

# Las playas y sebkras del desierto chihuahuense

*Janeau J.-L., Grünberger O.,  
Páez Pérez N. y Reyes-Gómez V. M.*

## **Introducción**

La parte mexicana del desierto chihuahuense ocupa aproximadamente 200 000 km<sup>2</sup>. El Bolsón<sup>1</sup> de Mapimí, que representa la parte más baja de ese desierto, posee una superficie de aproximadamente 114 000 km<sup>2</sup>. En este marco geográfico se han estudiado las playas y las sebkras de esta gran depresión endorreica, así como la extremidad norte del desierto en Chihuahua (línea fronteriza entre los USA y México). Estas zonas presentan entre 1000 y 1340 metros de altitud. Se han identificado cuatro tipos de recursos explotables por el hombre: la vegetación halófila consumida por el ganado (Barral, 1991), la explotación de plantas útiles del desierto (Ruiz de Esparza, 1992), la agricultura oportunista de algunos cultivos bajo irrigación (Alberteau, 1991) y la producción de sal continental (Lefond, 1969, Grünberger *et al.*, 1992).

El estudio de los estados de superficie representativos de la Reserva de la Biosfera de Mapimí (172 000 ha) ha contribuido a la comprensión del origen y funcionamiento de la hidrodinámica superficial, la más importante, de la parte baja de la toposecuencia de la cuenca de Palomas. Con el propósito de estimar la representatividad y de comprender los resultados obtenidos en las partes bajas de las cuencas endorreicas del desierto chihuahuense, se seleccionaron 16 cuencas de entre las 32 existentes. Este muestreo representativo se efectuó en función de su situación orográfica, geográfica y de su superficie (Figura 109). Se trata de las cuencas denominadas: El Jaco, Santa María, Cuatro Ciénegas (El Hundido), Del Rey, Sobaco,

<sup>1</sup> Bolsón: término que puede traducirse como una olla o bolsa, haciendo alusión también al endorreísmo de esta gran cuenca "atrapada" entre dos cadenas de montañas, la Sierra Madre Occidental y la Oriental.

El Coyote, Barreal, Mayrán, El Cuervo, La Leche, El Guaje, Las Arenosas, El Gigante, Las Liebres, Puerto Rico y Las Pampas. El estudio se centró sobre las partes bajas de las toposecuencias compuestas de bajada inferior definida como un glacis de pendiente débil, las playas altas y bajas; esta distinción fue esencialmente basada sobre la composición florística; las pendientes no constituyeron un criterio muy útil de selección. Los estados de superficie, los relieves de dunas (viviente o fija y de tipo luneta) y las sebkras (*sensu stricto*), también fueron criterios considerados en este análisis.

## **Principales características del desierto de Chihuahua**

### **Clima**

Las principales características del clima que están definidas para la Reserva de la Biosfera de Mapimí (Capítulo 1.2), de forma general se basan sobre los criterios definidos por Köppen, (1948) modificados por García, (1973). La Reserva está considerada como una región de clima seco, pero que varía en función del grado altitudinal y latitudinal con algunas particularidades locales ligadas a la presencia de macizos más altos que la media registrada para la Sierra Madre Occidental. De norte a sur se encuentra un clima muy seco semicálido, con heladas en invierno y lluvias de verano con 5-10.2% de

lluvias de invierno, hasta un clima muy seco templado con el mismo patrón de lluvias de verano, pero con extremos de más de 10.2% de lluvias de invierno (extremo norte). Dentro de algunas zonas de relieve en la zona de transición sierra-bajada inferior, el clima es semitemplado con un periodo de lluvias en verano y un 5-10.2% de lluvias en invierno. Dos regiones tienen condiciones de canícula puntual, es decir, una estación corta de sequía en medio de la estación de lluvias de verano (sequía del verano medio). Una de esas se encuentra al este de Chihuahua (106°-105° O. y 28°50'-29°40' N.), la otra se extiende al noroeste de las aglomeraciones de Torreón-Gómez Palacio (104°20'-101°40' de longitud O, 25°40'-26°50' de latitud N). La media de las temperaturas interanuales (aire), varía de los 16°C en zonas altas a los 22°C en la zona de planos y depresiones, al noroeste. El centro del Bolsón presenta medias entre 18 y 20° (27-29° N, 106°-103°30' O). La pluviometría está comprendida entre 162 mm y 358 mm con gradiente espacial: entre más retirado esté el macizo, se impone más la continentalidad y menos importantes son las precipitaciones. Sin precisar más detalles de la variación puntual, guardaremos el contexto climático de zonas áridas y semiáridas para referenciar el desierto chihuahuense, más particularmente cuando se hable del Bolsón de Mapimí.



Figura 109. Situación de las lagunas estudiadas en la parte media-baja del desierto chihuahuense.

## Geología

Una gran parte del sustrato se originó en el Cuaternario (suelo de depresiones) y del Terciario (cerros y relieves). Algunos macizos sedimentarios son más ancianos, del Mesozoico y sólo un pequeño macizo es del Paleozoico superior, el cual está situado en el centro del Bolsón. La Sierra Madre Occidental colindante al Bolsón está formada por rocas ígneas, al este, y al sur dominan las rocas sedimentarias que son fuente de la salinidad en las depresiones.

► La salinidad del desierto chihuahuense se debe esencialmente a ciertas rocas del Terciario (lutitas con yeso) y del Pérmico-Triásico (evapori-

tas). Definitivamente, en términos sedimentarios, algo de la salinidad remonente se encuentra ligada a la regresión marina a lo largo de toda la secuencia geológica. En lo que concierne al Bolsón de Mapimí, es más la proporción de productos volcánicos con relación a la serie Terciaria, que regula la salinidad de superficie. Las aguas termales son un contra ejemplo de esta regla general.

La alineación general de los macizos del Bolsón de Mapimí es de norte a sur, los cauces principales siguen esta dirección. Una excepción se distingue en el caso de la cuenca de la laguna de Mayrán situada en el extremo sur del Bolsón, donde la orientación

es suroeste-noreste, lo que le confiere a esta gran cuenca endorreica la característica de cerrada, hecho por el cual es llamado Bolsón de Mapimí. Las sebkras tienen una forma alargada, más o menos oblonga.

### Edafología de las playas

A la escala del desierto chihuahuense, las cartas edafológicas 1:250 000 que existen (80% de cobertura) hacen referencia a diferentes clasificaciones generalmente desaparecidas. Los suelos reportados son descritos como salino sódicos<sup>2</sup>, petrocálcicos<sup>3</sup>, pedrosos líticos<sup>4</sup>, la salinidad y la sodicidad sobresalen como caracteres salinos en las playas y sebkras. En los subgrupos de suelo encontrados existe una gran diversidad de subunidades en los tipos Yermosoles, Solonchaks, Solonets, Podsoles, Vertisoles, Xerosoles y Regoloses.

### Vegetación

La vegetación es una estepa micrófila con diversas variantes dentro de la cuales sobresalen la inerme, subinerme y espinosa. En la zona de depresiones la flora es generalmente halófila, a veces yesófila. Una vegetación específica se desarrolla sobre las dunas arenosas y yesosas. Debido al carácter de salinidad elevada ( $> 128 \text{ mmmhos cm}^{-1}$ ) o al carácter inundable; sobre las sebkras generalmente no existe vegetación.

### Metodología

Un inventario y un análisis de numerosos mapas geológicos, edafológicos, topográficos y de vegetación, nos permitió seleccionar las toposecuencias *a priori* más representativas de las lagunas estudiadas. Un transecto paralelo al eje mayor de escurrimiento ha sido trazado y recorrido, asimismo, uno o varios perpendiculares a ese primer eje fueron utilizados para el levantamiento. Sobre todos los transectos recorridos se definió un patrón de colecta y observación. La observación fue basada sobre 35 parámetros que definen la vegetación, las organizaciones superficiales y la posición del sitio en la toposecuencia. Una toma vertical fotográfica desde lo alto de un mástil telescópico completó la observación. Una muestra de suelo fue recogida al nivel de superficie, una segunda muestra al nivel de las raíces (cuando estuvo presente vegetación con densidad importante). Los parámetros químicos analizados fueron los contenidos en el extracto 1:16 de los iones de  $\text{CO}_3$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  expresados en  $\text{meq l}^{-1}$  así como el pH y la C.E.. Se midieron igualmente los porcentajes de la humedad del suelo  $55^\circ\text{C}$  y a  $105^\circ\text{C}$ , así como las texturas.

<sup>2</sup> Salinosódicos: se dice de suelos ricos en iones de sodio.

<sup>3</sup> Petrocálcico: designa los suelos que poseen horizontes donde se acumulan carbonatos de calcio que tienden a cementarse en un horizonte duro máscico.

<sup>4</sup> Lítico: suelo limitado en profundidad por una roca dura y continua, a menos de 10 cm.

## Estados de superficie encontrados dentro de las 16 lagunas visitadas

### La vegetación

Citaremos aquí las especies más frecuentemente encontradas en función del estrato considerado (ver Anexo 2 para autores de los binomios y algunos nombres locales).

- El complejo de algas está reagrupado bajo el nombre de bioderma.
- El estrato herbáceo (predominantemente pastizal): *Sporobolus airoides*, con nombres locales de: zacatón alcalino, pajón; *Hilaria mutica*, nombres locales o comunes: toboso grass, sabaneta; *Portulaca oleracea*, nombre local: verdolaga; *Salsola kali L, russian thistle*, nombre local: hierba rodadora; *Scleropogon brevifolius*, burro grass, pasto alfombrita; *Tridens pulchellus*, término conocido: fluff grass, pasto borreguero. Cabe señalar que los recorridos fueron realizados en periodo no lluvioso, cuando las lluvias anuales no se perciben.
- El estrato arbustivo (matorral): *Fouquieria splendens*, nombre local: ocotillo; *Larrea tridentata*, nombre local: gobernadora; *Prosopis glandulosa* nombre local: mezquite; *Suaeda nigrescens* o *suffrutecens* nombre local: saladillo; *Atriplex canescens*, nombre local: chamizo.
- El estrato arbóreo (>3 metros) está compuesto esencialmente de *Prosopis glandulosa*, algunas *Acacias* sp. y *Larrea tridentata*, si las condiciones de alimentación hídrica son favorables.

Se debe señalar que numerosas cactáceas están presentes en todo el gradiente altimétrico, incluyendo la zona baja relativamente salina, su tamaño es excesivamente variable (Cornet, 1988). Sin embargo, cabe mencionar la presencia importante del género *Opuntia* en todas las playas y especialmente la especie *Opuntia violacea*, purple prickly pear, nombre local: nopal morado.

### Reorganizaciones superficiales

Cinco clases de reorganizaciones superficiales pueden ser definidas con base en su funcionamiento hidrodinámico.

- Costras con capacidad importante para producir escurrimiento de forma constante, salvo en los casos de pisoteo importante de ganado o acción del hombre: costra estructural, costra de erosión, costra de escurrimiento.
- Costras con baja capacidad de producir escurrimiento de manera semitemporal: costra de decantación con porosidad fisural fina, situaciones en sebkras y depresiones, costras de decantación con porosidad fina fuerte.
- Costras de sales con carácter permanente o temporal: la presencia de sales muy higroscópicas puede expresarse en la superficie del suelo bajo forma de películas saladas, blancas, cloruradas (costras o florescencias salinas), pudiendo evolucionar estacionalmente en microhorizontes polvorientos de color café (materiales finos de suelo) (Loyer, 1991).

- Micropartículas libres ligadas a la desestructuración de la agregación del medio por aportes de agua salada o por la actividad biológica.
- Arenas libres o encostradas: depósitos eólicos (ripple mark continental, micro-barkhane), acumulación cuando la sebkra está ligada a los presones naturales (vegetación, elementos gruesos) y películas de desecación.

Para estos tres últimos componentes de superficie, la infiltración está en función de las características de las costras o del horizonte subyacente.

### **Morfología de las toposecuencias**

Las diferentes unidades topográficas de las toposecuencias tienen la misma clasificación que las determinadas para la cuenca de Palomas. La toposecuencia representativa estudiada está constituida por la sebkra, playas bajas y altas y localmente por la bajada inferior.

► Las sebkas en México son frecuentemente llamadas lagunas. Hablaremos aquí del término laguna sin diferenciar la sebkra, lo emplearemos para hacer referencia a la humedad que persiste en esas zonas de una cuenca endorreica, además permite atribuir el nombre de laguna o lago al conjunto de sebkra, playa baja y alta.

### **Descripción de las lagunas estudiadas**

Las partes bajas de las lagunas están descritas sobre la base de las informaciones cartográficas disponibles, asociando la

traducción con el fin de apreciar la visión del hombre con relación a la realidad ecológica. En la Tabla 61 se sintetizan los principales parámetros sobre las lagunas.

### **Pluviometría y parámetros morfológicos**

Un gradiente latitudinal se acopla a la situación orográfica. Por ejemplo, las cinco primeras lagunas están situadas al norte del Bolsón de Mapimí (Tabla 61), con latitudes arriba de 27° N. Las playas donde la pluviometría es inferior a los 200 mm están dentro de cuencas muy cerradas, con abundantes relieves pronunciados (Tabla 61). Todas las cuencas están comprendidas en una gama relativamente estrecha de pluviometría anual. Pueden situarse entre las isoyetas de 100-200 mm, correspondientes a climas áridos o muy áridos, hasta niveles de 200 a 400 mm correspondientes a un clima semiárido (Según la clasificación de Demangeot, 1981).

La laguna Las Palomas y el arroyo de La India, forman una cuenca de 19 630 km<sup>2</sup>. El arroyo de la India desemboca dentro de la laguna Las Palomas luego de crecidas excepcionales, por ejemplo la de 1991 con 545 mm de lluvia anual y tres lluvias consecutivas de más de 80 mm en menos de 24 horas.

Leche y Coyote son dos de las lagunas con una gran cuenca muy plana de 6428 km<sup>2</sup> sin una relación directa, pues están separados por un tercer arroyo que puede alimentarlos después de fuertes crecidas.

La cuenca de Santa María posee una superficie total de 6516 km<sup>2</sup> de los cuales 5548 km<sup>2</sup> corresponden a la zona de aguas arriba y poseen poca o ninguna capacidad para producir escurrimiento, aún en periodo de crecidas de recurrencia anual.

### Descripción general de las lagunas estudiadas

► La terminología edafológica empleado aquí es frecuentemente utilizada en las cartas de suelos de INEGI, fueron realizadas en 1970 mediante la clasificación de la FAO de la época y sobre la base de un vuelo aéreo, la cartografía permite sólo una interpretación limitada debido a la escala y a la débil frecuencia del número de puntos de referencia. Algunos suelos parecen estar fuera del contexto de clasificación en esos ambientes (como por ejemplo los Phaeosems), sin embargo, se dejaron por fidelidad a las fuentes de información.

### MAYRÁN, 10086 km<sup>2</sup>

**Geología:** La cuenca está limitada por masivos sedimentarios, al sur con la sierra de Parras y al norte con la sierra El Clarín. Al

oeste se encuentra un pequeño macizo de basalto, al este se presentan algunos cerros de débil amplitud constituidos de conglomerados.

**Edafología:** Suelo aluvial del Cuaternario con un fondo de depresiones de Solonchaks háplicos y sódicos, con más del 15% de saturación de iones de sodio intercambiables. Las playas están constituidas de Yermosoles háplicos. Localmente, al sur, se encuentran Regosoles eútricos.

**Vegetación:** La sebkra está sin vegetación. La flora herbácea forma una sabana halófila con dominancia de *Hilaria mutica*, *Sporobolus airoides*, *Atriplex* sp. y *Eryoneuron* sp.; localmente, *Suaeda* sp. La playa alta está compuesta por un estrato arbustivo de *Prosopis glandulosa*, *Fouquieria splendens*. Las bajadas presentan vegetación compuesta de *Larrea tridentata*, *Flourensia* sp. y *Opuntia* sp. La proximidad de ciudades importantes genera la presencia de cultivos bajo irrigación (maíz, frijol). Algunos campos de cultivo temporales están presentes en la cercanía de los cerros, o bien algunos ranchos con vocación de pastoreo.

Tabla 61  
Relaciones entre la pluviometría anual y la situación altitudinal  
de las cuencas endorreicas

Parámetros Lagunas	Lluvia anual (mm)	Alt. mín. (m)	Alt. máx. (m)	Superf. laguna (km <sup>2</sup> )	Superf. Sebkra (km <sup>2</sup> )	Relación Sebkra /laguna
Pampas	357,60	1400	2060	438	13	2.96
Arenosas	347,96	1330	1770	505	1.9	0.37
Coyote	291,11	1090	1800	1135	14.4	1.26
Leche	291,11	1100	2440	873	43.3	4.95
Cuervo	287,68	1140	2020	6516	211	3.24
Jaco	266,99	1250	1480	7495	6.4	0.08
<b>Las Palomas</b>	<b>264,20</b>	<b>1100</b>	<b>1600</b>	<b>8484</b>	<b>38.8</b>	<b>0.45</b>
Santa María	263,69	1350	1880	6083	39.4	0.64
Rey	254,99	1040	2090	3792	63.7	1.67
Gigante	252,50	1340	1890	911	5.4	0.59
Liebres	225,08	1100	1800	507	1.5	0.29
Puerto Rico	225,08	1110	1550	1031	10	0.96
Guaje	191,37	1100	2660	7306	207	2.83
Sobaco	186,32	780	2450	2276	9.7	0.42
4 Ciénegas	186,32	850	2120	3762	8	0.21
Mayrán	174,37	1000	1780	10086	260	2.50
Barreal	162,10	1150	2140	7901	562	7.11

Alt.: altitud; mín: mínima; máx: máxima; superf.: superficie.

## EL BARREAL, 7901 km<sup>2</sup>

**Geología:** La cuenca está limitada por masivos volcánicos y sedimentarios. Localmente se encuentran conglomerados en las cercanías de los cerros. La sierra de La Candelaria presenta las altitudes más importantes.

**Edafología:** Suelo aluvial del Cuaternario con fondo de depresiones de suelos lacustres fuertemente sódicos y salinos. Se trata de Solonetz gléyico y Solonchak órtico. Al norte y al sur la playa conforma una amplia extensión (3500 km<sup>2</sup>) de dunas que limitan la cuenca. En playa alta se presentan Yermosoles lúvicos y Solonchaks órticos.

En zona de bajada inferior, son regosoles cálcicos asociados localmente a Solonchaks.

**Vegetación:** Sobre la zona lacustre con inmersión temporal se presenta una zona desnuda, con una sebkra de aproximadamente 562 km<sup>2</sup>. La flora herbácea forma una sabana halófito con dominancia de *Hilaria mutica*, *Sporobolus airoides*, *Atriplex* sp. y *Eryoneuron* sp., localmente, *Suaeda* sp. La playa alta está compuesta en su estrato arbustivo por *Prosopis glandulosa* y *Fouquieria splendens*. Las bajadas están compuestas de *Larrea tridentata*, *Flourensia* sp. y *Opuntia* sp.



### EL JACO, 7495 km<sup>2</sup>

**Geología:** Un masivo compuesto de riolita y andesita se localiza al oeste. Al este, en la sierra Cruces se observan rocas ígneas intrusivas y extrusivas. Al norte y sur existen pequeñas colinas calcáreas y dunas arenosíferas que limitan la laguna.

**Edafología:** Solonchak órtico en zona de sebkra, con moderada abundancia de Xerosoles y Yermosoles háplicos en zona de playa, localmente se observan Regosoles calcáricos.

**Vegetación:** La sebkra no presenta vegetación. La flora herbácea forma una sabana halófito con dominancia de *Sporobolus airoides* y un poco de *Atriplex canescens*. La playa está compuesta en su estrato arbustivo de *Prosopis glandulosa* y raras zonas con *Suaeda* sp. y *Larrea tridentata*. Se pueden observar algunas cactáceas y palmas del género *Yucca* sobre las dunas más antiguas.

### EL GUAJE, 7306 km<sup>2</sup>

**Geología:** La cuenca está limitada por macizos sedimentarios (dominancia), al este por la sierra El Pino, con un pie de monte con numerosos conglomerados, al oeste la sierra de Monterrey. Al extremo noreste se encuentra una zona de relieves de rocas ígneas extrusivas donde la toba ácida es mayoritaria. Al sur, tres masivos más o menos elevados, La Chorrera, San Antonio y El Caballo tiene un relieve compuesto de basalto, riolita y andesita.

**Edafología:** Suelo aluvial del Cuaternario con suelos lacustres sódicos en el fondo de la

laguna, con 15 a 40% de saturación de iones de sodio intercambiables. Al norte son los Solonchaks órticos los que dominan, existen Yermosoles háplicos. Al centro de la playa el suelo es de tipo Solonchak takirico como dominante y algunas zonas con suelos Solonetz órticos. En zona de bajada, localmente al este y al oeste, existen Regosoles calcáricos y Xerosoles cálcicos.

**Vegetación:** Sobre la zona lacustre con inmersión temporal se presentan grandes zonas desnudas. La flora de las playas forma una sabana halófito con dominancia de *Hilaria mutica*, en zonas aisladas hay *Sporobolus airoides*, muy localmente existe *Scleropogon brevifolius*, *Muhlenbergia* sp. y *Croton* sp. La periferia norte de la playa está compuesta de un matorral subinermite y las bajadas de un matorral sarcocaulo. Algunos ejemplares de *Prosopis glandulosa* en zona baja, más numerosos sobre la playa alta y en bajadas asociados a *Flourensia cernua*, *Yucca* sp., *Acacia vernicosa* y algunos *Opuntia* sp.

### EL CUERVO, 6516 km<sup>2</sup>

**Geología:** La cuenca está limitada por masivos sedimentarios dominantes de Las Damas, El Álamo y San Pablo; al este, La Ceja. Al sur, los relieves de la sierra El Torreño están compuestos de rocas ígneas extrusivas tales como la riolita y las tobas ácidas. Muy localmente se encuentran algunos conglomerados.

**Edafología:** Suelo aluvial del Cuaternario con fondo de depresiones de suelos lacustres, salinos y fuertemente sódicos, más del

40% de saturación con el ión de sodio intercambiable. Se trata de Solonchak órtico dominante y de Vertisol crómico. En zona de bajada son los Xerosoles, los Yermosoles cálcicos y háplicos, salinos y fuertemente sódicos los suelos que existen; localmente al oeste y al norte Regoloses eútricos. Al extremo norte existen suelos de origen eólico (dunas fijas).

**Vegetación:** Sabana halófito con dominancia de *Hilaria mutica* y en zonas aisladas de *Sporobolus airoides*, muy localmente existe *Haplapappus spinulosus*, *Atriplex* sp., *Solanum eleagnifolium* y *Erioneuron pulchellum*. En zona baja algunos ejemplares de *Prosopis glandulosa*, más abundancia en playa alta y en bajadas, asociados a *Flourensia cernua*, *Koerberlinia spinosa* y *Larrea tridentata*.

### **SANTA MARÍA, 6083 km<sup>2</sup>**

**Geología:** La cuenca está limitada por macizos sedimentarios dominantes y por relieves de roca ígnea extrusiva tales como la riolita y la toba ácida. Altitud máxima encontrada en la sierra La Nariz.

**Edafología:** Suelo aluvial del Cuaternario con fondo de depresiones de suelos lacustres fuertemente sódicos, más del 40% de concentración de iones de sodio intercambiable; se trata de Solonchak gléyico y takírico. En la parte norte de la playa alta, son los Yermosoles cálcicos. En zona de bajada, son los Regoloses calcáricos.

**Vegetación:** Sobre la zona lacustre con inmersión temporal se presenta una superficie

desnuda. La flora de playas forma una sabana halófito con dominancia de *Sporobolus airoides*, *Scleropogon* sp.; muy localmente se encuentran *Atriplex* sp. y *Erioneuron* sp. La periferia sur de la playa está compuesta en su estrato arbustivo de *Prosopis glandulosa*. Las bajadas están compuestas de matorral subinmerme.

### **DEL REY, 3792 km<sup>2</sup>**

**Geología:** Al oeste la sierra Del Rey, punto culminante, está compuesta de rocas sedimentarias. Al sur, un relieve de dunas areno-yesíferas delimitan la cuenca.

**Edafología:** De la sebkra a la playa alta se tiene Solonchaks órticos petrogypsicos, enseguida Xerosoles háplicos y al final Yermosoles cálcicos. Localmente aparecen costras de yeso.

**Vegetación:** La sebkra presenta vegetación muy escasa. La playa está compuesta de un bajo porcentaje de cubierta vegetal (< 2%) con *Sporobolus airoides*, *Atriplex* sp., algunos *Prosopis glandulosa*, *Suaeda* sp. y *Zinnia acerosa*. Las dunas están fijas, pobladas con algunos ejemplares de palmas del género *Yucca* y algunas cactáceas, localmente por *Acacia berlandieri*, *Larrea tridentata* y *Opuntia* sp.

### **CUATRO CIÉNEGAS (EL HUNDIDO), 3762 km<sup>2</sup>**

**Geología:** La cuenca está situada entre tres relieves importantes, sierra La Fragua al suroeste, sierra La Madera al norte y sierra San Marcos y Pinos al sureste. La originali-

dad de este sitio es el afloramiento de cuerpos de aguas termales saladas, de ahí su nombre. El yeso es visible bajo la forma de dunas de varios metros de altura (< 20 m), al sureste y al noroeste está ocupado por una superficie importante dedicada a diferentes explotaciones.

**Edafología:** La sebkra posee el punto más bajo del estudio (780 m). Los Solonchaks y los afloramientos de yeso son los suelos que componen esta laguna.

**Vegetación:** La vegetación de *Suaeda* sp. es dominante, asociada con *Atriplex* sp. y *Eryoneuron* sp., *Prosopis glandulosa*, *Fouquieria splendens*, *Yucca* sp. y *Opuntia* sp. presentan una distribución aleatoria. El yeso en superficie está sobrepuesto débilmente fijado al suelo. En las cercanías de los cuerpos de agua, se observan algunos vegetales acuáticos específicos.

### **SOBACO, 2276 km<sup>2</sup>**

**Geología:** La cuenca está limitada por macizos sedimentarios. Al oeste se encuentran lomas de conglomerado y algunas lutitas en las cercanías de los relieves. Al este se encuentra, de forma muy localizada, un pequeño cerro de riolita. La altitud máxima se presenta en la sierra La Margarita.

**Edafología:** Suelo aluvial del Cuaternario con fondo de depresiones de Solonetz órticos. Al norte, las playas bajas y altas están constituidas por Solonchaks órticos o sódicos, con más del 15% de saturación de iones de sodio intercambiable. En zona de bajada inferior dominan los Regosoles

calcáricos y los Fluvisoles calcáreos. Localmente, al oeste existen Yermosoles háplicos, al este Xerosoles háplicos. El centro de la cuenca presenta pequeñas lomas de baja amplitud constituidas de Litosoles y Regosoles calcáricos.

**Vegetación:** En la laguna Sobaco existen varias sebkra pequeñas sin vegetación. La flora herbácea forma una sabana halófila con dominancia de *Hilaria mutica*, *Sporobolus airoides*, *Atriplex* sp. La playa alta está compuesta de *Hilaria mutica* y en su estrato arbustivo de *Prosopis glandulosa* y *Fouquieria splendens*. Las bajadas están compuestas principalmente de *Larrea tridentata*, *Flourensia* sp. y *Opuntia* sp. Los pequeños relieves al interior de la cuenca están ocupados por cactáceas y abundantes arbustos del género *Acacia* y la especie *Fouquieria splendens*.

### **EL COYOTE, 1135 km<sup>2</sup>**

**Geología:** La sierra San Francisco, al este, y la sierra Las Tortugas encierran la cuenca. Estos macizos están formados de rocas sedimentarias.

**Edafología:** Suelos de tipo Solonetz órticos salados de textura fina dominan la sebkra. En la playa, el orden en abundancia es: Solonchaks órticos seguido de Yermosoles y Regosoles en la parte alta. Localmente se observan Regosoles calcáricos.

**Vegetación:** Playa desnuda. En zona baja, *Sporobolus airoides*, *Salsola kali* y *Atriplex* sp. En playa alta algunos ejemplares de *Prosopis glandulosa* y *Larrea tridentata*.

### **EL GIGANTE, 911 km<sup>2</sup>**

**Geología:** La cuenca está situada entre dos macizos, al sureste la sierra Agua Chile en las partes más altas, formada de rocas ígneas (riolita y toba); en su base existen conglomerados. Al este la sierra Agua de Mayo formada de rocas ígneas extrusivas.

**Edafología:** En la sebkra, Yermosoles lúvicos y Vertisoles crómicos ligeramente salinos y sódicos con textura fina. Al noreste de la laguna en la playa baja se observan Yermosoles gypsicos y en la playa alta Xerosoles lúvicos. Puntualmente, al norte se observan Solonchaks órticos.

**Vegetación:** *Portulaca oleracea* en zona baja, *Hilaria mutica* y algunos ejemplares de *Prosopis glandulosa*; *Larrea tridentata* en playa alta asociada a algunas cactáceas.

### **LECHE, 873 km<sup>2</sup>**

**Geología:** Al sureste, el relieve está compuesto de rocas sedimentarias donde culmina por la sierra La Mula y al noroeste por la sierra La Madera.

**Edafología:** Los suelos de tipo Solonetz órticos dominan la sebkra. En la playa se observan Solonchaks órticos, seguidos de Yermosoles y Regosoles en la parte alta; localmente se pueden presentar Regosoles calcáricos.

**Vegetación:** Le sebkra está desnuda con la excepción de algunas matas de *Sporobolus airoides* y de *Atriplex* sp. En la playa, estas últimas especies se encuentran en mayor abundancia y asociadas a *Hilaria mutica*. La playa alta está compuesta en su estrato

arbustivo de *Prosopis glandulosa* y *Fouquieria splendens*. Las bajadas están compuestas de *Larrea tridentata* y *Flourensia* sp. En la playa alta se presentan algunas cactáceas.

### **LAS LIEBRES, 507 km<sup>2</sup> y PUERTO RICO, 1031 km<sup>2</sup>**

Son dos cuencas muy próximas que están limitadas al este por los mismos macizos. Sus características geológicas y de vegetación son similares, difiriendo un poco en los tipos de suelo.

**Geología:** Estas cuencas están limitadas en la parte sureste por un macizo sedimentario, la Sierra de la Campana, con altitud máxima de 1550 m. Las cuencas se sitúan en una depresión formando una gran playa, con suelos aluviales del Cuaternario que se prolongan hasta la laguna Las Palomas.

**Vegetación:** Las lagunas comparten sebkras sin vegetación. La flora herbácea forma una sabana halófito con dominancia de *Hilaria mutica* y de *Prosopis glandulosa*. Los pequeños relieves de dunas están ocupados por diversas cactáceas y por matorral de *Larrea tridentata*.

### **LAS ARENOSAS, 505 km<sup>2</sup>**

**Geología:** Como su nombre lo indica la laguna está rodeada de cordones de dunas arenosas. Los relieves no son muy marcados y forman planos o mesetas. Al oeste, la mesa Romereña y la mesa El Charco compuestas de basalto, en las cercanías se pueden apreciar algunos conglomerados. Al este, las

planicies de La Canoa y El Vergel, así como la colina o loma La Capirota están compuestas de rocas extrusivas y de basaltos.

**Edafología:** Al noreste se observan Xerosoles, Faeosens lúvicos y al sur Solonchaks. En las cercanías de la zona anegable (aparentemente siempre ha estado con agua, según una comunicación personal de uno de los habitantes), se pueden apreciar Xerosoles lúvicos.

**Vegetación:** Está compuesta de una estepa clásica xerófila de la región. La vegetación cambia conforme se aleja de la parte baja de la cuenca, la estepa varía de xerófila (parte baja) a psamofila (zonas aledañas a la sebkra), hasta convertirse en una zona cubierta por numerosos arbustos subinermes. En la parte más alta de la toposecuencia se encuentra habitada por arbustos espinosos de los géneros *Acacia* y *Yucca*, así como algunas otras cactáceas.

### **LAS PAMPAS, 438 km<sup>2</sup>**

**Geología:** La parte baja de la cuenca se sitúa en medio de pequeñas colinas compuestas de basalto que limitan la laguna sobre todo al noreste. El relieve más importante limita en esta pequeña cuenca al oeste (la más pequeña en extensión de las estudiadas), se denomina la sierra calcárea de Las Pampas.

**Edafología:** Dominan los Vertisoles crómicos sobre los Xerosoles y muy localmente se encuentran los Solonetz.

**Vegetación:** Aparentemente no existe una sebkra (justo algunos cientos de metros cuadrados en la parte baja de un pequeño

borde o represa de colinas). La vegetación es halófito y su distribución es casi continua, formada de *Hilaria mutica* y algunos ejemplares de *Opuntia violacea*.

### **Resultados**

En la Tabla 62 se encuentran los valores medios, máximos y los coeficientes de variación obtenidos sobre los 493 puntos de medidas en la playa y la sebkra.

Con relación a los análisis fisicoquímicos de los suelos superficiales, hasta una profundidad de raíces (< 30 cm), se obtuvieron las siguientes informaciones.

- Los contenidos medios en iones de Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup> y SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (por diferencia de balance iónico) presentaron los mismos valores próximos a 10 meq l<sup>-1</sup>, con una ligera dominancia del perfil sódico sobre el cálcico. Con coeficientes de variación mucho más importantes para las especies de los cloruros y los sódicos. Las medias no deben enmascarar la disparidad de las máximas entre especies iónicas donde los iones de sodio y cloruro dominan sobre los valores superiores a los 500 meq l<sup>-1</sup> (es decir, 46.4% de la masa del suelo).
- Los pH, en promedio, son superiores al pH del equilibrio con la calcita. Las dos humedades medidas están próximas al 5%, lo que indica, para la segunda, que el yeso en el suelo es relativamente frecuente. Los contenidos en carbonatos muestran equilibrio con la calcita o la dolomita del extracto y no indican un contacto frecuente con una salinidad de tipo carbonatada

sódica. Tampoco existe un indicio de contacto frecuente con una salinidad de tipo sulfatada sódica.

- Los contenidos en iones potasio son los más inestables con coeficientes de variación superiores al 6%.
- Los valores promedio muestran un medio contrastado entre un gran número de muestras que tienen valores relativamente equilibrados entre la salinidad derivada del yeso y la proveniente de la disolución del cloruro de sodio y algunas muestras muy saladas por sus contenidos en cloruro y sodio. Las presentes constataciones conducen a concluir que las mineralizaciones provienen de la presencia confirmada de tres minerales en el suelo, la calcita, el yeso y la halita.

En lo que concierne a la cobertura de la vegetación, la media de los valores es del orden de 25%, valor que frecuentemente es encontrado en la Reserva de la Biosfera.

- Los géneros dominantes son *Sporobolus*, *Hilaria* y *Prosopis*, que representan por sí mismos casi un 60% de la cobertura vegetal.
- Las especies menores pero relativamente constantes pertenecen a los géneros *Suaeda* y *Atriplex*, con coeficientes de variación en superficie inferiores a 4%.
- Las reorganizaciones superficiales permitieron observar ciertos rasgos característicos de la playa de la Reserva de la Biosfera.
- Las superficies desnudas son del orden de 75%, con una dominancia neta de costras

de decantación que representa más de 50% del suelo desnudo, seguida de las costras estructurales, luego de las costras de yeso y por último las salinas.

La Figura 110 relaciona las conductividades a los contenidos en sodio muestra, que para conductividades fuertes, la mineralización está ligada esencialmente a los iones de sodio (grupo 4 de la figura). Sin embargo, para conductividades inferiores a los 10,000  $S\text{ cm}^{-1}$  aparecen varios grupos:

- El grupo 1 es la continuidad de la tendencia principal, son muestras donde lo esencial de la mineralización es debida a los iones de sodio.
- La tendencia 2, que engloba más puntos, reagrupa los suelos y las costras donde la mineralización no es mayoritariamente sódica, pero donde las conductividades se sitúan entre 150 y 400  $S\text{ cm}^{-1}$ , estas muestras presentan una baja salinidad debido al contacto con la calcita y la fase de intercambio del suelo.
- El grupo 3 presenta muestras con conductividades entre 2000 y 4000  $S\text{ cm}^{-1}$ , este grupo está formado de suelos que contienen yeso y donde la disolución asegura una conductividad de este orden sin aporte de iones de sodio.

Con esta relación se muestra que la salinidad del suelo y de las reorganizaciones superficiales de playa es esencialmente producto de la presencia confirmada de la calcita, yeso y cloruro de sodio. En la ausencia de yeso, los contenidos del ión sodio dominan la salinidad con contenidos superiores a 2 meq  $l^{-1}$  del

Tabla 62

Valores medios, máximos y coeficientes de variación (C.V.) de los parámetros fisicoquímicos medidos en las muestras de suelo, así como de las observaciones de estados de superficie en las 17 lagunas estudiadas

Parámetros estadísticos	Media	Máxima	C. V.
Parámetros medidos			
Parámetros fisicoquímicos			
Humedades [25-55°C] (%)	5.77	56.30	1.25
Humedades [55-105°C] (%)	4.07	29.90	1.22
pH	8.49	10.81	0.07
Conductividades (S cm <sup>-1</sup> .)	2038	56500	2.58
Concentración iónica (meq l <sup>-1</sup> )			
Ca <sup>2+</sup>	7.21	50.90	1.70
Mg <sup>2+</sup>	1.18	60.87	3.86
K <sup>+</sup>	0.57	64.50	6.20
Na <sup>+</sup>	11.50	521.74	3.52
Sumas de cationes	20.46	551.98	2.29
Cl <sup>-</sup>	8.03	557.00	4.08
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2.42	92.30	1.89
Cobertura de la vegetación (%)	<b>25.86</b>		
<i>Sporobolus</i> sp.	6.23	95.00	2.28
<i>Hilaria</i> sp.	5.80	90.00	2.88
<i>Prosopis</i> sp.	2.91	50.00	2.35
<i>Atriplex</i> sp.	2.57	70.00	3.34
<i>Suaeda</i> sp.	2.68	40.00	2.11
<i>Larrea</i> sp.	1.40	48.00	3.76
<i>Salsola kali</i>	0.78	70.00	6.64
Deshechos vegetales (mantillo)	0.64	60.00	6.47
Cactáceas	0.37	20.00	4.18
<i>Yuca</i> sp.	0.05	5.00	6.86
No determinado	2.25	100.00	3.88
Reorganizaciones superficiales (%)	<b>73.06</b>		
Costras de decantación	37.01	100.00	1.03
Costras estructurales 1	9.16	90.00	2.05
Yeso endurecido	8.02	95.00	2.80
Costras de sal	7.53	100.00	3.33
Yeso libre	4.63	95.00	3.68
Costra de erosión	2.59	98.00	4.54
Costras estructurales 3	2.39	95.00	4.60
Costras estructurales 2	1.75	70.00	4.37

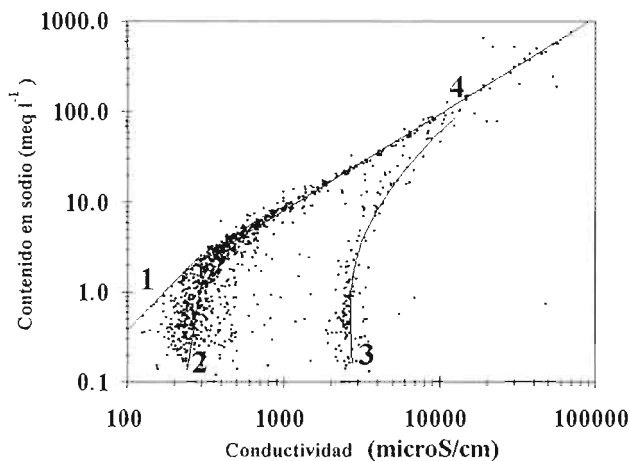


Figura 110. Relación entre conductividades eléctricas ( $S\text{ cm}^{-1}$ ) y los contenidos en iones de sodio de los extractos de suelo 1:16 (en superficie y a nivel radicular) (987 puntos).

extracto 1:16 (es decir,  $18\text{ mmol kg}^{-1}$  de suelo). Para las muestras que contienen yeso este límite aumenta hasta los  $5\text{ meq l}^{-1}$  del extracto 1:16, (sean  $80\text{ mmol kg}^{-1}$  de suelo seco).

### Relaciones entre parámetros químicos y parámetros de superficie

Si se consideran los principales estados de superficie encontrados, existe una cierta relación entre su presencia y la salinidad de las muestras de suelo colectado.

- Por ejemplo, *Hilaria* sp. se encuentra en lugares donde la conductividad es inferior a  $1000\text{ S cm}^{-1}$ , la media de las conductividades de los extractos de suelo muestran que la implantación de *Hilaria* sp. es del orden de  $300\text{ S cm}^{-1}$ . *Prosopis* sp., costras estructurales y cactáceas son estados de superficie que se establecen sobre suelos con conductividades medias de los

extractos inferior a  $1000\text{ S cm}^{-1}$ . Las costras de decantación y de yeso eólico muestran contenidos medios un poco elevados, aunque el segundo estado de superficie no presenta variaciones comparables (Figura 111).

- *Atriplex* sp. y *Suaeda* sp. se encuentran sin duda como un grupo de plantas halófilas soportando conductividades de los extractos muy elevadas. La presencia de la costra de sal, como su nombre lo indica, evidentemente está ligada a conductividades de los extractos con valores extremos altos.

Si se examinan las escalas de contenidos que presenta el ión sodio para cada uno de los estados de superficie, el orden de esos estados, clasificado por media creciente se modifica ligeramente (Figura 112).

- *Hilaria* sp. y las cactáceas indican estados de superficie que están conectados a suelos



que contienen menos de 10 meq l<sup>-1</sup> del ión sodio en los extractos 1:16.

- La presencia de *Prosopis* sp., de costras estructurales, es la marca de contenidos en Na<sup>+</sup> intermediarios.
- La presencia de costras de decantación, de suelo con *Sporobolus* sp., con *Suaeda* sp. y con *Atriplex* sp., está ligada a la presencia de una cierta salinidad sódica con un contenido medio en el extracto del orden de 10 meq l<sup>-1</sup> (160 mmol kg<sup>-1</sup>).

La Figura 113 muestra que las escalas de los contenidos observados para el ión Ca<sup>2+</sup> en los extractos 1:16 son muy diferentes para *Hilaria* sp., en comparación a los otros estados de superficie.

- La posición de las cactáceas a los lados de *Sporobolus* sp. y *Atriplex* sp., muestra que ese grupo se implanta bien en un suelo rico

en yeso. El dominio tan amplio de los contenidos encontrados para las costras de decantación y de estados de superficie con *Sporobolus* sp., muestra que esos estados no son específicos de un medio con fuertes contenidos de yeso.

En lo referente a humedades (Figura 114), éstas presentaron cierta estabilidad:

- El yeso eólico constituye el estado de superficie que presenta las humedades más bajas.
- El suelo con cactáceas, *Prosopis* e *Hilaria* sp., no presenta humedades superiores al 10%. Al contrario, suelo con *Suaeda* sp., *Atriplex* sp. y *Sporobolus* sp. y las costras de decantación pueden presentar humedades más importantes.
- Las costras de sal están asociadas a subsuelos con fuertes humedades.

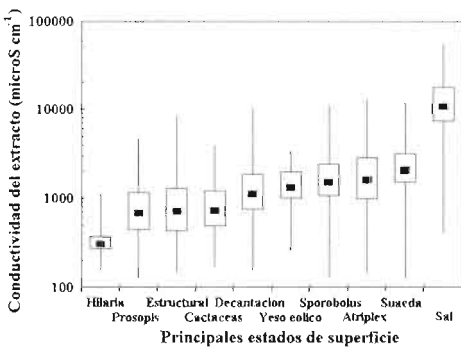


Figura 111. Escala de las conductividades de los extractos 1:16 para los principales estados de superficie de playa y de sebkra.

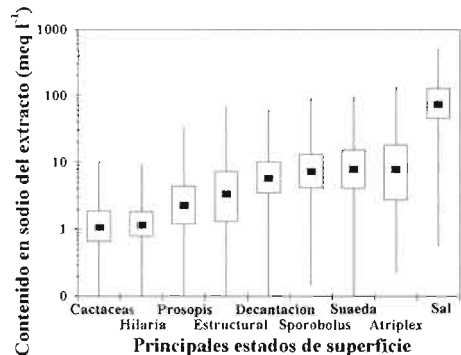


Figura 112. Escala de los contenidos de iones de Na<sup>+</sup> en los extractos de suelo 1:16 para los principales estados de superficie de playa y de sebkra.

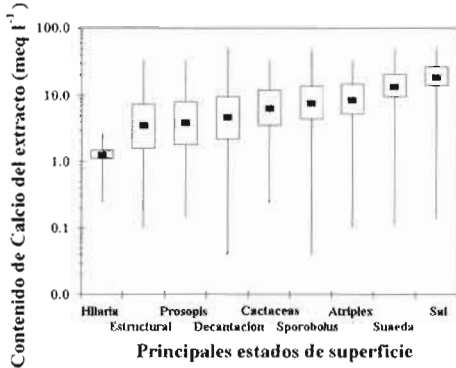


Figura 113. Escala de los contenidos en iones de  $\text{Ca}^{2+}$  de los extractos de suelo 1:16 para los principales estados de superficie de playa y sebkra.

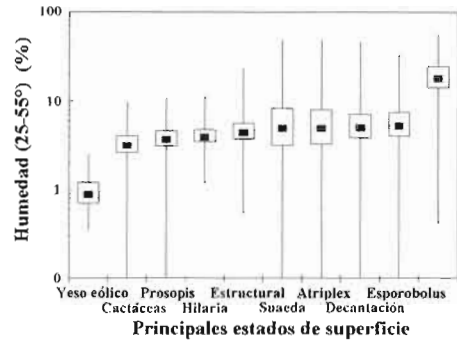


Figura 114. Escala de los contenidos en agua (% másica) de los principales estados de superficie de playa y sebkra.

En resumen, varios aspectos importantes pueden mencionarse:

- *Hilaria* sp., es un estado de superficie que está ligado a un suelo donde el extracto tiene una conductividad siempre inferior a  $1000 \text{ S cm}^{-1}$ ; contenidos de  $\text{Na}^+$  inferiores a los  $10 \text{ meq l}^{-1}$ ; contenidos de  $\text{Ca}^{2+}$  excluyente de la presencia de yeso en el horizonte radicular; y de contenidos en agua (en invierno) inferiores al 10%.
- Las cactáceas no soportan una fuerte salinidad sódica, pero están adaptadas a la presencia de yeso en el medio, además, soportan contenidos muy bajos de humedad en el suelo.
- *Sporobolus* sp., *Atriplex* sp. y *Suaeda* sp. son estados de superficie que se asocian fácilmente con fuertes salinidades sódicas y a contenidos en agua superiores al 10%.

Las principales reorganizaciones superficiales (costras), son poco sensibles a las condiciones de salinidad sódica o cálcica.

Las costras de decantación presentan un dominio muy amplio de existencia. Sin embargo, se observó que las costras estructurales raramente se encuentran en sitios húmedos, mientras que las costras de decantación se encuentran más sobre sitios húmedos.

### Vegetación y unidades geomorfológicas

Las principales especies, en una misma zona altimétrica, se encuentran en todas las cuencas estudiadas. Las observaciones fueron realizadas en estación seca, el recubrimiento es mínimo porque, por un lado, se observaron pocas plantas anuales y por otro, la actividad fisiológica de las plantas era mínima. El reagrupamiento de las observaciones por unidad geomorfológica al interior de las playas y sebkra permite poner en evidencia fuertes contrastes de cubierta vegetal (Tabla 63).

- En las playas alta y baja las coberturas vegetales son relativamente elevadas (del orden del 35%) mientras que las coberturas vegetales de sebkra presentan una media inferior al 10%.

Tabla 63

Porcentaje medio de coberturas de las principales especies vegetales encontradas en función del sondeo altimétrico (493 puntos de observación en las 17 lagunas estudiadas)

Sitios Especies	Duna de yeso		Sebkra		Lunetas		Playa baja		Playa alta	
	Máx.	Media	Máx.	Media	Máx.	Media	Máx.	Media	Máx.	Media
Arbustos										
<i>Prosopis</i> sp.	5	0.67	10	0.21	20	1.21	30	1.9	30	4.39
<i>Suaeda</i> sp.	20	3.78	30	1.35	40	6.05	30	1.72	30	2.84
<i>Larrea</i> sp.	10	1.67	0	0	35	4.38	30	0.51	30	1.76
<i>Fouquieria splendens</i>	1	0.11	0	0	1	0.03	0	0	0	0
Total arbustos		<b>6.2</b>		<b>1.6</b>		<b>11.7</b>		<b>4.1</b>		<b>9.0</b>
Herbáceas										
<i>Hilaria</i> sp.	0	0	78	0.97	0	0	70	6.96	90	13.2
<i>Sporobolus</i> sp.	30	4	58	3.21	30	5.54	95	13.49	70	6.22
<i>Salsola kali</i>	0	0	70	1.09	10	0.26	60	0.79	20	0.78
<i>Atriplex</i> sp.	10	2.78	40	1.38	18	1.74	70	4.03	70	3.92
Cactáceas	3	0.33	20	0.31	3	0.41	5	0.24	10	0.48
<i>Yucca</i> sp.	4	0.67	1	0.01	5	0.36	0	0	1	0.01
Total herbáceas		<b>7.8</b>		<b>7.0</b>		<b>8.3</b>		<b>25.5</b>		<b>24.6</b>
Otras	10	1.89	100	1.15	18	2.1	90	3.78	30	2.27
Total		<b>15.9</b>		<b>9.7</b>		<b>22.1</b>		<b>33.4</b>		<b>35.9</b>

Otras= *Castela texana*, *Jatropha dioica*, *Acacia berlandieri*, *Portulaca oleracea*, *Dyssodia* sp., *Xanthium* sp., *Dalea scoparia*, *Enneapogon desvauxii*, *Tridens pulchellum*, y las no determinadas.

- Las cubiertas de dunas y de lunetas son intermediarias. Las proporciones de *Hilaria* sp. y *Sporobolus* sp. se invierten entre playa alta y playa baja. En la sebkra dominan *Sporobolus* sp., *Suaeda* sp. y *Atriplex* sp. con coberturas muy bajas.
- En relación con las cactáceas, una cobertura muy baja media testifica su presencia en casi todas las unidades geomorfológicas. El *Prosopis* sp. está mucho más representado en la playa alta que en las otras unidades. *Larrea* sp., a veces aceptada como una planta indicadora de sobrepastoreo, parece converger en las zonas de lunetas y bajadas inferiores, aunque puede estar presente en la playa. En síntesis, las cuencas endorreicas de las lagunas estudiadas no constituyen un medio monótono y homogéneo. Las unidades geomorfológicas definen medios contrastados desde el punto de vista de la vegetación.

**Reorganizaciones superficiales y unidades**

Las costras de decantación forman la familia de reorganizaciones superficiales más desarrollada en las playas baja y alta, así como en la sebkra. Cuando alguna geoforma parecida aparece, la importancia de estas costras inmediatamente desaparece. Las costras estructurales están presentes en playa alta y playa baja, asociadas a costras de

erosión. Las costras de sal aparecen en playa baja alcanzando en promedio cerca del 20% de la superficie de la sebkra (Tabla 64). Las reorganizaciones superficiales formadas por el yeso están, sobre todo, asociadas a los fenómenos eólicos, aun cuando su presencia en la sebkra aparentemente parece estar influenciada por los ascensos capilares de salmueras.

Tabla 64

Porcentaje de cobertura de las principales reorganizaciones superficiales encontradas en función del sondeo altimétrico (493 puntos de observación en las 17 lagunas estudiadas)

Unidades geomorfológicas	Duna de yeso		Sebkra		Luneta		Playa baja		Playa alta	
	Máx.	Media	Máx.	Media	Máx.	Media	Máx.	Media	Máx.	Media
Reorganizaciones										
Costras de sal	45	5.00	100	19.21	15	0.38	90	2.78	0	0
Costras de decantación	0	0.00	100	53.75	80	17.74	100	39.38	98	30.89
Estructural 1	10	1.10	90	5.88	20	1.67	90	9.66	70	12.67
Estructural 2	20	4.44	70	0.88	20	2.05	8	0.77	70	3.17
Estructural 3	20	4.44	50	0.37	60	3.59	57	0.63	20	0.57
Costras de erosión	0	0.00	10	0.11	10	0.26	70	3.37	89	5.79
Yeso libre	93	25.33	95	4.06	75	2.92	60	2.24	85	3.39
Yeso eólico endurecido	90	43.44	95	3.36	90	48.38	84	5.20	85	5.47
Elementos gruesos	0	0	10	0.12	1	0.03	30	0.59	20	0.46
Totales		83.7		87.7		77.0		64.0		62.4

Cabe señalar que la asociación del porcentaje de cobertura de la vegetación y de las reorganizaciones superficiales no suman 100%, porque no están incluidos los elementos de mantillo, madrigueras y áreas de superficie del suelo especial (fisuras y hoyos).

**Parámetros fisicoquímicos de las reorganizaciones superficiales y de las unidades morfológicas**

El reagrupamiento de los puntos de medidas pertenecientes a las unidades geomorfológicas definidas es el objetivo de la Tabla 65. Una diferencia de calidad muy marcada es

observada entre las unidades para los parámetros fisicoquímicos mediados sobre las reorganizaciones superficiales.

- La playa alta se caracteriza por conductividades bajas de los extractos en sus reorga-

nizaciones superficiales. Los contenidos de iones de sodio y calcio se presentan casi equilibrados.

**Tabla 65**  
Valores medios y coeficientes de variación (C.V.) de los parámetros fisicoquímicos medidos a partir de los extractos 1:16 del suelo, de las reorganizaciones superficiales reagrupadas por unidad geomorfológica de playa y sebkra. (493 puntos de observación en las 17 lagunas estudiadas)

Unidades geomorfológicas Parámetros	Duna de yeso		Sebkra		Luneta		Playa baja		Playa alta	
	Media	C.V.	Media	C.V.	Media	C.V.	Media	C.V.	Media	C.V.
Hum. [25-55°C] (%)	3.37	1.01	2.44	2.26	1.44	1.05	2.00	1.90	1.34	0.99
Hum. [55-105°C] (%)	7.16	0.81	3.63	1.20	6.02	0.86	3.03	1.35	2.46	0.70
pH	8.12	0.03	8.62	0.08	8.09	0.05	8.44	0.06	8.39	0.07
C.E: (S cm <sup>-1</sup> .)	5349	1.41	5639	2.32	2358	1.45	2013	2.45	800	2.22
Concentración iónica (meq l <sup>-1</sup> )										
Ca <sup>2+</sup>	17.73	0.76	7.94	1.76	18.21	0.76	4.36	1.94	3.04	2.15
Mg <sup>2+</sup>	25.51	1.86	1.34	2.21	4.96	<b>3.88</b>	3.23	<b>6.64</b>	0.42	1.22
K <sup>+</sup>	1.37	1.62	0.92	<b>5.86</b>	0.49	2.02	0.34	1.02	0.27	0.61
Na <sup>+</sup>	16.10	<b>1.95</b>	54.42	2.66	5.06	<b>3.49</b>	12.88	3.14	4.31	<b>3.70</b>
Suma de +	60.72	1.39	64.60	2.35	28.72	1.39	20.81	2.49	8.02	2.30
Cl <sup>-</sup>	18.15	<b>1.90</b>	19.03	3.44	5.89	2.59	17.69	<b>4.42</b>	4.76	<b>3.73</b>
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2.20	0.53	6.75	<b>5.03</b>	1.86	0.80	2.35	0.73	2.06	0.67

En negrillas, los C.V. más elevados por unidad.

- En la playa baja, la conductividad media es dos veces más fuerte y los iones de cloruro y sodio dominan sobre los otros iones. En promedio, el pH permanece superior a 8.4.
- En la sebkra, el ión sodio domina sobre todos los otros iones, los iones de carbonato aumentan ligeramente y el pH medio es elevado. La conductividad de los extractos dobla su valor con relación a la

playa baja. La humedad [25-55°C] está ligeramente más fuerte que en la playa, sin embargo, los valores son mucho más bajos que los encontrados a la profundidad radicular del suelo.

- En lo que concierne a los contenidos de yeso, el índice medio de pérdida en agua aumenta entre la playa alta, la playa baja y la sebkra, hasta alcanzar valores dos veces

más altos que en la zona de lunetas y de dunas de arena yesífera. No es sorprendente que en estas dos últimas zonas los contenidos de calcio sobrepasen grandemente los contenidos medios de sodio del extracto. Las conductividades medias son tan elevadas como las observadas en la sebkra, pero los coeficientes de variación son más bajos.

Como un intento de razonar sobre la dispersión de los valores por unidad, ciertas reglas parecen aplicarse. Los coeficientes de variación más importantes observados en cada medio no corresponden a los mismos elementos. Los coeficientes de variación observados en los medios menos salados (playa y duna alta) corresponden a los

contenidos de iones cloruro y sodio, reflejando una dispersión baja (C.V.<4). Al contrario, los medios más salados (sebkra y playa baja) muestran los C.V. más elevados, lo que corresponde a los contenidos iónicos marginales del  $Mg^{2+}$  y el  $K^+$  en la mineralización global del medio.

### Análisis multivariable

El análisis de componentes principales (Figura 115) describe para estos dos primeros ejes, el 32% de su varianza total. Aparecen claramente polos de caracteres ligados entre sí, que describen a la vez los estados de superficie y las características fisicoquímicas del suelo.

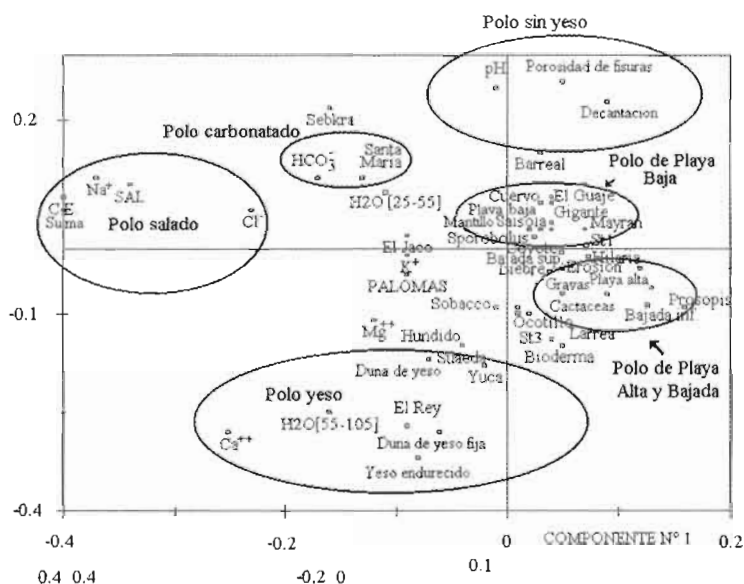


Figura 115. Resultados de un análisis multivariable (ACP) asociando los parámetros que describen los estados de superficie, las situaciones geomorfológicas, la pertenencia a las lagunas y las características fisicoquímicas de los primeros centímetros del suelo. Espacio de las variables proyectado en el plano de los dos primeros componentes. (493 individuos, 40 parámetros).

- Un polo que aparece es el que refleja salinidad (salado), por la asociación de los parámetros de: % de costra salina (SEL), C.E. y contenidos de iones sodio y cloruros del extracto 1:16 de las muestras de superficie. El componente más importante es la salinidad que se refleja en el eje de las abscisas.
- Otro polo que se presentó fue el de yeso (yesoso) que asocia los caracteres físico-químicos ligados a la presencia de yeso ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  [55-105°C]) y los porcentajes de estados de superficie correspondientes (duna de yeso). Se observa que el polo yesoso no es completamente independiente del polo salado. Sin embargo, se entiende que el eje de las ordenadas corresponde a la salinidad ligada al yeso.
- Sobre el eje de las ordenadas, en contraposición al polo yesoso aparece un polo sin

yeso compuesto de costras de decantación con un pH elevado y una fuerte porosidad fisural. Es muy significativo que la variable: posición del punto en la sebkra, se encuentre entre el polo salado y el polo sin yeso.

- Un polo discreto de contenidos en carbonatos existe y concierne sobre todo a las muestras de la laguna Santa María.
- La mayor parte de las variables no relacionadas a estos polos se encuentran concentradas alrededor de los orígenes de los ejes. Sin embargo, es posible dissociar dos polos, uno que reagrupa los caracteres de superficie de la playa alta y de la bajada inferior, y otro que reúne los parámetros relacionados a la playa baja. La playa alta está diferenciada por una posición más hacia la derecha (menos salada).

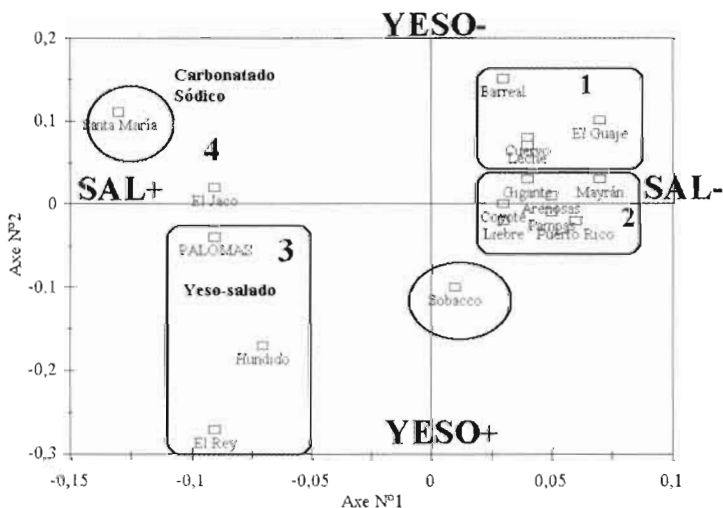


Figura 116. Vista parcial de la figura precedente, donde se aprecia el efecto de pertenencia de las lagunas. Espacio de variables proyectado en el plano de los dos primeros componentes. (493 individuos, 40 parámetros).

En lo referente a las lagunas, ya pueden apreciarse una serie de bases para una posible tipología de ellas. Se pueden reagrupar las cuencas endorreicas siguiendo sus proximidades en los polos identificados precedentemente (Figura 116).

- El grupo 1 está constituido por las lagunas intermediarias en tipo de salinidad, ni yesosas ni saladas, con una dominancia muy marcada de zonas con costras de decantación.
- El grupo 2 está constituido por las lagunas no saladas, con poco yeso, pero provistas de pendientes muy importantes que favorecen las costras de erosión y la

presencia de *Prosopis* sp., (las sebkas son relativamente menos grandes, lo que beneficia las playas altas).

- El grupo 3 está constituido por las lagunas yeso-salinas, con presencia de *Yucca* sp. y *Suaeda* sp.
- El grupo 4 está constituido por las lagunas donde el ión sodio no se acompaña del ión calcio en los contenidos iónicos de los extractos de suelo.

Sin embargo, esta tipología es un reflejo de las características medias que pueden estar matizando la realidad; de hecho, si se observa el espacio de los individuos la perspectiva cambia (Figura 116).

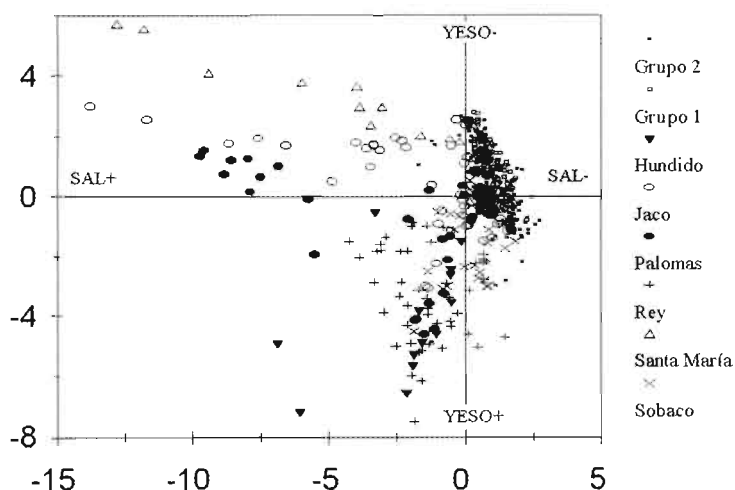


Figura 117. Resultado de un análisis multivariable (ACP) asociando los parámetros que describen los estados de superficie, las situaciones geomorfológicas, la pertenencia a las lagunas y las características fisicoquímicas de los primeros centímetros del suelo. Espacios de individuos, en el plano de los dos primeros componentes. (493 individuos, 40 parámetros).

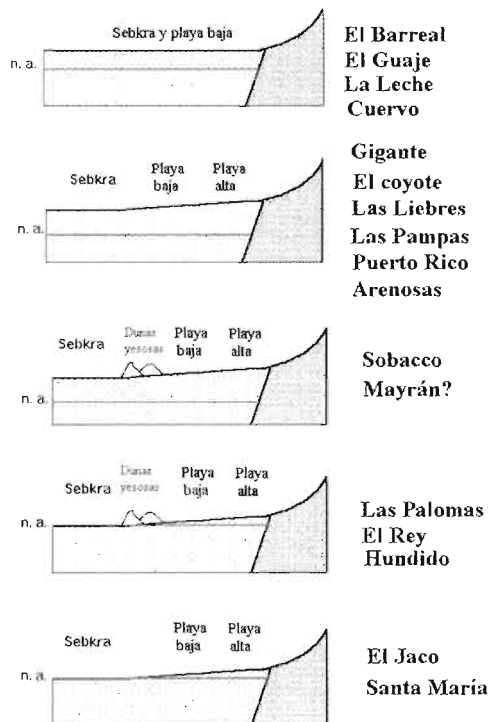


Por el hecho de que se tomaron en cuenta los puntos de muestreo, las diferencias entre lagunas son mucho menos fraccionadas que en la definición efectuada por las características medias, las cuales permanecen, sin embargo, como significativas. De hecho, los puntos del grupo 1 y 2 están casi superpuestos en una nube común, pese a ello, si las características medias de las lagunas son diferentes, es una realidad que esta superposición no estaría equilibrada. Además, la mayor parte de los otros grupos presentan puntos que se proyectan de la misma manera sobre el crecimiento de los dos ejes (Figura 117).

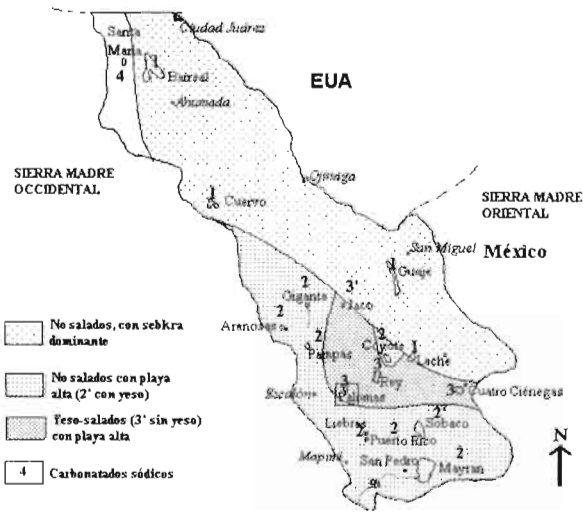
Los puntos de medida de la cuenca endorreica de Las Palomas parecen describir el conjunto de situaciones observadas, exceptuando el caso especial de la cuenca de Santa María.

Finalmente, las lagunas pueden ser organizadas considerando criterios geomorfológicos. De hecho, la profundidad del acuífero, la presencia de dunas, la existencia de unidades geomorfológicas, playa alta y playa baja son suficientes para operar un reagrupamiento. Esta clasificación engloba bien las familias definidas por el análisis de componentes principales (Figura 118).

Además, un cierto reagrupamiento geográfico aparece al interior de estos grupos, lo que permite suponer que los diferentes tipos de playa y de sebkra son debidos a criterios geológicos: subsidencia, sedimentación, presencia de sales solubles en las series, nivel de acuíferos, etcétera (Figura 119).



**Figura 118.** Clasificación por criterios geomorfológicos de los diferentes fondos de las cuencas endorreicas.



**Figura 119.** Repartición espacial de los reagrupamientos por criterios geomorfológicos y criterios estadísticos (grupos de ACP) de los diferentes fondos de cuencas endorreicas del desierto chihuahuense, en México.

• Los bajos de las cuencas endorreicas del norte del desierto chihuahuense no presentan relieves internos como en el caso de la Reserva de la Biosfera. En la visión que se planteó y que se examinó en el Capítulo 3, para explicar las diferencias

de relieves en la playa de la Reserva, parece razonable afirmar que los bajos de cuencas que pertenecen al grupo 1 no presentaron la influencia del desplazamiento de subsidencias.



**Figura 120.** Diagrama de los rasgos tectónicos del desierto chihuahuense (simplificado de Peterson, 1985), superpuestos en los límites de los grupos de lagunas.

- La separación de las lagunas del grupo 1, con los otros grupos, es paralela al límite tectónico entre la plataforma Burro-Picachos y el Canal Cretácico (*cretaceous canal*) tal como fue descrito por Peterson (1985).
- El límite que separa las lagunas del grupo 2 de las del grupo 3 recuerda los límites de la sal de la plataforma de Coahuila descrita por el mismo autor. Finalmente, al sur, la presencia del frente norte de la capa de deslizamiento de la Sierra Madre (*Sierra Madre thrust*) hace recordar que la tectónica es, o fue, mucho más activa al sur del desierto chihuahuense que al norte.
- Las playas del grupo 1 tienen una fracción más importante de su cuenca, formada por rocas volcánicas basálticas y andesíticas, o dependen de las rocas sedimentarias proveedoras de salinidad.

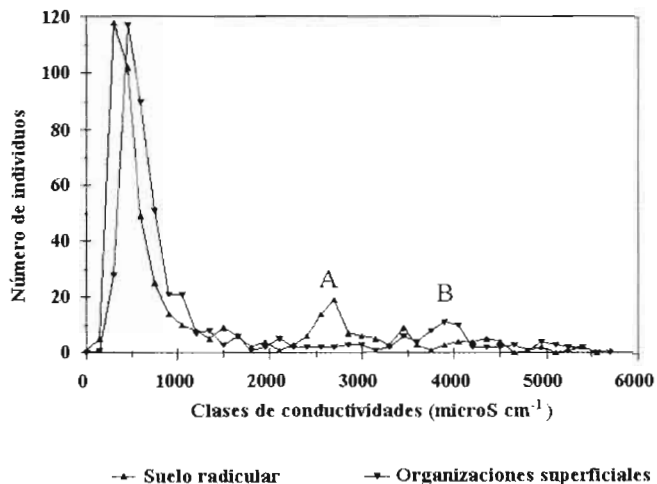
## Conclusiones

### La salinidad

La salinidad de los horizontes superficiales de los suelos de playa del norte de México ha sido puesta en evidencia en este estudio, como una salinidad relativamente simple. Ninguna muestra presenta trazas de mineralización que pudiera estar asociada al sulfato de sodio sedimentario. Al contrario, la laguna de Santa María es el único ejemplo

donde se puso en evidencia un polo de carbonato sódico:

- Todas las demás lagunas permanecen en un cuadro con una mineralización influenciada por los contenidos relativamente fuertes de los productos de la disolución de carbonatos (calcita y dolomita), de yeso y de la halita.
  - La repartición estadística de las conductividades de las organizaciones superficiales y de los horizontes poco profundos de los suelos, indica que los suelos con fuertes contenidos de materiales solubles, son una minoría en relación a los suelos de playa y sebkra. En efecto, numerosas muestras presentan conductividades inferiores a  $1500 \text{ S cm}^{-1}$ , lo que implica que la idea de la salinidad de los suelos de playa es hasta cierto punto exagerada.
  - Finalmente, se constató que de manera global existen pequeñas diferencias entre la repartición de las conductividades de los extractos 1:16.
- Para muestras con baja conductividad del extracto, se produce un cierto desfase entre las frecuencias máximas que se alcanzan por las clases de conductividades diferentes (las conductividades más fuertes son las de las organizaciones superficiales). Las organizaciones superficiales sufren un bajo enriquecimiento en sales solubles con relación al resto del perfil (Figura 121).



**Figura 121.** Histogramas de las conductividades de los extractos 1:16 para las muestras de las organizaciones superficiales y los horizontes radicales del suelo de playas y sebkas. (495 muestras en los dos casos).

- Para casos con conductividades de extracto más elevadas, entre 2400 y 2800  $S\ cm^{-1}$  (Figura 121-A), es posible observar que las muestras de los horizontes radicales están más representadas que las muestras de superficie correspondientes al mismo perfil. Al contrario, en lo que se refiere al rango 3600 a 4100  $S\ cm^{-1}$  (Figura 121-B), son las organizaciones superficiales que están mejor representadas. Esta situación de contraste podría indicar que las reorganizaciones superficiales formadas sobre un horizonte de yeso tienden a presentar en superficie una cierta disolución, mientras que para la situación B se observa que las reorganizaciones superficiales están mejor representadas debido al hecho de los enriquecimientos superficiales de sales solubles.

### Estados de superficies

Los estados de superficie de la playa de la cuenca de Las Palomas son representativos del desierto chihuahuense, porque dicha playa posee toda la gama completa de estados de superficie encontrados en el seno de las otras cuencas estudiadas. Al contrario, debido a que la playa de Las Palomas presenta una zona alta, la sitúa en el grupo de las yesosas-saladas, lo que representa solamente una porción menor del desierto chihuahuense. Toda extensión de regla de gestión deberá considerar estos aspectos.

Las definiciones de subunidades geomorfológicas en la playa son muy útiles en la medida que ellas correspondan claramente a especificidades diferentes desde el punto de vista de la salinidad, así como de las reorganizaciones superficiales y de las coberturas vegetales.

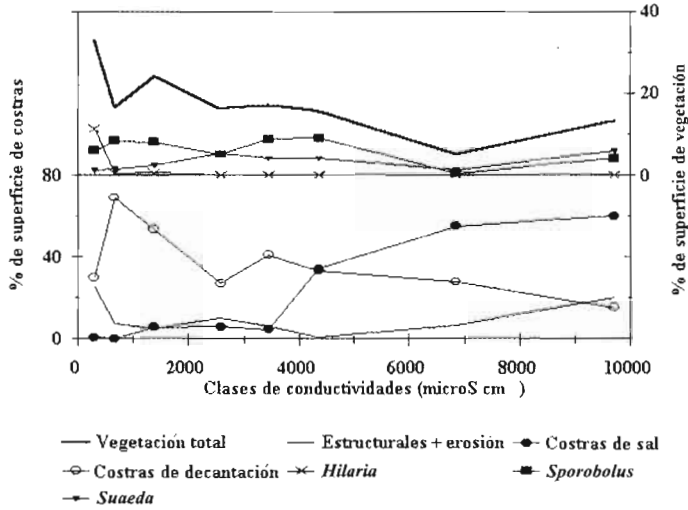
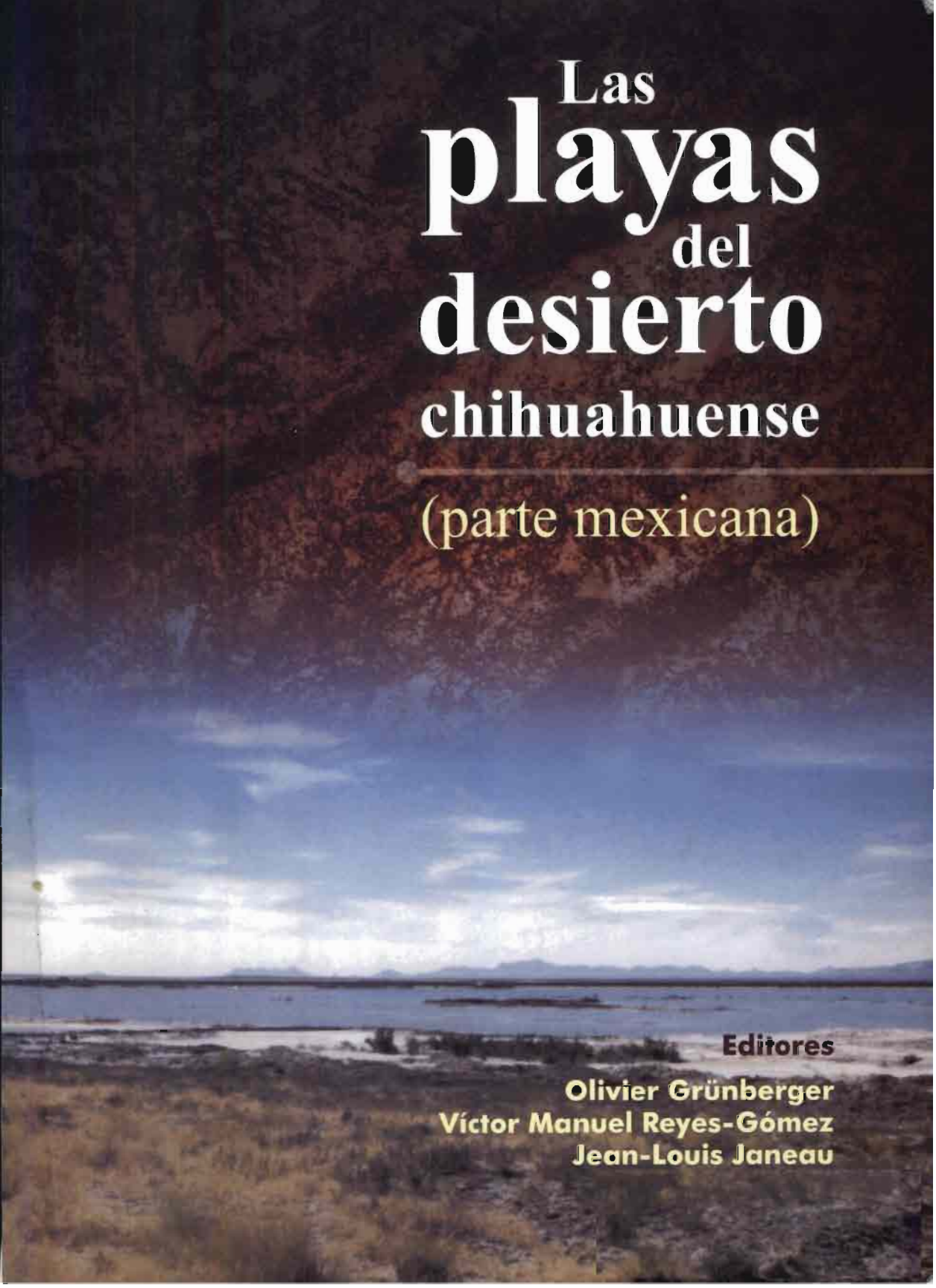


Figura 122. Valores medios del porcentaje de las coberturas vegetales y de las superficies relativas de las organizaciones superficiales, en función de las distintas clases de conductividades de los extractos de suelo 1:16.

Las costras de sal aparecen y se mantienen en medios con conductividades del extracto superiores a 4000 S cm<sup>-1</sup>, esta evolución se acompaña por una disminución de la importancia de las costras de decantación y un aumento de las costras estructurales.

La vegetación tiene un componente bien definido por la salinidad: *Hilaria* sp. no soporta una conductividad superior a 1000 S

cm<sup>-1</sup> en los extractos del horizonte radicular. *Sporobolus* sp. tiene una distribución considerable que permanece justo hasta la aparición de costras de sal sobre la superficie del suelo. Las coberturas casi siempre marginales de *Suaeda* sp. se ven favorecidas por las conductividades de extracto de suelo del horizonte radicular comprendidas entre 2000 y 4000 S cm<sup>-1</sup>.



Las  
**playas**  
del  
**desierto**  
**chihuahuense**  
**(parte mexicana)**

**Editores**

**Olivier Grünberger**  
**Víctor Manuel Reyes-Gómez**  
**Jean-Louis Janeau**



Primera edición, 2004

D.R. © 2004

Instituto de Ecología, A.C.

Km 2.5 carretera antigua a Coatepec No. 351

Congregación El Haya, C.P. 91070

Xalapa, Ver., México

e Institut de Recherche pour le Développement

Calle Cicerón No. 609

Col. Los Morales, C.P. 11530

México, D.F., México

ISBN 970-709-048-0

Impreso en México - *Printed in Mexico*

Título: Las playas del desierto chihuahuense (parte mexicana). Influencia de las sales en ambiente árido y semiárido

Editores: Olivier Grünberger, Víctor Manuel Reyes-Gómez y Jean-Louis Janeau

Coordinación editorial: LDG. Liliana Sánchez Vallejos

Diseño: Iván Flores Hernández y Fernando Rodríguez Hipólito

Revisión de estilo: Aída Pozos Villanueva

Traducción de textos en francés: Annie Soubic de Carrillo

Ilustraciones y fotografías de interiores: Jean-Louis Janeau

Fotografía de la portada: fotografía compuesta, imagen superior tipo LANSAT-TM (1996), imagen inferior Jean-Louis Janeau.

Forma sugerida para citar este libro: Grünberger O., V. M. Reyes-Gómez y J.-L. Janeau (eds). *Las playas del desierto chihuahuense (parte mexicana). Influencia de las sales en ambiente árido y semiárido*. 2004. IRD-INECOL, Xalapa, Veracruz, México, pp. 360.

D.R. © Ninguna parte de esta publicación, incluyendo el diseño de la cubierta, puede ser reproducida, traducida, almacenada o transmitida de forma alguna ni por ningún medio, ya sea electrónico, químico, mecánico, óptico, de grabación o de fotocopia, sin permiso previo del editor. Párrafos pequeños o figuras aisladas pueden reproducirse, dentro de lo estipulado en la Ley Federal del Derecho de Autor y el Convenio de Berna, o previa autorización por escrito de la editorial.

Las  
**playas**  
del  
**desierto**  
**chihuahuense**

---

(parte mexicana)

Influencia de las sales en ambientes  
**árido y semiárido**

Editores

**Olivier Grünberger**  
**Víctor Manuel Reyes-Gómez**  
**Jean-Louis Janeau**

Instituto de Ecología, A.C.

Xalapa, Veracruz, México

Institut de Recherche pour le Développement

Paris, Francia

2004