áreas de pastoreo de estación seca cálida (nopaleras). Fondo cartográfico elaborado en base al mapa de vegetación de Montaña (1987).

Ahora bien, de acuerdo con nuestras estimaciones los agostaderos clasificados como playas y vegas del Bolsón de Mapimí soportarían cargas de 11,7 ha y hasta de 9,4 ha por cabeza al año, o sea un promedio de alrededor de 10,5 ha por cabeza y por año. Los agostaderos correspondientes a la denominada "zona del silencio" y a áreas similares soportarían cargas de 17,2 ha por cabeza/año. Finalmente los agostaderos de los lomeríos del Bolsón de Mapimí soportarían densidades de 22,8 ha por cabeza/año.

La comparación entre las recomendaciones de la Comisión y nuestras estimaciones hacen resaltar por consiguiente un aparente sobrepastoreo, con cargas animales multiplicadas por coeficientes de 1,5 hasta 3,3 en los agostaderos de vegas, de 1,5 hasta 2,5 en los planos y de 1,1 hasta 2,8 en los lomeríos.

Pero hay que tomar en cuenta el hecho de que la Comisión integra en sus cálculos también aquellas áreas que hemos clasificado como áreas sin uso pastoril, de tal manera que si las integramos también en los nuestros podemos decir que globalmente la densidad de ganado en las áreas de pastoreo de estación seca (fría y cálida) es de 25,7 ha por cabeza/año (115.700 ha para 6.750 cabezas de ganado durante ocho meses) aproximadamente.

Esta carga es pues más o menos la que recomienda la Comisión en estas áreas, pero con agostaderos en excelentes condiciones, o sea en los años de pluviosidad elevada. En cambio, en los agostaderos de vegas, la carga seguiría siendo demasiado elevada en todos los casos.

En realidad, esta noción de sobrepastoreo es generalmente bastante empírica y carece a menudo de bases científicas, ya que de todas maneras el pastoreo modifica el medio natural determinando nuevos equilibrios que a su vez pueden verse afectados, por ejemplo en el caso de un aumento dramático de las densidades animales, etc.

Hemos señalado, en la primera parte de este trabajo, los criterios de sobrepastoreo expuestos por Morello y Camberos (1979), y opinamos que se aplican en la actualidad a ciertas áreas degradadas de la gran vega occidental (peladeros de vega). En cambio, no pensamos que las zonas con vegetación degradada que se observan en las áreas de pastoreo de estación seca sean zonas de degradación actual. Respecto a estas últimas compartimos la opinión expresada por Ezcurra y Montaña (1987) cuando escriben: "Con la posterior organización de las grandes explotaciones ganaderas durante el siglo diecinueve, el sobrepastoreo se convirtió en un problema más generalizado y se desencadenó el proceso de invasión de leñosas que transformó gran parte de los pastizales del norte árido". Simplemente, pensamos que las densidades animales actuales en estas áreas son compatibles con la conservación de un nuevo equilibrio pero que es la expresión de un desequilibrio anterior caracterizado entre otras cosas por esta invasión de leñosas mencionada por Ezcurra y Montaña (1987), ocurrida en el siglo pasado.

## EL PROBLEMA DEL MANEJO ANTIGUO DE LOS AGOSTADEROS

Resultaría particularmente interesante lograr una evaluación del ganado soportado por los agostaderos del Bolsón de Mapimí desde la mitad del siglo pasado hasta la Revolución, la cual trajo como consecuencia una disminución dramática de la cantidad de animales: “El advenimiento de la Revolución a principios de este siglo significó de hecho una marcada disminución de las cargas animales. . . En los estados del norte (Baja California, Chihuahua, Durango, Nuevo León, Sonora y Tamaulipas) el número total de vacunos descendió de 125 millones en 1902 a 312.000 en 1923, es decir una pérdida del 75% del stock ganadero en 20 años” (Ezcurra y Montaña, *op. cit.*).

De acuerdo con las informaciones que hemos recogido con los ganaderos de la zona de estudio, esta última contaba con dos haciendas antes de la Revolución: una de 25.000 ha que abarcaba lo que son actualmente los ejidos La Flor (13.000 ha) y Los Alamos (12.000 ha), y la otra, la hacienda Mohovano que se extendía desde el caserío de La Soledad al norte hasta Las Lilas al sur.

Es difícil apreciar cuál podía ser en aquel entonces la superficie de esta última hacienda, pero con toda seguridad debía superar las 50.000 ha, y en cuanto al número de vacunos que debía existir, el único indicio al que podemos referirnos es la superficie de los corrales de piedra que se hallan en La Soledad y en Las Lilas. Los de Las Lilas tienen una superficie de 12.500 metros cuadrados (125 m × 100 m), lo que consideramos correspondería a un encierro de 2.000 a 3.000 cabezas, y a un total de animales tres a cuatro veces superior (si se toma en cuenta la capacidad de los corrales actuales en relación con el ganado existente dentro de una determinada unidad de producción ganadera, rancho o ejido). Los corrales de La Soledad son un poco más pequeños y debían tener capacidad para albergar de 1.000 a 2.000 cabezas, o sea que en total podían existir entre 10.000 y 20.000 cabezas de ganado en una hacienda de este tipo y por consiguiente la carga soportada por los agostaderos tenía que ser mucho más elevada que las cargas actuales, quizá de una cabeza por cada 6 o 7 ha en ciertas épocas, lo que explicaría muchos aspectos de la degradación de la vegetación —peladeros e invasión de leñosas señalados por Ezcurra y Montaña (1987)— posiblemente irreversibles y que difícilmente se pueden explicar por las cargas actuales.

Pero estamos aquí en el campo de las hipótesis y sería muy importante para lograr un mejor entendimiento del proceso de evolución de la vegetación y de formación de los paisajes actuales de la reserva de Mapimí, realizar una encuesta histórica que contemplaría como mínimo los puntos siguientes:

- Número de haciendas existentes en la zona de estudio antes de la Revolución.
- Fechas y circunstancias de su formación.
- Límites y superficies respectivas.
- Utilización de los pastizales de acuerdo con los recursos en agua existentes en esa época.

- Ganado vacuno existente en cada hacienda (número de cabezas y períodos de utilización).
- Fechas y circunstancias de la desaparición de las haciendas.

Esta encuesta consistiría sobre todo en un trabajo de investigación bibliográfica y de búsqueda de documentos de archivos que requeriría tiempo y paciencia pero que podría ser sumamente fructífero.

### CONCLUSIÓN: EL BOLSÓN DE MAPIMÍ DENTRO DEL CINTURÓN ÁRIDO DEL PLANETA. ELEMENTOS DE COMPARACIÓN CON UNA ZONA ÁRIDA DE ÁFRICA

Hemos pensado que podría ser interesante concluir este trabajo con un esbozo de comparación entre los ecosistemas sometidos al pastoreo de esta región del norte de México y áreas ecológicamente vecinas —aunque geográficamente distantes— de nuestra biosfera, de la cual el Bolsón de Mapimí ha sido precisamente clasificado como reserva.

Desde luego, sólo nos referimos aquí a los grandes rasgos climáticos y botánicos y a sus implicaciones en el campo del eco-pastoralismo.

Concretamente, la Reserva de la Biosfera de Mapimí presenta muchas semejanzas con un área de África del oeste que se extiende al sur del Sáhara en el territorio de la República de Mali, conocida como “desierto del Gourma” en el cual hemos tenido una larga experiencia en el campo del eco-pastoralismo. Si bien esta región se encuentra entre 16° y 17° de latitud norte (y entre 0° y 2° de longitud oeste), contra 26-27° en el caso del Bolsón de Mapimí, y si la altitud promedio de la primera es de 500 m s.n.m. contra algo más de 1.000 m en el caso de la segunda, el clima, la vegetación y las grandes unidades fisiográficas sin embargo, son suficientemente parecidas como para permitir establecer comparaciones.

En efecto en ambos casos la pluviometría promedio anual es de aproximadamente 250 mm, con precipitaciones de tipo tropical, de junio a septiembre, y una evapotranspiración promedio anual superior a 2.500 mm.

Las condiciones de temperatura también son comparables aunque más elevadas en el Gourma que en el Bolsón de Mapimí. En efecto, en el Gourma ningún mes presenta una temperatura promedio inferior a 20°C mientras que en el Bolsón de Mapimí los promedios de noviembre, diciembre, enero y febrero están comprendidos entre 12° y 18°C. Por lo tanto el Gourma no conoce heladas pero el descenso de las temperaturas invernales, con mínimas absolutas de 3° o 4°C, es suficiente para inducir un reposo de la vegetación que se manifiesta por la caída de las hojas de muchas especies leñosas, así como una casi hibernación de ciertas especies animales, reptiles en particular. En cambio las temperaturas de verano, sobre todo las de las semanas que preceden a la aparición de las lluvias, son muy comparables registrándose máximas que superan los 40°C (máxima absoluta registrada en el Gourma: 48°C en mayo).

En el campo de la vegetación, una de las diferencias fundamentales entre el norte árido de México y las zonas tropicales áridas de África es que en estas últimas la vegetación herbácea está compuesta en su mayoría por gramíneas anuales con marcadas afinidades por las zonas arenosas. Por este motivo, las zonas de dunas o médanos de África son las que presentan la mayor oferta forrajera en estación seca con especies como *Aristida mutabilis*, *Schoenefeldia gracilis*, etc. que constituyen un forraje seco muy apetecido por el ganado cebú que se cría en estas áreas.

En México en cambio, los sistemas de dunas del norte del área estudiada, por ejemplo, no presentan ningún recurso para el ganado puesto que casi no tienen estrato herbáceo.

Por el contrario, las gramíneas perennes que crecen en las depresiones con cauces temporarios de tipo vegas en el Gourma, tales como *Cymbopogon giganteus* y *Vetiveria africana*, no son muy aprovechados por el ganado por ser, generalmente, demasiado duras. Los únicos zacates de vegas en estas partes de África están representados por *Echinochloa stagnina* que crece en los charcos permanentes o semi permanentes y es objeto de un pastoreo intenso, y un corto césped bajo de *Paspalum sp.* en los charcos secos.

En cambio, el cebú africano es mucho más consumidor del estrato leñoso que el ganado que se cría en el Bolsón de Mapimí: las hojas tiernas de ciertas papilionáceas que crecen incluso sobre suelos esqueléticos como *Pterocarpus lucens* y algunas otras que conforman asociaciones vegetales de tipo "mogotes" en el desierto de Gourma, constituyen prácticamente el único forraje para el ganado de estas áreas al finalizar la estación seca, mientras que en esa época el ganado de Mapimí se dedica a consumir nopales.

En el campo del manejo del ganado y del aprovechamiento de los agostaderos, una diferencia fundamental entre la ganadería extensiva de las zonas áridas de África y la que se practica en el norte árido de México, es que en África el ganado tiene acceso a todas las formaciones vegetales existentes, y ello dentro de un área que puede llegar a tener hasta un millón de hectáreas de superficie puesto que la práctica de las transhumancias estacionales es generalizada y no existen obstáculos artificiales del tipo de cercas para los desplazamientos del ganado.

En el caso de México en cambio, y particularmente en el área estudiada del Bolsón de Mapimí, es evidente que la presencia de cercas y el carácter sedentario de la ganadería acarrear desigualdades entre las diferentes unidades de producción (algunas no tienen acceso a los ricos pastizales de *Sporobolus airoides* por ejemplo), a la vez que importantes desequilibrios en las densidades animales.

Pero la diferencia más fundamental entre ambas zonas es que las densidades de ganado son mucho más elevadas en las zonas áridas de África del oeste que en el norte de México, ya que en África el ganado está todavía poco integrado a la economía de mercado y existe una especie de simbiosis entre el animal y el hombre siendo este último, antes que todo, un consumidor de leche. En este contexto, es muy común que con unas densidades humanas de tres habitantes por kilómetro cuadrado, las densidades animales sean de 12 vacunos por kilómetro cuadrado, o sea de un vacuno por cada 8,3 ha, y a veces de un vacuno por cada cinco o seis ha.

Sin embargo, en estas últimas regiones se considera que no hay riesgos de sobre-

pastoreo mientras el número de hectáreas por cabeza de vacuno permanece inferior al número de meses ecológicamente secos en el año, o sea de 9 a 10 ha por cabeza de vacuno al año, lo que obviamente representa una diferencia de apreciación muy marcada con las normas aplicables en el norte de México (COTECOCA, 1978, 1979a, 1979b).

De todas maneras, la respuesta a este interrogante fundamental para el porvenir de los ecosistemas del Bolsón de Mapimí, pero también para otras áreas del desierto Chihuahuense, del cual la reserva de Mapimí representa tan solo una muestra, no podrá hallarse sino después del seguimiento de la evolución del ganado —y de la vegetación— durante varios años.

La elaboración de un programa de investigación de este tipo a largo plazo, cuya finalidad sería precisar el umbral de densidad de vacunos realmente compatible con la conservación de los recursos vegetales en la Reserva de Mapimí podría convertirse en uno de los temas de reflexión privilegiados para el futuro.

#### BIBLIOGRAFÍA

- BREIMER, R. 1985. *Soil and Landscape Survey of the Mapimi Biosphere Reserve, Mexico*. UNESCO. 145 p.
- CORNET, A. 1987. Principales características climáticas. En: Montaña, C. (Ed.). *Estudio integrado de los Recursos Vegetación, Suelo y Agua en la Reserva de la Biosfera de Mapimí. I. Ambiente Natural y Humano*. Publicaciones del Instituto de Ecología. México (en prensa).
- COTECOCA. 1978. *Coefficientes de Agostadero del Estado de Chihuahua*. COTECOCA. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México, D.F., 151 p.
- COTECOCA. 1979a. *Coefficientes de Agostadero del Estado de Durango*. COTECOCA. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México, D. F., 200 p.
- COTECOCA. 1979b. *Coefficientes de Agostadero del Estado de Coahuila*. COTECOCA. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México, D.F., 255 p.
- EZCURRA, E. y C. MONTAÑA. 1987. La evolución de uso de los recursos naturales renovables en el norte árido de México. En: Montaña, C. (Ed.). *Estudio Integrado de los Recursos Vegetación, Suelo y Agua en la Reserva de la Biosfera de Mapimí. I. Ambiente Natural y Humano*. Publicaciones del Instituto de Ecología. México (en prensa).
- MONTAÑA, C. 1987. Las formaciones vegetales. En: Montaña, C. (Ed.). *Estudio Integrado de los Recursos Vegetación, Suelo y Agua en la Reserva de la Biosfera de Mapimí. I. Ambiente Natural y Humano*. Publicaciones de Instituto de Ecología (en prensa).
- MORELLO, J. y H. CAMBEROS. 1979. *Diagnóstico de Potencialidades y Restricciones del Desarrollo Ganadero en el Bolsón de Mapimí*. Instituto de Ecología. México. 190 p.
- WHYTE, A e I. BURTON. 1981. *Socio-economic and Perception Studies in the Biosphere Reserve in the Bolson de Mapimi, México*. Instituto de Ecología. México, 80 p.

# La Evolución del Uso de los Recursos Naturales Renovables en el Norte Árido de México\*

EXEQUIEL EZCURRA y CARLOS MONTAÑA

## RESUMEN

En este trabajo se discuten las características del uso de los recursos naturales en el norte árido de México a través de la historia. A diferencia de otras regiones áridas del mundo, el uso por el hombre de los desiertos mexicanos para actividades distintas a las de grupos recolectores y cazadores data sólo de algunos pocos siglos. Estas actividades comienzan, en efecto, durante el período colonial asociadas generalmente a la explotación de yacimientos minerales.

Al desaparecer la encomienda y el repartimiento, surgió en México colonial una nueva clase de terratenientes españoles y criollos que controlaban grandes latifundios, las haciendas. Con el establecimiento de las mismas se desarrolló una estructura de propiedad de la tierra claramente bimodal: junto a las grandes haciendas subsistieron áreas ocupadas por poblaciones indígenas bajo diferentes modos de propiedad comunal. La economía de la Nueva España estaba constituida por una serie de economías locales y regionales pobremente conectadas entre sí. La ausencia de una economía nacional integradora determinó que durante la colonia las haciendas en las zonas áridas se desarrollaran como unidades de producción periféricas a economías regionales autosuficientes (basadas fundamentalmente en la minería), que guardaban a su vez una relación de dependencia política con la metrópoli española.

En parte durante la Independencia y sobre todo durante el Porfiriato, la construcción de los ferrocarriles, la apertura de facilidades portuarias y la nueva política de integración económica y el estímulo a las exportaciones crearon las condiciones para el desarrollo de un nuevo y dinámico mercado orientado tanto al abasto interno como a las exportaciones. Es durante este período cuando el sobrepastoreo se convirtió en un problema generalizado y se desencadenó el proceso de invasión de leñosas que transformó gran parte de los pastizales del norte árido.

El advenimiento de la Revolución a principios de este siglo significó de hecho una marcada disminución de las cargas animales, lo que permitió una relativa recuperación de los recursos forrajeros. El repoblamiento posterior de los agostaderos realizado bajo sistemas de explotación escasa o nulamente tecnificados y con un criterio de extracción "minera" condujo a la situación actual de deterioro de los recursos y baja eficiencia en las explotaciones.

Del mismo modo, con la Revolución Mexicana, y sobre todo durante la presidencia de Cárdenas, las áreas comunales encontraron una forma de institucionalización y de reconoci-

\* Este trabajo fue presentado en una reunión sobre Medio Ambiente y Desarrollo en México, organizada por el Programa Universitario Justo Sierra en agosto de 1985. Agradecemos el apoyo del Dr. Enrique Leff, Director del Programa en ese entonces.

miento legal al reorganizarse como ejidos. Durante este período se devolvieron tierras a comunidades que las habían perdido anteriormente y se crearon nuevos ejidos a través de la expropiación de grandes haciendas. Sin embargo, fue política oficial del gobierno cardenista orientar las nuevas medidas agrarias preferentemente hacia las zonas agrícolas del país, colocando en segundo término el reparto de tierras de las zonas ganaderas dada la limitada disponibilidad de créditos y la necesidad de concentrar esfuerzos sobre las zonas más densamente pobladas y más intensivas en producción y mano de obra.

En lo que concierne directamente al desarrollo y reparto de tierras agrícolas de regadío en el norte árido, la presidencia de Cárdenas señaló el comienzo de la disponibilidad de crédito ejidal y del desarrollo de las grandes obras de irrigación. Estas obras de infraestructura sirvieron luego como base para el desarrollo de la "revolución verde" en el norte árido.

A partir de la década de los sesentas una marcada tendencia al reemplazo del cultivo de granos por el de forrajes, cultivos de exportación o insumos para agroindustrias, contribuyó a la pérdida de la autosuficiencia en producción de granos registrada en México durante la década de los setentas.

En el norte árido, la agricultura altamente tecnificada y con un ritmo creciente de producción reposa fundamentalmente sobre el bombeo de pozos profundos con un criterio de no renovabilidad. De esta forma, el agotamiento de mantos acuíferos, así como la salinización de suelos y la contaminación por fertilizantes y biocidas aparecen como los principales costos ambientales del desarrollo de las áreas de riego en el norte de México.

Conservación y desarrollo, dos conceptos que con frecuencia se consideran antagónicos, deben avanzar juntos en aquellos países que necesitan más tierra y más alimentos. Un esquema de conservación con sentido social no debería excluir de sus objetivos el desarrollo rural apropiado. El buen manejo de los recursos bióticos debería considerar la producción sostenida y la conservación como sus principales objetivos simultáneos y complementarios.

## RESUMÉ

Les caractéristiques de l'utilisation des ressources naturelles dans le nord du Mexique au cours de l'époque historique sont discutées dans le présent travail. Contrairement à d'autres régions arides du monde, l'utilisation par l'homme des déserts mexicains, pour des activités différentes de celles des groupes chasseurs-collecteurs, n'a pas plus de quelques centaines d'années. En effet, ce type d'activité n'a débuté que durant la période coloniale, associé en générale aux activités minières.

Avec la disparition de la *encomienda* et le *repartimiento* (les deux principaux systèmes coloniaux d'appropriation de la terre et du travail), une nouvelle classe de gros propriétaires fonciers apparut au Mexique. Ce groupe contrôlait de vastes superficies de terres: les *haciendas*. Simultanément avec l'établissement de ces grandes propriétés, s'est développée une structure fortement bimodale du régime foncier: à côté des grosses *haciendas* ont subsisté des zones habitées par des populations indigènes avec différentes formes de propriété communale. L'économie de la Nueva España était constituée par une juxtaposition d'économies locales et régionales, avec très peu de relations entre elles. Le manque d'un système économique national intégrateur a provoqué, pendant la colonie, le développement des *haciendas* des zones arides sous forme d'unités de production périphériques aux économies régionales. Celles-ci, basées fondamentalement sur les activités minières, gardaient, à leur tour une relation de dépendance politique avec le pouvoir central d'Espagne.

Partiellement pendant l'Indépendance, mais surtout sous le gouvernement de Porfirio Díaz, la construction des chemins de fer, l'ouverture de ports, la nouvelle politique d'intégration économique et l'encouragement des exportations ont créé les conditions pour le développement d'un nouveau et dynamique marché, orienté aussi bien à la consommation interne

qu'à l'exportation. Pendant cette période, le surpâturage est devenu un problème généralisé et il s'est décliné un processus d'invasion des parcours par espèces ligneuses qui a transformé une grande partie des pâturages du nord aride.

La Révolution Mexicaine du début du siècle a marqué, de fait, une sensible diminution des charges animales, ce qui a permis une relative récupération des parcours. La repopulation postérieure de ces parcours, faite avec des systèmes d'exploitation à très faible technicité et avec des critères d'"extraction minière", a débouché sur la situation actuelle de dégradation des ressources et de basse efficacité dans les exploitations.

C'est aussi avec la Révolution, et particulièrement avec le gouvernement de Cárdenas, que les zones communales ont trouvé leur institutionnalisation et leur reconnaissance légale sous la forme d'*ejidos*. Au cours de cette période une certaine quantité de terres a été restituée à des communautés et de nouveaux *ejidos* ont été créés à la suite des expropriations des grosses *Haciendas*. Cependant, la politique officielle du gouvernement du Président Cárdenas a été d'orienter de préférence ces nouvelles mesures vers les zones agricoles du pays. Le manque de crédits, aussi bien que les besoins de concentration des efforts sur les zones les plus peuplées et de production plus intensive, ont déterminé que les zones arides sans irrigation du nord du Mexique sont restées en deuxième priorité. Par contre, dans les zones irriguées de ces régions arides, d'importants efforts pour le développement de la production et pour la distribution des terres ont été faits. C'est pendant la présidence de Cárdenas que d'importants crédits ont été accordés à des *ejidos* et que de gros travaux d'irrigation ont été entrepris. Cette infrastructure a été, postérieurement, la base pour le développement de la "révolution verte" dans le nord du Mexique.

Pendant la décennie des années soixante, une tendance marquée vers le remplacement des cultures de grains par celles des fourrages, des produits agro-industriels ainsi que ceux destinés à l'exportation, a contribué à la perte de l'autosuffisance en grains qui s'est produite dans la décennie suivante.

Dans le nord du Mexique, l'agriculture à haute technicité et avec un rythme croissant de production, repose fondamentalement sur l'utilisation de forages profonds faite sans critère de recharge des nappes. De cette façon, l'épuisement des aquifères, aussi bien que la salinisation des sols et la pollution par des biocides ou des engrais, apparaissent comme les coûts les plus importants subis par l'environnement, dans le développement des zones irriguées du nord du Mexique.

Conservation et développement, ces deux concepts souvent considérés comme antagonistes, doivent progresser simultanément dans les pays ayant besoin d'augmenter leurs surfaces productives et leur production d'aliments. Des schémas de conservation avec prise en compte des problèmes sociaux ne devraient pas exclure de leurs objectifs le développement rural approprié. L'aménagement correct des ressources biotiques devrait considérer à la fois une production suffisante et la conservation du milieu, comme objectifs primordiaux et complémentaires.

#### ABSTRACT

This paper discusses the history of resource use in northern arid México. In contrast with other arid regions of the world, human use of mexican deserts for other activities rather than hunting and gathering is only a few centuries old. Indeed, these activities started during the colonial period, generally associated to mining. With the disappearance of the *encomienda* and the *repartimiento* (the two main colonial systems of appropriation of land and labour), a new social class of spanish and native landowners was born. This group controlled great expanses of land: the *haciendas*. With the establishment of these large properties a strongly bimodal structure of land ownership developed; indigenous populations with different modes of communal pro-

perty subsisted side by side with the large *haciendas*. The economy of the New Spain was formed by a series of local and regional, poorly interconnected, economies. The absence of an integrating national economy determined that during colonial times the *haciendas* in the arid parts of México were developed as productive units, peripheral to self-sufficient regional economies which were based on the exploitation of mines. These economies, in turn, were politically dependent from Spain.

Partly during the Independence, and mostly during the Porfirian period, the construction of railroads, the opening of new ports, the stimulus to exports and a new policy of economic integration, all created the conditions for the development of a new and dynamic market oriented both towards the internal supply and the export of goods. During this period overgrazing became a generalized problem in northern México and triggered the invasion by woody perennials that eventually transformed great part of the northern arid grasslands.

The advent of the Mexican Revolution early this century brought a marked decrease in cattle densities and permitted a relative recovery of the arid ranges. The later repopulation of the ranges under non-technified systems with a "mining" criterion of resource use drove again the northern grasslands to a situation of generalized resource deterioration and low productive efficiency.

The Revolution, and particularly the period of president Cárdenas, institutionalized and brought legal recognition to preexisting communal areas by organizing them under the *ejido* system. During this period land was given back to communities that had previously lost it, and new *ejidos* were created through the expropriation of the great *haciendas*. The new measures, however, were officially oriented by the Cardenist government towards the agricultural areas. The lack of credit and the need to concentrate government efforts on the most densely populated and production-intensive zones determined that the arid northern ranges were given a second priority. Irrigated land in northern México, however, was massively developed and subdivided. During the Cardenist period abundant credit was given to the *ejidos* and big irrigation works were started. These facilities later became the base for the development of the "green revolution" in northern México.

During the sixties a strong tendency developed to replace the cultivation of grain for that of forage, export and cash crops, and agroindustrial supplies (e.g. cotton and oilseeds). This economic trend was responsible for the loss of self sufficiency in grain production that became very noticeable a decade later.

Agriculture in northern México, highly technified and very productive, is fundamentally based on the pumping of water from deep underground wells with a criterion of non-renewability. Thus, the exhaustion of underground aquifers, soil salinization and pollution by pesticides and fertilizers appear as the main environmental costs, associated to the development of modern irrigation areas in northern México.

Conservation and development, two concepts frequently considered antagonistic, must progress together in those countries that need more land and more food. A socially-oriented conservation scheme should not exclude an appropriate rural development from its main objectives. An adequate management of biotic resources should consider sustained production and conservation as its main, simultaneous and complementary aims.

## INTRODUCCIÓN

La aridez domina la mayor parte del territorio de México. Nueve estados del norte de la República están ocupados total o parcialmente por regiones secas: Baja California Norte, Baja California Sur, Durango, Coahuila, Chihuahua, Nuevo León, San

Luis Potosí, Sonora y Zacatecas. Estos estados, con una superficie total de 105 millones de hectáreas, concentran 54 millones de hectáreas de pastizales naturales (el 72% de los agostaderos del país), 2 millones de hectáreas de agricultura de temporal y más de un millón de hectáreas de agricultura bajo riego. En ellos vive aproximadamente el 20% de la población del país (unos 14 millones de habitantes). En los agostaderos áridos se mantiene un tercio de la ganadería nacional (unos doce millones de cabezas de bovinos) y se produce anualmente más de 200 mil toneladas de carne.<sup>1</sup>

Todas las áreas actualmente ocupadas por vegetación desértica en México muestran floras fósiles de matorrales y de bosques más húmedos, lo que indica que, en términos evolutivos, los desiertos mexicanos son de formación muy reciente. Comenzaron a formarse lentamente durante el Cenozoico tardío (hace unos 25 millones de años) y ocuparon importantes áreas del actual territorio del país a principios del Pleistoceno, hace unos 2 millones de años. Cuando llegó la conquista española la flora de los desiertos mexicanos mostraba su máxima diversidad y riqueza biológica, resultado de un largo proceso de adaptación a la aridización creciente del planeta durante el Cenozoico. No sólo son las zonas áridas del norte ecosistemas nuevos, algo así como "recién nacidos" en la larga historia de la evolución, sino que también han sido ocupadas por el hombre en tiempos muy recientes (aunque las estimaciones difieren, se sabe que el hombre llegó a América hace sólo 12 a 30 mil años). Por ello, son áreas biológicamente muy ricas, a diferencia de muchos de los desiertos asiáticos y africanos que han sido terriblemente depauperados por una larga historia de uso humano intensivo y de sobrepastoreo.<sup>2</sup>

Por su gran extensión, tanto el conocimiento como el manejo adecuado de los recursos renovables en estas áreas es de vital importancia para desarrollar cualquier esquema de producción agropecuaria en el país. Los ecosistemas desérticos son frágiles por naturaleza, y su uso implica un compromiso de objetivos. El aprovechamiento intenso de la vegetación natural a través del pastoreo, las talas o la recolección por cortes, aumenta las superficies de suelo desnudo y con ellas aumenta la erosión y el acarreo de sedimentos, disminuye la infiltración del agua y en general se deteriora la calidad y cantidad del suelo y del agua como recursos, fenómeno conocido como desertificación. Mantener un buen nivel productivo y sostenerlo en el largo plazo sin deteriorar

<sup>1</sup> Dirección General de Estadística. 1971. *Censo Agrícola, Ganadero y Ejidal 1970* Secretaría de Programación y Presupuesto, México.

Claverán, R., E. Ezcurra y C. Montaña. 1982. *Programa para las zonas áridas*. Informe interno, Instituto de Ecología

<sup>2</sup> Axelrod, D.I. 1983. Paleobotanical history of the western deserts. In: S.G. Wells y D.R. Haragan (eds.) *Origin and evolution of deserts*. Univ. of New Mexico Press, Albuquerque. pp. 113-129.

Orians, G.H. y O.T. Solbrig (eds.). 1977. *Convergent evolution in warm deserts*. US/IBP Synthesis Series Vol. 3. Dowden, Hutchinson and Ross, Pennsylvania. 333 pp.

Van Devender, T.R. y W.G. Spaulding. 1983. Development of vegetation and climate in the southwestern United States. In: S.G. Wells y D.R. Haragan (eds.) *Origin and evolution of deserts*. Univ. of New Mexico Press. Albuquerque, pp. 131-156.

el ambiente o los recursos naturales que le sirven de base es uno de los grandes desafíos que impone el uso apropiado de los desiertos mexicanos.

## HISTORIA RECIENTE

Al desaparecer la encomienda y el repartimiento —los viejos sistemas coloniales de apropiación de tierra y de trabajo— surgió en el México colonial una nueva clase de terratenientes españoles y criollos que controlaban grandes latifundios, las haciendas. La expansión de los hacendados hacia el norte árido fue lenta y se realizó en muchos casos como una actividad de apoyo a la minería. Muchas de las viejas haciendas en el Bolsón de Mapimí, por ejemplo, proveían de mulas y caballos a las minas circundantes. En el desierto de Sonora el proceso fue algo más complejo a causa de las contradicciones que se desarrollaron entre el poder de la orden jesuita y el de los hacendados. Los jesuitas defendieron su propio modo de colonización —basado en organizar paternalistamente a los indígenas alrededor de una extensa y eficiente red de misiones— y levantaron su voz en contra de la encomienda y el repartimiento primero, y criticando la crueldad de algunos hacendados después. Los hacendados mantuvieron un estado de conflicto con los jesuitas —quienes poseían un fuerte ascendiente sobre los grupos indígenas locales y se habían convertido, objetivamente, en un grupo de poder paralelo —hasta que la orden fue expulsada en 1767 y reemplazada por los franciscanos, un grupo mucho más acorde con el absolutismo español del siglo dieciocho. Esta acción consolidó el establecimiento definitivo de los grandes terratenientes en la región.<sup>3</sup> Con el establecimiento de las haciendas se desarrolló en México una estructura de la propiedad de la tierra claramente bimodal: junto a las grandes haciendas subsistieron áreas ocupadas por pobladores indígenas bajo diferentes modos de propiedad comunal. En muchos casos estas áreas proveían la fuerza de trabajo que movía las haciendas.

La economía de la Nueva España estaba constituida por una serie de economías locales y regionales pobremente conectadas entre sí. La ausencia de una economía nacional integradora determinó que durante la colonia las haciendas en las zonas áridas se desarrollaran como unidades de producción periféricas a economías regionales auto-suficientes (basadas, como ya se ha indicado, fundamentalmente, en la minería) que guardaban a su vez una relación de dependencia política con la metrópoli española.<sup>4</sup> En parte durante la Independencia y sobre todo durante el Porfiriato, la construcción de los ferrocarriles, la apertura de facilidades portuarias y la nueva política de integración económica y de estímulo a las exportaciones crearon las condiciones para el desarrollo de un nuevo y dinámico mercado orientado tanto al abasto interno como a las exportaciones. Durante este período los ganaderos del norte comenzaron a exportar

<sup>3</sup> Fernández, R.A. 1980. *La frontera México-Estados Unidos. Un estudio socioeconómico*. Ed. Terra Nova, México. 177 pp.

<sup>4</sup> Semo, E. 1973. *Historia del capitalismo en México. Los orígenes 1521-1763*. Ed. Era, México.

animales a los Estados Unidos y la ganadería en las zonas áridas se convirtió en una importante industria productiva basada en la distribución desigual de la tierra y en la existencia de grandes latifundios agroexportadores.

Con el advenimiento de la Revolución Mexicana, y sobre todo durante la presidencia de Cárdenas (1934-40), las áreas comunales encontraron una forma de institucionalización y de reconocimiento legal al reorganizarse como ejidos. Durante este período se restauraron tierras a comunidades que las habían perdido durante el Porfiriato y se crearon nuevos ejidos a través de la expropiación de las grandes haciendas (muchas de ellas propiedad de extranjeros). Desde el inicio de la Revolución Mexicana hasta 1940 la proporción de obreros rurales sin tierra bajó de 68% a 36%.<sup>5</sup> Sin embargo, fue política oficial del gobierno cardenista orientar las nuevas medidas agrarias preferentemente hacia las zonas agrícolas del país, colocando en segundo término el reparto de tierras en las zonas ganaderas dada la limitada disponibilidad de créditos y la necesidad de concentrar esfuerzos sobre las zonas más densamente pobladas y más intensivas en producción y mano de obra. Considerando que el reparto de tierras ganaderas a los ejidatarios sería una empresa inviable, el gobierno promulgó en 1937 un decreto presidencial que declaraba la inafectabilidad ganadera por un período inicial de 25 años. El 60% de los certificados expedidos benefició a los ya entonces poderosos ganaderos del norte árido.<sup>6</sup>

En lo que atañe directamente al desarrollo y el reparto de tierras agrícolas de regadío en el norte árido, la presidencia de Cárdenas señaló el comienzo de la disponibilidad de crédito ejidal y del desarrollo de las grandes obras de irrigación. El final del cardenismo (en 1940) marcó un cambio fundamental en el desarrollo agrícola de las zonas áridas: (a) Como resultado de la Segunda Guerra Mundial comenzó un período de bonanza para el mercado de materias primas. (b) La política cardenista de impulso a los ejidos fue parcialmente revertida y se comenzó a dar apoyo a pequeños y medianos propietarios. (c) Organismos públicos y privados de los Estados Unidos (en particular la Fundación Rockefeller al principio, y después la Fundación Ford y la AID) brindaron su apoyo activo para la creación de nuevas variedades de cereales y el desarrollo de un amplio y novedoso paquete tecnológico basado en el uso intensivo de insu-

<sup>5</sup> Hewitt de Alcántara, C. 1976. *Modernizing Mexican agriculture: socioeconomic implications of technological change 1940-1970*. Instituto de Investigación para el Desarrollo Social de las Naciones Unidas (UNRISD), Ginebra. 350 pp.

Hewitt de Alcántara, C. 1978. *La modernización de la agricultura mexicana 1940-1970*. Siglo XXI Editores, México

Pearse, A. 1980. *Seeds of plenty, seeds of want. Social and economic implications of the Green Revolution*. Clarendon Press, Oxford. 262 pp.

<sup>6</sup> Departamento del Plan Sexenal de la Secretaría de Gobernación. 1940. *Seis años de gobierno al servicio de México, 1934-1940*. Secretaría de Gobernación, México.

Rutsch, M. 1980. *La cuestión ganadera en México*. Cuadernos del CIIS No. 1, Centro de Investigación para la Integración Social, México. 62 pp.

Rutsch, M. 1984. *La ganadería capitalista en México*. Editorial Línea, México. 251 pp.

CEPAL. 1975. *La industria de la carne de ganado bovino en México*. Fondo de Cultura Económica, México.

mos industriales (fertilizantes, pesticidas y maquinaria). De esta manera, las obras de infraestructura iniciadas para los ejidatarios se convirtieron en la piedra fundamental de la "revolución verde" en el norte árido. La "fiebre del trigo" se apoderó de los valles del Yaqui, del Mayo y del Colorado, y de muchos otros distritos de riego. Apoyados por el gobierno, los agricultores se lanzaron a la apertura de nuevas áreas al riego utilizando para ello el bombeo de agua del subsuelo mediante la perforación de pozos profundos. La propiedad de la tierra en áreas de riego se convirtió en una actividad tan rentable que gran parte de los antiguos ganaderos se volcaron a la agricultura intensiva. El nuevo sector, con un mejor acceso a las fuentes de financiamiento, compitió con los ejidatarios y los desplazó rápidamente a través del uso intensivo de las nuevas tecnologías y la obtención de rindes muy superiores a los del sector ejidal: mientras que entre 1941 y 1945 los rindes de ambos sectores fueron similares, a fines de los cincuenta un número cada vez mayor de ejidatarios se vio obligado a arrendar ilegalmente sus tierras a los nuevos agricultores. Para mediados de los sesenta, cerca de 80% de los ejidatarios del Valle del Yaqui había perdido el control de sus tierras.<sup>7</sup> Así, el mismo éxito de la agricultura en el norte árido indujo la concentración de gran parte de la agricultura bajo riego en las manos de unos pocos empresarios de éxito. La misma estructura bimodal existente en las áreas de ganadería extensiva se reprodujo más tarde en los distritos de riego de las zonas áridas: los predios más rentables pasaron a ser manejados por una élite con acceso a las fuentes de financiamiento y de tecnología, mientras que los predios menores comenzaron cada vez más a subsistir a través de una agricultura menos tecnificada y vendiendo su fuerza de trabajo.

A pesar del indudable proceso de concentración de tierras que se ha dado en el norte árido, existe aún una diferencia cualitativa en la estructura social y productiva de las zonas de riego en relación a las zonas de ganadería extensiva. En 1970, sólo el 18% de la producción animal de México se realizaba en unidades ejidales (que abarcaban el 12% de las superficies ganaderas), mientras que el resto era producido en unidades privadas (que abarcaban el 88% restante de las superficies bajo pastoreo). En el mismo año, algo más del 50% de la producción agrícola nacional provino de unidades ejidales.<sup>8</sup> Herencia de la inafectabilidad ganadera de 1937, la tendencia al control de las áreas ganaderas por los capitales privados, y a la mayor participación ejidal en las áreas bajo riego, es todavía notable en el norte árido. En la Comarca Lagunera, por ejemplo, el 73% del área bajo riego cultivada en 1982 pertenecía a grupos ejidales.<sup>9</sup>

## GANADERIA EXTENSIVA Y RECOLECCIÓN EN EL NORTE ÁRIDO

Las formas más importantes de utilización extensiva de los recursos biológicos en la región árida mexicana son la ganadería de cría y la extracción de productos natura-

<sup>7</sup> Pearse, *op. cit.*; Hewitt de Alcántara, *op. cit.*

<sup>8</sup> Rutsch, *op. cit.*

<sup>9</sup> Pucciarelli, A. 1985. El sentido de la historia regional. Estudio sobre la Comarca Lagunera. In: *Ensayos sobre cuestiones agrarias*. Ed. Terra Nova, México. pp. 127-169.

les de algunas plantas silvestres, como la cera de candelilla, las fibras del ixtle y la lechuguilla, la madera de palo fierro, la pulpa de las biznagas (utilizada para fabricación de dulces), y los frutos de algunas cactáceas (tunas y pitahayas). La ganadería extensiva de cría comenzó durante la época colonial, asociada a —o como satélite de— los grandes centros mineros, a los cuales proveía de carne y de animales de trabajo. Durante esa época es probable que los impactos ambientales mayores hayan sido la tala de especies maderables para leña y para materiales de construcción, y en menor grado el sobrepastoreo en algunas áreas localizadas. Con la posterior organización de las grandes explotaciones ganaderas durante el siglo diecinueve el sobrepastoreo se convirtió en un problema más generalizado y se desencadenó el proceso de invasión de leñosas que transformó gran parte de los pastizales del norte árido.<sup>10</sup> El advenimiento de la Revolución a principios de este siglo significó de hecho una marcada disminución en las cargas animales, lo que permitió una cierta recuperación de los recursos forrajeros durante períodos variables pero en general no inferiores a diez años. En los estados del norte (Baja California, Chihuahua, Durango, Nuevo León, Sonora y Tamaulipas) el número total de vacunos descendió de 1.25 millones en 1902 a 312,000 en 1923, es decir una pérdida del 75% del *stock* ganadero en 20 años.<sup>11</sup> El repoblamiento comenzó posteriormente desde las zonas semiáridas hacia las áridas siguiendo un gradiente de rentabilidad decreciente, lo que hace que actualmente los efectos más negativos del sobrepastoreo se manifiesten en la zona semiárida y su límite con la árida.

En 1943 se estipuló en el Código Agrario que, al vencer los certificados de inafectabilidad ganadera otorgados por el presidente Cárdenas, los ganaderos tendrían derecho a escoger parte de su finca como “pequeña propiedad” ganadera. La definición legal explícita de que, en el caso de existir una solicitud de dotación ejidal, los ganaderos podrían perder parte de su predio, contribuyó a acentuar los procesos de sobrepastoreo y de abuso en la extracción de los recursos biológicos por parte de los propietarios de los ranchos. En 1947 se estableció el derecho al amparo agrario por medio del cual se reglamentó el modo de defensa legal de los ganaderos en contra de las solicitudes de dotación ejidal. Un año más tarde, el Reglamento de Inafectabilidad Agraria y Ganadera estableció como “pequeña propiedad ganadera” a aquella superficie de agostaderos “cuya extensión no sea mayor que aquella que permite el sostenimiento de quinientas cabezas de ganado mayor”.<sup>12</sup> De esta forma se fijó el concepto de pequeña propiedad en correspondencia exacta con el de índice de agostadero. Como veremos más adelante, el valor numérico de los índices de agostadero es sumamente variable según el manejo que se de al rodeo y el sistema de pastoreo que se emplee. Asimismo,

<sup>10</sup> Johnston, M.C. 1963. Past and present grasslands of southern Texas and northeastern México. *Ecology* 44:456-466.

Hastings, J.R. y R.M. Turner. 1965. *The changing mile. An ecological study of vegetation change with time in the lower mile of an arid and semiarid region.* Univ. of Arizona Press, Tucson. 317 pp.

<sup>11</sup> Machado, M.A. 1981. *The north Mexican cattle industry, 1910-1975.* Texas A&M Univ. Press, College Station, Texas. 152 pp.

<sup>12</sup> Rutsch, *op. cit.*

el potencial forrajero puede variar mucho de un sitio a otro aún dentro de un mismo predio, dada la elevada heterogeneidad espacial que presenta el complejo mosaico de suelos y vegetación de los desiertos norteños. Pese a que posteriormente fue creada una comisión especial para la determinación de los índices de agostadero (COTECOCA), los valores propuestos por esta comisión no tienen todavía aplicación legal, y es en última instancia la Secretaría de la Reforma Agraria quien determina más o menos arbitrariamente la afectabilidad de un predio.

De todo esto resulta claro que, pese a las leyes de reforma agraria, muchos ganaderos encuentran la manera de mantener grandes superficies de agostaderos bajo su propiedad. Existen asimismo formas encubiertas de aumentar en la práctica la superficie del predio. La más frecuente en el norte es la modalidad de manejar ganado "a cuidado". Bajo este sistema el propietario del ganado lo entrega a otro predio (generalmente un ejido) para su manejo. La forma de pago es a través de la producción: dos de cada tres becerros producidos son para el propietario (raramente, uno de cada dos). De hecho este sistema funciona como una adaptación del sistema de producción capitalista a las condiciones particulares de México: la legislación impone limitaciones a la acumulación de tierras, pero no a la de ganado. De este modo un productor puede aumentar el número de cabezas de su hato en forma prácticamente indefinida. Las cabezas suplementarias a la capacidad de carga de su agostadero son manejadas en otros agostaderos cuyos responsables enfrentan limitaciones financieras para capitalizar su hato.

Con excepción de las áreas de riego y en mucha menor medida de algunas porciones de áreas de temporal, la mayor parte de los ecosistemas áridos de México han funcionado desde el punto de vista productivo como subsistemas periféricos para la provisión de productos primarios con escaso valor agregado. En la toma de decisiones políticas y en los planteamientos productivos globales las zonas áridas juegan un rol marginal y son visualizadas casi exclusivamente como proveedoras de materias primas. Esta marginación política es también notoria en lo ambiental. Buena parte de las decisiones acerca de qué, cómo y para quién producir son tomadas en esferas de decisión que desconocen la realidad, los límites y las potencialidades de las zonas áridas. De este modo, ha sido muy difícil llegar a una definición de sistemas de explotación adecuados para las zonas áridas, entendiendo la adecuación en términos de uso rentable, autosostenido y a largo plazo de los recursos naturales renovables. La consecuencia generalizada de esta dinámica ha sido la utilización de los ecosistemas áridos en explotaciones de tipo "minero", es decir el uso de los recursos renovables bajo un régimen de extracción exhaustiva hasta producir su agotamiento, como si fueran no renovables. Las zonas de cría de vacunos representan el sector más atrasado tecnológicamente y sirven para proveer becerros para engorda en las zonas de agricultura industrializada. De hecho funcionan como la periferia socioeconómica de las zonas de riego y de los agostaderos húmedos. En el norte árido este fenómeno se expresa concretamente a través de la venta de becerros en pie para exportación, o para engorda intensiva sobre alfalfa, granos y esquilmos agrícolas.

La exportación de ganado a los Estados Unidos aumentó entre 1980 y 1984 en un

180%, según estadísticas oficiales (de 76 millones de dólares a 214 millones).<sup>11</sup> La mayoría de los ganaderos nortños confiesa, sin embargo, que existe un volumen considerable de ganado exportado de contrabando, que no es tomado en cuenta en las estadísticas oficiales. La conclusión es clara: la ganadería de exportación se ha convertido en un rubro económico de importancia y magnitud crecientes. Parte de lo exportado regresa a México en forma de divisas, pero otra parte se queda en cuentas bancarias en los Estados Unidos repitiendo así el comportamiento tradicional de los grandes terratenientes periféricos que no reinvierten en sus explotaciones "mineras" el producto de sus ventas sino que lo invierten financieramente en los mismos centros económicos a los cuales exportan.

A diferencia de los trópicos húmedos, en las zonas áridas del norte de México la ganadería extensiva no compite en forma directa con la agricultura, ya que esta última sólo puede ser realizada bajo irrigación. Ambas deberían representar, más bien, actividades complementarias. A nivel nacional, sería deseable desplazar la ganadería de los trópicos hacia las áreas áridas y semiáridas bajo una política apropiada de manejo de pastizales. Esta política permitiría recuperar el uso múltiple de las selvas y promover el desarrollo de una agricultura tropical adecuada. De esta manera, la importancia ecológica y productiva de las zonas áridas se encuentra potencialmente vinculada a la economía productiva del trópico húmedo mexicano.

Frente a la innegable evidencia de que la mayor parte de los agostaderos nortños están fuertemente sobrepastoreados, cabe preguntarse si es posible obtener volúmenes de producción mayores en los campos naturales del norte árido. En realidad, todo parece indicar que la producción de carne en esta región es altamente ineficiente. La principal causa de la degradación de los agostaderos no es tanto la alta densidad de animales, sino más bien la forma cómo éstos son manejados. En Australia, por ejemplo, sobre áreas climáticas similares a los desiertos mexicanos se manejan cargas animales promedio hasta cuatro veces mayores. Para ello, han reemplazado el sistema de pastoreo continuo (donde una cantidad relativamente baja de animales se deja casi todo el año en el mismo potrero) por sistemas de pastoreo rotativo (donde cada potrero recibe una carga altísima de animales durante unas pocas semanas, y se le deja sin pastorear para que se regenere durante el resto del año). Este sistema, además de utilizar más eficientemente el forraje disponible, impide que los animales elijan selectivamente los pastos más palatables y que favorezcan así la invasión de malezas y el deterioro del agostadero. En resumen, un sistema más adecuado de manejo no sólo aumentaría la producción de carne, sino que impediría la degradación de la vegetación en las zonas áridas.

Estas medidas para eficientizar la producción son económica y técnicamente viables en el norte de México. Los investigadores del Rancho Experimental "La Campa-

<sup>11</sup> Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1985. *Comercio Exterior de México - Información Preliminar*. Secretaría de Programación y Presupuesto, México. Vol. VII, No. 12, pp. 1-64.

Una información más detallada acerca del volumen creciente de las exportaciones de ganado en pie de México a los Estados Unidos puede encontrarse en: FAO. 1978. *Anuario FAO de comercio Vol. 31*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Colección FAO: Estadística, No. 16.

na", por ejemplo, estiman que un cambio en el sistema y las intensidades de pastoreo (incluyendo prácticas de pastoreo rotativo y de combate de arbustivas invasoras) puede incrementar a corto plazo la producción forrajera en el norte de México en un 70%, revirtiendo al mismo tiempo el deterioro florístico de los potreros que provoca actualmente la extracción de las forrajeras más valiosas por los vacunos bajo sistemas de pastoreo continuo. Según los mismos investigadores el manejo adecuado de los rodeos puede incrementar las tasas de parición, también en el corto plazo y con un mínimo esfuerzo económico, del valor actual (inferior al 50% en la mayoría de los predios) a valores de 70%. Ambas medidas en conjunto podrían duplicar la producción de carne en el norte, sin echar mano de otras técnicas más costosas como el manejo genético de los rodeos y la suplementación alimentaria, que, dicho sea de paso, podrían incrementar aún más los niveles de producción.<sup>14</sup> Desafortunadamente, los ganaderos del norte son extremadamente conservadores y reacios a la introducción de mejoras y, dado el buen tamaño de sus predios, prefieren mantener el sistema de explotación extractiva o "minera" que han utilizado hasta ahora. Según nuestra experiencia, esta actitud se basa en tres razones fundamentales: (1) Los ganaderos temen que un manejo tecnificado del predio los haga depender excesivamente del trabajo de técnicos y les haga perder su poder semifeudal en el rancho. El nivel de prosperidad actual de la ganadería no justifica para los ganaderos el riesgo de invertir en nuevas tecnologías. (2) Algunos ganaderos admiten el temor de que, al aumentar la capacidad de carga del agostadero por medio de un manejo más tecnificado, se puedan ver afectados por solicitudes de dotación ejidal. Por ello, prefieren acumular reses a través de otros mecanismos, como el de ganado a cuidado. (3) Acostumbrados a una cultura de dominación, muchos ganaderos no conciben un incremento en la productividad de su rancho sin introducir alteraciones drásticas en un ambiente que perciben como limitado, inmutable y hostil. Sólo admiten la posibilidad de un cambio a través de la disponibilidad de más agua (bombeo de pozos) o de la introducción de especies forrajeras exóticas. Esta necesidad de realizar modificaciones ambientales de consecuencias impredecibles tiene su imagen especular en productores de otros continentes que sueñan con la introducción de las excelentes forrajeras de los desiertos mexicanos.

## LA AGRICULTURA BAJO RIEGO

La combinación de una baja en el precio internacional de los granos con una disminución en el apoyo oficial a los cultivos cerealeros determinó que desde mediados de los sesentas se produjera en el país un deterioro creciente en la rentabilidad de los cultivos trigueros y comenzara la declinación de la "revolución verde" en el noroeste de México. El sector de agricultores capitalistas "moderno" comenzó a sustituir las áreas

<sup>14</sup> González, M.H. 1976. La producción de alimentos, la ingeniería y el potencial de tierras no cultivables. *México Ganadero*, Noviembre 1976. C.N.G., México.

trigueros tradicionales por cultivos de exportación (algodón, jitomate y hortalizas), forrajeros (sorgo y alfalfa), oleaginosos e industriales (cártamo, ajonjolí, soya y vid). El fracaso de la revolución verde debe entenderse como el fracaso de México para autoabastecerse de granos básicos. Es importante notar, sin embargo, que la agricultura capitalista norteña *no ha disminuido su ritmo creciente de producción*, sino que, como veremos más adelante, los incrementos se han dado fundamentalmente en las áreas de producción de hortalizas para exportación, producción de forrajes y granos para alimentos animales, y producción de insumos agroindustriales.

En los desiertos norteños la agricultura bajo riego ocupa aproximadamente el 5% de la superficie de la región y aporta aproximadamente el 60% del valor del sector agropecuario. La ganadería extensiva, en cambio, ocupa más del 80% de la superficie y aporta solamente el 40% restante.<sup>15</sup> Las zonas bajo riego del norte del país concentran casi con seguridad al sector más tecnificado de los productores agrícolas mexicanos. Durante el año de 1984, por ejemplo, México exportó productos agrícolas por valor de 1.3 millones de dólares. En su mayoría estas exportaciones estaban formadas por algodón, café, jitomate y hortalizas. Con excepción del café, la mayor parte de las exportaciones agrícolas provienen del norte árido de México y se dirigen a los Estados Unidos como productos frescos. En el mismo año México importó 1.7 millones de dólares en alimentos, fundamentalmente granos (maíz, trigo, sorgo y soya).<sup>16</sup>

Gran parte del desarrollo agrícola del norte árido se funda en el bombeo de pozos profundos con un criterio de no renovabilidad. Al igual que con la ganadería extensiva, la "mentalidad minera" juega un papel central en el diseño y manejo de estos sistemas de producción. La mayoría de las concesiones y permisos de perforación se ha otorgado sin evaluar previamente la recarga de los acuíferos y su capacidad de producción sostenida. Al mismo tiempo, el gobierno ha apoyado la apertura de estas nuevas áreas de riego con crédito y con tarifas eléctricas subsidiadas. Estos mismos subsidios son los que aseguran a la agricultura norteña su alta rentabilidad. Desde el punto de vista del uso apropiado de los recursos naturales, en cambio, muchos de estos sistemas productivos son ridículamente ineficientes. Sólo como un ejemplo, según nuestros cálculos un kilogramo de carne producido en Sonora a partir del engorde sobre alfalfa regada con agua del subsuelo representa el uso (en general no renovable) de aproximadamente 20-30 mil litros de agua del subsuelo y de unos 3-5 litros de diésel (una caloría de carne producida insume 40-50 calorías de combustible). Comparándola incluso con la agricultura intensiva de los países desarrollados, la agricultura norteña es una de las de más desperdicio y derroche de recursos.<sup>17</sup>

En Sonora el sobrebombeo de los mantos acuíferos determinó que a fines de 1984 se hubieran abandonado 50 000 ha de riego por falta de agua, y unas 15 000 ha por

<sup>15</sup> Nacional Financiera, S. A. 1981. *La economía mexicana en cifras*. NAFINSA, México, D. F. 400 pp.

<sup>16</sup> Inst. Nac. de Estadística, Geografía e Informática, *op. cit.*

<sup>17</sup> Cox, G.W. 1978. El concepto del Ecosistema en el manejo de los recursos renovables. *Archivos de Biología y Medicina Experimental* 11:117-123.

intrusión del agua de mar al acuífero. En la costa de Hermosillo y en el Valle de Guaymas los acuíferos se encuentran en la actualidad 40 y 50 metros bajo el nivel del mar respectivamente.<sup>18</sup> En la Comarca Lagunera la profundidad del acuífero disminuyó de 27.5 m en 1950 a 82 m en 1978, y continúa disminuyendo a razón de 1.5 m cada año.<sup>19</sup> Así, el agotamiento de los mantos freáticos, la salinización de los suelos y la contaminación de los cauces de drenaje y de los suelos por fertilizantes y biocidas aparecen a fines de los setentas como los principales costos ambientales al desarrollo de las áreas de riego del norte de México y de muchas otras regiones del tercer mundo.<sup>20</sup>

Es importante, sin embargo, destacar nuevamente la diferencia cualitativa que existe entre los predios intensivos y los extensivos en el norte árido. Mientras que casi el 90 % de las extensiones ganaderas pertenecen a ranchos privados, sólo alrededor del 30 % de las superficies bajo riego pertenecen a propietarios particulares (de todas formas, en ambos casos los propietarios particulares controlan superficies mayores, ya sea a través del ganado "a cuidado" en el caso de las explotaciones extensivas como a través del arrendamiento clandestino de parcelas ejidales en el caso de los principales distritos de riego).<sup>21</sup> Estas diferencias en las proporciones de tierra bajo propiedad privada marcan un fuerte contraste entre el modo operativo de los ganaderos extensivos y el de los productores intensivos. Mientras que los primeros continúan realizando una actividad productiva sobre la cual existe una tradición secular de latifundismo y de apropiación de tierras, los segundos representan el sector con mentalidad más empresarial y productivista del agro mexicano.

Queda por discutir el hecho, aparentemente contradictorio, del colapso en el autoabastecimiento de granos cuando la agricultura norteña continúa mostrando niveles elevados y crecientes de producción. La respuesta a este problema parece estar vinculada al desarrollo de las multinacionales de la agroindustria, un fenómeno que ha irrumpido explosivamente en el panorama agrícola mexicano durante los últimos veinte años y que puede considerarse un subproducto casi inevitable de la "modernización" del agro.<sup>22</sup> La aparición de las agroindustrias generó un nuevo y vigoroso mercado de insumos para las fábricas de alimentos balanceados y otros alimentos para animales, así como para la elaboración de bebidas alcohólicas (v.g. uva para brandy), y para la fabricación de alimentos "chatarra". Aún los granos oleaginosos comienzan a ser cultivados no sólo por su valor aceitero sino también por el valor agroindustrial de los

<sup>18</sup> Información dada por técnicos de la Dirección de Recursos Hidráulicos y por productores de la región.

<sup>19</sup> Pucciarelli, *op. cit.*

<sup>20</sup> Weir, D y M. Schapiro, 1982. *Círculo de veneno. Los plaguicidas y el hombre en un mundo hambriento*. Ed. Terra Nova, México. 135 pp.

<sup>21</sup> Pearse, *op. cit.*; Hewitt de Alcántara, *op. cit.*

<sup>22</sup> Feder, E. 1982. La maquinaria agroindustrial. El nuevo enfoque del capitalismo hacia la agricultura. In: I. Menéndez (compilador) *Economía y desarrollo rural en América Latina*. Ed. Nueva Imagen y CEES-TEM, México pp. 99-145.

Feder, E. 1985. La administración de los recursos físicos y humanos en las agriculturas del tercer mundo. In: *Ensayos sobre cuestiones agrarias*. Ed. Terra Nova, México. pp. 9-28.

subproductos del prensado (la "torta") que son utilizados para la fabricación de alimentos balanceados (en el caso de la soya, el valor total de la torta puede ser más alto que el del mismo aceite).<sup>23</sup>

Así, la disminución en la producción de granos básicos para consumo popular aparece como una consecuencia de la irrupción de las agroindustrias en la fabricación de alimentos para los sectores urbanos con mayor capacidad de consumo.<sup>24</sup> El déficit de maíz y trigo es, sobre todo, el resultado de la "carnización" de la dieta de los sectores alto y medio en las ciudades, y en general de la "ganaderización" del agro mexicano. Para citar sólo algunos ejemplos, el cultivo de forrajeras pasó de ocupar el 6.5% de las áreas bajo riego en 1960, a ocupar el 35% en 1976 con tendencia en aumento.<sup>25</sup> En el caso específico del sorgo (un grano no apto para consumo humano pero ingrediente fundamental de varios alimentos para animales), su área de cultivo bajo riego en 1960 ocupó 86 mil hectáreas, contra 836 mil de maíz y trigo. En 1973 el área de maíz y trigo bajo riego ocupó 912 mil hectáreas (prácticamente la misma superficie de 1960), mientras que el sorgo había incrementado su superficie en más de 400%, ocupando 377 mil hectáreas.<sup>26</sup> Esto implica que el área cultivada con sorgo ha crecido cuatro veces más rápido que la población del país, a una tasa de casi 12% anual. Casi desconocido en las estadísticas agrícolas anteriores a 1958, para 1979 el sorgo se había convertido en el segundo cultivo de grano en México, con una producción de 4.6 millones de toneladas (en el mismo año se produjeron 9.9 millones de toneladas de maíz y 2.3 millones de toneladas de trigo) y una rentabilidad media 85% más alta que el maíz y 13% más alta que el trigo.<sup>27</sup> Durante ese mismo año, el cultivo bajo riego de forrajeras (en especial de sorgo y alfalfa) y oleaginosas (cártamo, algodón y soya) alcanzó una superficie de 1.3 millones de hectáreas, contra 1.0 millones de hectáreas de maíz y trigo.<sup>28</sup> La industria de los alimentos balanceados produjo un aumento explosivo en el engorde de ganado en corrales. Este sistema industrial intensivo de producción de carne (conocido usualmente como *feed-lots*) utiliza como insumo fundamental los becerros nacidos en las áreas de cría extensiva. De esta manera, las áreas bajo riego, las agroindustrias y los productores intensivos o "engordadores" se convierten en

<sup>23</sup> Subsecretaría Agricultura y Operación, Dir. Gral. de Econ. Agrícola. 1978. *Producción de la ganadería, de la industria y de semillas mejoradas en los distritos de riego - Año agrícola 1976-1977*. Informe estadístico No. 95, SARH, México.

<sup>24</sup> Echeverría Zuno, A. 1984. *Problema alimentario y cuestión rural*. Ed. Nueva Imagen, México. 323 pp.

Garreau, G. 1980. *El negocio de los alimentos (las multinacionales de la desnutrición)*. Ed. Nueva Imagen, México. 318 pp.

Portilla, B., R. Salazar y S. del Valle. 1983. *Alimentos: dependencia o desarrollo nacional*. CEESTEM - Ed. Nueva Imagen, México. 149 pp.

<sup>25</sup> Rutsch, *op. cit.*

<sup>26</sup> Coordinadora General del Sistema Nacional de Información. 1979. *Manual de Estadísticas Básicas. Sector Agropecuario y Forestal*. Secr. de Programación y Presupuesto, México. 2 Vols.

<sup>27</sup> Nacional Financiera, *op. cit.*

<sup>28</sup> Dirección General de Economía Agrícola. 1979. *Estadística agrícola de los distritos de riego. Año agrícola 1977-78*. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México.

el centro económico a nivel nacional alrededor del cual gira una periferia de “criadores” extensivos. La ganaderización de los distritos de riego es particularmente visible en la Comarca Lagunera, donde el total de cabezas de ganado para carne subió de 25 mil en 1974 a 170 mil en 1980,<sup>29</sup> a una tasa de 32% anual (diez veces la tasa de incremento demográfico del país). Esta tendencia tiene también un fuerte componente social. El algodón, anteriormente cultivado por los propietarios más ricos, es ahora el cultivo más frecuente entre los ejidatarios de la Laguna, mientras que los predios particulares se orientan preferentemente al cultivo de la alfalfa para la alimentación del ganado.

## LA FRONTERA ÁRIDA

Con el intenso desarrollo urbano que se dió en la frontera México-Estados Unidos a partir, sobre todo, de la década de los cincuentas, comenzó un intenso movimiento migratorio desde los estados centrales de la República hacia la frontera por parte de grupos rurales marginados en busca de nuevas fuentes de trabajo, ya sea como trabajadores ilegales “al otro lado” de la línea, como trabajadores viajeros (*commuters*), como maquiladores en las nuevas industrias fronterizas, o como subocupados en las ciudades fronterizas.<sup>30</sup> La migración hacia el norte es simultáneamente la causa y la consecuencia de la urbanización explosiva, y trajo aparejados serios problemas de deterioro ambiental y de sobreuso de los recursos naturales. El desplazamiento poblacional hacia la frontera se dio en forma simultánea con la modernización de la agricultura capitalista en el norte y la irrupción de las transnacionales de la agroindustria en las zonas de riego. Estos fenómenos son parte inseparable del complejo proceso de desarrollo del capitalismo dependiente de la zona fronteriza. Objetivamente, la concentración poblacional en la frontera actúa como reserva de trabajo a disposición de la agricultura y la industria estadounidenses.

La franja fronteriza México-Estados Unidos se caracteriza por una serie de problemas ambientales específicos, que devienen de la compleja dinámica económica y demográfica de esta región. La frontera es quizás el área políticamente más sensible de los desiertos norteos. Su característica más notable es el profundo contraste social, económico y cultural entre los dos países. La disparidad entre las dos economías exagera, agrava y caricaturiza los problemas existentes dentro de la sociedad mexicana. La especulación económica y la corrupción administrativa (generalmente vinculada al contrabando), son más fuertes en el área fronteriza que en el resto del país. La intensa (y frecuentemente ilegal) dinámica del mercado especulativo fronterizo deteriora la dis-

<sup>29</sup> Pucciarelli, *op. cit.*

<sup>30</sup> Fernández, *op. cit.*

Tamayo, J. y J.L. Fernández. 1983. *Zonas Fronterizas (México-Estados Unidos)*. Centro de Investigación y Docencia Económica (CIDE), México.

ciplina productiva y favorece expectativas económicas basadas en la obtención de ganancias fáciles aprovechando las diferencias en los términos de intercambio entre los dos países. En este contexto, los programas de uso adecuado y de conservación de los recursos ambientales y biológicos son extremadamente difíciles de llevar a cabo.<sup>31</sup>

Nuestra propia experiencia en el noroeste de Sonora nos ha demostrado que los ciudadanos de los Estados Unidos que cruzan la frontera para vacacionar con frecuencia provocan deterioros en el área a través de la cacería furtiva, la colecta de minerales y plantas raras, la contaminación por basura y el uso de vehículos a campo traviesa (*buggies*). Existe un curioso “síndrome fronterizo” en estos visitantes, quienes con frecuencia se dedican del lado mexicano a actividades que no se atreverían a realizar en su propio país.

Sería injusto, sin embargo, culpar sólo a los visitantes extranjeros por la destrucción de los habitats fronterizos y de sus biota asociadas. En un sentido más restringido, buena parte de los mexicanos en el área son también visitantes. Muchos de ellos han emigrado al norte desde áreas más húmedas (generalmente tropicales), atraídos por el mayor dinamismo de la economía fronteriza y algunos con la idea de cruzar eventualmente al “otro lado”. Estos “visitantes internos” no han sido criados en los climas áridos de la frontera, y por lo general no sienten afecto ni comprensión hacia este medio ambiente más hostil. La migración interna hacia las zonas fronterizas, fundamentalmente hacia las ciudades, resulta con frecuencia en la destrucción de la vegetación natural para el desarrollo de nuevas áreas agrícolas asociadas al crecimiento explosivo de los núcleos urbanos o a la gran demanda por hortalizas del mercado norteamericano, en la cacería ilegal de animales silvestres, en el agotamiento del agua del subsuelo por el bombeo para irrigación o consumo humano, y en la tala de vegetación natural para leña y materiales de construcción.

Tanto los problemas que se enfrentan en la conservación de los recursos naturales como las posibilidades de obtener medios económicos para solucionarlos son muy diferentes en un país menos industrializado y económicamente dependiente como México, en comparación con una nación industrializada y poderosa como los Estados Unidos. En México la alta tasa de incremento demográfico, la demanda creciente por productos de consumo y, en general, la situación de rápido cambio social y cultural, producen fuertes presiones sobre las áreas naturales que no han sido aún incorporadas a la producción. Por otro lado, México tiene una menor disponibilidad de personal calificado y de tecnología para hacer frente a los problemas emergentes en el área de conservación y de manejo de recursos. Aún las prioridades nacionales difieren con frecuencia entre ambos países.

<sup>31</sup> Ezcurra, E. y G. Halfiter. (en prensa) Conservation problems on the Mexican side of the border. *Proceedings of the binational meeting on environmental hazards and bioresources issues of the United States-Mexico borderlands*. Latin American Center, University of California, Los Angeles.

## EL PATRIMONIO NATURAL Y LA NECESIDAD DE CONSERVAR

Pese a la escasísima lluvia que baña los desiertos, y pese a la mala cobertura de la vegetación, es sabido desde hace tiempo y consta en las descripciones de los primeros misioneros y exploradores en Sonora que la productividad de las zonas áridas bajo sistemas de agricultura tradicional puede ser relativamente alta —en algunos casos asombrosamente elevada— dadas las condiciones extremadamente desfavorables para el desarrollo de las plantas. En 1716 Luis Xavier Velarde caracterizó la fertilidad de la tierra sonorense como “en nada inferior, sí superior a partes de la Nueva España”, y en 1764 Nentuig describió rindes en el cultivo del maíz de “hasta 300 fanegas por una de sembradura”.<sup>32</sup> ¿Cómo se explica que los primeros misioneros hagan referencia a cosechas tan abundantes en áreas desérticas sin perforaciones para agua ni equipos de riego? Por un lado, las crónicas hacen referencia no a los rendimientos por hectárea, que es la forma como estamos acostumbrados a medir la productividad agrícola, sino a los rendimientos por insumo invertido, es decir, cuántas fanegas de grano se obtienen por fanega sembrada (dicho sea de paso, esta forma de evaluar la productividad de las zonas áridas, donde la extensión de la tierra rara vez es un factor seriamente limitante, parece bastante más lógica que la expresión tradicional de rindes por hectárea). Por otro lado, estos relatos están referidos no a toda la extensión del desierto sino a las parcelas de agricultura tradicional que funcionaban bajo un sistema de irrigación por “cosecha de agua”, es decir recibiendo aportes exógenos de agua recolectada en la parte superior de la cuenca.<sup>33</sup> Russell, en su monumental trabajo sobre los grupos Pima, explica el método de irrigación indígena en los siguientes términos: “El Río Gila acarrea una cantidad inusitadamente grande de material suspendido cuando se encuentra en creciente. (. . .) La totalidad del suelo en donde los campos de cultivo se encuentran ubicados ha sido formada por este material de acarreo. (. . .) Los Pimas no practican rotación de cultivos ya que el suelo es tan rico en el limo que periódicamente se deposita en él por las crecientes de los ríos que la idea de agotar la fertilidad del suelo nunca se les ha ocurrido. El riego, en estos términos, ha sido practicado durante un número desconocido de siglos (. . .) y el curso de grandes canales puede ser

<sup>32</sup> González, L.R. (comp.) 1977. *Etnología y misión en la Pimería Alta 1715-1740. Informes y relaciones misioneras de Luis Xavier Velarde, Giuseppe Maria Genovese, Daniel Januske, José Agustín de Campos y Cristóbal de Cañas*. Instituto de Investigaciones Históricas, Univ. Nal. Aut. de México. 359 pp.

Matson, D.S. y B.L. Fontana (eds.). 1977. *Friar Bringas reports to the King. Methods of indoctrination on the frontier of New Spain 1796-97*. (Versión en inglés del informe al Rey de España preparado por el Padre Diego Miguel Bringas de Manzaneda y Encinas, O.F.M.) Univ. of Arizona Press, Tucson. 177 pp.

Nentuig, J. *El Rudo Ensayo. Descripción geográfica, natural y curiosa de la Provincia de Sonora, 1776*. Reedición del manuscrito original. Instituto Nacional de Antropología e Historia, Colección Científica, México (1981). 202 pp.

<sup>33</sup> Hutchinson, C.F., G.R. Dutt y M. Anaya Garduño (eds.) 1981. *Rainfall collection for agriculture in arid and semiarid regions*. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, Inglaterra. 97 pp.

Nabham, G. 1979. The ecology of floodwater farming in arid southwestern North America. *Agro-Ecosystems* 5:245-255.

visto por millas en toda la región de Arizona, no sólo a lo largo del fondo de los ríos sino también a través de mesas".<sup>34</sup>

Este método de agricultura, con diferentes variantes, no ha sido exclusivo únicamente de los grupos del norte de Sonora. También ha sido usado en las tierras áridas de Sudamérica por grupos de la cultura quechua, y ha formado la antiquísima tradición agrícola del Negev en Palestina y de la Mesopotamia asiática. La técnica consiste en aprovechar el agua de las lluvias colectándola y dirigiéndola hacia la parcela de cultivo a través de pequeños sistemas de canales. El agua, proveniente de una cuenca de superficie mucho mayor que la de la propia parcela, trae en suspensión sedimentos y restos vegetales que sirven como eficaz medio de fertilización del sitio cultivado.<sup>35</sup>

Origen de la mayor parte de la agricultura mesoamericana, México ha mantenido durante siglos una rica tradición sobre el uso adecuado y localmente adaptado de sus diversos recursos bióticos. Un gran número de plantas cultivadas tienen su centro de origen en México, y el país ha sido durante décadas un paraíso para los naturalistas, colectores, agrónomos, etnobotánicos y antropólogos. La ubicación biogeográfica en la zona de transición entre dos grandes regiones: la Neártica y la Neotropical; la pronunciada topografía que determina un complejo mosaico de ambientes contrastantes, y el avanzado desarrollo de la agricultura en tiempos prehispánicos, son todos factores que han contribuido a la gran riqueza biótica del país y a la diversidad en el uso tradicional de estos recursos. Las variedades mexicanas de maíz y de frijol —para mencionar sólo dos de los cultivos más comunes— constituyen una porción significativa de los bancos de germoplasma en el mundo.

Desafortunadamente, la situación ha ido cambiando rápidamente en los últimos años. El desarrollo de la agricultura capitalista moderna por un lado, y las presiones demográficas crecientes por el otro, han ido determinando el reemplazo de los sistemas de uso tradicional por cultivos modernos. Mientras que los sistemas de uso tradicional en las zonas áridas utilizaban procedimientos de producción tales como el uso múltiple de oasis y áreas de acumulación de agua, los cultivos mixtos, la cosecha de agua de escorrentía, y el uso y mejoramiento de la vegetación natural recolectable, la agricultura moderna genera sistemas de cultivo extremadamente homogéneos, que emplean sólo unas pocas variedades genéticamente uniformes a lo largo de grandes extensiones bajo riego, y que utilizan el agua en forma muy ineficiente. En el norte de México, el advenimiento del motor a explosión y de la tecnología agrícola moderna han producido en lo que va de este siglo una sustitución casi total de las áreas de cultivos tradicionales por sistemas agrícolas capitalistas altamente tecnologizados. Los sistemas de

<sup>34</sup> Russell, F. 1908. The Pima Indians. *Annual Report of the Bureau of American Ethnology*. 26:3-389. (En 1975 la Univ. de Arizona reimprimió en un libro este interesante trabajo).

<sup>35</sup> Nabham G. 1982. *The desert smells like rain. A naturalist in Papago Indian Country*. North Point Press, San Francisco. 148 pp.

Nabham, G. 1984. Soil fertility renewal and water harvesting in Sonoran Desert agriculture: The Papago example. *Arid Land Newsletter* 20:20-28.

refrigeración y de aire acondicionado, las carreteras, las facilidades de transporte, los pesticidas y la tecnología de bombeo de pozos profundos han generado la peligrosa expectativa de poder convertir al “desierto en un vergel” a través de una agricultura extractiva y derrochadora que acabará finalmente por agotar los pocos y valiosos recursos naturales que tienen los desiertos.

La mayor parte de los cultivos mundiales se ha originado en áreas que actualmente corresponden a países pobres y con insuficiencias alimentarias, y una buena parte de estos cultivos provienen originalmente de regiones secas de Mesoamérica, Sudamérica, Asia y África. La producción agrícola de los países desarrollados depende fundamentalmente de variedades genéticas silvestres o de uso tradicional, recolectadas en países pobres y almacenadas en los llamados “bancos de germoplasma” cuya importancia estratégica es enorme. Algunos bancos de germoplasma se encuentran bajo control de compañías privadas. En otros casos, las instituciones de gobierno controlan los bancos, por considerarlos vitales para su propia autosuficiencia alimentaria.<sup>36</sup> En México no existen bancos de germoplasma que protejan las especies comestibles que han sido recolectadas o cultivadas en los desiertos. Las mismas zonas áridas, y las áreas de agricultura tradicional en particular, actúan de hecho como los sitios de protección y almacenaje de especies y variedades potencialmente valiosas. Al implantar cultivos modernos sobre áreas anteriormente cubiertas por vegetación natural o por cultivos tradicionales, se pierde una parte importante de un valioso patrimonio natural. Al talar, al sobrepastorear, al sacar el agua del subsuelo, se pierden recursos que serán muy difíciles de recuperar.

Hay muchas analogías entre la destrucción del patrimonio natural de un país y la de su patrimonio cultural. Tanto el ambiente cultural como el natural han contribuido a formar las tradiciones y la estructura actual de la sociedad, y ambos conforman un mismo legado histórico. Bajo este punto de vista las especies y los ecosistemas no sólo representan recursos con un valor potencial sino que también forman una parte fundamental de las tradiciones, de la cultura y de la identidad misma de la nación. Para un país como México que enfrenta urgentes problemas en lo económico, en lo social, e incluso en lo demográfico, la conservación de la naturaleza no puede estar basada únicamente en argumentos de carácter estético sino más bien en consideraciones de tipo político, económico y social. Conservar la naturaleza es conservar recursos bióticos de valor potencial, es recuperar el control sobre el patrimonio natural, es evitar que nuevas tecnologías deterioren y alteren de manera imprevisible la calidad del ambiente y el modo de vida de la población. Recuperar el uso adecuado del patrimonio natural de México es recuperar opciones abiertas para nuestro propio futuro.

<sup>36</sup> Ezcurra, E. 1985. Las semillas de la dependencia. *Siempre!* 31(1648):48-49.

## CONSERVACIÓN Y DESARROLLO

Para un país con una larga tradición de reivindicaciones y de luchas agrarias como México, creemos que no es posible ni justificable proteger ecosistemas naturales sin involucrar directamente a los pobladores locales. Socialmente no es correcto —más aún, no es en general viable— el mantener grandes áreas de conservación sin ningún uso productivo cuando la necesidad de más alimentos y las demandas por más tierras agrícolas están generando fuertes presiones sobre toda la estructura de la sociedad. Pensamos que la mejor manera (quizás la única) de conservar los recursos bióticos en países pobres es darles la importancia que les corresponde como elementos de desarrollo humano. Conservación y desarrollo, dos conceptos que con frecuencia se consideran antagónicos, deben avanzar juntos en aquellos países que necesitan más tierra y más alimentos. Un esquema de conservación con sentido social no debería excluir de sus objetivos el desarrollo rural apropiado. El buen manejo de los recursos bióticos debería considerar la producción sostenida y la conservación como sus principales objetivos simultáneos y complementarios.<sup>17</sup>

La agricultura moderna, que está basada cada vez más en el cultivo de unas pocas variedades productivas de alta uniformidad genética, necesita de una inmensa reserva de semillas de diferente origen a partir de las cuales se producirán las nuevas variedades de cultivos. La mayoría de estas variedades tienen una vida útil de diez a quince años, el tiempo promedio que tardan las plagas y enfermedades para adaptarse a las características de un nuevo tipo. En franco contraste con la tecnología moderna, la agricultura tradicional mantiene cultivos genéticamente heterogéneos y no enfrenta riesgos tan elevados por adversidades ambientales, plagas o enfermedades. La agricultura tradicional tampoco requiere de grandes cantidades de insumos industriales como fertilizantes, pesticidas, combustibles y maquinaria sofisticada. Es más, al hacer un uso eficiente del agua disponible no consume tan intensamente los depósitos de agua en el subsuelo que se han acumulado durante siglos o milenios de lentos procesos naturales, a veces incluso durante la época más húmeda de la última glaciación hace unos diez mil años.

A través de sistemas de pastoreo apropiados, de una agricultura ajustada al ciclo de las lluvias y a la disponibilidad real de agua, o del aprovechamiento renovable de algunas especies animales y vegetales de valor comercial, es posible garantizar la conservación del medio y la renovación de los recursos que son la base de una larga y profunda relación con los desiertos. De esta manera, conservación y producción, dos conceptos frecuentemente opuestos en las sociedades capitalistas modernas, aparecen más bien como opciones dialécticamente complementarias para los países pobres y no desarrollados. La única manera de conservar los recursos naturales en países no desarrollados es rescatar su valor productivo y convertirlos en recursos útiles para las po-

<sup>17</sup> Halfster, G., P. Reyes-Castillo, M.E. Maury, S. Gallina y E. Ezcurra. 1981. La conservación del germoplasma: soluciones en México. *Folia Entomologica Mexicana* 46:29-64.

blaciones locales, y tomar así conciencia de la necesidad de conservarlos en el largo plazo. Con técnicas apropiadas de manejo y una valorización adecuada de los recursos cesará la explotación extractiva y no renovable de los mismos, y será posible pensar en cambiarla por una explotación sostenida y renovable en el largo plazo.

Frente a la crisis económica y productiva que vive México no sólo es importante mantener la productividad de las zonas áridas, es necesario también aumentar la eficiencia en el uso de insumos y conservar los recursos productivos para el futuro. Más que de costosas tecnologías que demandan grandes cantidades de energía, de dinero y de divisas, y que consumen irreversiblemente recursos que deberían ser renovables, el futuro de las zonas áridas depende en muchos aspectos de nuestra capacidad para adaptarnos a ellas, de nuestra humildad para vivir con las limitaciones que impone el desierto, de nuestro entendimiento de los ecosistemas áridos, y de la imaginación que pongamos para hacer uso de la rica gama de recursos que estos ecosistemas nos ofrecen.

#### AGRADECIMIENTOS

Gonzalo Halfiter ha contribuido mucho a nuestras ideas sobre políticas de conservación a través de largas y pacientes discusiones. Nuestros estudios sobre la ecología de los desiertos mexicanos reciben apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y del Programa Regional Para el Desarrollo Científico y Tecnológico de la OEA. Las opiniones vertidas en este artículo son, por supuesto, responsabilidad exclusiva de los autores.

Se terminó de imprimir este libro el día 23 de mayo de 1988 en los talleres de la Editorial Libros de México, S. A., Av. Coyoacán 1035, Col. del Valle, Deleg. Benito Juárez, 03100 México, D. F. Se tiraron 1 000 ejemplares.



