



Universidad de Chile
Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales
Centro de Estudios de Zonas Áridas (CEZA)

CRSTOM
Institut Français de Recherche
Scientifique pour le Développement
en Coopération

AMBIENTE ÁRIDO Y DESARROLLO SUSTENTABLE

L A P R O V I N C I A D E L I M A R Í

Marcel-Jean **POUGET** • Eugenio **CAVIEDES** • Philippe **HAMELIN** • Dominique **REMY** • Renaud **MATHIEU** • Verónica **LIRA** • Daniel **ALVAREZ**

1996

UNIVERSIDAD DE CHILE
Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales
Centro de Estudios de Zonas Áridas (CEZA)

ORSTOM
Institut Français de Recherche
Scientifique pour le Développement
en Coopération

.....

AMBIENTE ÁRIDO Y

.....

DESARROLLO SUSTENTABLE

.....

L A P R O V I N C I A D E L I M A R Í

El presente trabajo fue realizado en el marco del proyecto de investigación "Medio ambiente y desarrollo sustentable de la zona árida de Chile", llevado a cabo en forma conjunta por el ORSTOM y la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad de Chile. Forma parte del Convenio General de Cooperación Científica y Técnica, suscrito entre la U. de Chile y el ORSTOM.

Misión ORSTOM Chile, Casilla 53390, Santiago 1; Fono 236 3464; Fax 236 3463
Fac. Cs. Agrarias y Forestales, U. de Chile, Casilla 1004, Santiago Chile; Fonofax 678 5802

1996

ISBN 956-19-0230-3

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar sus sinceros agradecimientos a las autoridades de la Universidad de Chile y del Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación, ORSTOM, por las facilidades otorgadas en la realización de este proyecto.

A la Universidad de Chile y muy especialmente a la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Al Profesor Rolando CHATEAUNEUF y al Profesor Edmundo ACEVEDO, sus sucesivos Decanos, por su decidido apoyo desde la firma del convenio, suscrito entre ORSTOM y la Facultad, hasta la conducción a feliz término del proyecto. Al Profesor Héctor MANTEROLA, Director del Departamento de Producción Animal, por su continua colaboración durante toda la realización de los trabajos, junto a sus colaboradores.

Al Centro de Estudios Espaciales. A los Señores Martín FARIAS, Raúl AGUILERA y Cristián FONFACH, sucesivos responsables del Laboratorio de Macro-Percepción y Medioambiente por su ayuda en el procesamiento de los datos satelitales al inicio del proyecto y la siempre buena acogida de todo el personal a lo largo de estos 4 años.

Al Departamento de Relaciones Internacionales. A la Señora Teresa IRIARTE, su Directora, en compañía de sus colaboradores, por el siempre expedito y gentil trámite ante las diversas solicitudes emanadas del proyecto.

Al ORSTOM y particularmente al Departamento de Medio Ambiente y Agricultura y sus sucesivos directores, Dr. Antoine CORNET y Dr. Guy HAINNAUX, por el decidido apoyo otorgado al Proyecto Limarí, durante los 4 años de duración.

A la Misión ORSTOM en Chile. Al Dr. Gérard HERAIL, Representante del Instituto en Chile por su permanente colaboración y facilidades brindadas. Un agradecimiento muy especial a la Señora Nelda LEIVA, secretaria de la misión ORSTOM, que asumió, en parte, la traducción y la revisión de este libro.

Al Ministerio de Relaciones Exteriores de Francia, cuya cooperación inicial a través de la Embajada de Francia en Chile, permitió la compra de las imágenes satelitales SPOT, empleadas en este estudio.

A las autoridades de la IV Región, por la colaboración recibida durante los trabajos realizados en la zona de estudio, muy especialmente:

A la Universidad de La Serena. Al Rector, Profesor Jaime POZO, al Director de Investigación, Profesor Aliro ESTAY, a los Profesores Rodomiro OSORIO, Jorge OYARZUN y Liliam RUBIO, por sus valiosas contribuciones, especialmente en la realización del Coloquio Internacional SPECTEL '95.

A las autoridades regionales. Al Señor Renán FUENTEALBA, Intendente de la Región de Coquimbo, por su acogida siempre abierta y condescendiente. A la Señora Laura PIZARRO, Gobernadora de Limarí y a la Municipalidad de Ovalle, por su ayuda en la organización del foro realizado en dicha ciudad.

A los Comuneros y Profesores de Escuelas Básicas de las diversas localidades de la Provincia de Limarí, por su siempre gentil acogida y buena disposición a contestar nuestras encuestas.

AUTORES

Marcel Jean POUGET, pedólogo, Dr. Sc, Director de investigación del ORSTOM, ha participado en diversos proyectos de investigación en zonas áridas del norte de África, de México y de Sud América; comienza su trabajo en Chile en 1992 en su calidad de corresponsable científico del proyecto Limarí y como experto en suelos y teledetección satelital. (E.mail: pouget@reuna.cl)

Eugenio CAVIEDES, Ing. agrónomo, M. S, Profesor de producción de forrajes y de Fitoecología en el Depto. de Producción Animal, Fac. de Cs. Agrarias y Forestales, U. de Chile; ha participado desde 1970 como investigador en diversos estudios en la zona árida de Chile; es corresponsable científico del proyecto Limarí, al que se unió desde 1992.

Philippe HAMELIN, demógrafo, Ingeniero de investigación de ORSTOM, luego de trabajo desarrollado en Francia y en Brasil sobre la Amazonía, se integra en 1995 al proyecto Limarí para abordar los aspectos demográficos. (E.mail: phamelin@mapocho.dcc.uchile.cl)

Dominique REMY, Ingeniero informático de ORSTOM, luego de trabajar en Francia y en África (Burkina Faso), se integra en 1995 al proyecto para la puesta en marcha operacional de la base de datos georeferenciados Limarí, permitiendo así la integración, análisis y edición de la información obtenida. (E.mail: remy@orstom.fr)

Renaud MATHIEU, Ing. agrónomo, M. S, se integra en 1993 al proyecto participando en la instalación de la unidad de tratamiento digital de imágenes y de información geográfica. En 1995 inicia una tesis de doctorado, sobre el empleo de datos satelitales en la evaluación de la erosión en suelos graníticos de la cordillera de la Costa, Regiones V y VI.

Verónica LIRA, Ing. agrónomo, se integra en 1994 al proyecto en calidad de egresada de la Escuela de Agronomía de la U. de Chile para realizar su tesis de grado. En 1996 inicia estudios de postgrado en Chile.

Daniel ALVAREZ, Ing. agrónomo, se integra en 1994 al proyecto en calidad de egresado de la Escuela de Agronomía de la U. de Chile, para realizar su tesis de grado. En 1996 inicia estudios de postgrado en Francia.

La Provincia de Limarí

| | | | |
|------------|---|---|-----|
| I | Contexto general del estudio | | |
| II | La Provincia del Limarí | | |
| III | Enfoque pluridisciplinario para el análisis de un espacio regional | | |
| | 1. Análisis del medio natural | | |
| | Del terreno al satélite | | |
| | Los datos satelitales | | |
| | Los datos de terreno | | |
| | 2. Análisis de la población | | |
| | Especialización de los datos demográficos | | |
| | Análisis demográfico clásico | | |
| | 3. Base de datos LIMARI | | |
| | El sistema de información geográfica SAVANE | | |
| | Descripción de los datos | | |
| IV | Diagnóstico espacial de los ecosistemas del secano | | |
| | 1. Inventario y caracterización de los ecosistemas | | |
| | Organización del espacio en unidades ambientales | | |
| | Los sectores ecológicos | | |
| | Los sistemas ecológicos | | |
| | 2. Indicadores del estado y dinámica del medio | | |
| | Modelización espacial del estado de degradación del complejo suelo-vegetación (CSV) | | |
| | Cobertura arbustiva (CLB) y color de la cobertura mineral | | |
| | Susceptibilidad de los suelos a la erosión | | |
| | 3. Un balance negativo | | |
| | Las comunidades agrícolas en el secano | | |
| | Estado del medio de las comunidades agrícolas | | |
| 5 | V | La población de Limarí | |
| | 1. Los habitantes del Limarí | | 75 |
| 9 | | Una estructura particular de la población | |
| | | Una distribución espacial muy contrastada | |
| | 2. Los flujos migratorios | | 80 |
| | | Una provincia abierta al exterior | |
| | | Los saldos migratorios | |
| | | Las diferentes formas de migraciones | |
| 13 | | 3. La población activa | 84 |
| | | 4. El hombre y su relación al medio | 84 |
| | | La historia | |
| 21 | | La situación actual | |
| | | El futuro | |
| 23 | VI | Una herramienta para la gestión ambiental | |
| | | Herramienta de investigación multidisciplinaria | 89 |
| | | Ayuda al ordenamiento del territorio | |
| | | Conclusión | 93 |
| | | Bibliografía | 94 |
| | | Siglas | 97 |
| | | Anexo | |
| | | 1. Formulario de descripción de los sitios | 98 |
| 70 | | 2. Métodos de estimación de la producción vegetal de los sitios | 102 |

CONTEXTO GENERAL DEL ESTUDIO

Cerca de un tercio de la superficie terrestre presenta un clima árido, caracterizado por la escasez e irregularidad de las precipitaciones, afectando al 50 % de los países y al 15 % de la población mundial (SERBAL/UNESCO, 1982). Chile no escapa a estas cifras y es así que más de 50 % de su territorio corresponde a zonas desérticas, áridas, semiáridas y subhúmedas, en clima mediterráneo, sin incluir las zonas áridas del Altiplano y de la Patagonia, en clima frío de altura y de estepa.

La IV Región de Chile limita hacia el norte con el desierto de Atacama, el cual está empujando inexorablemente su límite hacia el sur, abarcando nuevas superficies. En este marco de aridez, la acción del hombre y de sus animales toma cada vez mayor importancia, especialmente en los terrenos de secano.

Los múltiples estudios interdisciplinarios, efectuados por diversas instituciones, han abordado la problemática de la degradación de los recursos y sus efectos recíprocos con la población local. Todos ellos han orientado sus esfuerzos a un mejor conocimiento del medio y a las causas que determinan su deterioro. No obstante, aún no es posible contar con documentos que expresen dicha realidad sobre grandes extensiones de terreno que integren en ellos información a una escala con suficiente información, que permita a los planificadores y a los responsables de los programas de desarrollo, contar con herramientas eficaces.

Entre los últimos esfuerzos realizados en la óptica anterior, cabe mencionar los estudios de la vegetación y del medio efectuados por el programa ARCHILI, el cual si bien puso a disposición de los usuarios una rica cartografía politemática, basada en fotos aéreas blanco y negro, esta sólo abarcó un 8% de la superficie de la Región, en porciones segmentadas (Etienne et al. 1982a; 1982b; 1984; 1987; ARCHILI 1985a; 1985b; 1985c).

Dentro de este marco, y concientes de las necesidades de la población local y de los esfuerzos realizados por las autoridades regionales, la Universidad de Chile y el ORSTOM han llevado a cabo acciones de investigación tendientes a contribuir en esta búsqueda de conocimientos y proposición de opciones para un desarrollo sustentable.

❖ *Antecedentes históricos*

La Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad de Chile, ha desarrollado una actividad pionera y continúa en el estudio de las zonas áridas de clima mediterráneo. Estas se remontan a 1953, con el inicio de investigaciones ganaderas y de recursos forrajeros de secano, en la Estación Experimental La Rinconada, Maipú. En la década de los 60 se da comienzo al programa de prospección de especies forrajeras nativas herbáceas y arbustivas, entre las regiones II y IV.

En los 70, los resultados de las investigaciones de la U. de Chile sobre arbustos forrajeros significan el inicio de las plantaciones masivas de *Atriplex numularia* y *A. repanda* en el sector costero de la IV Región por parte de la CONAF; hoy día se cuenta con más de 40.000 ha plantadas. Paralelamente se crea la Estación Experimental Las Cardas, estancia que desde 1975 acoge las actividades del programa de investigación de zonas áridas de la U. de Chile (PRIZAS). Estas se continúan hasta la fecha en el marco del Centro de Estudios de Zonas Áridas de la U. de Chile (CEZA), luego de su creación en 1981.

La colaboración de investigadores franceses con la U. de Chile en la problemática de zonas áridas se inicia en 1978, a través del programa de cooperación bilateral "Bases ecológicas para el desarrollo de los terrenos de pastoreo y de la agricultura de zonas áridas de Chile", Proyecto ARCHILI. Las contrapartes fueron el Centre d'Etudes Phytosociologiques et Ecologiques, CEPE/CNRS Montpellier, y la entonces Facultad de Agronomía de la U. de Chile.

En la fase ARCHILI I, desarrollada entre 1979 y 1983 se efectuó un diagnóstico a nivel regional y estacional en tres transectos que cubren un área de 300.000 ha, entre los ríos Elqui y Choapa; su objetivo fue conocer en mejor forma el estado de los recursos vegetales, las condiciones del medio y las formas de utilización del espacio rural por el hombre. El resultado se tradujo en la publicación de una cartografía politemática a escala 1: 50.000 y 1: 100.000 sobre los temas vegetación, fitoecología, dinámica de la vegetación, recursos pastorales y desertificación; todo ello en 56 mapas sobre las 300.000 ha (Etienne et al. 1982a; 1982b; 1984; 1987; ARCHILI 1985a; 1985b; 1985c).

ARCHILI II concentró sus actividades en el estudio, caracterización y funcionamiento productivo y socioeconómico de dos comunidades agrícolas piloto, representativas del sector costero sur de la IV Región. En forma paralela se trabajó activamente en las investigaciones del CEZA en Las Cardas y en la comunidad agrícola Higuieritas Unidas. Luego de probar el empleo de técnicas de mejoramiento de la gestión ganadera y de la agricultura de secano en dicho sistema de tenencia de la tierra, se elaboró, en conjunto con los comuneros, un programa de manejo eficiente de los recursos de una comunidad agrícola piloto. Esta fase se desarrolló entre 1983 y 1989 (Caviedes et al. 1986a; 1986b; 1987; D'Herbes et al. 1985; D'Herbes y Caviedes, 1985; Gozo, 1986).

Al término del programa ARCHILI, en abril de 1989 se realiza en Coquimbo el taller "Bases ecológicas para el desarrollo rural integrado y lucha contra la desertificación en zonas áridas y semi áridas de África y América Latina", financiado por MAB-UNESCO y organizado por el CEZA, U. de Chile. Los contactos efectuados en dicho taller, especialmente entre investigadores de ORSTOM y de la Universidad de Chile, así como un intercambio epistolar entre 1989 y 1990, culminaron con la firma de un convenio de cooperación científica y técnica entre ambas instituciones, gracias al cual se inicia en Mayo de 1992 el proyecto "Medio ambiente y desarrollo sustentable de la zona árida de Chile", conocido como Proyecto LIMARÍ.

❖ *Problemática*

En zonas áridas, la fragilidad del medio induce una fuerte interdependencia entre ambiente y desarrollo sustentable. Las perturbaciones naturales y antrópicas cada vez más agresivas, conducen a considerables bajas en el potencial agrícola, así como a graves deterioros del medio.

En la Provincia de Limarí, más allá de la rápida urbanización que opera en toda América Latina, cambios recientes y profundos están afectando al medio rural, consistentes en un acelerado aumento de la superficie riego, principalmente con parronales de uva de mesa y cultivos hortícolas. Además, el medio rural de la Provincia se caracteriza por la coexistencia de dos espacios muy contrastados:

- un sector de riego, moderno y abierto a los mercados internacionales, atrayendo hacia los estrechos valles a un contingente cada día más importante de mano de obra temporal o permanente.
- un sector de secano, dedicado a la ganadería caprina y a una agricultura marginal, rubros que ocupan laderas degradadas y erosionadas, especialmente en el área de las Comunidades Agrícolas, cuya población ha sido declarada en condición de extrema pobreza, además de estar experimentando un proceso de envejecimiento.

Por lo tanto, es de interés conocer y evaluar la situación actual y los impactos que producen esos cambios sobre el medio rural, es decir, sobre el medio natural y sobre la población humana. Del mismo modo, interesa investigar las posibles opciones de desarrollo para el futuro.

En la práctica, esto conduce a plantearse las siguientes interrogantes:

- ¿cuál es la importancia real de los fenómenos de degradación de la vegetación y de erosión de los suelos, y dónde se localizan en el conjunto de la Provincia de Limarí? ¿cómo describir el estado del medio y sus límites en el espacio y en el tiempo?
- ¿cómo se distribuye y cómo vive la población en los diferentes sectores de riego, de secano y urbano? ¿cuál es la influencia del medio sobre la dinámica de la población? recíprocamente, ¿cuál es la influencia de la población sobre la evolución del medio, principalmente la vegetación y los suelos?
- ¿cómo evaluar los riesgos de la degradación creciente? ¿cuáles son los indicadores de esta dinámica, tanto en el medio natural como en la población? ¿qué cambios, en la forma de utilización del medio se están produciendo?
- ¿cómo influir sobre esta dinámica y cuáles son las opciones para un desarrollo sustentable?

❖ *Objetivos*

El objetivo general del programa, consistió en la obtención de bases científicas necesarias para la elaboración de estrategias tendientes a una mejor gestión de la zona árida en una perspectiva de desarrollo sustentable.

Los objetivos específicos, referidos a la Provincia de Limarí, abarcaron una extensión cercana a un millón de hectáreas, desde el nivel del mar hasta los 4.000 m de altura en la Cordillera de Los Andes, y fueron los siguientes:

- realizar un diagnóstico espacial del estado y de la dinámica de los recursos naturales (suelos y vegetación), en relación con el impacto de las actividades humanas,
- analizar la distribución espacial de la población y su dinámica reciente,
- constituir una base de conocimientos del medio natural y de la población, para el conjunto de la Provincia, y así contribuir a la elaboración de herramientas para ayudar a la toma de decisiones y al seguimiento del ambiente, a nivel regional,
- formar profesionales en el empleo de datos satelitales, sistemas de información geográfica y en la evaluación de recursos naturales, en zonas áridas.

II

LA PROVINCIA DE LIMARÍ

❖ Localización

La Provincia de Limarí, una de las tres que conforman la Región de Coquimbo o IV Región, se extiende entre los 30° 10' y los 31° 15' S y los 70° 15' W, ocupando una superficie de 1.346.140 hectáreas; su capital es Ovalle. Hacia el norte limita con la Provincia de Elqui, capital La Serena y hacia el sur con la Provincia de Choapa, capital Illapel. En 1992 su población es de 141.451 habitantes, de un total de 504.000 en la IV Región; más de la mitad de sus habitantes vive en las principales ciudades de la provincia.

El área de estudio del Proyecto Limarí corresponde a la superficie ocupada por 4 imágenes satelitales SPOT (Fig. II 1), equivalente a un total de 873.000 ha, que resultan una vez que se elimina de dichas imágenes el sector ocupado por el mar y parte de la alta cordillera. Es decir, el área estudiada corresponde al 20% de la IV Región.

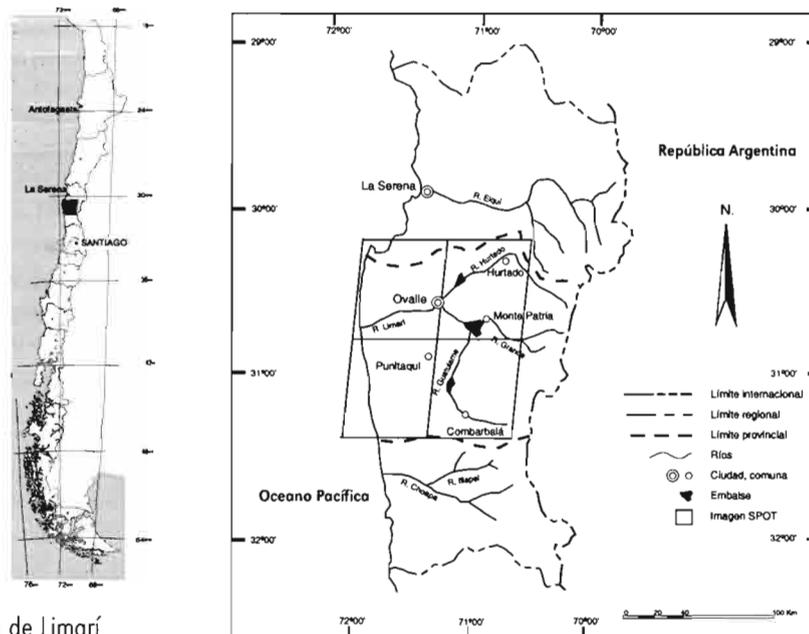


Fig. II 1 La Provincia de Limarí
(IV Región Chile)

❖ Clima

El clima de la región es una resultante de la interacción de tres factores: la faja de altas presiones subtropicales, en especial el anticiclón del Pacífico Sur-Oriental; la presencia de la Corriente fría de Humboldt en el océano Pacífico y el relieve longitudinal de la Cordillera de la Costa, de la Cordillera de los Andes y de los cordones montañosos transversales, que dificultan el desplazamiento de las masas de aire (Santibañez, 1986).

Según Köppen el clima corresponde a la típica estepa árida, distinguiéndose tres sectores: la costa, con un clima de estepa con nubosidad abundante; el interior, con un clima de estepa templada marginal, en la porción norte, y un clima de estepa templada con precipitaciones invernales, en el sector sur. La precordillera y Cordillera de los Andes, presentan un clima de estepa fría de montaña. De acuerdo a la escuela Emberger, se trata de un clima "mediterráneo árido inferior", con variantes térmicas que van desde cálido en la costa, templado en el interior hasta frío en los Andes (Caviedes y Daget 1984).

La **precipitación** media anual de la Provincia fluctúa entre 100 y 200 mm en sus límites norte y sur, con gran variación anual e interanual; las lluvias se concentran en los meses de junio a agosto, determinando la existencia de 9 a 10 meses secos. La pluviometría presenta además un gradiente positivo desde la costa a la Cordillera de los Andes. No obstante, por efecto de la presencia de neblinas mojadoras en la costa, mejora considerablemente el balance hídrico respecto del interior.

En cuanto al **régimen térmico**, la principal diferencia de temperaturas se observa al comparar estaciones de la costa con otras del interior; en cambio, a lo largo de la costa, se observan escasos rangos de variación, así como ausencia de heladas, con una media mínima del mes más frío de 9,2° C (Coquimbo) y una máxima media de enero de 20,6° para la misma localidad. En cambio en el interior (Ovalle), dichos promedios son de 6,3° y 28,5° respectivamente, mientras que en Combarbalá (precordillera) son de 3,5° y 31°, respectivamente, mostrando una marcada oscilación a lo largo del año (Hajek, 1976).

El análisis combinado de los regímenes hídricos y térmicos, sumado al efecto de los vientos, determina un **déficit hídrico** cuyos valores crecen desde 700 mm en la costa a 1300 mm en el interior, para subir a 1400 en la precordillera y mostrar un descenso a 1100 mm en la Cordillera de los Andes (Caldentey y Pizarro, 1980; Santibañez, 1986).

❖ *Geología y geomorfología*

De acuerdo a las cartas geológicas de la Provincia de Limarí (Rivano y Sepúlveda, 1991; Thomas, 1967; Gana, 1991), en la zona predominan las rocas metamórficas y las graníticas en la costa y serranías interiores, alternándose a este nivel con materiales volcánicos del tipo andesita, roca que domina por último en el macizo andino. Cabe agregar que a lo largo de toda la costa, existen materiales sedimentarios que por sollevamiento han dado origen a las terrazas marinas; más al interior toman importancia las terrazas fluviales, entre las que destaca la del río Limarí, principalmente entre las localidades de Monte Patria y la carretera Panamericana.

En cuanto a formas y relieves, Rodríguez (1959-1960) denomina a la IV Región como la "región de las serranías y de lomas", cuya principal diferencia con las regiones situadas al sur y al norte de ella, es el rompimiento del tríptico Cordillera de la costa-depresión intermedia-Cordillera de los Andes, que caracteriza a gran parte del territorio nacional. En cambio, en esta zona de estudio se distinguen los siguientes rasgos geomorfológicos (Paskoff, 1970; Borgel, 1983; Rivano y Sepúlveda, 1991):

Las **planicies litorales**, representadas por una angosta faja cuya extensión fluctúa entre algunas centenas de metros hasta un máximo de 5 km, constituida por antiguas terrazas de abrasión marina.

La **cordillera de la costa**, integrada por materiales paleozoicos y mesozoicos y por un complejo granítico de edad jurásica, se extiende a todo lo largo del litoral, alcanzando una altura de 900 a 1000 m s.n.m.

Las **serranías interiores**, de altura variable entre 800 y 1000 m, las cuales se ven interrumpidas por planicies de topografía más o menos ondulada, entre las que destacan las de Quilitapia, El Huacho y Manquehua.

Por último, la **Cordillera de los Andes**, constituye el principal elemento morfológico, con un ancho promedio de 35 km y alturas de 2.200 a 5.000 m s.n.m., constituida principalmente por terrenos mesozoicos y cenozoicos e intrusivos cenozoicos.

En síntesis, la predominancia en la zona de relieves con pendientes medias a fuertes, unidas a su origen granítico y andesítico, constituyen las principales características del medio físico y que son determinantes en la distribución de los suelos y de la vegetación natural de la zona, junto con el clima y la acción del hombre y sus animales.

❖ Suelos

Los principales materiales generadores de los suelos de la región están representados por rocas graníticas y andesíticas en posición de lomajes y cerros. Dichos suelos son delgados a moderadamente profundos (hasta 50-70 cm), bien drenados, de textura y pedregosidad variable, en relación con el tipo de roca. El pH fluctúa entre 6,2 y 7,5; la fertilidad natural es baja; la capacidad de retención de agua aprovechable moderada a baja (IREN, 1977; Montecinos, 1982; Luzio, 1986; Peralta, 1986). Sus colores son rojizo a pardo rojizo, en los matices 7,5 YR y 5 YR. Estos suelos están sometidos a una fuerte erosión, sobretodo, aquellos formados sobre rocas graníticas.

En las zonas más planas, correspondientes a las terrazas aluviales, el material generador de los suelos está constituido por un depósito aluvial generalmente pedregoso y profundo. Sobre las terrazas más antiguas los suelos son netamente más arcillosos, de color rojo, a veces, con un horizonte indurado (tertel). En cambio, los suelos, situados sobre las terrazas de abrasión marina, son claramente menos profundos, a menudo, más arcillosos en profundidad, localmente con estructuras columnares y prismáticas, ligera a moderada salinidad y altos contenidos de sodio soluble, posiblemente, aportado por influencia directa del mar o, indirectamente, a través de la neblina de espuma (Peralta, 1986). Los suelos se vuelven más arenosos a nivel de las terrazas de sedimentación marina, con un horizonte enriquecido en calcáreo a profundidad media (Paskoff, 1970; Luzio, 1986).

❖ Flora y vegetación

En cuanto a la **flora**, Gajardo (1983) cita para la IV Región la presencia de 1.390 especies vegetales, pertenecientes a 124 familias. Por su parte, el estudio fitoecológico efectuado por ARCHILI (1985a) anota la existencia de 800 especies, para una parte de la misma región.

Con respecto a la **vegetación**, esta presenta variaciones en su estructura vertical (altura), cobertura vegetal y especies dominantes, según los principales factores del medio que actúan sobre ella.

En un análisis de la vegetación, basado en los niveles de percepción ecológica propuestos por Long (1974-1975), la Provincia de Limarí se sitúa en la zona ecológica de los matorrales y de los bosques esclerófilos, la que limita hacia el norte con la zona del desierto, hacia el sur con la zona de las lluvias y hacia el este con la zona ecológica alto andina. La principal característica de aquella **zona ecológica** es el clima general de tipo mediterráneo. En la zona predominan los matorrales o formaciones leñosa baja-herbáceas (LBH), las que cubren un 66% del área de interés (Etienne et al., 1982a, 1982b, 1984); le siguen en importancia las formaciones herbáceas, llamadas praderas naturales, que ocupan un 31 % del área y por último, las formaciones arbóreas, con apenas un 3 % de la superficie estudiada por dichos autores.

Dentro de esta amplia zona, es posible distinguir grandes entidades relacionadas con el clima regional (cambios de regímenes hídricos y térmicos), el relieve general y la geomorfología: es lo que se conoce como **regiones ecológicas**, distinguiéndose las de la costa, del interior, de la precordillera y de la cordillera.

En la región ecológica de la costa, al norte de Mantos de Hornillo, abunda la formación arbustiva de pichanilla (*Gutierrezia resinosa*), asociada a hierbas tales como alfilerillos (*Erodium moschatum*, *E. malacoides* y *E. botrys*), *Vulpia dertonensis*, *V. megalura*, *Adesmia tenella* y *Medicago polymorpha*. Esta formación vegetal postcultivo es el resultado de la degradación y eliminación del matorral costero dominado por *Proustia cuneifolia* y *Heliotropium stenophyllum*. Hacia el sur domina *Bahia ambrossioides*. Las praderas degradadas de la región de la costa están dominadas por *Plantago tumida*, *Hypochaeris radicata* y diversas especies del género *Calandrinia* (Etienne et al. 1984).

En la región ecológica del interior, las formaciones arbustivas siguen siendo las más importantes, si bien se aprecia una disminución en los valores de cobertura vegetal y también cambios en las especies dominantes. A partir de los 800 m de altura comienza a abundar el colliguay (*Colliguaya odorifera*) dominando en todas las formaciones arbustivas del paisaje; puede asociarse con *Flaurensia thurifera* o bien ser reemplazado totalmente por *Cordia decandra*, especialmente en exposiciones norte y características particulares del suelo (ARCHILI, 1985). En ambientes postcultivos y degradados, además de *Gutierrezia resinosa* se aprecia *Haplopappus angustifolius* y *H. glutinosus*, especialmente en los alrededores de Combarbalá. En ambientes muy degradados el matorral es reemplazado por una formación de suculentas en la que domina el leoncito (*Opuntia ovata*) y hierbas tales como *Pectocarya dimorpha* y *Lastarriaea chilensis*, indicadoras de sobretalajeo y de suelos andesíticos esqueléticos, como es el caso de los alrededores de Monte Patria, San Marcos y oriente del embalse Cogotí (Etienne et al., 1982a).

Las praderas de la región del interior están dominadas por *Erodium cicutarium*, *Calandrinia trifida* y *Adesmia tenella*, a las que se asocian *Bromus berterianus* y *Vulpia dertonensis*, especialmente en ambientes más sombríos; cuando estas praderas se degradan, están dominadas por *Pectocarya dimorpha*, *Lastarriaea chilensis* (dicha) y *Cardionema ramossissima*.

En la región ecológica de la precordillera, las formaciones vegetales son dominadas por otras especies arbustivas, entre las que destacan *Adesmia gayana* (varilla), *Ephedra andina* (pingo pingo) y *Fabiana imbricata* (romero). Este tipo biológico desaparece en la región ecológica de la cordillera, para dar paso a formaciones herbáceas dominadas por coironales de *Stipa frigida*, *S. chrysophylla* y *S. lacnophylla* (Lailhacar, 1985).

❖ *Uso del suelo*

La Provincia de Limarí, con 33 % de la superficie total de la IV Región, ocupa 1.346.140 de ha. El sector con riego abarca 53.030 ha, las que se distribuyen como sigue (INE, 1993):

| | |
|--|------------|
| praderas artificiales y naturales | 19.800 has |
| viñas y parrones viníferos, casi exclusivamente para pisco | 5.500 has |
| frutales | 5.000 has |
| uva de mesa, limoneros, paltos, kiwi, cereales, chacras e industriales | 5.000 has |
| hortalizas | 4.150 has |
| Otros | 13.580 has |

La superficie de secano en la Provincia suma 1.293.110 ha, siendo su principal uso la ganadería, con explotaciones ovinas y caprinas, principalmente en las serranías interiores y cordillera de la costa. Los terrenos de la precordillera y Cordillera de los Andes, de topografía accidentada, sólo tienen un escaso uso ganadero en verano, pero sí son de gran importancia como zona de acumulación de agua en forma de nieve y hielo, que se hace disponible en el verano, a través de los embalses Recoleta, Paloma y Cogotí.

❖ *Tenencia de la tierra*

En la Provincia se distinguen los mismos tres sistemas de tenencia de la tierra que caracterizan a toda la región. Las **Comunidades Agrícolas** que, aproximadamente, cubren 300.000 ha en condiciones de secano; en ellas se practica una ganadería caprina, para producción y venta de queso y carne, dedicándose además a la agricultura de secano en la parte sur de la Provincia, con cultivos de trigo para autoconsumo, cebada para los equinos de trabajo, y comino, anís y cilantro para la obtención de ingresos para la familia.

Debido a la agricultura de secano itinerante, que va limpiando terrenos cada 15 ó 20 años, dejando expuestos los suelos con pendientes al efecto de la lluvia y luego al sobretalaje caprino y a la cosecha de leña sin reposición, la mayor parte de los territorios ocupados por este sistema de tenencia presenta diversos estados de degradación. A ello se suma la utilización desconcertada de sus habitantes, "los comuneros", de una propiedad en común. El tamaño promedio de las comunidades agrícolas es de 3.500 has cada una, en la cual habita un número variable de familias, con un promedio de 30.

El segundo sistema de tenencia, también en condiciones de secano, está representado por las **Grandes Haciendas**, que cubren 993.110 ha de la superficie de la Provincia. En ellas, el principal uso del suelo es ganadero, dedicándose a la explotación de ovinos de raza merino australiano, para la producción de lana, principalmente; en este sistema en general, hay un uso menos intensivo de los recursos, no permitiéndose la cosecha de leña, ni la agricultura de secano en terrenos con pendientes. El tamaño promedio de las Grandes Haciendas es de 10.000 ha, perteneciendo a un solo dueño, que generalmente no vive en el lugar.

Por último, el sistema de tenencia más próspero de la región está representado por los **pequeños y medianos agricultores de riego**, que ocupan 53.030 ha en la Provincia. En general dedican el suelo a la fruticultura de exportación, haciendo un buen uso de los recursos y empleando una alta tecnología para ello. El tamaño de estas explotaciones fluctúa entre 2 y 80 ha, con un promedio de 30; por lo general pertenecen a un solo dueño y son una importante fuente contratadora de mano de obra en la región.

III

ENFOQUE PLURIDISCIPLINARIO PARA EL ANALISIS DE UN ESPACIO REGIONAL

Esta investigación interdisciplinaria sobre el medio natural y la población nos ha llevado a utilizar una gran cantidad de datos heterogéneos: imágenes satelitales, observaciones finas de terreno, encuestas sobre las migraciones, datos existentes (clima, geología, censos). El tratamiento y el análisis de esta información ha necesitado el desarrollo de métodos originales.

Para el medio natural, el desafío consistió en poner a punto un método que permita dar cuenta de la organización del medio, de su estado y de sus potencialidades, en la provincia de Limarí. Por cuestiones de costos y de tiempo era inimaginable alcanzar este objetivo con un método clásico, empleando fotografías aéreas. Se utilizó en cambio la imaginería satelital que actualmente, es la única fuente de datos capaz de responder a una necesidad de información actualizada sobre el medio y a escala de una región. El análisis de las relaciones entre la información dada por el satélite y un muestreo representativo de los sitios descritos en el terreno, permite establecer un diagnóstico fiable del medio natural y de su dinámica.

El estudio demográfico tuvo como tareas principales, la espacialización de los datos de los censos y el análisis de la distribución de la población en el espacio. Los demógrafos privilegian la escala temporal, siendo el espacio una dimensión poco habitual para estos profesionales.

La manipulación y la explotación integrada de un volumen importante de información (más de 0.5 GB), no habría sido posible sin recurrir a la potencia de la herramienta informática para manejar una base de datos georeferenciados y para desarrollar técnicas de análisis espacial.

❶ Análisis del medio natural

Los objetivos principales del análisis eran, primero, lograr una estratificación del medio natural en entidades espaciales encajonadas, homogéneas a distintos niveles de observación; en segundo lugar, modelizar variables pertinentes o indicadores del estado del medio y de su dinámica. Los sectores ecológicos (1:250 000) y los sistemas ecológicos (1:50 000) representan las entidades espaciales, mientras que el estado del complejo suelo-vegetación, la cobertura vegetal de especies leñosas, el color del suelo y la susceptibilidad de los suelos a la erosión, son los indicadores.

Del terreno al satélite

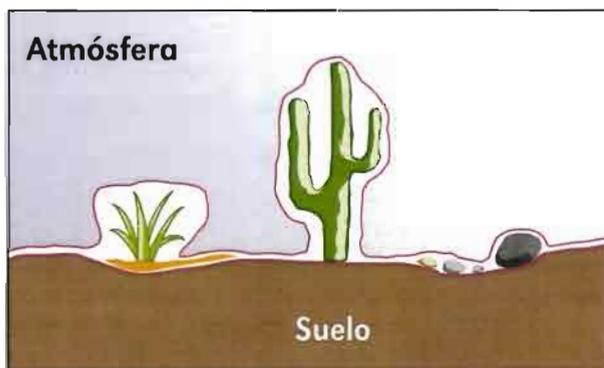
Se desarrolló un conjunto de métodos que asocian estrechamente los datos satelitales con los datos de terreno y los datos relativos al medio (topografía, geología, clima), siendo integrado el conjunto a un sistema coherente de información georeferenciada, la base de datos LIMARI.

ESTADO DE SUPERFICIE DEL COMPLEJO SUELO-VEGETACIÓN

En zonas áridas, la vegetación natural está en estrecha relación con el medio y más particularmente, con el suelo sobre el cual ella se encuentra.

CONCEPTO DE 'COMPLEJO SUELO-VEGETACION' (CSV)

El complejo suelo-vegetación corresponde al conjunto constituido por el suelo y la vegetación y por las interrelaciones entre estos dos componentes del medio natural.



SUPERFICIE DEL COMPLEJO SUELO-VEGETACIÓN (adaptado de Escadafal, 1989)

La superficie del complejo suelo-vegetación es la zona de transición entre la atmósfera y la cobertura pedológica, incluyendo la vegetación y la parte superficial del suelo.

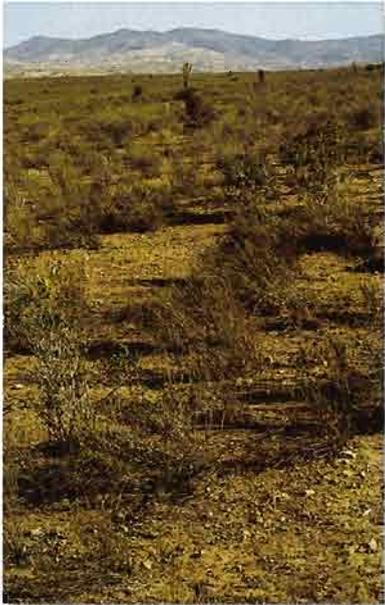
ESTADO DE SUPERFICIE DEL COMPLEJO SUELO-VEGETACIÓN

El estado de superficie del complejo suelo-vegetación se refiere a la composición y organización de la superficie de este complejo en un momento dado.

CARACTERIZACIÓN CUANTITATIVA DEL ESTADO DE SUPERFICIE DEL COMPLEJO SUELO-VEGETACIÓN

Es una descripción porcentual de la cobertura vegetal (CVT%) y mineral (CMT%) y de sus fracciones elementales, cuya suma es igual al 100%, en un momento dado.

$$\text{CMT} + \text{CVT} = 100\%$$



M.J. Pouget®

• Matorral de *Gutierrezia resinosa* y *Cassia coquimbensis*, con CLB entre 25 y 40 %. Terrozo oluvial antiguo.



M.J. Pouget®

• Matorral de *Flourensia Thurifera* y *Gutierrezia resinosa*, con CLB entre 10 y 25%. Serranía del interior sobre diorito cuarcifera.



M.J. Pouget®

• Matorral residual de *Eulychnia acido* con CLB < 10%. Región de San Marcos, sobre andesito.



M.J. Pouget®

• Medición de la cobertura de leñosas bajas.



R. Mathieu®

• Medidas radiométricas en el terreno

Este método funda todo su interés en la capacidad de las imágenes satelitales de alta resolución espacial (SPOT, Landsat TM), de integrar espacialmente una información sintética y exhaustiva sobre la composición y la organización del estado de superficie del complejo suelo-vegetación en el momento de la toma de vista (cf *encarte*).

Ahora bien, el estado de superficie, a través de sus componentes vegetal y mineral, integra una información valiosa sobre algunas características importantes del medio: cobertura y densidad de la vegetación, rugosidad y color del suelo. A escala temporal, es también un poderoso indicador de las dinámicas de degradación (desertificación, erosión) o de rehabilitación, que ocurren en un ecosistema. Numerosos procesos de las transformaciones del medio ambiente se expresan en superficie: reducción o destrucción de la cobertura vegetal, degradación de la estructura de los suelos con generalización de las costras que facilitan el escurrimiento, pérdida de material fino por erosión, con cambio de color del suelo.

Las variaciones en las proporciones de los diferentes componentes de la superficie del suelo (ej. matas de Bahía ambrosioides, bloques, costra,...) cambian la reflectancia grabada en el satélite, en función de las características espectrales específicas de cada uno de dichos componentes. Se trata de invertir el enfoque y explotar la potencia de generalización de los datos satelitales para discriminar en el espacio los distintos medios y cartografiar sus principales características ecológicas.

El traspaso de la reflectancia contenida en las imágenes satelitales a la cartografía temática (suelo, vegetación, uso del suelo), necesita un marco riguroso de interpretación proporcionado por el conocimiento del terreno. Para extraer la mayor cantidad posible de información de las imágenes, es fundamental que el trabajo de terreno esté basado, por una parte, en un muestreo adecuado del espacio estudiado, y por otra, en la descripción cuantitativa de los estados de superficie del complejo suelo-vegetación, a nivel de sitios representativos.

La imaginería satelital, más allá de las economías de escala que procura (superficie/costo), posee dos ventajas comparativas fundamentales. Por una parte, proporciona los datos en un formato digital, adaptado a un tratamiento automatizado de la información y, por otra, se basa en un sistema permanente de observación de la tierra, lo que facilita el seguimiento de la dinámica del medio.

Los datos satelitales

El análisis que se propuso llevar a cabo, determinó la estrategia de la toma de los datos satelitales. Al respecto, es importante tener en cuenta dos elementos: la fecha en que fueron registrados y la naturaleza de estos datos, es decir, el tipo de sensor que los registra. Se eligió **SPOT** como datos de base, prefiriéndolo a Landsat TM, en razón de una resolución espacial superior de los sensores HRV1 y HRV2 (Fig. III 1.1 y 1.2). Esto permite una localización mucho más precisa en el terreno y, especialmente, en una región de relieve accidentado. Con respecto a la fecha, se prefirió la **primavera** como el período más favorable para la observación de la vegetación leñosa, la que permanece verde, mientras que el estrato herbáceo ya está seco. Además, por este hecho, es posible obtener información sobre la naturaleza de la superficie del suelo que se encuentra más visible al satélite.

| Satélite | Sensor | Referencia | Fecha | Incidencia en° | Acimut en° | Elevación en° |
|----------|--------|------------|----------|----------------|------------|---------------|
| SPOT1 | HRV1 | 669-411 | 19-12-87 | R 2,2 | + 80,2 | 64,8 |
| | | 669-412 | | R 2,2 | + 79,3 | 64,7 |
| | HRV2 | 670-411 | | L 2,3 | + 79,3 | 65,3 |
| | | 670-412 | | L 2,3 | + 78,7 | 65,2 |
| SPOT2 | HRV1 | 669-411 | 29-10-92 | R 8,3 | + 58,3 | 62,0 |
| | | 669-412 | | R 8,3 | + 57,6 | 61,7 |
| | HRV2 | 670-411 | | R 5,2 | + 57,7 | 62,4 |
| | | 670-412 | | R 5,2 | + 57,0 | 62,0 |
| Landsat | MSS | 251-81 | 08-10-73 | | | |

Fig III 1.1 Características de las tomas de vista de las imágenes satelitales empleadas en el estudio

Las imágenes SPOT del 19 de diciembre de 1987 fueron adquiridas por catálogo, al comienzo del estudio. Las imágenes del 29 de octubre de 1992 corresponden a una programación del satélite realizada para las necesidades específicas del proyecto y para efectuar un estudio sincrónico terreno-imagen. La imagen Landsat

Este método funda todo su interés en la capacidad de las imágenes satelitales de alta resolución espacial (SPOT, Landsat TM), de integrar espacialmente una información sintética y exhaustiva sobre la composición y la organización del estado de superficie del complejo suelo-vegetación en el momento de la toma de vista (cf *encarte*).

Ahora bien, el estado de superficie, a través de sus componentes vegetal y mineral, integra una información valiosa sobre algunas características importantes del medio: cobertura y densidad de la vegetación, rugosidad y color del suelo. A escala temporal, es también un poderoso indicador de las dinámicas de degradación (desertificación, erosión) o de rehabilitación, que ocurren en un ecosistema. Numerosos procesos de las transformaciones del medio ambiente se expresan en superficie: reducción o destrucción de la cobertura vegetal, degradación de la estructura de los suelos con generalización de las costras que facilitan el escurrimiento, pérdida de material fino por erosión, con cambio de color del suelo.

Las variaciones en las proporciones de los diferentes componentes de la superficie del suelo (ej. matas de Bahía ambrosioides, bloques, costra,..) cambian la reflectancia grabada en el satélite, en función de las características espectrales específicas de cada uno de dichos componentes. Se trata de invertir el enfoque y explotar la potencia de generalización de los datos satelitales para discriminar en el espacio los distintos medios y cartografiar sus principales características ecológicas.

El traspaso de la reflectancia contenida en las imágenes satelitales a la cartografía temática (suelo, vegetación, uso del suelo), necesita un marco riguroso de interpretación proporcionado por el conocimiento del terreno. Para extraer la mayor cantidad posible de información de las imágenes, es fundamental que el trabajo de terreno esté basado, por una parte, en un muestreo adecuado del espacio estudiado, y por otra, en la descripción cuantitativa de los estados de superficie del complejo suelo-vegetación, a nivel de sitios representativos.

La imaginería satelital, más allá de las economías de escala que procura (superficie/costo), posee dos ventajas comparativas fundamentales. Por una parte, proporciona los datos en un formato digital, adaptado a un tratamiento automatizado de la información y, por otra, se basa en un sistema permanente de observación de la tierra, lo que facilita el seguimiento de la dinámica del medio.

Los datos satelitales

El análisis que se propuso llevar a cabo, determinó la estrategia de la toma de los datos satelitales. Al respecto, es importante tener en cuenta dos elementos: la fecha en que fueron registrados y la naturaleza de estos datos, es decir, el tipo de sensor que los registra. Se eligió SPOT como datos de base, prefiriéndolo a Landsat TM, en razón de una resolución espacial superior de los sensores HRV1 y HRV2 (Fig. III 1.1 y 1.2). Esto permite una localización mucho más precisa en el terreno y, especialmente, en una región de relieve accidentado. Con respecto a la fecha, se prefirió la primavera como el período más favorable para la observación de la vegetación leñosa, la que permanece verde, mientras que el estrato herbáceo ya está seco. Además, por este hecho, es posible obtener información sobre la naturaleza de la superficie del suelo que se encuentra más visible al satélite.

| Satélite | Sensor | Referencia | Fecha | Incidencia en° | Acímut en° | Elevación en° |
|----------|---------|------------|----------|----------------|------------|---------------|
| SPOT1 | HRV1 | 669-411 | 19-12-87 | R 2,2 | + 80,2 | 64,8 |
| | | 669-412 | | R 2,2 | + 79,3 | 64,7 |
| | 670-411 | L 2,3 | | + 79,3 | 65,3 | |
| | 670-412 | L 2,3 | | + 78,7 | 65,2 | |
| SPOT2 | HRV1 | 669-411 | 29-10-92 | R 8,3 | + 58,3 | 62,0 |
| | | 669-412 | | R 8,3 | + 57,6 | 61,7 |
| | 670-411 | R 5,2 | | + 57,7 | 62,4 | |
| | 670-412 | R 5,2 | | + 57,0 | 62,0 | |
| Landsat | MSS | 251-81 | 08-10-73 | | | |

Fig. III 1.1 Características de las tomas de vista de las imágenes satelitales empleadas en el estudio

Las imágenes SPOT del 19 de diciembre de 1987 fueron adquiridas por catálogo, al comienzo del estudio. Las imágenes del 29 de octubre de 1992 corresponden a una programación del satélite realizada para las necesidades específicas del proyecto y para efectuar un estudio sincrónico terreno-imagen. La imagen Landsat

MSS de octubre de 1973, a pesar de una resolución espacial mediocre, es la imagen satelital más antigua disponible de la zona, constituyendo una referencia importante.

| SATELITE | SPOT | LANDSAT | |
|------------|---|--|---|
| SENSOR | HRV1 y HRV2 | MSS | TM |
| IMAGEN | 60 x 60 km | 185 x 185 km | 185 x 185 km |
| RESOLUCION | 20 x 20 m | 57 x 79 m | 30 x 30 m |
| BANDAS | XS1 0,50-0,59 μm XS2 0,61-0,68 μm XS3 0,79-0,89 μm | MSS4 0,5-0,6 μm MSS5 0,6-0,7 μm MSS6 0,7-0,8 μm MSS7 0,8-1,1 μm | TM1 0,45-0,52 μm TM2 0,52-0,60 μm TM3 0,63-0,69 μm TM4 0,76-0,90 μm TM5 1,55-1,75 μm TM6 10,4-12,5 μm TM7 2,08-2,35 μm |

Fig. III 1.2 Características de los sensores de SPOT y LANDSAT

Los datos de terreno

❖ Modalidades de muestreo

- El estudio de terreno se efectuó en tres etapas:

Para coincidir con la toma efectiva de los datos SPOT del 29 de octubre de 1992, se llevó a cabo un estudio de terreno en octubre y noviembre de 1992. Durante este período se describieron 69 sitios. Este tipo de estudio sincrónico terreno-imagen se adapta bien para las variables relativas a la vegetación, caracterizada por una fuerte dinámica temporal potencial. La fecha de la toma correspondió al fin del período lluvioso, de un año particularmente húmedo. El estrato arbustivo estaba todavía verde, mientras que el estrato herbáceo estaba ya seco. Este estudio permitió la modelización de la cobertura de especies leñosas. Durante 1993 y 1994, 74 nuevos sitios fueron estudiados en "diferido" para las variables más estables, como la fracción mineral de los estados de superficie. Se modelizó con esos datos otro indicador del estado del medio: el color de la cobertura mineral. Una última campaña de terreno en septiembre y noviembre de 1995, permitió una validación de los modelos y describir otros 107 sitios. Las condiciones eran poco favorables para el estudio de la vegetación en razón de lo sequía que reinaba desde 1992.

La información proporcionada por los 250 sitios sirvió para estratificar el espacio y para la modelización de otros dos indicadores del estado y de la dinámica del medio: el estado del complejo suelo-vegetación CSV y la susceptibilidad de los suelos a la erosión.

La ubicación de los sitios se basó en un estudio previo de los datos de 1987. A partir del análisis visual de las composiciones falso color fué posible identificar las zonas que aparecen homogéneas por su color y textura. El análisis se efectuó directamente en la pantalla del computador y sobretodo, utilizando impresos en papel obtenidos por procesamiento fotográfico (escala 1: 250.000 y 1: 50.000), empleando negativos blanco y negro (1:400.000). Estos negativos fueron elaborados a partir de los datos numéricos SPOT previamente tratados (mejoramiento de contrastes, normalización de histogramas, filtraje para eliminar los píxeles erráticos).

La ubicación definitiva del sitio resulta de una confrontación terreno/imagen que permite una localización precisa, sin ambigüedad. La homogeneidad y accesibilidad de los lugares a visitar fueron elementos importantes para determinar la ubicación definitiva de los sitios. El tamaño promedio de cada sitio inventariado fluctuaba en alrededor de 1 hectárea.

❖ Descripción de los sitios

La descripción de los sitios se facilitó a través del empleo de un formulario adaptado a este tipo de estudios, que utiliza datos satelitales y toma en cuenta la importancia de los estados de superficie. Se elaboró un formulario simplificado, a partir de un modelo más general (Pouget y Mulders, 1988).

- ◆ Este formulario consta de cinco partes principales (*cf formulario anexo*)
 - **Localización geográfica y ubicación del sitio en el paisaje:** localidad, altitud, tipo de roca, unidad geomorfológica, exposición, pendiente, grado de erosión.
 - **Ocupación y uso del suelo al momento de la observación** (cultivos, praderas, matorral).
 - **Caracterización cuantitativa del estado de superficie del complejo suelo-vegetación** al momento de la descripción. Consiste en una descripción porcentual de la cobertura vegetal (CVT) y mineral (CMT) y de sus fracciones elementales (*Ver encarte*). La suma CVT + CMT es igual a 100% y representa el conjunto de los constituyentes vegetales y minerales, que “ve” el sensor del satélite. Cada variable resulta de una estimación visual que se efectúa tratando de integrar el conjunto del sitio. Algunas variables fueron medidas, para ajustar las estimaciones de los elementos más importantes, como la estrata de los leñosos bajos (método de la línea, a lo largo de transectos de 20 ó 50 metros). Tres elementos importantes completan esta descripción cuantitativa del estado de superficie:
 - Con respecto a la cobertura mineral, se precisa, en la mejor forma posible, la naturaleza de los elementos gruesos y de la tierra fina que se encuentran en la superficie: naturaleza mineralógica de las rocas, textura y humedad del suelo. El color de cada uno de los componentes de la cobertura mineral fue también determinado gracias al código Munsell, que utiliza tres parámetros: “Hue” o Matiz, “Value” o Intensidad (Claridad) y “Chroma” o Saturación.
 - La estructura y naturaleza de la vegetación son descritas más en detalle: cobertura vegetal por estratos, altura y distribución espacial de los diferentes estratos, color y actividad clorofílica de las hojas, especies dominantes.
 - El meso y micro relieve: naturaleza, formas, dimensiones y orientación. Así, es posible precisar ciertas manifestaciones de la erosión hídrica (surcos, zanjas), la naturaleza de los afloramientos rocosos o los tipos de trabajos de protección del suelo presentes.
 - **Perfil y análisis del suelo:** El perfil del suelo se describió, a menudo, a partir de una zanja de camino, de mina o de cantera situada a proximidad del sitio mismo; rara vez de una calicata cavada expresamente, ya que los suelos son generalmente poco profundos y no se justificaba cavar una para cada sitio. Por el contrario, casi sistemáticamente se tomó una muestra del horizonte de superficie (0-20/30 cm. en promedio) y se analizó en el laboratorio algunas características físico-químicas de base: granulometría, pH, carbono, nitrógeno, y carbonato de calcio total.
 - **Flora:** Para cada sitio se estableció una lista florística. Teniendo en cuenta que el trabajo de terreno se desarrolló, por lo menos, durante tres años consecutivos de sequía, las condiciones fueron escasamente favorables para tener una lista representativa, especialmente de especies anuales.
 - **Medidas radiométricas:** Se efectuó una campaña de medidas radiométricas, para precisar las características espectrales de las principales coberturas minerales representativas de la zona de estudio y para ayudar a la interpretación de los datos satelitales. Se utilizó un radiómetro CIMEL (Canales SPOT) y un espectroradiómetro ASD (400 a 1100 nm).

❖ *Variables complementarias*

Las observaciones de terreno permitieron el cálculo de variables que completan la descripción de la cobertura mineral y de la vegetación. Para la cobertura mineral, se estimó un valor promedio del Matiz, la Intensidad y la Saturación, a nivel del sitio, teniendo en cuenta la superficie relativa cubierta por los diferentes elementos (bloques, tierra fina). Se calculó también un índice sintético, el índice de rojo Munsell IRM (Torrent y al., 1983) que combina estos tres elementos. El IRM está ligado al contenido en hematita de los suelos.

Para la vegetación, ya que ella es un recurso forrajero permanente para el ganado, se estimó algunas variables sobre la productividad de los terrenos de secano del área estudiada. Por ello, con los datos de los inventarios obtenidos a nivel de los sitios en terreno, específicamente a partir de la descripción de la vegetación, se estimó el **fitovolumen total (FVT)**, y el **fitovolumen pastoral disponible (FVPD)**, según el método ya empleado por Archili (1985a), para cada uno de los sitios descritos. Se estimó también el **fitomasa aérea total (FAT)**, desarrollando un nuevo método (*cf anexo 2, métodos y fórmulas*)

CARACTERIZACION CUANTITATIVA DEL ESTADO DE SUPERFICIE DEL COMPLEJO SUELO-VEGETACIÓN

Es una descripción porcentual de la cobertura vegetal (CVT%) y mineral (CMT%) y de sus fracciones elementales, cuya suma es igual al 100%, en un momento dado.

$$\text{CMT} + \text{CVT} = 100\%$$

La cobertura vegetal total, CVT% representa la suma de los elementos que la constituyen: CLA, cobertura de leñosos altos (>2 metros), CLB, cobertura de leñosos bajos, CSU, cobertura de suculentas, CHR, cobertura de herbáceos y MAN, cobertura de mantillo y restos orgánicos.

La cobertura mineral total CMT% representa la suma de los elementos que la constituyen: AFR, cobertura de afloramiento rocoso, PED cobertura de pedregosidad, y TIF, cobertura de tierra fina.

En función del tamaño de las piedras que se encuentren en la superficie del suelo, la pedregosidad se descompone en bloques BLO, piedras PIE, gravas GRA, y gravillas GVI.

La tierra fina (<0,2cm) comprende cuatro tipos principales en función de la estructura de la superficie del suelo: COS estructura continua que forma una costra, COP estructura de tipo biológico (coprolitos), que forman agregados muy finos, PAR estructura particular (arena), y AGR estructura con agregados y terrones.

La suma CVT + CMT es igual a 100% y representa el conjunto de los constituyentes, vegetales y minerales, que "ve" el sensor del satélite. Cada variable resulta de una estimación visual que está hecha tratando de integrar el conjunto del sitio.



Integración en la base LIMARI

Se integró el conjunto de las informaciones de terreno en la base de datos georeferenciados LIMARI. La integración de la localización de los sitios en la imagen se efectuó directamente en la pantalla, delimitando pequeñas zonas sobre la imagen (falso color). Dichas zonas representan entre 15 y 40 píxeles, o sea, una superficie de más o menos 1 hectárea.

Metodología general

La Figura III 1.3 presenta la metodología empleada. Comprende una primera etapa de adquisición y de integración de datos en la base LIMARI: imágenes, datos de terreno y datos ya existentes (topografía, clima, geología). La segunda etapa de análisis y de modelización se presenta en dos fases.

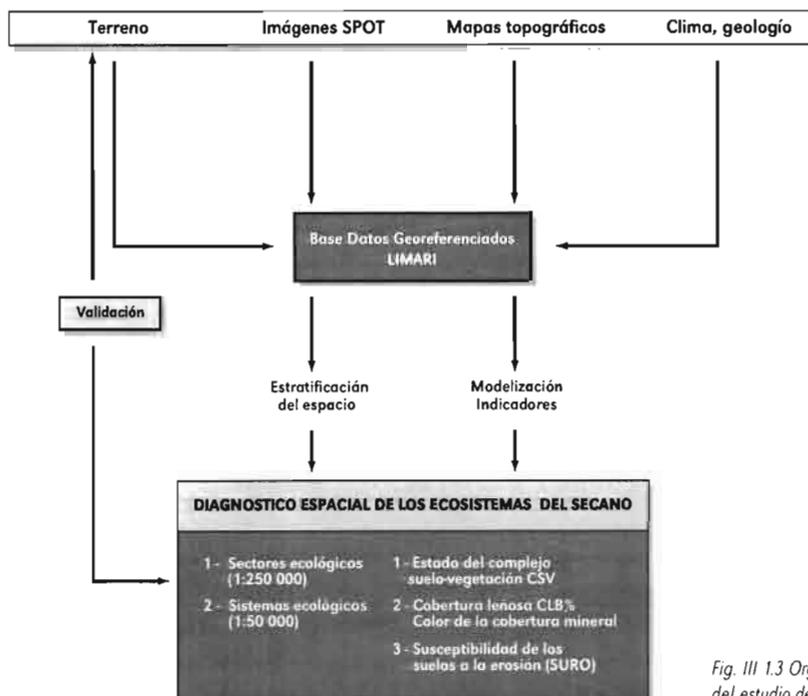


Fig. III 1.3 Organigrama de la metodología del estudio del medio natural

Primero, se realizó una estratificación del medio natural en dos entidades espaciales encajonadas, que dan cuenta de la organización del medio, de sus estados y de sus potencialidades. Los sectores ecológicos, cartografiados a 1: 250.000, resultan del cruzamiento de la información referente a la geomorfología, la litología y al asoleamiento obtenida a partir del Modelo Numérico de Terreno (MNT). Los sistemas ecológicos, cartografiados a 1: 50.000, corresponden a una partición de cada sector ecológico realizada a partir de una clasificación de la imagen de octubre de 1992.

Enseguida, se construyó y espacializó los indicadores del estado de la dinámica del medio, que se clasificaron según el método utilizado.

Un índice sintético del estado del complejo suelo-vegetación (CSV) se definió a partir de la información disponible a nivel de los sitios, luego, se espacializó gracias a una clasificación de la imagen SPOT de 1992.

Se modelizaron dos variables directamente a partir de los datos satelitales, la cobertura leñosa (CLB) y el color de la cobertura mineral. Un análisis estadístico, entre las variables del terreno y las variables radiométricas SPOT, proporciona modelos a nivel de los sitios que son aplicados al conjunto de la imagen.

El tercer método se ilustra por la modelización de la susceptibilidad de los suelos a la erosión. Este indicador se obtiene gracias a la combinación de datos obtenidos en la primera etapa (clima, terreno) y de resultados generados en la segunda (CLB, sectores y sistemas ecológicos).

② Análisis de la población

En demografía se trabaja con escalas de tiempo, sobre conglomerados nacionales (censo) o la familia. Cuando uno se ve enfrentado al espacio y a escalas intermedias de observación, se perciben las deficiencias de la teoría y del análisis (Delaunay, 1993). En el marco de este Proyecto, se integró en el SIG Limarí, los datos de los censos de 1982 y 1992, para estudiar las relaciones entre el hombre y el medio. También se realizó durante 1996 una encuesta a 120 familias del Secano del interior de la comuna de Punitaqui. El primer objetivo de esta encuesta fue medir la evolución de la población entre 1992 y 1996; el segundo objetivo fue estudiar la complejidad del movimiento migratorio; en particular el flujo migratorio reversible de corta duración, ligado al trabajo de los temporeros. Fue una tentativa para conocer cuáles son las estrategias desarrolladas por la población dentro de un sector que se supone, muy afectado por la prolongada sequía que afecta la región.

Espacialización de los datos demográficos

La espacialización de los datos de población es un trabajo considerable y el análisis de los datos espacializados es un arte difícil debido a los pocos métodos existentes. Pero, poder comprender las diferenciaciones regionales, percibir la organización territorial de las variables demográficas, son aportes indispensables para poder analizar las nuevas relaciones que establece el hombre con su entorno.

Antes de analizar los datos geográficos espacializados, es necesario primero, espacializarlos. Se dispuso de los datos del censo de 1992 para la Provincia de Limarí en REDATAM¹ y también de mapas de los 78 distritos de la provincia, que fueron utilizados por el INE para la ejecución del censo en el terreno. También se dispuso de los datos del censo de 1982.

❖ Escala de espacialización

- Para escoger una escala de espacialización se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:
 - los diferentes niveles jerárquicos del censo de la provincia son las comunas, los distritos, las localidades, las manzanas, los sectores, las viviendas, los hogares, las personas. A los tres últimos niveles del censo no se tiene acceso, para respetar el anonimato;
 - las escalas de trabajo del estudio del medio natural: a escala 1: 250.000 para los sectores ecológicos y a escala 1: 50.000 para los sistemas ecológicos.
 - el nivel de trabajo que implica el dibujo y la digitalización de mapas, que es proporcional al número de unidades geográficas contenidas en el nivel escogido.

En el área de estudio, la Provincia de Limarí, se optó por cartografiar la población a partir de manzanas (1.085 unidades). Este desglose era compatible con las escalas del estudio de los ecosistemas. Además, a nivel de manzana, en el censo de 1992 existe una variable "categoría", que da una información primordial para el análisis de las relaciones entre población y medio ambiente: la variable "categoría" indica, en lo rural, las formas de tenencia de la tierra (hacienda, parcela, comunidad agrícola). Esa escala permite trabajar a todos los niveles de agregación entre manzanas y provincia. Se pueden también visualizar fenómenos localizados a escala regional y después estudiarlos a escala local. También, la precisión de esta división facilita la proyección de los datos dentro de otros límites, con pérdida mínima de información.

❖ Integración de los datos al SIG

El primer trabajo consistió en trasladar la información de los mapas de los distritos censales del INE a los mapas topográficos del IGM, a 1: 50.000. En efecto, los 78 distritos del INE son fotocopias a diferentes escalas, en que las manzanas están dibujadas a mano. Era imposible digitalizarlas directamente. El traslado fue un trabajo largo: no sólo fue necesario redibujar las manzanas, sino también, asegurarse de la compatibilidad de la unidad geográfica, así reconstruida, con los datos contenidos en la base REDATAM. Los sitios urbanos fueron representados globalmente, la escala 1: 50.000 no permite representar las manzanas urbanas. Para la zona de la cordillera se tomó la opción de representar sólo los lugares habitados.

¹ REDATAM es un software de gestión y análisis de datos jerárquicos desarrollado por CELADE y utilizado por el INE para tratar el censo de 1992

Después de la digitalización de los 22 mapas a 1: 50.000 se integraron los datos del censo. Con la ayuda de REDATAM se derivó del censo de 1992 una serie de variables que fueron integradas al SIG.

- ♦ La integración de los datos del censo de 1982 (INE 1982) planteó una serie de problemas:
 - Los límites de las comunas fueron modificados entre los dos censos: un distrito de Punitaqui y un distrito de Monte Patria, más la mitad de otro, pasaron a la comuna de Combarbalá.
 - La definición de lo urbano cambió entre los dos censos. De 26 sitios urbanos en 1982 se redujeron a 7 en 1992.
 - La repartición de algunos distritos en localidades, también fue modificada.

La integración de los datos de 1982 permite estudiar la dinámica de la población. Para que los datos sean comparables, se los proyectó sobre la cartografía de 1992, a nivel de las localidades, reagrupándolas cuando las reparticiones habían sido modificadas.

Las comunas fueron reestablecidas en sus límites de 1992 y para la definición de lo urbano y lo rural, se construyó un vector de transición que permite trabajar, ya sea con la definición de 1982, o con la de 1992.

La gestión emprendida para espacializar los datos podría parecer extensa. Esto sería cierto si se tratara de un estudio demográfico. Pero era, por lo tanto, indispensable que la espacialización de los datos de población tuviera el mismo nivel de precisión que el estudio del medio.

Análisis demográfico clásico

El SIG es un instrumento infográfico que permite tener en cuenta la dimensión espacial en el análisis de la población. Por lo tanto, no reemplaza el análisis demográfico, sino que lo completa. En el análisis estadístico de la población, se retomó el cálculo de los índices del INE a nivel nacional para poder hacer comparaciones. Se utilizó también, las zonas administrativas, los límites proporcionados por el SIG, como la partición del espacio entre riego y seco. La estructura de la población de la provincia es peculiar debido a la intensidad de la migración a causa de la búsqueda de trabajo. Se dió un enfoque al estudio de los flujos migratorios y a la evolución de la población económicamente activa. Son variables que permiten entender la nueva organización reticular del espacio, desde que los rurales franquearon los límites de su tierra. Los nuevos modos de ocupación del espacio, donde la residencia, el trabajo y la educación se sitúan frecuentemente en lugares distintos e implican, cada vez, una imbricación más compleja entre lo urbano y lo rural. El análisis integrado de la población, en el espacio y en el tiempo, va a permitir el desarrollo y la validación de nuevos indicadores para medir esos cambios y reemplazar la dicotomía "rural urbano" que es cada día, menos eficiente (Gómez 1993).

La puesta en marcha de un sistema de información geográfica impulsa al demógrafo a confrontarse a una dimensión poco habitual para él: el espacio. Trabajar con un SIG no solamente exige un esfuerzo para comprender y dominar la herramienta, sino que lleva también a una revisión del instrumento metodológico disciplinario. El SIG por sus coacciones, se revela como una buena herramienta para lograr la tan difícil y polémica relación hombre-medioambiente.

3 La base de datos Limarí

La base de datos Limarí reagrupa el conjunto de la información que describe la provincia de Limarí de que dispone el equipo de investigación Universidad de Chile-ORSTOM, en el marco del Programa "Medioambiente y desarrollo sustentable en zona árida". Estos datos provienen de tres fuentes diferentes:

- aquellos recolectados por el equipo, en los sitios de terreno o las encuestas demográficas;
- aquellos disponibles, como la topografía, geología, censos, datos satelitales,
- aquellos generados por los trabajos de clasificación y modelización efectuados por el equipo, los sistemas ecológicos, el estado del complejo suelo-vegetación.

El sistema de información geográfica SAVANE

Para manejar y manipular esta base de datos, el equipo eligió el sistema de información geográfica "SAVANE", programa desarrollado por ORSTOM. SAVANE es un gestor de base de datos geográficos construido sobre el modelo relacional (*ver encarte*) que amplifica las posibilidades de este modelo, tomando en cuenta la dimensión espacial de la información geográfica.

EL MODELO RELACIONAL

Todo la información contenida en la base de datos Limarí está organizado según un modelo relacional, es decir, que cada tema constituye una relación. Cada relación se compone de un conjunto de atributos que describe lo relación. Se llaman modalidades, los diferentes valores que puede tomar un atributo. Estos valores pueden ser numéricos (medidas,...), ordinales (valores numéricos que siguen una relación de orden, como los gradientes de intensidad) o nominales (tipo de suelo, de roca, ...). Concretamente una relación es un cuadro en dos dimensiones, en que las líneas son los elementos de la relación y las columnas las diferentes campos temáticos.

La primera tabla de la Figura ilustra esta presentación rápida del modelo relacional. Este ejemplo está tomada directamente de la base "Limarí" y corresponde a la relación llamada "manzana".

Una de las reglas del modelo relacional es que cada relación debe ser un conjunto de elementos únicos, es decir, no deben existir dos líneas iguales en el cuadro. Por esta razón existe siempre un atributo particular llamado clave de la relación. Por intermedio de esta clave es posible acceder directamente a un elemento de la relación. También, la utilización de esta clave permitirá combinar varias relaciones.

Así, en el ejemplo total de la Figura, la utilización de la clave localidad contenida en las relaciones "manzana" e, igualmente atributo de la relación "censo 82", permite recuperar el número de habitantes por localidad. Esta operación se efectúa agrupando todos los elementos de la relación "censo 82" por localidad y luego, sumando el número de habitantes de las casas para cada una de las localidades. Todas estas funciones de interrogación y de manipulación de datos utilizan operaciones de álgebra relacional que son:

- la interrogación para conocer los valores de un atributo;
- la restricción para seleccionar los objetos que responden a ciertos criterios;
- la coyuntura para asociar dos relaciones;
- la agregación para reagrupar los objetos que tengan el mismo valor para un atributo nominal.

Las ventajas de este modelo relacional para almacenar los datos son múltiples. Primero, este modelo asegura la completa independencia entre la base de datos y el gestor de la base (programa informático) que las utiliza. Enseguida, este modelo posee un verdadero fundamento teórico. Finalmente, es una organización flexible de los datos; es fácil agregar o retirar una parte de la información para poner al día la base de datos.

| manzana | distrito | comuna |
|---------|----------|--------|
| O2616 | 26 | OVALLE |
| O2615 | 26 | OVALLE |
| O2004 | 20 | OVALLE |
| O1909 | 19 | OVALLE |
| O1911 | 19 | OVALLE |

BUSQUEDA

| hogar | vivienda | manzana | habitantes |
|-------|----------|---------|------------|
| 20 | 34 | O1911 | 35 |
| 21 | 37 | O1953 | 27 |
| 26 | 43 | O1911 | 16 |

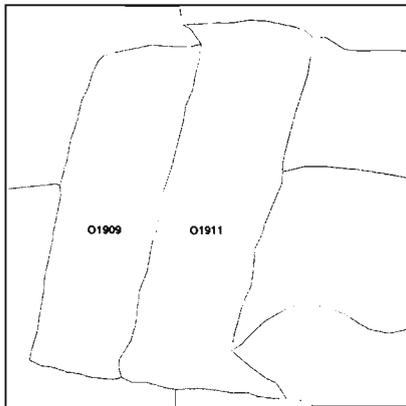
SUMA

| manzana | distrito | comuna | habitantes |
|---------|----------|--------|------------|
| O2616 | 26 | OVALLE | 34 |
| O2615 | 26 | OVALLE | 45 |
| O2004 | 20 | OVALLE | 32 |
| O1909 | 19 | OVALLE | 28 |
| O1911 | 19 | OVALLE | 51 |

Así, y contrariamente al sistema de gestión de base de datos clásico, a una relación se asocia su localización geográfica y su representación gráfica. Las diferentes representaciones gráficas que es capaz de manejar un SIG, son las siguientes:

- los puntos (sitios de terreno, estaciones meteorológicas,...)
- las líneas (ríos, caminos...)
- las zonas (manzanas, unidades de paisaje, ...)
- las imágenes satelitales.

En el ejemplo de la Figura III 3.1 la asociación de un elemento de una relación y de su localización se hace, de acuerdo con el modelo relacional, por intermedio de una clave.



| manzana | distrito | comuna |
|---------|----------|--------|
| O2616 | 26 | OVALLE |
| O2615 | 26 | OVALLE |
| O2004 | 20 | OVALLE |
| O1909 | 19 | OVALLE |
| O1911 | 19 | OVALLE |

FIG. III 3.1 Ejemplo de relación

Además de las funciones clásicas (coyuntura, agregación, etc.) el SIG, utilizando las operaciones de álgebra relacional extendidas a la gestión de datos geográficas, ofrece numerosas posibilidades, tales como la coyuntura geométrica, la restricción geométrica y la agregación geométrica.

La coyuntura geométrica consiste en superponer dos relaciones zonales y recuperar el resultado de esta superposición en una nueva relación.

La restricción geométrica permite seleccionar o eliminar todos los elementos que responden o no a una condición; por ejemplo, esta operación será utilizada para seleccionar todas las manzanas que se encuentran a más de una cierta distancia de una vía de comunicación.

Finalmente, la agregación geométrica permite, como en el caso de la agregación clásica, reagrupar los objetos, pero utilizando como clave de agregación la localización. Con la ayuda de esta función será posible recuperar el número de puntos o la suma de los valores tomados para estos puntos en una zona.

Descripción de los datos

Las escalas de representación de la información contenidas en la base de datos descriptivos de la Provincia de Limarí, varía de 1: 50.000 a 1: 250.000. Para la elección de sus escalas y su extensión (estudio integral de una región), estas escalas permiten, verdaderamente, estudiar un espacio regional a niveles de percepción regional.

❖ Los datos de la población

Los datos de los censos de 1982 y de 1992 se integraron al nivel de la manzana. En la base REDATAM la información se estructura de manera jerárquica: en el nivel más elevado se encuentra la provincia, luego, la comuna, los distritos, las localidades, la manzana, el hogar, la vivienda, en fin, las personas. A partir de este corte es posible analizar espacialmente y estadísticamente los datos de población, utilizando cuatro unidades de integración diferentes (manzanas, localidades, distritos, comunas).

❖ *Ficheros de altitudes y ficheros derivados*

Los diecisiete mapas topográficos a 1:50.000, provenientes del Instituto Geográfico Militar que cubren la zona de estudio, fueron digitalizados. Los datos de base son las curvas de nivel y los puntos cotados. La matriz de la altitud de una resolución de 20 metros se obtiene por interpolación baricéntrica. La altitud de un punto se calcula en función de sus vecinos más próximos, ponderada por la suma de las distancias entre ese punto y sus vecinos. La matriz de los valores de las pendientes, de la orientación de las pendientes y del asoleamiento se derivan directamente del fichero de altitudes. Con respecto al fichero de orientación de las pendientes, las zonas que presentan una pendiente inferior a 5 % son consideradas como planas y por tanto, no tienen orientación.

La matriz de asoleamiento se construyó a partir de un modelo teórico (Etienne et al., 1983). Este modelo toma en cuenta la pendiente y la orientación de las pendientes como se indica a continuación.

| pendiente | N | NW | W | NE | E | SW | SE | S |
|-----------|---|----|---|----|---|----|----|---|
| < 10 % | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 10 - 25 % | 6 | 6 | 5 | 6 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| 25 - 50 % | 7 | 6 | 5 | 6 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| > 50 % | 7 | 7 | 4 | 6 | 3 | 2 | 1 | 1 |

❖ *La pluviometría*

Los datos de base para elaborar la carta de pluviometría provienen de la Dirección General de Aguas y de la Dirección Meteorológica de Chile. Para cada estación, se dispone de los registros de las medias mensuales de las precipitaciones de los últimos 20 ó 30 años. Sobre las 30 estaciones disponibles, sólo se retuvieron 27, las otras presentaban demasiados datos faltantes para ser razonablemente utilizadas. El uso de un cálculo por regresión lineal, que tomó en cuenta la altitud y la latitud del pixel, se utilizó para generar la matriz de las precipitaciones. Efectivamente, las observaciones recogidas por las estaciones meteorológicas traducen el efecto de un gradiente de intensidad que es la combinación de la latitud del punto y de su altitud. Sin embargo, la densidad de las estaciones desigualmente repartidas y el número restringido de estas estaciones, no permite modelar un mapa de precipitación a escala más detallada que 1:250.000.

❖ *Imágenes satelitales*

Para la utilización de una imagen satelital en un SIG, se necesita modificar la geometría de origen de la imagen en una geometría definida por un sistema cartográfico. Sin este tratamiento, la superposición de imágenes y de cartas, o de imágenes entre ellas, sería imposible. Esta corrección permite igualmente, por una parte, una localización más fácil en la imagen y, por otra, ser capaz de medir las superficies.

Con respecto a las imágenes satelitales almacenadas en la base de datos Limarí, la geometría inicial de estas imágenes fué transformada en una geometría definida por el sistema cartográfico UTM (Universal Transversal Mercator). Esta elección se hizo teniendo en cuenta los parámetros geodésicos y cartográficos de las cartas 1: 50.000 y 1: 250.000, utilizadas por el Instituto Geográfico Militar en la elaboración de las cartas topográficas. Esta transformación geométrica se efectuó en dos etapas. La primera utiliza, como modelo de deformación, un polinomio de grado 1 para efectuar el cambio de escala, la translación y la rotación necesarias para poder superponer las imágenes sobre un fondo topográfico. La segunda etapa consiste en tomar en cuenta las deformaciones locales debidas al relieve, utilizando una red de deformación.

❖ *Los límites de las zonas irrigadas*

Los límites de las zonas de riego son el resultado de un trabajo de foto-interpretación de las imágenes satelitales. Se utilizó la imagen LANDSAT de 1973 para definir los límites de 1973, mientras que dos series de imágenes SPOT (1987 y 1992) se utilizaron para definir los límites de 1987 y 1992.

❖ *Lista del contenido de la base Limarí*

A continuación se muestra la lista sintética de la información que contiene la base de datos Limarí. Una lista más detallada se encuentra en el anexo técnico con la descripción completa, para cada relación, de los atributos que la componen. Todos estos datos están en el formato SAVANE o PLANETA, programas desarrollados por ORSTOM; está previsto que sean convertidos al formato ARC INFO.

| Tipo de datos | Escala | Representación gráfica | Origen |
|---|---|------------------------|---|
| administrativos | | | |
| Límites de las comunas de la IV región | 1:250.000 | polígonos | IGM |
| Límites de la provincia de la IV región | 1:250.000 | polígonos | IGM |
| Límites de las manzanas de la provincia del Limarí | 1:50.000 | polígonos | INE |
| demográficos | | | |
| Censo de 1982 de la IV región. | | datos | INE |
| Censo de 1992 de la IV región | | datos | INE |
| de base | | | |
| Curvas de nivel | 1:50.000 | polígonos | IGM |
| Carta de geología | 1:250.000 | polígonos | Thomas, 1967; Rivano et al, 1991. |
| Carta de los principales ríos | 1:250.000 | polígonos | GM |
| Districtos climáticos | 1:500.000 | polígonos | Santibañez (1988) |
| Estaciones meteorológicas | | puntos | DGA y DMC |
| Ocupación del suelo | | | |
| Límites de las comunidades agrícolas | 1:250.000 | polígonos | Avendaño (1994) Bienes Nacionales (Ovalle) |
| Límite del riego en 1973 | 1:50.000 | polígonos | ORSTOM / U. de Chile |
| Límite del riego en 1987 | 1:50.000 | polígonos | ORSTOM / U. de Chile |
| Límite del riego en 1992 | 1:50.000 | polígonos | ORSTOM / U. de Chile |
| Inventario del medio natural | | | |
| Sitios ARCHILI | | puntos | ARCHILI |
| Inventario de sitios sobre medioambiente (1992-1995) | | puntos | ORSTOM / U. de Chile |
| Imágenes satelitales | | | |
| 4 imágenes SPOT del 29 de octubre de 1992 | pixel 20x20 metros | matriz | SPOT IMAGES, CNES |
| 4 imágenes SPOT del 19 de diciembre 1987 | pixel 20x20 metros | matriz | SPOT IMAGE, CNES |
| 1 imagen LANDSAT del 9 de octubre de 1973 | pixel 60x60 metros (después de correcciones geométricas) | matriz | LANDSAT, EOSAT |
| Resultados | | | |
| Unidades Geomorfológicas Mayores (UGM) | 1:250.000 | polígonos | ORSTOM / U. de Chile |
| Unidades Litológicas (LTO) | 1:250.000 | polígonos | ORSTOM / U. de Chile |
| Unidades Naturales de Terreno (UNT) | 1:250.000 | polígonos | ORSTOM / U. de Chile |
| Mapa de asoleamiento | 1:50.000 | polígonos | ORSTOM / U. de Chile |
| Mapa de las Sistemas ecológicas | 1:50.000 | matriz | ORSTOM / U. de Chile |
| Mapa de modelización del Complejo Suelo-Vegetación | 1:50.000 | matriz | ORSTOM / U. de Chile |
| Mapa de modelización de la cobertura leñosa (CLB) | 1:50.000 | matriz | ORSTOM / U. de Chile |
| Mapa de modelización de la susceptibilidad a la erosión (SLIRO) | 1:250.000 | matriz | ORSTOM / U. de Chile |

IV

DIAGNOSTICO ESPACIAL DE LOS ECOSISTEMAS DEL SECANO

El diagnóstico espacial de los ecosistemas del secano se expresa en términos de potencialidades de los recursos naturales (suelos y vegetación) y del modo de utilización por el hombre. Se representa en unidades espaciales encajonadas que sintetizan de manera homogénea la información a diferentes escalas o niveles de percepción.

Por otra parte, se espacializan: el estado del complejo suelo-vegetación, la cobertura de la vegetación leñosa, el color del suelo y la susceptibilidad de los suelos a la erosión, que son los indicadores que sintetizan el estado y elementos de la dinámica del medio. Estos indicadores completan el diagnóstico y constituyen también una información básica para la búsqueda de alternativas que permitan una utilización más armónica de los recursos suelos y vegetación y el seguimiento del ambiente rural, a nivel regional.

❶ INVENTARIO Y CARACTERIZACION DE LOS ECOSISTEMAS

Organización del espacio en unidades ambientales

En primer lugar, el análisis necesita definir los factores determinantes de la organización y dinámica del espacio. En efecto, estos factores están estrechamente ligados a las potencialidades de los recursos y a su utilización por el hombre.

Estos factores se inscriben en el doble contexto biofísico y socio-económico, (Fig IV11). Se refieren a varios conjuntos o sub-sistemas relacionados al clima, a los suelos, a la vegetación y a las prácticas agrícolas. Cada sub-sistema traduce las variaciones del factor y se caracteriza por escalas de observación y de análisis específicas. La información, organizada y jerarquizada, se puede integrar en estas unidades espaciales que sintetizan el factor a una escala dada: distritos agroclimáticos, unidades geomorfológicas mayores (UGM), unidades naturales de terreno (UNT).

Sin embargo, el análisis del medio natural tiene por objetivo individualizar las unidades espaciales integrando en sus límites, no un factor, sino un grupo de factores y sus interacciones, que sintetizan mejor el estado y ciertos aspectos del funcionamiento de este medio.

Para ello el método del diagnóstico ecológico aplicado a la ordenación del territorio (Long, 1974, 1975) ayuda a formalizar y definir estas unidades de integración a diferentes escalas de percepción.

Las características generales del clima regional y de los principales rasgos del relieve traen una primera partición del espacio en **regiones ecológicas**: la costa, el interior, la precordillera y la cordillera.

Para los niveles siguientes la Figura IV 1.1 presenta la organización del espacio en tres escalas diferentes:

◆A nivel regional (1: 250.000, 1: 100.000) y al interior de cada una de las regiones ecológicas, los **sectores ecológicos** constituyen las unidades de integración definidas por:

- las características climáticas ligadas, en especial, a la exposición con las oposiciones de vertientes que juegan un rol determinante (asoleamiento).
- el tipo geomorfológico y la naturaleza litológica del sustrato geológico, sintetizadas por las Unidades Naturales de Terreno (UNT).
- el tipo fisionómico de la vegetación (bosques, matorrales).
- el tipo de uso del suelo que individualiza los ecosistemas del secano y los sistemas totalmente artificializados del riego.

◆A nivel local (1: 50.000) y al interior de cada uno de los sectores ecológicos, los **sistemas ecológicos** constituyen las unidades de integración que pueden, así, ser cartografiadas (reconocimiento fácil sobre el terreno y en fotos aéreas o satelitales (Floret et al., 1981, 1992). Para estos autores, el concepto de sistema ecológico se refiere a la definición de Tansley (1935): "A biotic community and its biogeographical environment, including all the interactions between and among them". Se definen principalmente, por el estado de degradación de la cobertura vegetal y los horizontes de superficie del suelo, es decir, de hecho, por el estado del complejo suelo-vegetación y por el modo de uso del suelo (praderas, cultivos).

◆A nivel de los sistemas de producción y de la parcela misma (escala 1:50.000, 1:1.000) intervienen otros factores: condiciones agronómicas locales, factores tecnológicos externos, fuerza laboral. Este nivel no está tomado en cuenta en este estudio, en tanto que la información de los niveles superiores, está disponible a la escala correspondiente.

Los sectores ecológicos

A nivel regional (1: 250 000; 1: 100 000), los sectores ecológicos del secano constituyen las unidades de integración expresando un grado de homogeneidad del medio. Los sectores ecológicos se obtienen por cruzamiento de las Unidades Naturales de Terreno y las Unidades de Asoleamiento que representan los factores más preponderantes (Fig IV 1.1). De esta manera, los sectores ecológicos constituyen una estratificación básica y permanente del espacio.

◆Las Unidades Naturales de Terreno (UNT)

El término Unidad Natural de Terreno (UNT) está tomado de Brabant (1993) que la define como:

- “Un volumen determinado de terreno, que tiene una dimensión variable, a menudo, kilométrica.
- su área puede ser identificada en las imágenes satelitales y representada en un mapa.
- sus características engloban las formas del relieve y las de la red hidrográfica, la naturaleza y el modo de combinación ordenada de los horizontes del suelo, la naturaleza del material generador y de la vegetación natural y espontánea.
- generalmente, se presenta en el paisaje como un motivo repetitivo de la forma del terreno y de la red hidrográfica, de la combinación ordenada de los horizontes del suelo y de otras características”.

Esta definición pone el acento sobre el aspecto espacial y sobre la importancia de la situación geomorfológica, las Unidades Geomorfológicas Mayores (UGM), y del material generador de los suelos, las Unidades Litológicas (LITO).

La estratificación del espacio en **Unidades Geomorfológicas Mayores (UGM)**, caracterizadas por familias de formas similares, requirió del análisis combinado del modelo numérico de terreno (MNT), de las cartas geológicas a escala 1: 250.000 (Thomas, 1967; Rivano et al., 1991), de la bibliografía disponible (Paskoff, 1970), de las imágenes satelitales y de las observaciones en el terreno. El MNT permitió discernir umbrales de pendiente y de altitud relativa que proporcionan límites para la separación de conjuntos de similar interés temático.

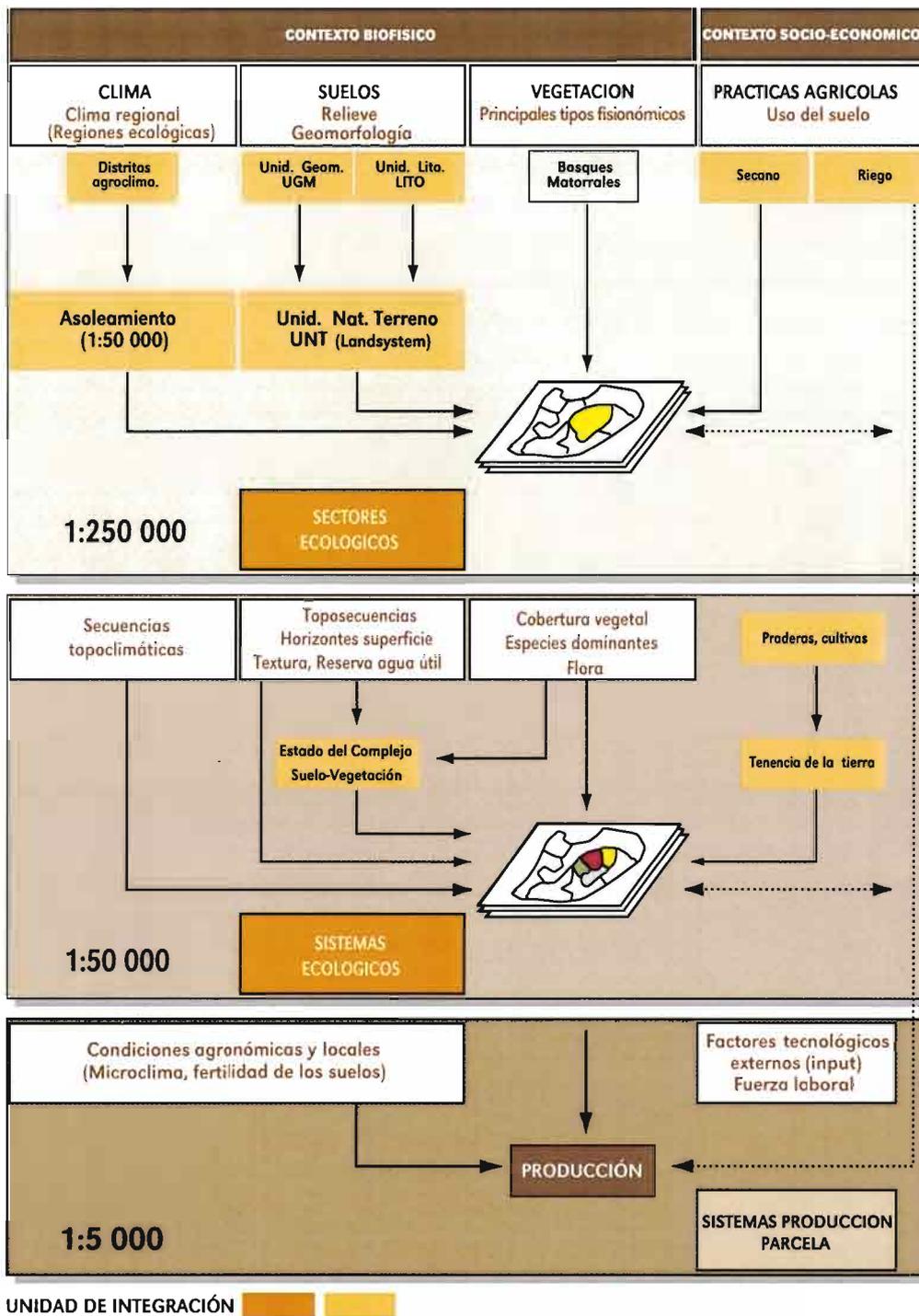
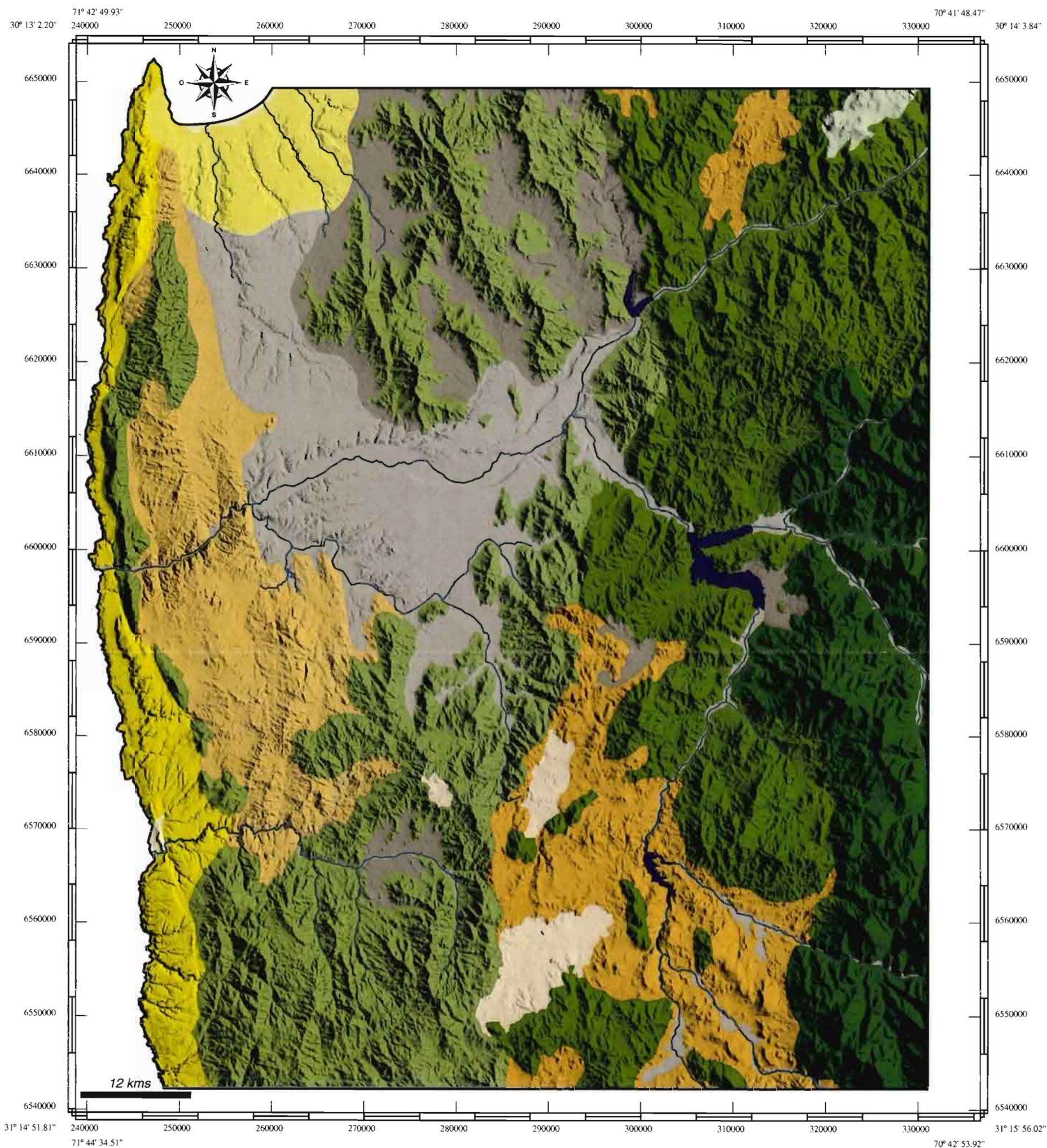


Fig. IV 1.1 Organización del espacio en Unidades Ambientales a distintos niveles

Mediante la superposición de dicha información, se identificó y se dibujó, 13 *Unidades Geomorfológicas* Mayores de desigual importancia espacial. Ellas presentan distintas formas derivadas de la dinámica litoral, de procesos eólicos, fluviales y principalmente de erosión hídrica en relación con las estructuras tectónicas y litológicas de esta zona muy montañosa. (Fig IV 1.2)

- **La dunas litorales (DLI) y las dunas antiguas (DAA)**, se localizan en la orilla del litoral y ocupan una superficie muy reducida, casi despreciable respecto al conjunto.
- **Las terrazas de sedimentación marina (TSM)**, ubicadas en la Bahía de Tongoy, originan suelos arenosos muy calcáreos en profundidad. En las imágenes satelitales se puede ver fácilmente las líneas concéntricas paralelas a la costa actual y que corresponden a las diferentes etapas de regresión del mar.
- **Las terrazas de abrasión marina (TAM)**, constituyen una franja muy extensa a lo largo del litoral, presentándose sobre rocas metamórficas, dando lugar a suelos poco profundos y, a menudo pedregosos. Resultan de un efecto erosivo del mar y forman cuatro niveles planos, escalonados entre 40 y 450 metros de altitud.
- **Las terrazas aluviales (TAL)**, especialmente del Río Limarí, caracterizan las vastas planicies al oeste y al este de Ovalle. Comprenden también, varios niveles en función de su edad:
 - alta terraza, la más antigua, es la más extendida. Está constituida por depósitos de más de 200 metros de espesor, de conglomerados gruesos poco cementados, con intercalaciones de capas y lentes de arenisca. Los suelos son, a menudo, rojizos, bastante arcillosos y, a veces, con un horizonte endurecido en profundidad (tertel). Localmente, en los niveles superiores, pueden intercalarse sedimentos típicamente lagunares de color muy blanco (región al sur de Chalingua).
 - la terraza reciente, constituida de materiales areno-pedregosos, mucho menos profundo.
 - y finalmente la caja del río, constituida por material de piedras y gravas aluviales, mezclados con arena.
- **Los glacis (GLA)**, localizados casi exclusivamente al norte de Ovalle, tienen las formas típicas de las regiones secas. Se presentan en planos inclinados dispuestos al pie de los cerros y están constituidos de materiales aluvio-coluviales, más o menos pedregosos (conos de deyección antiguos coalescentes). Las pendientes medias se sitúan entre 1 y 10%.
- **Las llanuras (LAN)**, superficies planas o suavemente onduladas, se encuentran insertas entre lomajes y serranías del interior, con pendientes medias inferiores a 10 %.
- **Los lomajes costeros (LOC)**, reagrupan a las lomas o a las colinas de cumbres convexas, situadas en la zona costera a menos de 900-1.000 metros de altitud, con pendientes medias entre 10 y 30 %.
- **Los lomajes del interior (LIN)**, reagrupan a las lomas o a las colinas de cumbres convexas, incluyendo zona de precordillera entre 1.000 y 1.200 metros de altitud, con pendientes medias entre 10 y 30 %.
- **La Cordillera de la Costa y las serranías costeras (SEC)**, constituyen cordones de cerros y serranías de altitud relativa media, entre 100 y 900 metros y están situados en la zona costera a menos de 1.500 metros de altitud, con pendientes medias entre 30 y 50 %.
- **Las serranías del interior (SIN)**, son cerros de altitud relativa media, entre 100 y 800 metros, incluyendo la zona de precordillera (altitud 1.000 a 2.000 metros), con pendientes medias entre 30 y 50 %.
- **La Cordillera de los Andes (COR)**, constituye un conjunto de cadenas montañosas, profundamente disectado por valles transversales, altitud relativa elevada, superior a 900 metros que constituye la cordillera andina (altitud 1.000 a 3.500 metros), con pendientes medias superiores a 30-50%.
- **Una meseta (MES)**, se encuentra al norte de Río Hurtado, a casi 2.000 metros de altitud, representa probablemente un vestigio de una antigua superficie de aplanamiento de la Cordillera.

UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS MAYORES



LEYENDA

- | | | | |
|---|--|--|--|
|  Embalse, rios |  Terrazas aluviales |  Lomajes costeros |  Serranias del interior |
|  Dunas |  Glacis |  Lomajes del interior |  Cordillera |
|  Terrazas de sed. marina |  Llanuras |  Serranias costeras |  Meseta |
|  Terrazas de abr. marina | | | |

Las Unidades Litológicas (LITO) se obtuvieron a partir del estudio conjunto de los mapas geológicos (Thomas, 1967; Rivano et al, 1991; Gana, 1991), de las observaciones de terreno a nivel de los sitios y de las imágenes satelitales (análisis visual de las composiciones falso color y modelización del color de la cobertura mineral).

Se reagruparon rocas en función, principalmente, de sus características mineralógicas, que tienen una influencia sobre la textura y el color de los suelos. En efecto, dadas las características climáticas allí existentes, las formaciones superficiales (suelo y complejo de alteración) están constituidas por sedimentos poco profundos y generalmente bien correlacionados con el sustrato geológico.

Se tomó igualmente en cuenta la edad de las rocas, debido a que una parte importante de la información fué sacada de los mapas geológicos. En realidad fue muy difícil establecer tal documento a esta escala, teniendo presente la gran diversidad mineralógica de las rocas y también, su gran dispersión espacial.

Sin embargo se identificó y se dibujó, *15 unidades litológicas* (Fig. IV 1.3 y Fig. IV 1.4).

El cruzamiento de una unidad geomorfológica UGM y de una unidad litológica LITO, lleva a identificar una nueva unidad que corresponde bien estrechamente a la definición de Unidad Natural de Terreno propuesta por Brabant, pero también a la definición de los "land systems" de los australianos del CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) y utilizado por Peralta (1986).

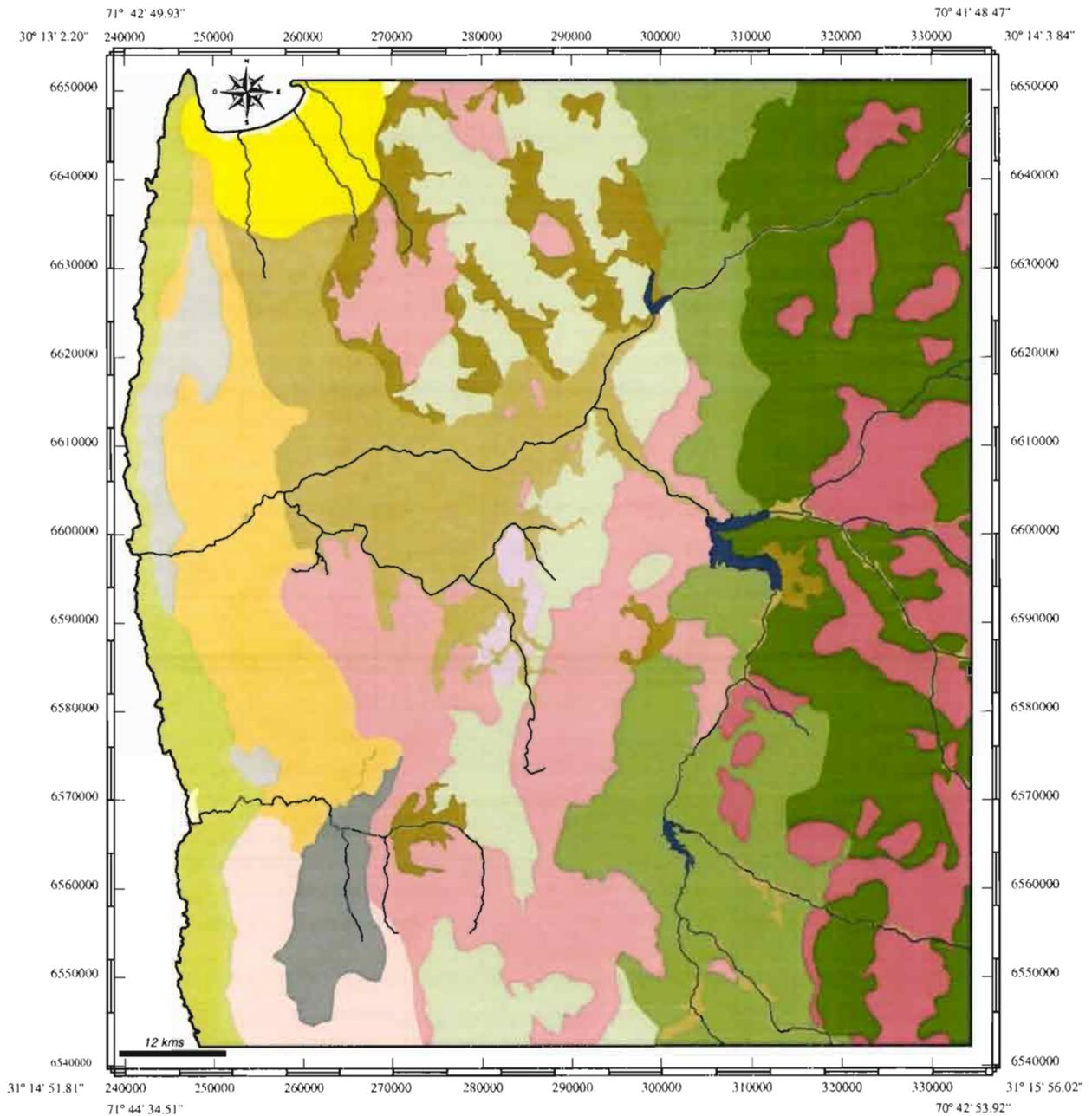
Así definidas, estas unidades integran correctamente las características edáficas del medio a esta escala. A cada una de ellas corresponden suelos relativamente homogéneos en cuanto a la textura, la profundidad, la capacidad de almacenaje de agua y la susceptibilidad a la erosión. En tal sentido, se estudió la información de los sitios y se constató que los parámetros retenidos de los suelos variaban en un rango relativamente estrecho al interior de cada unidad delimitada, aspecto que validó la coherencia de las unidades demarcadas.

| CODIGO | TEXTURA (suelo) | LITOLÓGIA |
|--------|-----------------|---|
| 1 | a | Arenas (dunas), color claro a rojizo. |
| 2 | a | Depósitos marinos conchíferos, con intercalaciones de arenas |
| 3 | Fa, F | Depósitos continentales poco espesos |
| 4 | F, A, Fa | Aluviones más o menos pedregosos |
| 5 | F, Fa, aF | Aluviones - coluviones pedregosos |
| 6 | Fl | Rocas metamórficas diversas (Paleozoico): gneisses, filitas, esquistos micáceos. |
| 7 | Fl | Esquistos verdes (Paleozoico). |
| 8 | Fa, F, aF, a | Rocas graníticas máficas I, oscuras, gris verdoso, de grano media a grueso (intrusivos jurásicos): tonalita, monzodiorita cuarcifera con anfíbola y piroxeno. |
| 9 | a, aF, Fa | Rocas graníticas leucocráticas I, rosadas, de grano fino a grueso (intrusivos jurásicos): tonalita con anfíbola y piroxeno, granodiorita con poca anfíbola, monzodiorita cuarcifera. |
| 10 | a, aF, Fa | Rocas graníticas leucocráticas II, rosadas, a veces muy claras, de grano fino a grueso (intrusivos cretácicos): granodiorita con un poco de hornblenda, diorita cuarcifera muy blanca con regular cantidad de anfíbola. |
| 11 | A, F | Rocas graníticas máficas II, color gris-verdoso, de grano medio a grueso (intrusivos cretácicos): tonalita y monzodiorita con mucha anfíbola y piroxeno. |
| 12 | a, aF, Fa, F | Rocas graníticas leucocráticas III, color blanco a gris, de grano fina a medio (intrusivos cretácico-terciarios): diorita, granodiorita, tonalita, sien y monzogranito. |
| 13 | F, Fa, aF | Andesitas porfídicas de color negro, gris verdoso, con alteración propilítica (Cretácico inferior). |
| 14 | F, Fa, A | Andesitas y rocas sedimentarias clásticas, (Cretácico medio): andesitas de color gris, violáceo oscuro rojo, con alteración propilítica o hematítica y silicificación, areniscas y conglomerados. |
| 15 | F, Fa, aF | Andesitas dominantes, color gris, verde a rojo (Cretácico superior-terciario), toba ácido color gris, areniscas volcánicas, conglomerados. |

a: arenoso ; aF: areno franco; F: franco; Fl: franco limoso; Fa :franco arenoso; A: orcilloso

Fig IV 1.3 Características de las unidades litológicas y texturas principales de los suelos

UNIDADES LITOLÓGICAS



LEYENDA

- | | | | |
|-------------------------|----------------------|--------------------------|----------------------|
| Arenas | Aluviones-Coluviones | R. Gr. leucocráticas I | Andesitas porfídicas |
| Depósitos marinos | R. Metamórficas | R. Gr. leucocráticas II | Andesitas y R. Sed. |
| Depósitos continentales | Esquistos verdes | R. Gr. máficas II | Andesitas dominantes |
| Aluviones pedregosos | R. Gr. máficas I | R. Gr. leucocráticas III | Embalses, ríos |

Savane / Planete ORSTOM

Fig. IV 1.4

En total se identificaron y cartografiaron **21 Unidades Naturales de Terreno**. Fué necesario reagruparlas en razón a información disponible insuficiente o a la gran complejidad de la litología (Fig. IV 1.5).

| UGM \ LITO | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|------------------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|--------|--------|-----------|----|-----------|--------------|----|-----------|
| Dunas Lit. y Ant. | DAA | DAA 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| Terrazas Sed. Marítim. | TSM | | TSM 2 | | | | | | | | | | | | | |
| Terrazas Abr. Marina | TAB | | | TAB 3 | | | | | | | | | | | | |
| Terrazas Aluviales | TAL | | | | TAL 4 | | | | | | | | | | | |
| Glacia | GLA | | | | | GLA 5 | | | | | | | | | | |
| Llanuras | LAN | | | | | | | | | | LAN 10 | | | | | |
| Lomajes Costeros | LOC | | | | | | | | LOC 8 | | LOC 10 | | | | | |
| Lomajes del Interior | LIN | | | | | | | | | | LIN 10 | | | LIN 13-14-15 | | |
| Serranías Costeras | SEC | | | | | SEC 6 | SEC 7 | SEC 8-9 | SEC 10 | SEC 11 | | | SEC 13 | | | |
| Serranías del Interior | SIN | | | | | | | | | | SIN 10-12 | | SIN 10-12 | SIN 13-14-15 | | |
| Cordillera | COR | | | | | | | | | | | | COR 12 | | | COR 15 |
| Meseta | MES | | | | | | | | | | | | MES 12-15 | | | MES 12-15 |

Fig. IV 1.5 Unidades Naturales de Terreno (UNT) de la Provincia de Limarí

❖ Las Unidades de Asoleamiento

El MNT permitió discernir **3 unidades de asoleamiento** en relación con las exposiciones y las pendientes:

- zonas de laderas de exposición norte con pendientes superiores a 10%, que incluyen las exposiciones NE, N, NO, O.
- zonas de exposición sur con pendientes superiores a 10%, abarcando las exposiciones SO, S, SE, E.
- zonas más planas, de pendiente entre 0 y 10 %, donde estos factores de exposición tienen una influencia limitada.

❖ Identificación de los sectores ecológicos

El tipo fisionómico de la vegetación permite considerar los bosques relictos de Fray Jorge y Talinay como sectores ecológicos particulares. En cambio, a esta escala, es casi imposible distinguir los matorrales de las praderas y de los cultivos, teniendo en consideración el tamaño de las parcelas y de la continuidad que existe entre estas formaciones. Este factor se toma en cuenta a nivel inferior al de los sistemas ecológicos.

El uso del suelo permitió individualizar, sin dificultad, los ecosistemas de secano de aquellos de riego, utilizando los datos satelitales.

En definitiva, la vegetación corresponde a un matorral más o menos degradado, presente en casi la totalidad de los sectores ecológicos del secano. La exposición y el sustrato litológico son, a este nivel de percepción, los elementos determinantes para la individualización de los sectores en las cuatro regiones ecológicas (costa, interior y precordillera, cordillera), cuyos límites están más o menos integrados en las unidades naturales de terreno.

En la práctica, se obtuvieron los sectores ecológicos por el cruzamiento de las 21 Unidades Naturales de Terreno y de los tres tipos de asoleamiento. En total suman **61 sectores ecológicos** (Fig. IV 1.6).

| UNT | Asol. | Sect. Eco. | Sist. Eco. | Pixels | Hectáreas | CLB% | Indicadores del estado de los ecosistemas | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------|------------|------------|---------|-----------|------|---|--------|---------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|---|--|
| | | | | | | | CSV I | CSV II | CSV III | CSV IV | CSV V | SURO 1 | SURO 2 | SURO 3 | SURO 4 | SURO 5 | SURO 6 | | | |
| Riego | | | | 1421325 | 56,853 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Emb. ríos | | | | 153904 | 6,156 | | | | | | | | | | | | | | | |
| DAA 1 (DAA) | | 1 | 3 | 30690 | 1,228 | 7.0 | | 5 | 15 | 16 | 64 | | | | | 1 | 1 | | 9 | |
| | | | 4 | 6246 | 250 | 23.7 | | 3 | 16 | 60 | 20 | 100 | | | | | | | | |
| TSM 2 | 0-10% | 2 | 10 | 39674 | 1,587 | 52.8 | | 100 | | | | | 97 | 3 | | | | | | |
| | | | 11 | 304343 | 12,174 | 32.5 | | | 98 | 2 | | | 93 | 7 | | | | | | |
| | | | 12 | 150735 | 6,029 | 21.9 | | | 94 | 6 | | | 86 | 13 | 1 | | | | | |
| | | | 13 | 62325 | 2,493 | 10.2 | | | | 87 | 13 | | 77 | 22 | 1 | 1 | | | | |
| | Norte | 3 | 14 | 12445 | 498 | 42.1 | 1 | 87 | 12 | | | | 14 | 74 | 11 | 1 | | | | |
| | | | 15 | 28218 | 1,129 | 30.3 | | 32 | 31 | 37 | | | 9 | 57 | 25 | 9 | | | | |
| | | | 16 | 4825 | 193 | 13.8 | | | 10 | 82 | | | 4 | 22 | 26 | | | | | |
| | Sur | 4 | 17 | 6600 | 264 | 43.0 | | 74 | 26 | | | | 37 | 59 | 3 | | | | | |
| | | | 18 | 32352 | 1,294 | 29.4 | | | 83 | 17 | | | 18 | 70 | 10 | 2 | | | | |
| | | | 19 | 3119 | 125 | 11.3 | | | 17 | 75 | | | 4 | 43 | 34 | 19 | | | | |
| TAB 3 | 0-10% | 5 | 20 | 184553 | 7,382 | 51.4 | | 100 | | | | | 81 | 13 | 7 | | | | | |
| | | | 21 | 273035 | 10,921 | 33.7 | | | | 100 | | | 56 | 33 | 11 | | | | | |
| | | | 22 | 133586 | 5,343 | 23.4 | | | | 88 | 12 | | 37 | 36 | 26 | 1 | | | | |
| | | | 23 | 24580 | 983 | 8.7 | | | | | 70 | 30 | 24 | 51 | 23 | 2 | 1 | | | |
| | Norte | 6 | 24 | 167848 | 6,714 | 50.8 | 14 | 85 | 1 | | | | 5 | 35 | 56 | 4 | | | | |
| | | | 25 | 106477 | 4,259 | 26.4 | | 47 | 32 | 20 | 2 | | 3 | 26 | 37 | 24 | 10 | | | |
| Sur | 7 | 27 | 138787 | 5,551 | 52.7 | 5 | 81 | 14 | | | | 17 | 43 | 39 | 1 | | | | | |
| | | 26 | 59605 | 2,384 | 25.7 | | 6 | 78 | 16 | 1 | | 8 | 29 | 45 | 14 | | | | | |
| TAL 4 | 0-10% | 8 | 30 | 208005 | 8,320 | 55.3 | | 100 | | | | | 96 | 2 | 1 | 1 | | | | |
| | | | 31 | 448026 | 17,921 | 30.9 | | | | 97 | | | 93 | 5 | 1 | 1 | | | | |
| | | | 32 | 550955 | 22,038 | 18.0 | | | | 49 | 51 | | 83 | 13 | 3 | 1 | | | | |
| | | | 33 | 37041 | 1,482 | 3.1 | | | | | 31 | 69 | 71 | 16 | 9 | 4 | | | | |
| | Norte | 9 | 34 | 34787 | 1,391 | 43.5 | | 80 | 20 | | | | 43 | 52 | 4 | 1 | | | | |
| | | | 35 | 107537 | 4,301 | 24.7 | | 14 | 64 | 21 | | | 14 | 66 | 17 | 3 | 1 | | | |
| | | | 36 | 15270 | 611 | 12.2 | | | 6 | 81 | | | 8 | 39 | 38 | 13 | 3 | | | |
| | Sur | 10 | 37 | 30746 | 1,230 | 45.9 | | 46 | 53 | | | | 73 | 17 | 6 | 4 | | | | |
| | | | 38 | 117740 | 4,710 | 25.5 | | 1 | 69 | 30 | | | 42 | 47 | 8 | 4 | | | | |
| | | | 39 | 19827 | 793 | 10.2 | | | 30 | 87 | 2 | | 12 | 53 | 24 | 8 | 3 | | | |
| GLA 5 | 0-10% | 11 | 40 | 60401 | 2,418 | 40.7 | | 50 | 50 | | | | 93 | 6 | 1 | | | | | |
| | | | 41 | 226720 | 9,069 | 26.6 | | | | 98 | 7 | | 85 | 13 | 2 | | | | | |
| | | | 42 | 534830 | 21,393 | 13.7 | | | | 35 | 65 | | 59 | 36 | 4 | | | | | |
| | | | 43 | 76215 | 3,049 | 7.0 | | | | | 83 | 17 | 49 | 43 | 7 | 2 | | | | |
| | Norte | 12 | 44 | 7288 | 292 | 39.3 | 2 | 61 | 18 | | | | 24 | 50 | 26 | 1 | | | | |
| | | | 45 | 67437 | 2,697 | 18.8 | | 6 | 89 | 5 | | | 7 | 50 | 34 | 8 | 1 | | | |
| Sur | 13 | 46 | 16286 | 651 | 10.8 | | | 4 | 95 | 1 | | 3 | 36 | 47 | 12 | 1 | | | | |
| | | 47 | 12137 | 485 | 42.1 | | 80 | 20 | | | | 51 | 35 | 15 | | | | | | |
| | | 48 | 78965 | 3,159 | 19.4 | | 1 | 83 | 46 | | | 18 | 67 | 13 | 9 | | | | | |
| LOC 8 | 0-10% | 14 | 49 | 52793 | 2,112 | 8.4 | | | 31 | 67 | 1 | | 4 | 75 | 18 | 3 | | | | |
| | | | 50 | 238168 | 9,527 | 50.0 | | 100 | | | | | 80 | 14 | 6 | | | | | |
| | | | 51 | 562036 | 22,481 | 35.2 | | | | 95 | 5 | | 69 | 23 | 7 | | | | | |
| | | | 52 | 110618 | 4,425 | 23.6 | | | | 85 | 15 | | 63 | 25 | 10 | 1 | | | | |
| | Norte | 15 | 53 | 32709 | 1,308 | 15.0 | | | | | 95 | 5 | 62 | 28 | 8 | 1 | | | | |
| | | | 54 | 247895 | 9,908 | 46.7 | 4 | 89 | 7 | | | | 9 | 37 | 48 | 6 | | | | |
| Sur | 16 | 55 | 163889 | 6,556 | 31.9 | | 34 | 50 | 16 | | | 5 | 36 | 38 | 17 | 3 | | | | |
| | | 56 | 207094 | 8,284 | 47.0 | 1 | 82 | 17 | | | | 21 | 45 | 34 | | | | | | |
| | | 58 | 173129 | 6,925 | 31.2 | | 2 | 80 | 18 | | | 12 | 46 | 38 | 4 | | | | | |
| LOC 10 | 0-10% | 17 | 60 | 12720 | 509 | 47.1 | | 100 | | | | | 65 | 22 | 12 | | | | | |
| | | | 61 | 74176 | 2,967 | 30.6 | | | | 82 | 18 | | 46 | 32 | 20 | | | | | |
| | | | 62 | 70748 | 2,830 | 19.1 | | | | 66 | 32 | | 39 | 31 | 26 | | | | | |
| | | | 63 | 30874 | 1,235 | 12.8 | | | | | 85 | 15 | 31 | 28 | 37 | | | | | |
| | Norte | 18 | 64 | 22729 | 909 | 40.4 | | 73 | 26 | | | | 14 | 59 | 20 | | | | | |
| | | | 65 | 67937 | 2,717 | 26.6 | | 11 | 77 | 13 | | | 18 | 39 | 30 | 10 | | | | |
| | | | 66 | 10549 | 422 | 13.7 | | | | | 81 | 17 | | 25 | 32 | 37 | | | | |
| | Sur | 19 | 67 | 13682 | 547 | 42.9 | | 67 | 33 | | | | 20 | 73 | | | | | | |
| | | | 68 | 52244 | 2,090 | 25.1 | | | 61 | 38 | | | | 25 | 55 | 14 | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|-------|-----|--------|--------|--------|------|----|----|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|--|--|--|--|--|
| SEC 6 | 0-10% | 20 | 70 | 39075 | 1,563 | 53.8 | | 76 | 24 | | 73 | 23 | | | | | | | | | | |
| | | | 71 | 16587 | 663 | 34.9 | | | 99 | | | 63 | 32 | | | | | | | | | |
| | | | 72 | 2456 | 98 | 23.0 | | | 75 | 23 | | 42 | 50 | | | | | | | | | |
| Norte | 21 | 74 | 172624 | 6,905 | 56.4 | 22 | 75 | | | | 69 | 24 | | | | | | | | | | |
| | | 75 | 41760 | 1,670 | 36.3 | | | 82 | 32 | 16 | | 53 | 31 | 10 | | | | | | | | |
| | | 77 | 148794 | 5,952 | 57.3 | | | 79 | 12 | | 16 | 61 | 23 | | | | | | | | | |
| Sur | 22 | 78 | 33091 | 1,324 | 34.2 | | | 15 | 78 | | 13 | 67 | 19 | | | | | | | | | |
| | | 80 | 23747 | 950 | 42.1 | | | 82 | 29 | | 32 | 28 | 26 | 12 | | | | | | | | |
| | | 81 | 35593 | 1,424 | 29.5 | | | | 74 | 26 | | 25 | 26 | 33 | 13 | | | | | | | |
| SEC 7 | 0-10% | 23 | 82 | 14020 | 561 | 17.1 | | | 41 | 57 | | 22 | 15 | 42 | 15 | | | | | | | |
| | | | 84 | 125194 | 5,008 | 42.4 | | | 67 | 26 | | | 32 | 48 | 17 | | | | | | | |
| | | | 85 | 129295 | 5,172 | 27.8 | | | 22 | 72 | | | 20 | 40 | 38 | | | | | | | |
| Norte | 24 | 87 | 96611 | 3,864 | 44.2 | | | 57 | 42 | | | 48 | 44 | | | | | | | | | |
| | | 88 | 71917 | 2,877 | 28.2 | | | | 69 | 22 | | | 45 | 39 | 12 | | | | | | | |
| | | 90 | 52153 | 2,086 | 45.2 | | | 68 | 19 | 12 | | 41 | 28 | 23 | | | | | | | | |
| Sur | 25 | 91 | 31254 | 1,250 | 30.9 | | | | 73 | 27 | | 20 | 33 | 34 | 12 | | | | | | | |
| | | 92 | 8033 | 321 | 17.4 | | | | 36 | 58 | | 15 | 18 | 46 | 18 | | | | | | | |
| | | 94 | 238367 | 9,535 | 47.5 | | | 72 | 19 | | | | 61 | 29 | | | | | | | | |
| SEC 8-9 | 0-10% | 26 | 95 | 112684 | 4,507 | 30.3 | | | 21 | 76 | | | 25 | 45 | 28 | | | | | | | |
| | | | 97 | 247439 | 9,898 | 50.5 | | | 60 | 35 | | | 10 | 62 | 26 | | | | | | | |
| | | | 98 | 59996 | 2,400 | 29.1 | | | | 69 | 22 | | | 54 | 31 | | | | | | | |
| Norte | 27 | 100 | 50776 | 2,031 | 44.5 | | | 44 | 51 | | | 51 | 27 | 17 | | | | | | | | |
| | | 101 | 131663 | 5,267 | 32.5 | | | 13 | 74 | 13 | | 37 | 33 | 24 | | | | | | | | |
| | | 102 | 81829 | 3,273 | 17.5 | | | | 41 | 58 | | 21 | 49 | 25 | | | | | | | | |
| Sur | 28 | 104 | 390812 | 15,832 | 44.0 | 17 | 70 | 13 | | | | 27 | 38 | 26 | | | | | | | | |
| | | 105 | 426661 | 17,066 | 29.5 | | | 30 | 63 | | | 11 | 32 | 35 | 18 | | | | | | | |
| | | 10 | 24050 | 962 | 14.8 | | | | 23 | 72 | | | 17 | 37 | 42 | | | | | | | |
| SEC 10 | 0-10% | 29 | 107 | 283587 | 11,343 | 45.8 | | | 71 | 25 | | | 30 | 47 | 16 | | | | | | | |
| | | | 108 | 301527 | 12,061 | 28.3 | | | 11 | 67 | 22 | | | 23 | 49 | 20 | | | | | | |
| | | | 110 | 2985 | 119 | 45.6 | | | 69 | 30 | | | 83 | 11 | | | | | | | | |
| Norte | 30 | 111 | 8723 | 349 | 29.7 | | | | 94 | | | 65 | 19 | 16 | | | | | | | | |
| | | 112 | 13773 | 551 | 18.5 | | | | 58 | 42 | | 37 | 32 | 28 | | | | | | | | |
| | | 114 | 7151 | 286 | 37.8 | | | 77 | 18 | | | | 16 | 72 | | | | | | | | |
| Sur | 31 | 115 | 51302 | 2,052 | 23.5 | | | 14 | 71 | 15 | | | 58 | 27 | | | | | | | | |
| | | 116 | 4779 | 191 | 11.8 | | | | 31 | 69 | | | | 19 | 41 | 38 | | | | | | |
| | | 117 | 4495 | 180 | 40.9 | | | 73 | 27 | | | | 47 | 43 | | | | | | | | |
| SEC 11 | 0-10% | 32 | 118 | 31123 | 1,245 | 26.0 | | | | 66 | 26 | | | 20 | 71 | | | | | | | |
| | | | 119 | 3075 | 123 | 14.8 | | | | 28 | 70 | | | | 72 | 20 | | | | | | |
| | | | 120 | 57791 | 2,312 | 40.6 | | | 54 | 29 | 17 | | 62 | 24 | 10 | | | | | | | |
| Norte | 33 | 121 | 102818 | 4,113 | 29.3 | | | | 85 | 15 | | 65 | 23 | 10 | | | | | | | | |
| | | 122 | 114991 | 4,600 | 17.3 | | | | 36 | 64 | | 51 | 38 | | | | | | | | | |
| | | 123 | 16274 | 651 | 9.7 | | | | | 85 | 15 | | 33 | 52 | 13 | | | | | | | |
| Sur | 34 | 124 | 350507 | 14,020 | 44.6 | 25 | 83 | 12 | | | | 42 | 35 | 15 | | | | | | | | |
| | | 125 | 613995 | 24,560 | 27.8 | | | 27 | 67 | | | | 43 | 40 | 13 | | | | | | | |
| | | 126 | 66588 | 2,664 | 15.1 | | | | 37 | 82 | | | 26 | 42 | 26 | | | | | | | |
| LAN 10 | 0-10% | 35 | 127 | 336747 | 13,470 | 45.3 | | | 68 | 25 | | | 35 | 36 | 23 | | | | | | | |
| | | | 128 | 530001 | 21,200 | 26.2 | | | 16 | 61 | 23 | | 15 | 54 | 27 | | | | | | | |
| | | | 129 | 80314 | 3,213 | 12.8 | | | | 35 | 58 | | | 58 | 32 | | | | | | | |
| Norte | 36 | 130 | 16235 | 649 | 49.7 | | | 80 | 10 | | | 49 | 25 | 17 | | | | | | | | |
| | | 131 | 81688 | 3,268 | 25.4 | | | | 47 | | | | 44 | 16 | 32 | | | | | | | |
| | | 132 | 142880 | 5,715 | 11.1 | | | | | 100 | | | 48 | | 26 | 19 | | | | | | |
| Sur | 37 | 133 | 67433 | 2,697 | 4.1 | | | | 32 | 68 | | 52 | | 19 | 26 | | | | | | | |
| | | 134 | 13944 | 558 | 16.1 | | | | 40 | 47 | 11 | | | 14 | 78 | | | | | | | |
| | | 137 | 14168 | 567 | 18.2 | | | | 43 | 49 | | | | 29 | 63 | | | | | | | |
| LIN 10 | 0-10% | 38 | 140 | 59985 | 2,399 | 30.7 | | | 18 | 39 | 43 | | 25 | 10 | 40 | 20 | | | | | | |
| | | | 141 | 96657 | 3,866 | 11.4 | | | | 13 | 87 | | | 24 | 18 | 29 | 28 | | | | | |
| | | | 142 | 41457 | 1,658 | 3.7 | | | | | 25 | 75 | | 23 | | 21 | 52 | | | | | |
| Norte | 39 | 143 | 9725 | 389 | 13.1 | | | | 21 | 79 | | | 21 | 26 | 35 | 17 | | | | | | |
| | | 144 | 16053 | 642 | 36.4 | | | 45 | 51 | | | | | 30 | 44 | 22 | | | | | | |
| | | 145 | 56784 | 2,271 | 21.0 | | | | 86 | | | | | 30 | 62 | | | | | | | |
| Sur | 40 | 146 | 54560 | 2,182 | 9.5 | | | | 14 | 66 | 21 | | | 30 | 62 | | | | | | | |
| | | 147 | 31301 | 1,252 | 36.3 | | | 32 | 66 | | | | | 38 | 44 | 16 | | | | | | |
| | | 148 | 64955 | 2,598 | 17.6 | | | | 51 | 49 | | | | 15 | 29 | 56 | | | | | | |
| LIN 13-14-15 | 0-10% | 41 | 149 | 25267 | 1,011 | 7.6 | | | | 20 | 58 | 22 | | | 13 | 80 | | | | | | |
| | | | 150 | 102654 | 4,106 | 32.1 | | | 21 | 53 | 27 | | 31 | 18 | 29 | 20 | | | | | | |
| | | | 151 | 141450 | 5,658 | 11.3 | | | | 11 | 69 | | | 26 | 32 | 29 | | | | | | |
| Norte | 42 | 152 | 113985 | 4,559 | 4.3 | | | | | 75 | 25 | | 23 | 25 | 23 | 24 | | | | | | |
| | | 153 | 274991 | 11,000 | 11.2 | | | | 10 | 90 | | | 21 | 26 | 24 | 25 | | | | | | |
| | | 154 | 27025 | 1,081 | 40.9 | | | 82 | 45 | | | | | 21 | 47 | 27 | | | | | | |
| Sur | 43 | 155 | 296562 | 11,862 | 17.2 | | | | 84 | 10 | | | | 26 | 64 | | | | | | | |
| | | 156 | 108875 | 4,355 | 8.6 | | | | 16 | 79 | | | | 22 | 71 | | | | | | | |
| | | 157 | 28773 | 1,151 | 33.1 | | | 22 | 78 | | | | | 30 | 43 | 22 | | | | | | |
| SIN 10-12 | 0-10% | 44 | 158 | 233200 | 9,328 | 14.4 | | | | 44 | 55 | | | 16 | 37 | 42 | | | | | | |
| | | | 159 | 89397 | 3,576 | 6.8 | | | | 27 | 66 | | | | 15 | 30 | 47 | | | | | |
| | | | 160 | 48119 | 1,925 | 33.4 | | | 20 | 52 | 27 | | 37 | 18 | 29 | 13 | | | | | | |
| Norte | 45 | 161 | 109906 | 4,396 | 11.7 | | | | 15 | 74 | 11 | | 18 | 43 | 21 | 10 | | | | | | |
| | | 164 | 205409 | 8,216 | 26.3 | | | 39 | 57 | | | | | 15 | 33 | 49 | | | | | | |
| | | 165 | 154713 | 6,189 | 15.3 | | | | 99 | | | | | 11 | 25 | 62 | | | | | | |
| Sur | 46 | 166 | 143177 | 5,727 | 8.0 | | | | 10 | 79 | 11 | | | 14 | 80 | | | | | | | |
| | | 167 | 131738 | 5,270 | 30.7 | | | 35 | 65 | | | | | 47 | 34 | 13 | | | | | | |
| | | 168 | 215286 | 8,611 | 18.8 | | | | 83 | 36 | | | | 33 | 35 | 28 | | | | | | |
| SIN 13-14-15 | 0-10% | 47 | 169 | 110344 | 4,414 | 7.6 | | | | 21 | 71 | | | 16 | 35 | 47 | | | | | | |
| | | | 170 | 90738 | 3,630 | 32.3 | | | 19 | 61 | 20 | | 47 | 25 | 21 | | | | | | | |
| | | | 171 | 402011 | 16,080 | 11.0 | | | | 14 | 79 | | | 22 | 29 | 38 | | | | | | |

Tomando el ejemplo de la Unidad Natural de Terreno TAB3, "terrazas de abrasión marina", se distingue tres sectores ecológicos para el matorral costero:

- sector 5 : terrazas con pendientes inferiores a 10%.
- sector 6 : vertientes norte de las quebradas que cortan los distintos niveles planos de las terrazas.
- sector 7 : vertientes sur de estas quebradas.

Otro ejemplo, en las serranías del interior, las dos Unidades Naturales de Terreno SIN 10-12 y SIN 13-14-15 corresponden, respectivamente a rocas graníticas leucocráticas y a rocas andesíticas. Cada una da tres sectores ecológicos en función del asoleamiento: vertientes norte, vertientes sur y el estrecho fondo de las quebradas con superficies limitadas: lecho de ríos, terrazas, glaciares y algunas planicies distribuidas en piedmont, o aquí y allá en las laderas de los cerros.

Los sistemas ecológicos

Cada sector ecológico incluye varios sistemas en función del estado del complejo suelo-vegetación. A este nivel, los datos satelitales de alta resolución espacial están particularmente bien adaptados para la cartografía de los sistemas ecológicos, por su estrecha relación con el estado del complejo suelo-vegetación.

❖ La clasificación de la imagen SPOT

La clasificación digital de la imagen, entrega una espacialización del estado actual de la superficie del suelo, ya que los datos digitales corresponden a un valor numérico que equivale a la cantidad de luz solar reflejada por la superficie del suelo que está siendo captada por el sensor en ese momento. Así por ejemplo, una superficie muy degradada (sin vegetación), donde el suelo es de color claro, va a presentar una alta reflectancia, en tanto, otra superficie con una cobertura vegetal alta y pluriestratificada, va a tener una reflectancia baja en el rango del visible.

Normalmente debería hacerse una clasificación para cada uno de los 61 sectores ecológicos. Sin embargo, se evidenció la importancia que posee la exposición y el accidentado relieve de la IV Región sobre los datos satelitales. Así, en el momento de captación de la imagen, las laderas norte se encontraban iluminadas por los rayos solares y presentan una sobreexposición, en tanto, las laderas sur se encontraban sombreadas, por lo tanto, están subexpuestas. Por ello, se eligió hacer una clasificación para cada clase de asoleamiento, es decir 3 en total, y una interpretación en forma separada para cada uno de los sectores. De esta manera, se toma en cuenta el factor iluminación para los datos satelitales y se guarda una coherencia en los límites y en el contenido de las clases, es decir, de los sistemas ecológicos.

En realidad, se efectuaron 5 clasificaciones: una en zonas planas (pendiente <10 %); dos en zonas de laderas de exposición norte, una para pendientes entre 10-30 %, y otra para pendientes superiores a 30 %; y por último, otras dos para zonas de exposición sur, una en pendientes de 10-30 % y la otra para las superiores a 30 %. Se realizó esta división adicional de pendientes (10-30 % y superior a 30 %), para ver si existía una mayor influencia de la iluminación según el grado de pendiente, y principalmente, para tomar en cuenta la importante superficie que presentan las zonas de pendiente mayor a 10 %.

Cada una de estas cinco zonas se trabajó en forma separada, es decir, para cada una de ellas se realizó un análisis de componentes principales de los canales SPOT (XS1, XS2, XS3). A partir de los datos de los tres nuevos canales, correspondientes a las componentes principales, se procedió a realizar la *clasificación no supervisada* para cada una de las cinco zonas de la imagen satelital. Cada zona tiene 32 clases, es decir un total de 160 clases para toda la imagen. La significación temática de las clases se define después de la clasificación.

Para la interpretación temática de las clases, se utilizaron los valores promedios de los índices radiométricos calculados para cada clase. Estos índices (*Fig IV 17*), generados por la combinación de los canales brutos de SPOT (XS1, XS2, XS3), son:

- IBS, índice de brillo SPOT
- IVS, índice de vegetación SPOT
- IRS, índice de rojo SPOT (Madeira, 1993; Pouget et al, 1995; Mathieu et al, 1996).

Los índices son más fácilmente interpretables, en el sentido que pueden estar ligados a los fenómenos físicos característicos de las superficies observadas (rugosidad, vegetación activa, color de los suelos). Estos tres índices radiométricos sintetizan lo esencial de la información espectral que se puede obtener de los datos SPOT. Efectivamente, en general están muy bien correlacionados con los ejes factoriales o componentes principales (ACP1, ACP2, ACP3), que se obtienen calculando estos ejes de variación máxima en el seno de la nube de puntos construida en el espacio radiométrico de los tres canales (XS1, XS2, XS3).

| Símbolo | Variabes radiométricas | Codificación |
|---------|---------------------------|---|
| IBS | Índice de Brillo SPOT | $IBS = \sqrt{\frac{(XS1)^2 + (XS2)^2 + (XS3)^2}{3}}$ |
| IVS | Índice de Vegetación SPOT | $IVS = 128 \times \left(1 + \frac{XS3 - XS2}{XS3 + XS2}\right)$ |
| IRS | Índice de Rojo SPOT | $IRS = 1000 \times \frac{XS2^2}{XS1^2}$ |

Fig. IV 1.7 Las variables radiométricas SPOT

El apoyo de esta información, además, permitió realizar agrupaciones de clases que presentaban similares índices radiométricos, datos de terreno y cercanía geográfica.

En las Figuras IV 1.8 y IV 1.9 se muestra la distribución de los centros de las 160 clases de toda la imagen Limarí en relación a los índices IBS, IVS e IRS. El índice IVS aumenta en la medida que aumenta la vegetación fotosintéticamente activa, en tanto que, IBS crece debido a una mayor cantidad de luz reflejada por la superficie en las tres bandas SPOT (XS1, XS2, XS3), donde por ejemplo, un alto índice de brillo puede representar lugares con una cobertura mineral dominante y de color claro.

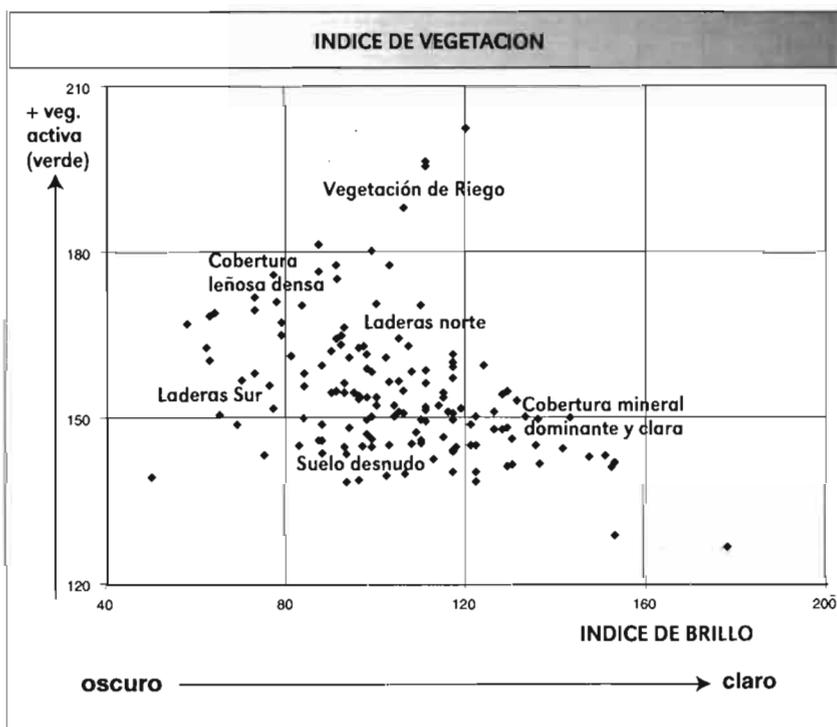


Fig. IV 1.8 Distribución de las 160 clases (SPOT 1992), en relación con los índices de brillo y de vegetación

En el gráfico (Fig. IV 1.8 los centros de clases con un alto índice de vegetación corresponden a áreas de riego con una alta cobertura vegetal muy activa fotosintéticamente (es decir, verde). Luego, se tienen centros de clases que corresponden a laderas sur, con índices de vegetación y brillo más bajos, debido al efecto de sombreamiento; y laderas norte, con un mayor índice de brillo por su sobreexposición, y ambas con secuencias de degradación vegetal en el mismo sentido (aumentando la degradación en la medida que disminuye el índice de vegetación y aumenta el de brillo). En el extremo inferior derecho del gráfico, con bajo índice de vegetación, se encuentran clases que presentan una alta cobertura mineral y, por lo tanto, baja cobertura vegetal. Así se puede agrupar clases que tienen una misma significación temática y que espectralmente o radiométricamente se encuentran muy cercanas.

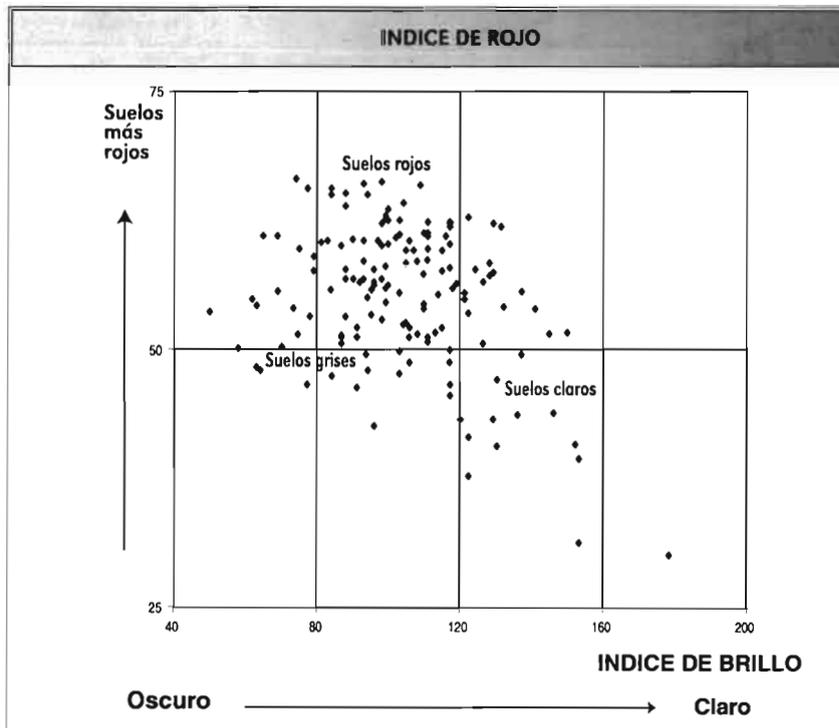


Fig. IV 1.9 Distribución de las 160 clases (SPOT 1992), en relación con el índice de brillo y el índice de rojo.

En cuanto al índice de rojo IRS (Fig. IV 1.9), éste va a ser más alto en la medida que el color del suelo sea más rojo; a su vez, valores bajos de índice de rojo van a estar reflejando suelos de color más gris, carentes de color rojo. El color del suelo es mejor interpretado cuando la cobertura vegetal es baja.

❖ *Identificación y caracterización de los sistemas ecológicos*

Así, se logró una cartografía de la zona entera en **169 sistemas ecológicos** (Fig. IV 1.6). En rigor, se trata de clases que tienen alguna homogeneidad radiométrica. Sin embargo, estas clases llevan una información temática esencial, relacionada con el estado del complejo suelo-vegetación al interior de cada uno de los sectores ecológicos, ellos definidos según criterios y escala distintos.



M.J. Pouget®

• Vista panorámica de las terrazas de abrasión marina .



M.J. Pouget®

• Lamojes costeros. Paisaje en rocas graníticas con cultivos (Quebrada de los Trigos).



M.J. Pouget®

• Las terrazas aluviales (Río Limarí): En el primer plano se aprecia la quebrada y a la derecha, ladera norte con carbonillo en flor (*Cordia decondro*).



M.J. Pouget®

• Serranía del interior sobre racas andesíticas. Ladera norte con Colligay (*Colliguaya odorifera*) y Capao (*Eulichnia ácida*).



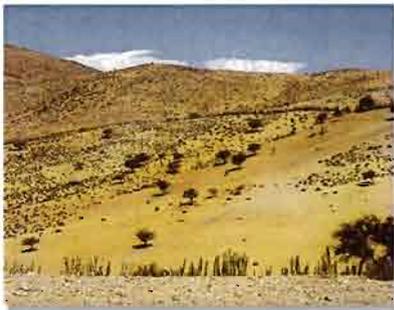
M.J. Pouget®

• Las serranías costeras y glacis antigua (Quebrada del Ingenio).



M.J. Pouget®

• Quebrada y vegetación leñosa perenne relacionada con la presencia de agua subterránea (serranía del interior)



M.J. Pouget®

• Lamojes del interior sobre racas andesíticas, fuerte degradación con espinal residual.



M.J. Pouget®

• Valle Las Molles en la Cordillera: rocas graníticas claras y andesíticas más oscuras , al fondo.

**SISTEMAS ECOLÓGICOS DE LAS TERRAZAS DE ABRASIÓN MARINA
Zona al oeste del cerro Talinay**

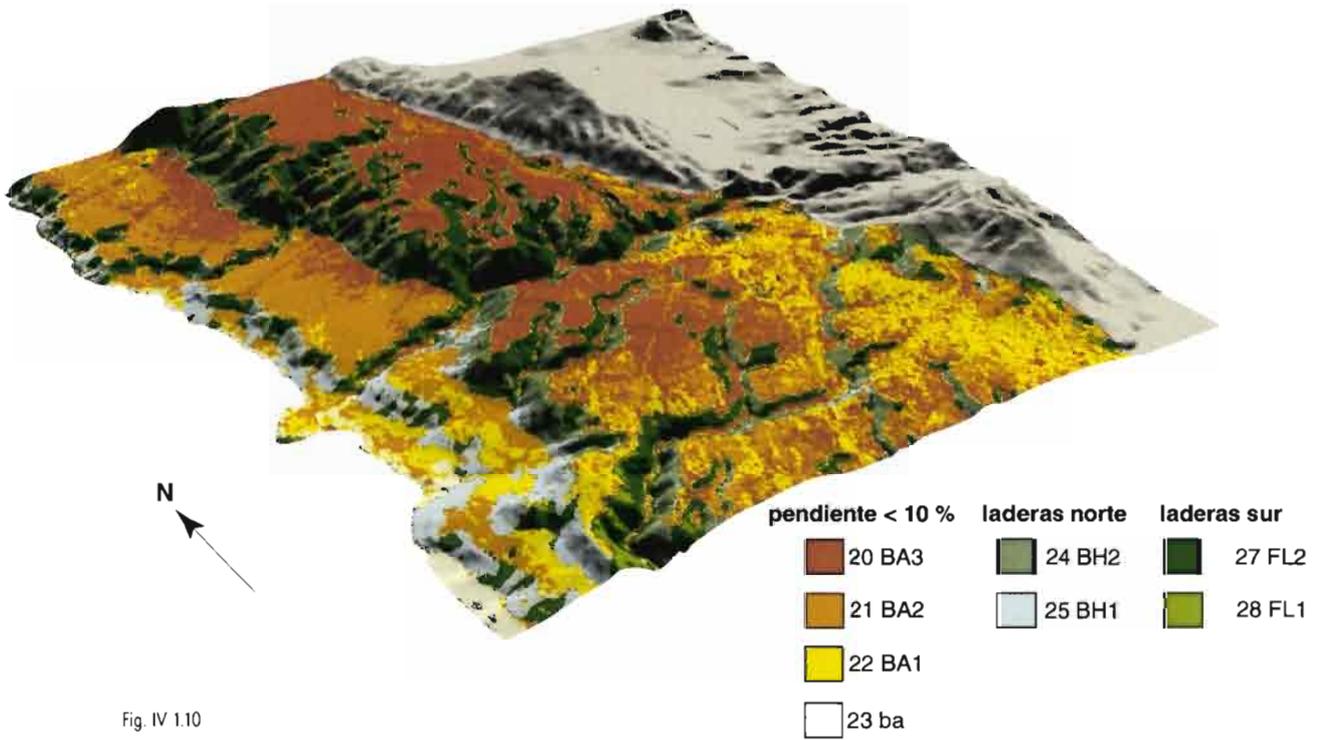


Fig. IV 1.10



M.J. Pouget®

• Motorral costero de *Bahía ambrosioides* y *Puya chilensis* en buen estado con CLB>60% (Sistema ecológico 20, BA3)



M.J. Pouget®

• Motorral costero de *Bahía ambrosioides* y *Haplopappus foliosus* con CLB entre 40y 60% (Sistema ecológico 21, BA2)

A modo general, la interpretación temática de las clases aclara las características de cada sistema ecológico, los que se encuentran enumerados siguiendo la secuencia de degradación creciente, donde la última cifra de la numeración respectiva del sistema ecológico, corresponde a la partición realizada según el tipo de asoleamiento del sector ecológico. Así, las cifras de 0 a 3 se utilizaron para los sistemas pertenecientes a los sectores ecológicos de terrenos más planos, con 0 a 10% de pendiente; las cifras 4 a 6 para los sistemas en exposición norte de un sector ecológico; y las cifras 7 a 9 para los de exposición sur, todos ellos ordenados de menor a mayor degradación.

Por ejemplo, para la unidad de terrazas de abrasión marina, se tiene el sector ecológico 5 (con pendientes inferiores a 10 %), que se subdivide en 4 sistemas ecológicos 20, 21, 22 y 23. Los sectores 6 y 7 que corresponden, respectivamente, a las vertientes norte y sur de las quebradas, se dividen cada uno en 2 sistemas ecológicos 24 y 25, para el 6, y 27 y 28 para el 7.

Por su parte, la información de terreno permitió precisar **atributos** relacionados con la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas.

Por ello, se confeccionaron cuadros, donde se consideró solamente la información obtenida en terreno o que deriva de ella. Luego con el apoyo del SIG, donde se encontraban digitalizados los sitios visitados en terreno, se puede conocer para cada sistema ecológico los sitios que éste comprende, y finalmente, la información de los sitios descritos en terreno se extrapola al sistema ecológico respectivo. Por ello, en algunos sistemas ecológicos no se tiene información, ya que no hay sitios descritos que se encuentren en él. En otros casos, se contaba con la información de un solo sitio, por lo que a ese sistema se le asignó esa información, sin poder entregar rangos o comparar la información que caracteriza a dicho sistema.

Por otra parte, los datos referentes al fitovolumen total (FVT), fitovolumen pastoral disponible (FPD), fitomasa aérea total (FAT) son valores estimados para cada sitio, a partir de la información obtenida en terreno, según la metodología ya explicada anteriormente, y al igual que el resto de los atributos, se extrapola al sistema ecológico que incluye dicha información. Para el suelo, además de la información tomada en terreno, se contó con algunos análisis físicos (textura) y químicos (materia orgánica).

A continuación, se presenta dos ejemplos de sistemas ecológicos como ilustración:

❖ **Los sistemas ecológicos de las terrazas de abrasión marina (sectores 4, 5 y 6)**

La vista tridimensional (Fig. IV 1.10) y el cuadro de atributos (Fig. IV 1.11) muestran los sistemas ecológicos del matorral costero sobre las terrazas de abrasión marina.

En el sector ecológico de terrenos planos (pendiente <10 %) se encuentran 4 sistemas ecológicos ordenados según una degradación creciente: 20 (BA3), 21(BA2), 22 (BA1) y 23 (ba). Las siglas se relacionan con las especies dominantes del sistema menos degradado, así BA hace alusión a *Bahia ambrossioides*, y ba, el último sistema de la secuencia de degradación, es decir, el más degradado, corresponde a una pradera, con una formación vegetal herbácea. Estas siglas están basadas en los trabajos de Túnez ya citados (Floret et al, 1982, 1992).

En el cuadro se puede ver como varían los atributos de los sistemas con la degradación:

- cambia la cobertura vegetal desde un matorral denso a un matorral claro, y al final, la formación vegetal se transforma en una pradera,
- ocurre un reemplazo de las especies dominantes,
- hay una disminución del fitovolumen y de la fitomasa aérea total a causa de la menor cobertura vegetal,
- y se produce una merma de la materia orgánica del horizonte superficial, como también, en la reserva de agua útil de los suelos (RAU).

Para el sistema ecológico 23 (ba) no hay sitios que proporcionen atributos. Sin embargo, las características radiométricas de esta clase infieren un estado de superficie del complejo suelo-vegetación con pocas especies leñosas, siendo probablemente una pradera, donde las especies dominantes serían del tipo herbáceas. Además, su ubicación en la imagen permitirá en el futuro ir a terreno para averiguar y hacer observaciones sobre el estado del complejo suelo-vegetación.

Figura IV.1.11 Atributos de los sistemas ecológicos de los Terrazos de abrasión marina (TAB)

| MATORRAL COSTERO SOBRE LAS TERRAZAS DE ABRASION MARINA (TAB) | | | | | | | | |
|--|---|------------------------------|--------------------------------|----------|----------------------------------|-----------|------------------------------|-----------|
| SECTOR ECOLOGICO | 5 Terrenos Planos (0-10 % Pendiente) | | | | 6 Laderas Norte de Quebrada | | 7 Laderas Sur de Quebrada | |
| | 20 BA3 | 21 BA2 | 22 BA1 | 23 ba | 24 BH2 | 25 BH1 | 27 FL2 | 28 FL1 |
| Formac.Veget. | LB-H-S | H y LB-H-S | H-L8 | | LB-S-H | | LB-H | |
| VEGETACION | 85-100 | 50-85 | 30-60 | <15 | 40-70 | <35 | 40-95 | <40 |
| CVT % | 40-75 | 5-40 | 5-15 | | 63 | | 88 | |
| CLB % | 15-30 | 50-90 | 35-75 | | 5 | | 5 | |
| CHR % | <i>Bahia ambrossioides**</i> | <i>Bahia ambrossioides**</i> | <i>Nassella pungens*</i> | | <i>Heliotropium stenophyllum</i> | | <i>Fuchsia lysioides</i> | |
| Especies Dominantes | <i>Puya chilensis**</i> | <i>Haplopappus foliosus*</i> | <i>Bahia ambrossioides</i> | | <i>Adesmia microphylla</i> | | <i>Eupatorium salvia</i> | |
| | <i>Haplopappus foliosus*</i> | <i>Avena barbata</i> | <i>Cardionema romossissima</i> | | <i>Bahia ambrossioides</i> | | <i>Baccharis concava</i> | |
| | <i>Nassella pungens</i> | | | | <i>Nassella sp.</i> | | <i>Cassia closiana</i> | |
| | | | | | <i>Trichocereus litoralis</i> | | <i>Bahia ambrossioides</i> | |
| FVT m ³ /ha | 2500-7500 | 1000-2500 | 300-1000 | | 5200 | | 12000 | |
| FPD | 1500-3500 | 1000-4300 | 200-1100 | | 1500 | | 3000 | |
| FAT Kg/ha | 1500-4000 | 1000-2000 | 10-1000 | | 14000 | | 24000 | |
| SUÉLLO | Erosión débil | | | | Erosión moderada | | Erosión débil | |
| Grado Erosión | 2,0; 4,3 | 1,6 | 1,1 | | 3,1 | | 3,6 | |
| Mat.Orgán. % | Franco arenoso | Franco arcillo arenoso | Franco arenoso | | Franco arcillo arenoso | | Franco arenoso | |
| Textura | 40-120 | 40-120 | 40-80 | | 40-80 | | 80-120 | |
| RAU mm | | | | | | | | |

El sector ecológico que corresponde a las laderas norte de quebradas que disectan las terrazas de abrasión marina, consta de dos sistemas ecológicos, 24 (BH2) y 25 (BH1), cuya sigla se debe a las especies dominantes *Bahia ambrossioides* y *Heliotropum stenophyllum*. El sector de laderas sur, también está constituido por 2 sistemas ecológicos, 27 (FL2) y 28 (FL1), con la especie dominante *Fuchsia lysiooides* en el sistema menos degradado. Para ambos sectores ecológicos (laderas norte y sur), se contaba con información para un sólo sistema ecológico y de un sitio para dicho sistema, que coincidió en ambas situaciones con el sistema ecológico menos degradado.

♦ **Los sistemas ecológicos de las serranías del interior (sectores 47, 48 y 49)**

El cuadro (Fig IV 1.12), indica los sectores y sistemas ecológicos de la serranía del interior sobre roca granítica. En él se aprecian los sistemas que constituyen los tres sectores ecológicos.

Los terrenos planos, que en general corresponden al fondo de las quebradas, comprenden 2 sistemas ecológicos, el 160, para el que no se dispone de información (ya que no se describieron sitios pertenecientes a esta clase, que definan al sistema) y el 161 (CC), cuya sigla hace referencia a las dos especies dominantes de este sistema, *Colliguaya odorifera* y *Cassia coquimbensis*. A pesar, de no contar con información para el sistema ecológico 160, se puede inferir a partir de la información radiométrica que presenta un estado de degradación menor que el sistema 161, y tendría una mayor cobertura de especies leñosas fotosintéticamente activas (verdes), debido a la presencia de agua subterránea. El sistema ecológico 161 (CC), es el más degradado dentro de este sector, presentando valores muy bajos de cobertura vegetal, FVT, FPD, FAT y materia orgánica, además de un grado de erosión fuerte observado en terreno. Este último sistema se encuentra ubicado en las cercanías de los poblados, donde hay una fuerte circulación de personas y animales.

El sector ecológico de laderas de cerros graníticos del interior con exposición norte, presenta 3 sistemas ecológicos, que en una degradación creciente, son el 164 (CF3), 165 (CF2) y el 166 (CF1), donde CF se relaciona con las especies dominantes *Colliguaya odorifera* y *Flourensia thurifera*. El sector de laderas con exposición sur, comprende 3 sistemas ecológicos, que ordenados en secuencia de degradación creciente son el 167 (CB3), 168 (CB2) y 169 (CB1), donde CB se refiere a las especies dominantes *Colliguaya odorifera* y *Bromus berterianus*.

En ambos sectores ecológicos se puede observar la variación de los atributos de los sistemas ecológicos en la medida que aumenta la degradación:

- la cobertura vegetal disminuye, tanto la cobertura vegetal total como la de leñosos bajos,
- las especies dominantes varían,
- el FVT, FPD y el FAT decrecen,
- en las laderas norte el grado de erosión aumenta,
- la materia orgánica y el RAU presentan valores cada vez más bajos.

En síntesis, se comprueba que el estado del complejo suelo-vegetación integra en sí las variaciones de ciertos atributos del medio, variaciones que se deben a los diferentes niveles de degradación de los sistemas ecológicos. Por otra parte, como se mostró anteriormente, los datos satelitales son capaces de particionar el espacio en relación con el estado del complejo suelo-vegetación. Este hecho permite afirmar que, indirectamente, SPOT constituye una herramienta eficaz para monitorear las características más importantes del estado en que se encuentra, en un momento determinado, el medio que se quiere estudiar.

La caracterización de los sistemas ecológicos¹ se complementa con la información proveniente de la modelización de los indicadores del estado y de la dinámica de los ecosistemas (Fig IV 1.6)

¹ Verónica Lira debe finalizar en 1997 una tesis de postgrado sobre los sistemas ecológicos en la provincia del Limarí, en la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad de Chile.

Figura IV 1.12 Atributos de los sistemas ecológicos de la serranía del interior y precordillero sobre rocas graníticas (SIN)

| MATORRAL DE LA SERRANIA INTERIOR (SIN) | | | | | | | | |
|--|---|--|--|--|--|---|---|--|
| SECTOR ECOLOGICO | 47 Fondo de la Quebrada (0-10% Pendiente) | | 48 Laderas Norte | | | 49 Laderas Sur | | |
| | 160 | 161 CC | 164 CF3 | 165 CF2 | 166 CF1 | 167 CB3 | 168 CB2 | 169 CB1 |
| Formac.Veget. | | LB y H-LB | LB | LB y LB-S | LB | LB-H y LB | LB-H y LB | LB-H-S |
| CVT % | | 2-12 | 35-40 | 30-35 | 5 | > 45 | 25-50 | 15-25 |
| CLB % | | 0-9 | 30-35 | 25-35 | 5 | 30-40 | 20-30 | 10-20 |
| CHR % | | 0-2 | 0 | 0-3 | 0 | 0-10 | 1-35 | 2 |
| Especies Dominantes | | <i>Colliguaya odorifera</i> <i>Cassio coquimbensis</i> <i>Erodium cicutarium mia tenella</i> <i>Schinus sp.</i> | <i>Colliguaya odorifera</i> <i>Flourensia thurifera</i> <i>Eulychnia acida</i> | <i>Flourensia thurifera*</i> <i>Colliguaya odorifera</i> <i>Puya chilensis</i> | <i>Flourensia thurifera</i> <i>Cassio coquimbensis</i> <i>Puya chilensis</i> | <i>Colliguaya adarifera*</i> <i>Bromus berterianus</i> | <i>Gutierrezia resinasa*</i> <i>Proustia cuneifolia*</i> <i>Colliguaya adarifera</i> <i>Bromus berterianus</i> | <i>Proustia cuneifolia</i> <i>Cassio coquimbensis</i> <i>Bromus berterianus</i> <i>Erodium cicutarium</i> <i>Eulychnia acida</i> |
| FVT m3 /ha | | 0-800 | 3000-3500 | 2000-3000 | 150 | 2500-5000 | 1000-2000 | 800-1500 |
| FPD | | 0-1000 | 2500-3500 | 2500-3000 | 120 | 2500-5000 | 800-2000 | 300-400 |
| FAT Kg /ha | | 0-1500 | 5000-6000 | 5000-6000 | 250 | 3500-8000 | 1000-2000 | 500-4000 |
| Grado Erosion | | Erosión fuerte | Erosión moderada | Erosión moderada | Erosión fuerte | Erosión moderada | Erosión moderada | Erosión moderada |
| Mat.Organ. % | | 0,9 | 2,3; 1,0; 2,0 | 0,8 | 0,9 | 2,9 | 1,4; 0,8 | 0,29 |
| Textura | | Franco arenosa | Franco arenosa | | | Franco arenosa | | |
| RAU mm | | 0-80 | 0-80 | 0-40 | 0-40 | 80-120 | 40-80 | 40-80 |

2 Indicadores del estado y dinámica del medio

Modelización espacial del estado de degradación del complejo suelo-vegetación (CSV)

Integrando dos componentes mayores del medio natural, el complejo suelo-vegetación constituye un buen indicador para evaluar el estado de este medio y su nivel de degradación. El estado del complejo suelo-vegetación es la resultante de un conjunto de características y procesos diversos (cf encarte). Una expresión de su valor o evaluación puede considerarse también como la resultante de varias dimensiones.

El índice fito-climático, Nivel Actual de Desertificación (NAD), propuesto por Etienne y al. en 1987, constituye una respuesta interesante, pero parcial para tal evaluación. El índice combina el fitovolumen aéreo total y el déficit hídrico anual (DEF=P-ETP), que cuantifica parcialmente el "stress" hídrico al que están sometidas las plantas a lo largo del año. Estos autores también han notado la necesidad de tomar en cuenta los factores ligados al suelo, para una evaluación más completa y global del estado del medio. No disponiendo de datos pertinentes sobre los suelos, dichos autores se refieren solamente a la cartografía del estado de la vegetación, a escala de 1: 100.000.

Las observaciones realizadas en el presente estudio a nivel de 250 sitios y el análisis global efectuado con ayuda de los datos satelitales y del conjunto de datos del medio, integrados a la base LIMARI, confirman la validez del índice utilizado por dichos autores. También nos llevan a proponer cuatro nuevos parámetros para completar la evaluación del estado del complejo suelo-vegetación. Dos parámetros relativos a la vegetación, la cobertura vegetal leñosa y la naturaleza de las especies dominantes; los otros dos se refieren al suelo, a nivel de erosión y de la reserva de agua útil del suelo.

El enfoque general utilizado para la modelización espacial del estado del complejo suelo-vegetación, comprende dos etapas:

- la creación de un índice sintético relacionado con el estado actual del complejo suelo-vegetación, a nivel de los sitios.
- y después, la extrapolación del índice, mediante los datos satelitales y la base LIMARI a la totalidad de la zona de estudio.

❖ Creación del índice CSV

Se eligieron 5 indicadores para construir este índice CSV:

- La degradación progresiva de la vegetación pasa generalmente por las formaciones vegetales siguientes: bosques, matorrales, praderas, suelos con muy poca o sin vegetación. Esta sucesión corresponde, de hecho, a una disminución progresiva de la **cobertura vegetal leñosa**, que constituye un parámetro valioso a tener en cuenta para evaluar el estado del medio. Se trata, a la vez, de un recurso disponible y de un factor determinante para la conservación del suelo.
- Un cambio en la composición florística significa también una degradación, más o menos grave, de las condiciones del medio. Así **las especies dominantes**, propias de un lugar sin alteración humana, son reemplazadas por otras especies mejor adaptadas a las nuevas condiciones de degradación; esto a nivel de todas las formas de vida, especialmente los árboles, arbustos, hierbas y suculentas.
- **El nivel actual de desertificación (NAD)**, ya citado.
- **La intensidad de la erosión** es un parámetro importante, que expresa no sólo el estado actual, sino también, una dinámica que compromete fuertemente el devenir de los ecosistemas. Este parámetro es difícil de cuantificar y su consideración se basa en la tipología establecida a nivel de los sitios.
- **La reserva de agua útil** del suelo, de hecho, la reserva útil para la vegetación, integra las variaciones de profundidad de los perfiles que pueden estar, más o menos truncados por la erosión.

INDICADORES DEL ESTADO DEL MEDIO

Para conocer el estado de "salud de un ecosistema", por ejemplo, para saber si un matorral nativo está en buen estado o no, es necesario conocer cómo se encuentran los atributos vitales de ese ecosistema; estos últimos corresponden a características que pueden servir de indicadores de la estructura y funcionamiento de un ecosistema, por lo tanto, pueden emplearse para la formulación de hipótesis y la concepción de experimentos de restauración o de rehabilitación (Aronson et al., 1995) Al respecto, dichas autores sugieren diversos indicadores:

Riqueza florística en especies perennes y en especies anuales. Sin duda, una de las características más notables de un ecosistema sano y relativamente estable, es la presencia en su estructura, de arbustos a de especies herbáceas perennes, al igual que una abundancia de especies anuales. Se conoce como "diversidad alpha" el número de especies en una comunidad, equivalente a la flora de un lugar, que es el mero listado de especies vegetales presentes en ese lugar; dicho listado puede establecerse a través de inventarios exhaustivos, por el método de parcelas crecientes (Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974), recorriendo atentamente el sitio a inventariar.

Siendo la *vegetación* el mosaico de comunidades vegetales presentes en un lugar, puede ser descrita de distintas maneras: por sus *formas de vida*, por las especies dominantes, por la cobertura vegetal, por la altura de las diferentes estratas, por la fitomasa aérea total, por la productividad de la fitomasa, por el contenido total de semillas viables en el suelo.

Las *formas de vida* o espectro biológico de un ecosistema es un buen indicador del nivel de degradación de aquel; así, la complejidad de formas de vida disminuye a medida que el ecosistema es artificializado o degradado; por ejemplo, degradación de un matorral denso a una pradera sobretalajeada

Las *especies dominantes*, aquellas que golpean la vista en una formación vegetal o que presentan la mayor cobertura vegetal en ella, son excelentes indicadores del estado de degradación de la vegetación y del suelo, además de permitir una clara delimitación del espacio en regiones y sectores ecológicas.

La *cobertura vegetal*, es otro muy buen indicador de la degradación del medio. En la costa de Limarí, la cobertura vegetal de arbustos (CLB) en un matorral en buen estado fluctúa alrededor de 50% o más, con una cobertura vegetal total (CVT) superior a 75%. Al ser degradado, los arbustos pasan a cubrir 10% o menos del suelo y la CVT baja a 50% o menos. No obstante, en zonas áridas esta variable puede mostrar fuertes cambios, debido a variación de las precipitaciones.

La *altura* de las diferentes estratas de vegetación es un indicador obvio del nivel de degradación del medio; ella fluctúa entre 1 a 2 m de alta en un matorral en buen estado, para caer a 25 cm o menos en ese mismo matorral, degradado

La *fitomasa aérea total* (kg de materia seca/há), medida en una exclusión al término del período de crecimiento de la vegetación, es un buen indicador del estado de salud del medio, en ciertos casos puede ser reemplazado por el fitovolumen aéreo total (Etienne et al., 1987; Etienne et al., 1983, ARCHILI, 1985b).

El *contenido total de semillas viables*, estimado a través de muestras de suelo obtenidas de los 4 cm superficiales del suelo y colocadas a germinar, es un buen indicador; la ausencia de especies claves en dichas muestras puede determinar la inviabilidad de mejorar ese ecosistema por la sola exclusión del mismo.

El *coeficiente de infiltración de las lluvias*, representado por la cantidad de agua que se infiltra en el suelo, es un indicador de su capacidad de almacenamiento de dicho elemento. Este indicador está muy ligada a la presencia o ausencia de una costra superficial del suelo, la que normalmente se forma en ecosistemas degradados, impidiendo casi completamente la infiltración.

El *coeficiente de eficacia de la lluvia*, definido como el cociente entre la cantidad de agua precipitada en un lugar y la fitomasa aérea producida en ese mismo lugar, es un buen indicador del estado del suelo.

El *contenido de materia orgánica del suelo*, fácilmente obtenible, es un muy buen indicador, a la vez que se correlaciona muy bien con la productividad de fitomasa y con la presencia de especies vegetales claves del ecosistema.

La *capacidad de intercambio catiónico*, es un indicador altamente relacionado con la degradación del medio y correlacionada con la fertilidad del suelo.

El coeficiente de eficacia del nitrógeno, es un atributo vital ya que la disponibilidad de este elemento puede limitar, tanto o más que la falta de agua, el crecimiento de las plantas y de los animales

En la interfase entre la vegetación y el suelo, cabe mencionar uno de los mejores indicadores del nivel de degradación y que es el estado de superficie del suelo; en el presente documento se le denomina estado de superficie del complejo suelo-vegetación. La importancia de este indicador en zonas áridas, radica en que puede monitorearse a través del satélite, permitiendo presagiar la infiltración del agua, su escurrimiento, así como la erosión del suelo.

Estas variables complementarias dan cuenta, cada uno a su manera, del estado del complejo suelo-vegetación a nivel de los sitios. Antes de combinar estas variables es necesario cuantificarlas, y ordenarlas en función de la intensidad de la degradación dándoles una nota de 1 a 5 (Fig. IV 2.1).

| PARAMETROS | NOTA | NIVELES DE DEGRADACION | |
|--|------|------------------------|------------------------|
| Cobertura vegetación leñosa VGL=ARBxDEF | 1 | 00-10% | Muy mal estado |
| | 2 | 10-25% | Mal estado |
| | 3 | 25-40% | Medio |
| | 4 | 40-60% | Buen estado |
| | 5 | 60-100% | Muy buen estado |
| Especies dominantes ESD | 1 | | Degradación muy fuerte |
| | 2 | | Degradación fuerte |
| | 3 | | Degradación media |
| | 4 | | Degradación débil |
| | 5 | | Sin degradación |
| Índice NAD (Nivel Actual de Desertización) NAD=FVtxDEF | 1 | 0-400 | Extremadamente severo |
| | 2 | 400-1600 | Muy severo a severo |
| | 3 | 1600-3200 | Mediano |
| | 4 | 3200-6400 | Moderado |
| | 5 | >6400 | Débil a nulo |
| Nivel de Erosión del suelo ERO | 1 | | Muy fuerte |
| | 2 | | Fuerte |
| | 3 | | Medio |
| | 4 | | Débil |
| | 5 | | Sin erosión |
| Reserva de Agua Útil del suelo RAU en mm | 1 | 0-40 | Muy baja |
| | 2 | 40-80 | Baja |
| | 3 | 80-120 | Media |
| | 4 | 120-160 | Alta |
| | 5 | >160 | Muy alta |

Fig. IV 2.1 Variables tomadas en cuenta para la modelización del estado del complejo suelo-vegetación.

En cuanto a la **cobertura de vegetación leñosa (VGL)**, se efectuó una ponderación de la cobertura leñosa real (ARB) multiplicándola por el déficit hídrico anual en metros (DEF).

$$VGL = ARB * DEF$$

Esta ponderación permite acercarse a potencialidades del medio relacionadas con condicionantes climáticos. La cobertura leñosa real (ARB) corresponde a la suma de las coberturas de las leñosas altos y bajos, y de las suculentas (ARB = CLA + CLB + CSU). A nivel de cada sitio se conoce el valor ARB. Luego se hicieron rangos de VGL y se codificaron de 1 a 5.

En cuanto a las **especies dominantes (ESD)**, la idea fue crear tres categorías o grupos de plantas, en uno de cuyos extremos encontramos aquellas especies más próximas a la formaciones vegetales "climax" o "maduras", con poca intervención del hombre o de sus animales (nota = 5); en el otro extremo, encontramos aquel grupo de especies indicadoras de la máxima degradación y por lo tanto, características de dichas condiciones deplorables (nota = 1). Entre ambos se encuentra un grupo de especies indicadoras de nivel medio de degradación (nota = 3). Las notas 2 y 4 corresponden a sitios con una mezcla de especies de las tres categorías.

Para el **Nivel Actual de Desertificación (NAD)**, se hicieron rangos a partir del trabajo ya citado (Etienne et al, 1987).

En cuanto al **grado de erosión (ERO)**, se tomó las cinco clases de intensidad:

- nota = 1 erosión muy fuerte.
- nota = 2 erosión fuerte.
- nota = 3 erosión moderada.
- nota = 4 erosión débil.
- nota = 5 sin erosión.

Se hicieron también 5 clases de **Reserva de Agua Util (RAU)**.

El índice CSV, que sintetiza el estado del complejo suelo-vegetación, corresponde a la suma de los valores tomados para cada uno de los parámetros retenidos:

$$CSV = VGL + ESD + NAD + ERO + RAU$$

Luego se confeccionó una tabla que recoge los valores atribuidos a cada parámetro en los 250 sitios.

Un índice CSV bajo indica un medio fuerte a muy fuertemente degradado, en que todos los indicadores se encuentran al nivel mínimo: cobertura leñosa ausente o muy rala, especies dominantes características de medios degradados, fitovolumen muy bajo, erosión intensa, suelos poco profundos con una débil capacidad de almacenaje de agua.

En función de los valores obtenidos por los índices, para cada uno de los 250 sitios estudiados, se hicieron 5 clases que reflejan 5 estados de degradación del complejo suelo-vegetación (Fig. IV 2.2):

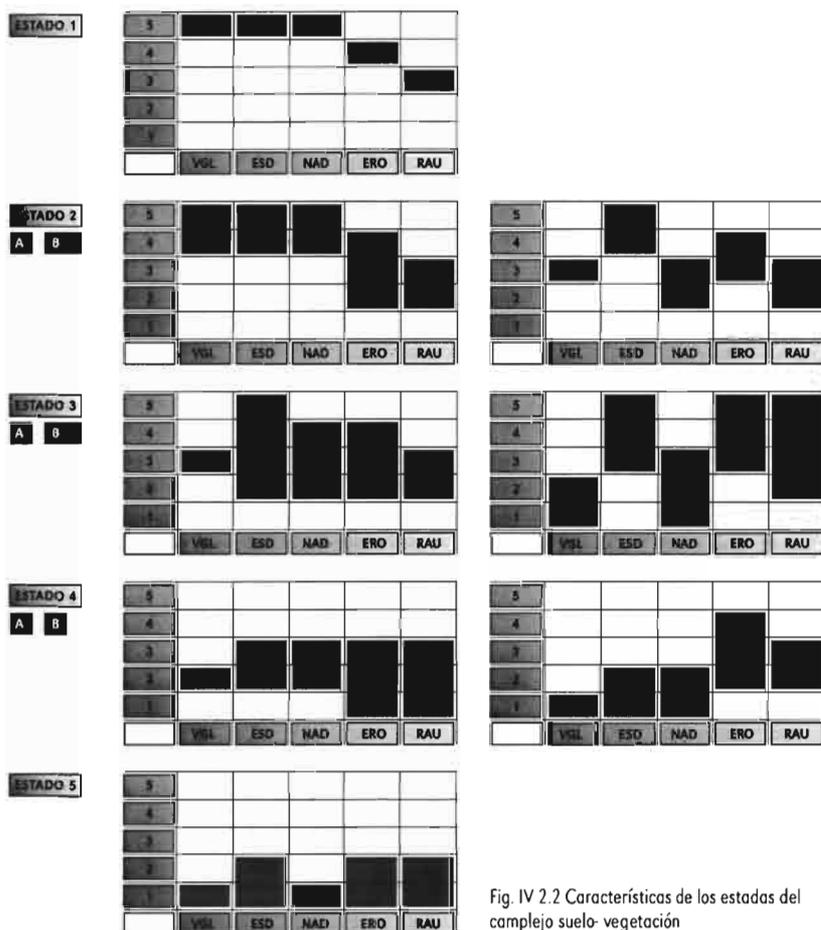


Fig. IV 2.2 Características de los estados del complejo suelo- vegetación

- Estado I nota = 21 - 25 Muy poco degradado (15 sitios)
- Estado II nota = 17 - 20 Poco degradado (67 sitios)
- Estado III nota = 13 - 16 Degradado (92 sitios)
- Estado IV nota = 9 - 12 Fuertemente degradado (69 sitios)
- Estado V nota = 5 - 8 Muy fuertemente degradado (19 sitios)

Los estados II, III y IV, se pueden subdividir en dos grupos A y B. Para los sitios del grupo A, la vegetación está globalmente en mejor estado que el suelo; lo contrario ocurre en el grupo B. Este último caso, en que el suelo está relativamente menos degradado que la vegetación, corresponde a medios, ya sea, de degradación reciente o menos susceptibles a la erosión.

Este índice sintético proporciona una estimación coherente del estado del complejo suelo-vegetación. Se podría mejorar el modelo introduciendo una ponderación distinta de las variables, relacionada con su contribución a la definición del estado de degradación.

❖ *Extrapolación del índice CSV*

La extrapolación se hizo a partir de la clasificación de la imagen SPOT (cf III 1.- 5). Se revisó para cada una de las 160 clases, los sitios comprendidos en ella, y a qué el estado CSV estos pertenecen. Posteriormente, se le asignó un valor CSV a cada clase, de acuerdo a los valores CSV de los sitios, que se encuentran en dicha clase. Para ciertas clases, es posible tener sitios con CSV diferentes. Algunas particularidades locales pueden esclarecer estas variaciones y mostrar los problemas ligados a esta extrapolación. Así, ciertos parámetros tomados en cuenta para definir el CSV son, a menudo percibidos, indirectamente por el satélite (ESD, ERO, RAU).

En numerosas clases no hay sitios, y por lo tanto no se les puede asignar un valor CSV. En este caso, se toma en cuenta la proximidad radiométrica y geográfica de las clases para asignarles un valor de CSV.

De este modo, a partir de los sitios, se realizó la extrapolación de CSV a toda la imagen y se obtuvo el mapa CSV (Fig. IV 2.3 y Fig IV 2.4). En dichos mapas se agruparon los estados I y II, y los estados IV y V.

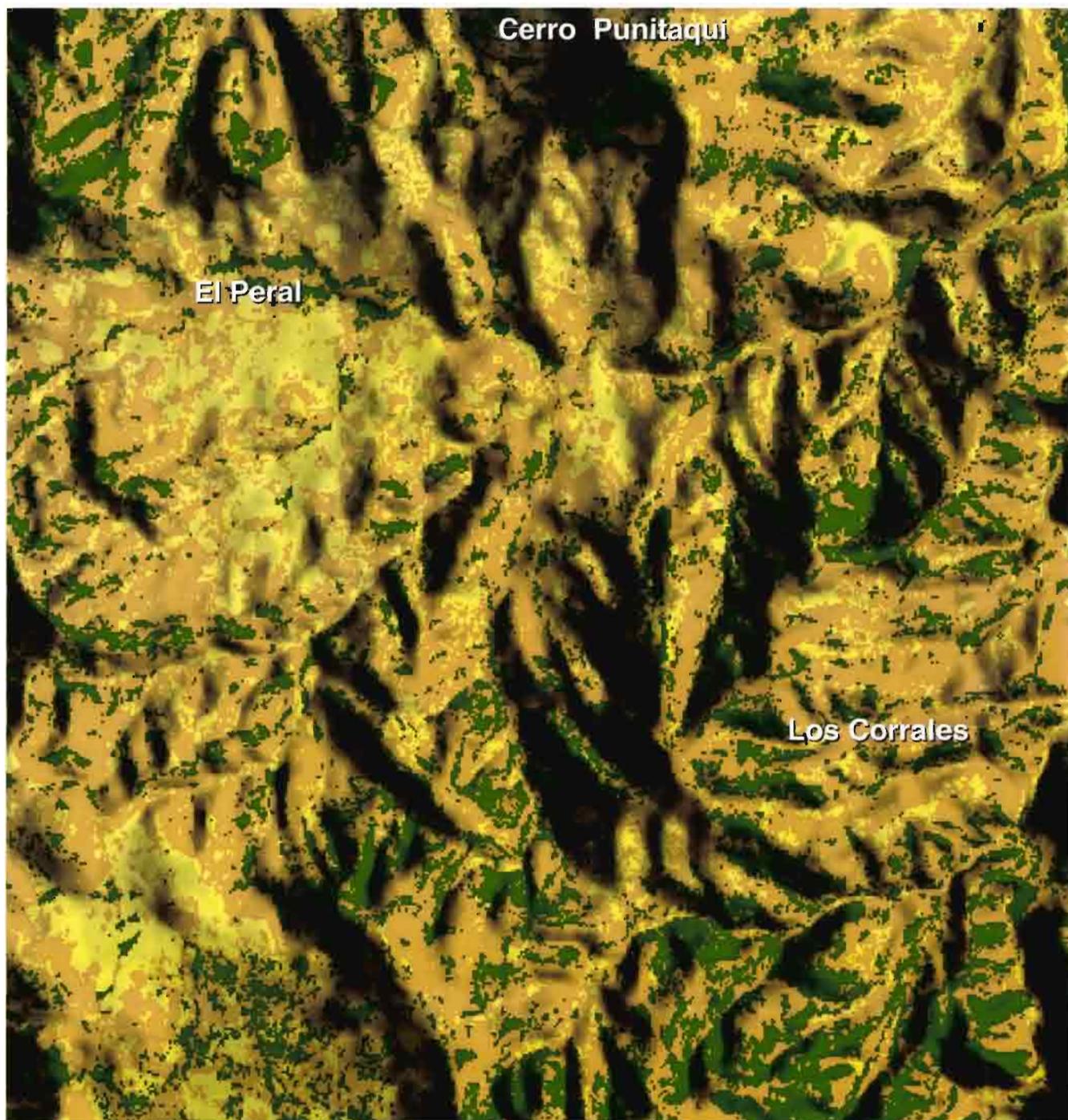
Para juzgar la validez del documento obtenido se confrontó, para cada sitio, el CSV observado en el terreno y el CSV de la clase dominante donde se encuentra el sitio en la imagen. En la diagonal del cuadro de doble entrada (Fig. IV 2.5) se encuentra el número de sitios que tienen en el terreno y en la imagen el mismo estado CSV. Estos sitios suman 127 de un total de 233 incluidos efectivamente en la zona del modelo CSV, lo que significa que un 65 % del total de los sitios están correctamente clasificados, lo que da una buena correlación.

| | | TERRENO | | | | | TOTAL | |
|---|---------|---------|----|-----|----|----|-------|-----|
| | | I | II | III | IV | V | | |
| I | CSV I | 1 | | | | | 1 | 77% |
| | CSV II | 10 | 29 | 7 | 4 | 1 | 51 | |
| A | CSV III | | 21 | 53 | 21 | 3 | 98 | 54% |
| G | CSV IV | | 3 | 22 | 37 | 10 | 72 | 70% |
| E | CSV V | | | | 4 | 7 | 11 | |
| N | TOTAL | 11 | 53 | 82 | 66 | 21 | 233 | 65% |

Fig. IV 2.5 Tabla de comparación de los estados del CSV espacializados en la imagen e identificados en el terreno

Por otra parte, si agrupamos las clases I y II, que reflejan un buen estado del complejo suelo-vegetación, se observa que un 77 % de los sitios están bien clasificados. Mientras que el 54 % de los sitios de la clase III y el 70 % de las clases IV y V pertenecen a dichas clases en la imagen y en el terreno.

ESTADO DEL COMPLEJO SUELO VEGETACIÓN
Comunidad Agrícola de Punitaqui (parte Sur)
Escala 1:50.000



Estados I - II poco degradado
Restauración

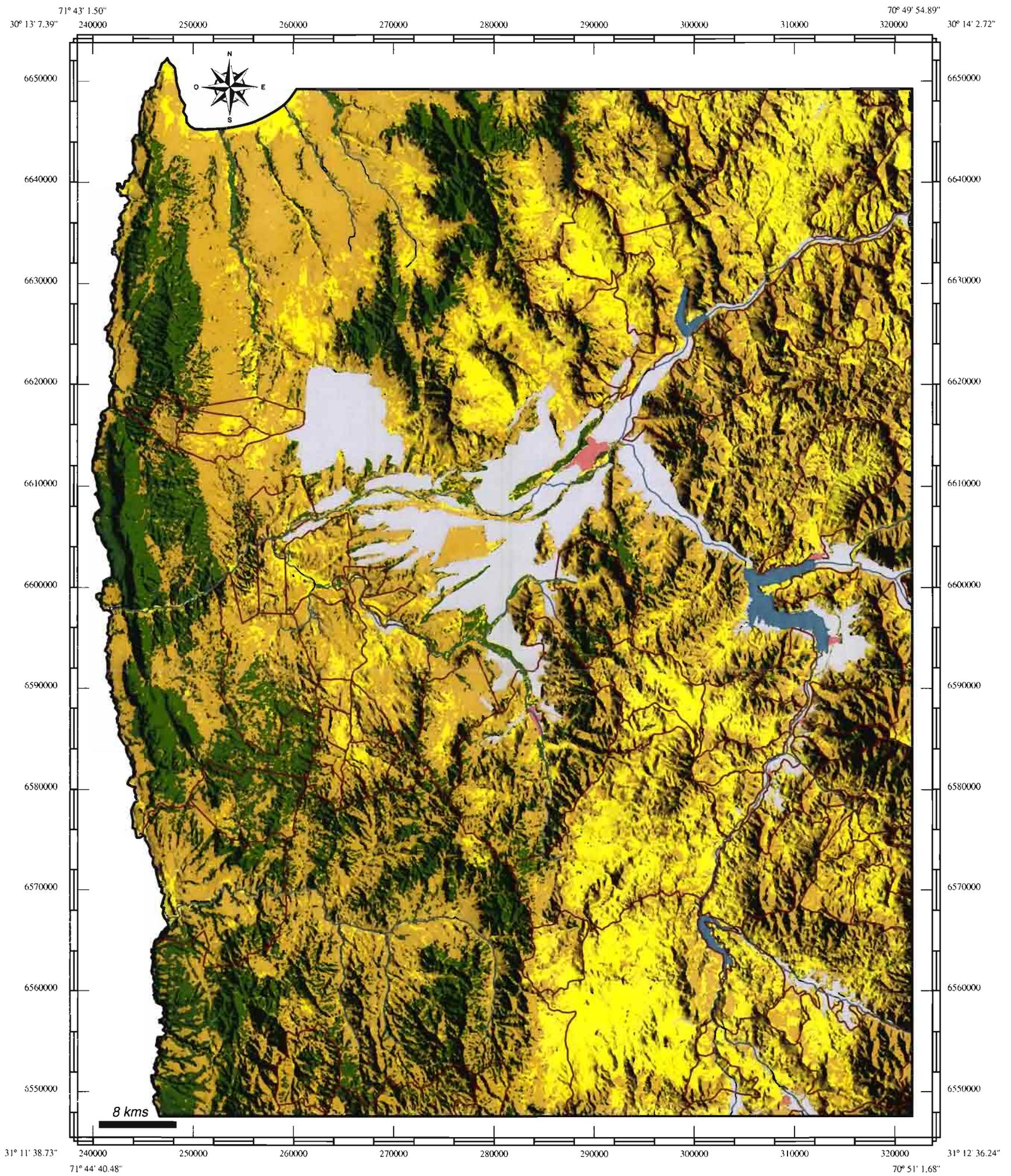


Estado III degradado
Rehabilitación



Estados IV - V fuertemente degradado
Reafectación

ESTADO DEL COMPLEJO SUELO VEGETACION



LEYENDA

- | | | | | | |
|---|--|--|----------|---|--|
|  | Estados I - II poco degradado Restauración |  | Riego | | Límite de las Comunidades Agrícolas |
|  | Estado III degradado Rehabilitación |  | Embalses | | |
|  | Estados IV - V fuertemente degradado Realectación |  | Ciudades | | |

❖ *Estados CSV y opciones de mejoramiento* (fig IV 2.6)

Los 5 estados CSV, así definidos y espacializados, pueden además ser confrontados a una u otra de las tres opciones de mejoramiento: restauración, rehabilitación y reafectación (ver encarte IV.2.2).

Los ecosistemas **muy poco y poco degradados (estados CSV I y II)**, se caracterizan por poseer aún los atributos necesarios para volver a su estado inicial, a través de un trabajo de **restauración**. En efecto, la vegetación leñosa persiste aún con niveles importantes de cobertura vegetal al igual que las especies dominantes propias de la vegetación no degradada.

Los suelos de dichos estados de CSV presentan una erosión casi nula y un contenido de materia orgánica importante, lo cual redunda en una buena capacidad de almacenamiento de agua para las plantas; todo lo anterior acompañado de un escurrimiento superficial escaso gracias a una estructura de agregados en los horizontes superficiales, y una reserva de agua útil relativamente importante en relación con la profundidad de los suelos y el contenido de materia orgánica.

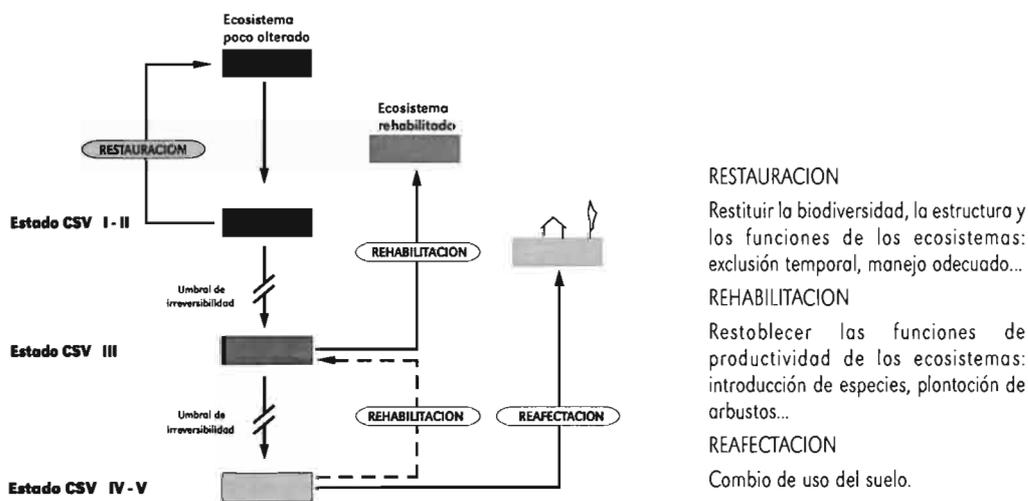


Fig. IV 2.6 Estados del CSV y opciones de mejoramiento (adaptado de Aronson et al, 1995)

Los ecosistemas **degradados (estado CSV III)**, no están en condiciones de reconstituirse sólo a través de acciones de restauración. Por el contrario, es necesario recurrir a planes de **rehabilitación**, ya que se ha traspasado un umbral de irreversibilidad, lo cual se manifiesta a través de la pérdida de algunos atributos vitales, propios de la estructura y funcionamiento de esos ecosistemas. Es así que algunas de las especies vegetales características de los ecosistemas originales han desaparecido o bien se encuentran en estado de reliquias, fuertemente dañadas por el sobrepastoreo y por cultivos sucesivos en condiciones marginales.

En estos casos la erosión es más fuerte y va acompañada de una disminución del contenido de materia orgánica del suelo, a la vez que se aprecia una degradación de la estructura de los horizontes superficiales. Es así como aparecen costras, las cuales incrementan el escurrimiento superficial de las aguas lluvias, determinando una reducción del agua disponible para las plantas.

En este caso, los trabajos de rehabilitación no sólo implican la reintroducción de especies vegetales propias del ecosistema original sino que además, debe intervenir el suelo con el objeto de restablecer un buen funcionamiento hídrico del mismo; para ello, se puede emplear pequeñas obras de cosecha de agua de escurrimiento, o bien escarificación de la superficie, construcción de surcos de infiltración ...

Los ecosistemas **fuertemente y muy fuertemente degradados (estados CSV IV y V)**, han llegado a ese nivel luego de atravesar otro umbral de irreversibilidad, lo cual implica que la rehabilitación ya no es capaz de retornar el ecosistema a su estado original, a no ser que se efectúen trabajos de envergreenado. En este

OPCIONES DE MEJORAMIENTO: RESTAURACIÓN, REHABILITACIÓN, REAFECTACIÓN

Luego de la degradación de la vegetación y de los suelos de las comunidades agrícolas, por efecto de la agricultura de secano sobre terrenos con fuertes pendientes, del sobretalaje caprino y de la cosecha de leña, cabe preguntarse

¿está el hombre en condiciones de detener este círculo vicioso y de convertirse en el restaurador y mejorador de esos mismos recursos naturales? Para tratar de responder a esta interrogante, se cita el trabajo de Aronson et al. (1995), presentado al Congreso Internacional sobre la restauración y rehabilitación de tierras degradadas de zonas áridas y semiáridas, realizado en Túnez

Dichos autores, basados en la definición de la Society for Ecological Restoration (SER), proponen que el término **restauración** sea reservado para el reestablecimiento de la biodiversidad, estructura y funciones de aquellos ecosistemas que aún presentan un nivel suficiente de resiliencia (degradación no reversible); de este modo, la intervención del hombre sólo debiera limitarse, dentro de lo posible, a una disminución del nivel de presión sobre el medio y luego, a un control de la misma

Estos mismos autores señalan que cuando la presión, ejercida sobre un ecosistema ha sido muy intensa o se ha mantenido por demasiado tiempo, aquel posiblemente, no presentará ya la capacidad dinámica suficiente para que la sola disminución de la presión del hombre le permita "restaurarse", es decir, volver a lo que constituía su estado anterior. En este caso es necesario una fuerte intervención humana para hacer evolucionar el ecosistema, ya sea para colocarlo de nuevo en una trayectoria favorable (rehabilitación) o bien, para transformar el ecosistema para un nuevo uso (reafectación)

De este modo, para lograr la **rehabilitación** de un ecosistema degradado será necesario el empleo de acciones tales como la reintroducción de especies vegetales y de micro organismos asociados, e incluso la ejecución de trabajos en el suelo que permitan un mejoramiento de su funcionamiento hídrico o de los ciclos de nutrientes, u otros. La reintroducción de especies vegetales preexistentes puede limitarse al restablecimiento de un ecosistema simplificado, constituido por un número reducido de especies y representando una etapa intermedia entre el estado degradado y el ecosistema de referencia

Por lo tanto, la restauración y la rehabilitación tienen como objetivo común recrear ecosistemas autónomos o durables, caracterizados por una sucesión en las comunidades vegetales y animales y por la capacidad de reparar ellos mismos los daños causados por el hombre. Del mismo modo, ambas persiguen una vuelta al nivel precedente de flujo de energía y ciclos de nutrientes, así como al restablecimiento de las condiciones necesarias para un buen funcionamiento hídrico del suelo a nivel de las raíces (infiltración, almacenamiento).

La diferencia entre ambos radica en que la rehabilitación necesita, a menudo, que se imponga una "portada forzosa" de un nuevo trayectoria del ecosistema (reintroducción de especies) y que se combatan las condiciones que rompieron los umbrales de irreversibilidad, por el contrario, los proyectos de restauración se aplican a ecosistemas que aún presentan la capacidad de reparar ellos mismos los efectos negativos de perturbaciones leves

Por último, Aronson et al (1995) se refieren a la **reafectación**, como el proceso que ocurre cuando una parte o la totalidad del paisaje, cualquiera sea su estado, es transformado asignándosele un nuevo uso. Ese nuevo estado eventualmente, puede no tener relación de estructura o de funcionamiento con el ecosistema preexistente. Si bien, la reafectación puede intervenir en todos los niveles, e incluso en ecosistemas no perturbados, los autores proponen, a modo de simplificación, que la reafectación sea una acción que tenga lugar en los estados más avanzados de degradación del ecosistema e incluso cuando uno o varios umbrales de irreversibilidad han sido atravesados.

caso cabe aplicar la **reafectación**.

En estos ecosistemas tan degradados la vegetación leñosa ha desaparecido casi por completo, siendo reemplazada por especies sin ninguna utilidad para el hombre o sus animales. Lo que queda de suelo, muestra los efectos omnipresentes de la erosión: desaparición de la materia orgánica, generalización de costras en la superficie del suelo, aumento del escurrimiento del agua, para concluir en una fuerte disminución del agua disponible para las plantas.

Entre los trabajos de reafectación, no sólo cabe mencionar la introducción de nuevas especies vegetales para construir ecosistemas simplificados (plantación de arbustos forrajeros), sino también cambios de uso de dichas zonas, para ecoturismo o bien áreas protegidas, una vez recuperadas.

No obstante, no debe olvidarse que, localmente, la rehabilitación puede ser posible dependiendo de las potencialidades de los sistemas ecológicos, cuya distribución espacial conlleva condiciones ecológicas a veces enmarcadas por la aridez. Esta es una característica de las zonas áridas en las que la "aridez edáfica" es muy desigualmente repartida.

Los dos ejemplos presentados para la caracterización de los sistemas ecológicos (cf IV 1) ilustran los diferentes atributos y por lo tanto las opciones de mejoramiento. Se aprecia también la gran diversidad de ecosistemas presentes en una misma zona, la que en dichos ejemplos corresponde a una misma unidad natural de terreno.

Modelización de la cobertura de leñosos bajos (CLB) y del color de la cobertura mineral

La cobertura vegetal leñosa es un parámetro importante de tener en cuenta para evaluar el estado del medio, especialmente para la estimación del valor pastoral y para la determinación de las fases sucesivas de degradación del medio. El color de la cobertura mineral constituye un indicador, no sólo de la naturaleza del material generador de los suelos, sino también de los fenómenos de erosión (*cf encarte*). Ambos parámetros de la superficie del complejo suelo-vegetación corresponden además, a los que son percibidos en mejor forma por los sensores del satélite. La modelización de estos indicadores permitiría completar el diagnóstico del medio y también proporcionar una herramienta para su seguimiento en el tiempo utilizando los datos satelitales.

Se hizo la modelización espacial de la cobertura leñosa (modelo CLB) y del color de la cobertura mineral, a partir de **análisis estadísticos** entre las variables de terreno y las variables radiométricas SPOT. Se construyeron modelos a nivel de los sitios; la aplicación de estos modelos en el seno de la base LIMARI produjo automáticamente una nueva cartografía de ambos indicadores del estado y de la dinámico del medio (*Fig IV 2 .7*).

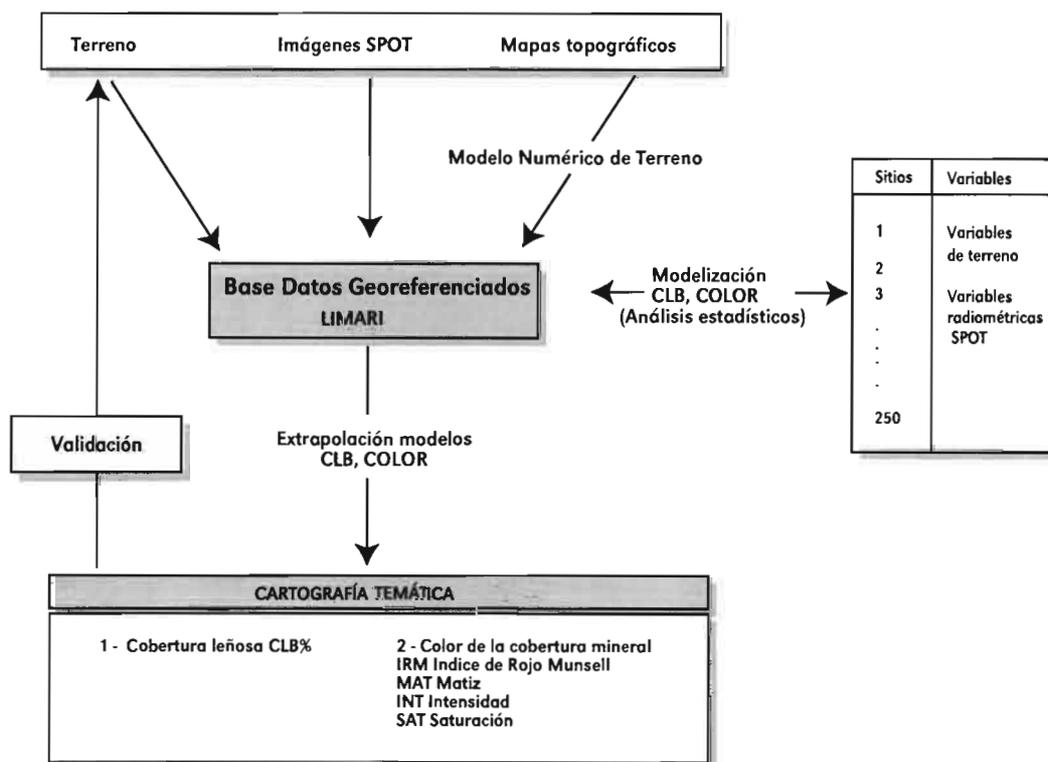


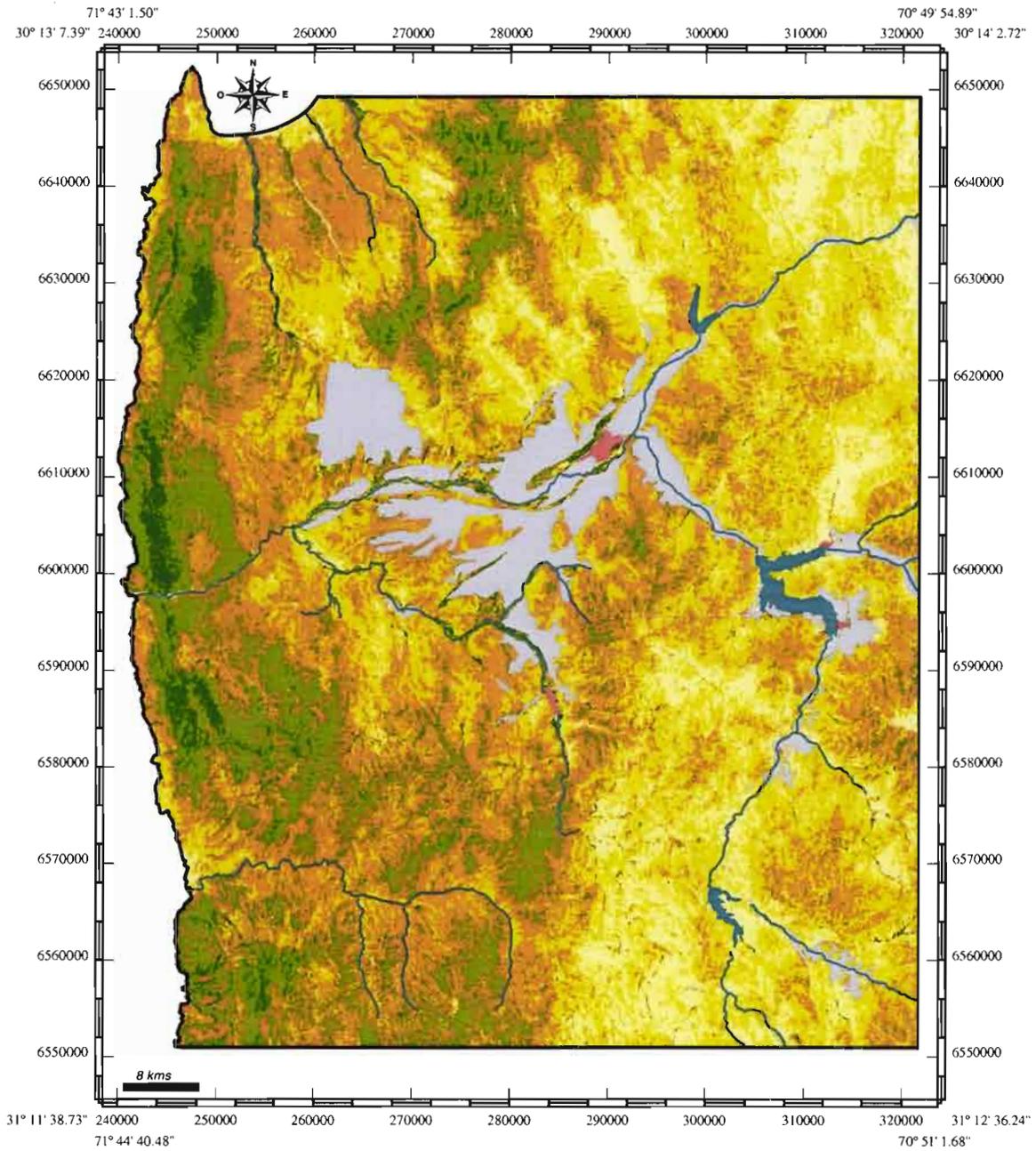
Fig. IV 2.7 Organigrama que muestra la metodología para la modelización espacial de la cobertura vegetal leñosa CLB y del color de la cobertura mineral

La Figura IV 2 .8 presenta las variables de terreno utilizadas para el estudio estadístico. Para corregir el efecto del relieve sobre la iluminación (superficie a la sombra o al sol), se utilizó la variable exposición (EXP) en las ecuaciones de predicción. Se codifica de 1 a 9, los valores más altos corresponden a las exposiciones más asoleadas en el momento del paso del satélite. Este método de corrección se inspira en trabajos de Horvath et al. (1984).

| VARIABLES | SÍMBOLO | DESCRIPCIÓN | CODIFICACIÓN |
|--------------------|----------|--|--|
| Topografía | PEN | pendiente | 1=0% 2= 1 a 5% 3= 5 a 15% 4= 15 a 50% 5= > 50% |
| | EXP | exposición | 5= plano 1=suroeste 3= oeste y sur 5= noroeste y sureste 7= norte y este 9= noreste |
| Vegetación | CVT | cobertura vegetal total | Σ (CLA, CLB, CHR, CSU) |
| | CLA | leñosos altos | % de la superficie total |
| | CLB | leñosos bajos | % de la superficie total |
| | CHR | herbáceos | % de la superficie total |
| | CSU | suculentas | % de la superficie total |
| MAN | mantillo | % de la superficie total | |
| Superficie mineral | CMT | cobertura mineral total | Σ (AFR, PED, TFI) |
| | AFR | afloramiento rocoso | % de la superficie |
| | PED | pedregosidad | Σ (BLO, PIE, GRA, GVI) |
| | BLO | bloques (>25 cm) | % de la superficie total |
| | PIE | piedras (25 a 7.5 cm) | % de la superficie total |
| | GRA | gravas (7.5 a 2 cm) | % de la superficie total |
| | GVI | gravillas (2 a 0.2 cm) | % de la superficie total |
| | TFI | tierra fina (<2 mm) | Σ (COS, COP, PAR, AGR) |
| | COS | costra | % de la superficie total |
| | COP | coprolitas | % de la superficie total |
| | PAR | estructura particular | % de la superficie total |
| | AGR | agregados y terrones | % de la superficie total |
| | COLOR | MUNSELL | color promedio |
| | MAT | matiz o tano (Hue) | 10 R=0,1 2,5YR=2,5 5YR= 5 7,5YR= 7,5 10YR=10 2,5Y= 12,5 |
| | INT | intensidad o claridad (Value) | 1, 2, ..., 8 |
| | SAT | saturación (Chroma) | 0, 1, 2, ..., 8 |
| | IRM | índice de rojo Munsell (Torrent et al.,1983) | $IRM = \frac{(12,5-MAT) * SAT}{INT}$ |

Fig. IV 2.8 Las variables del terreno

MODELO COBERTURA LEÑOSA (CLB)



LEYENDA

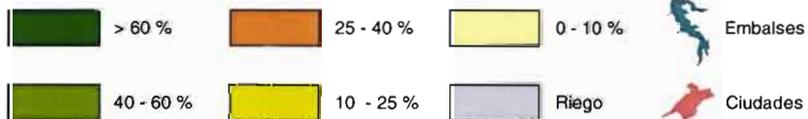


Fig. IV 2.9

Las variables SPOT (Fig IV 1.7) son principalmente los índices radiométricos: índice de brillo IBS, índice de vegetación IVS e índice de rojo IRS.

En primer lugar, se realizó un análisis estadístico simple (correlación) para identificar las variables de terreno que influyen significativamente la información espectral, y que son, por lo tanto, susceptibles de ser seguidas modelizadas (Pouget et al., 1995). Las regresiones paso a paso son utilizadas para modelizar las variables de terreno seleccionadas en función de las variables radiométricas. La calidad de estos modelos de predicción es estimada considerando la fracción de la varianza de la variable independiente que ellos explican.

Los modelos generados son finalmente aplicados a las imágenes en el seno de la base LIMARI, con el fin de espacializar las variables de interés. Se producen nuevas cartas temáticas y son validadas con una nueva verificación en el terreno.

❖ **Cobertura de leñosos bajos (CLB)**

Los 69 sitios descritos en el estudio sincrónico terreno-imagen (oct-nov. 1992) fueron utilizados para la modelización de los leñosos bajos. A partir de variables de terreno, se calcularon modelos de predicción de los datos SPOT, como es el caso de los índices IBS e IVS.

$$\begin{aligned}
 \text{IBS} &= 3,31 \text{ EXP} - 0,35 \text{ CLB} + 0,72 \text{ BLO} + 99,92 \\
 r &= 0,674; R^2 = 0,454 \\
 \text{EXP} &= 20,7\%, \text{ CLB} = 15,9\%; \text{ BLO} = 8,8\% \quad (p < 0,05)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{IVS} &= 0,26 \text{ CLB} + 0,17 \text{ CHR} - 0,75 \text{ IRM} + 141,37 \\
 r &= 0,816; R^2 = 0,666 \\
 \text{CLB} &= 38,2\%; \text{ CHR} = 23,1\%; \text{ IRM} = 5,3\% \quad (p < 0,05)
 \end{aligned}$$

La fracción de la varianza predicha (R^2), varía de 45 hasta 67 % ($p < 0,05$).

Los dos modelos mostraron que la contribución de la cobertura de vegetación leñosa es importante y se acompaña de un efecto inverso. Por su estructura vertical, la vegetación arbustiva induce un efecto de rugosidad que tiende a disminuir el IBS (fenómeno de sombras). Por el hecho de estar todavía verde, induce un efecto de "actividad clorofílica" que, por el contrario, tiende a aumentar el IVS.

Con respecto al IBS, hay que destacar la influencia determinante de la exposición EXP. Esto muestra la necesidad de tomar en cuenta el relieve en este tipo de medio. Los bloques BLO juegan el rol de verdaderos "espejos" para reflejar la luz y aumenta el IBS.

El estrato herbáceo CHR, en gran parte seco al momento de la toma de vista satelital, interviene positivamente sobre el IVS, pero de manera menos pronunciada que el CLB. Por el contrario, la influencia de la cobertura mineral se manifiesta a través del IRM que tiende a disminuir el IVS.

Por lo tanto, es posible modelizar la cobertura de leñosos bajos CLB, invirtiendo los modelos de regresión precedentes. CLB pasa a ser la variable dependiente, los índices radiométricos y la exposición, pasan a ser las variables independientes. Se obtiene así el modelo de regresión para la predicción de la cobertura en leñosos bajos.

$$\begin{aligned}
 \text{CLB mod\%} &= 1,52 \text{ IVS} + 2,8 \text{ EXP} - 0,43 \text{ IBS} - 172,78 \\
 r &= 0,72; R^2 = 0,519 \\
 \text{IVS} &= 38,2\%; \text{ EXP} = 9,4\%; \text{ IBS} = 4,3\%, \quad (p < 0,05)
 \end{aligned}$$

Se nota la fuerte contribución del índice de vegetación IVS, 38,2% sobre 51,9% de la varianza que se explica.

Aplicando en cada punto de la imagen la ecuación precedente, fue posible calcular el porcentaje de leñosos bajos (CLB mod%) sobre el total de la zona de estudio. La figura (Fig. IV2.9) da un ejemplo de la espacialización de CLB modelizado a partir de las imágenes SPOT. Se distinguieron 5 clases de cobertura, según los rangos (0-10%; 10-25%; 25-40%; 40-60%; 60-100%), y permiten localizar las zonas de baja cobertura vegetal que corresponden, generalmente, a un fuerte nivel de degradación del complejo suelo-vegetación.

Con el fin de validar este modelo, una vuelta al terreno permitió describir 33 nuevos sitios y medir dichas variables (CLB med%). La comparación de los CLB med% y de los CLB mod% da un resultado altamente significativo ($r=0,84$; $R^2=0,7$; $P<0,01$). Sin embargo, el modelo tiende a subestimar el CLB cuando el índice de brillo es particularmente elevado, como es el caso de los suelos formados sobre rocas graníticas muy claras (dioritas cuarcíferas). Desde este punto de vista, sería interesante probar el SAVI (Soil Apuned Vegetation Index) de Huete (1988) para corregir la influencia del suelo.

En cambio, el modelo tiene tendencia a sobreestimar el valor de CLB en ciertos sectores de la franja costera, más especialmente, los campos de cereales y las vertientes de exposición sur, en que la vegetación herbácea no estaba totalmente seca en el momento de la toma de vista, el 29 de octubre de 1992. En este mismo sector costero se constata también, la sobreestimación de CLB para los matorrales con alta densidad de suculentas, tales como la bromeliácea *Puya chilensis*, muy verde en esta fecha. El modelo concierne, en realidad, la vegetación arbustiva en el sentido amplio, incluyendo el conjunto del estrato leñoso (leñosos bajos y leñosos altos) y del estrato de las especies suculentas (cactáceas y bromeliáceas).

❖ *Color de la cobertura mineral*

Durante la segunda campaña de terreno, en 1993 y 1994, se muestrearon 74 nuevos sitios, los que sirvieron de base a la modelización del color de la cobertura mineral. Este estudio ha considerado tres casos, en función de la cobertura vegetal total que constituye un factor importante para ocultar la parte mineral de la superficie del complejo suelo-vegetación: $CVT < 40\%$, $CVT = 40-60\%$, $CVT > 60\%$.

Se obtienen los modelos siguientes:

CVT 0 - 40% (44 sitios)

$$IRS = 2,504 IRM - 0,363 AFR + 50,798 \quad (1)$$

$r = 0,763$; $R^2 = 0,583$
 $IRM = 52,5\%$; $AFR = 5,8\%$ ($p < 0,05$)

CVT 40 - 60% (15 sitios)

$$IRS = 2,235 IRM + 0,584 AFR + 51,124 \quad (2)$$

$r = 0,738$; $R^2 = 0,545$
 $IRM = 40,3\%$; $AFR = 14,2\%$ ($p < 0,05$)

CVT 60 - 100% (15 sitios)

$$IRS = -0,11 CLB + 58,618 \quad (3)$$

$r = 0,532$; $R^2 = 0,283$ ($p < 0,05$)

En los modelos (1) y (2), se nota la importancia de la cobertura mineral, y más especialmente del índice de rojo Munsell (IRM), para explicar la varianza del índice de rojo SPOT (IRS) medido por el satélite. Se obtienen modelos sensiblemente equivalentes con el matiz (MAT) y la saturación (SAT), que están correlacionados, más o menos estrechamente, con el IRM (Fig. IV 2.10).

| VAR | IRM | MAT | INT | SAT |
|-----|----------|--------|--------|-----|
| IRM | 1 | | | |
| MAT | -0,921** | 1 | | |
| INT | -0,374* | 0,387* | 1 | |
| SAT | 0,414* | -0,137 | 0,338* | 1 |

DDL 67 ** $P<0,01$ * $P<0,05$

Fig.IV 2.10 Correlación entre las variables expresando el color de la cobertura mineral, IRM y parámetros Munsell.

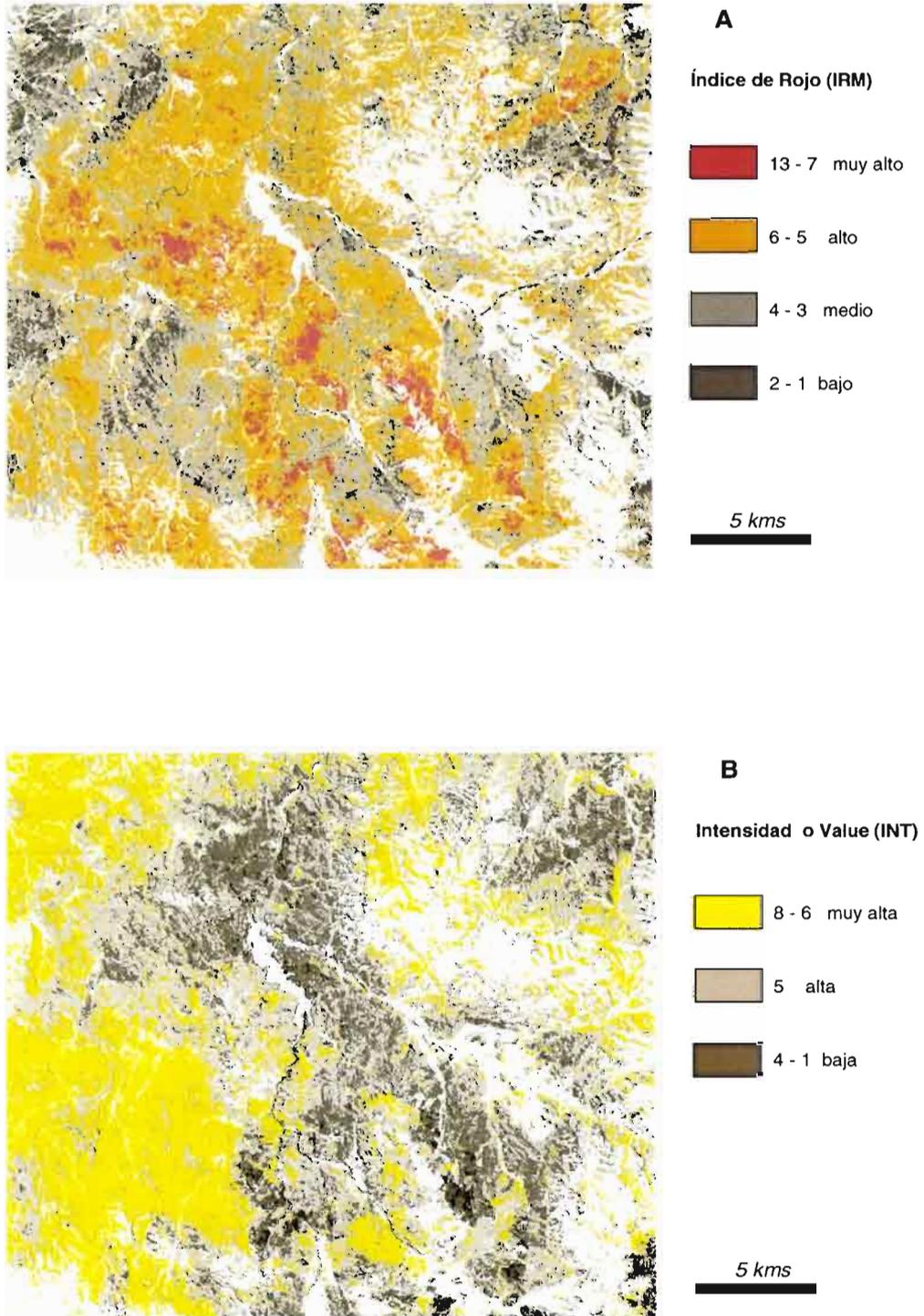


Fig. IV 2.13 Color de la cobertura mineral
(Región de Combarbolá).

Puede parecer sorprendente que la variable AFR (afloramiento rocoso) interviene en sentido opuesto en los dos modelos. Esto se relaciona con una característica litológica particular de la zona de estudio. En efecto, en los medios más degradados, los afloramientos rocosos dominantes son rocas friables de color grisáceo (andesíticas) contribuyendo a disminuir el IRS. En los medios menos degradados (CVT > 40%), las rocas más coherentes y más coloreadas contribuyen a aumentar el IRS.

El modelo (3) muestra que, si la cobertura vegetal total CVT sobrepasa 60%, el IRS está en relación con la cobertura de leñosos bajos. En este caso, el IRS modeliza el color verde de la vegetación explicando el coeficiente negativo para el CLB.

En definitiva, estos resultados confirman los ya obtenidos sobre los 60 sitios del estudio sincrónico (Pouget y al., 1995). El satélite no percibe el color del suelo si la cobertura vegetal sobrepasa 60 %. Para una cobertura de la vegetación comprendida entre 40 y 60 %, el color del suelo empieza a marcar de manera importante la señal registrada por los sensores de los satélites. Esto está globalmente de acuerdo con la literatura sobre este tema. Sin embargo, el umbral de percepción de la cobertura pedológica es elevado y se explica por la estructura de la vegetación. Los leñosos bajos, en particular, poseen un crecimiento en matos, que deja grandes espacios vacíos donde se expresa la cobertura mineral que, en esta región, presenta características espectrales muy variadas ligadas a una gran diversidad de color y de composición mineralógica (Pouget et al., 1994). Basta con ver la riqueza de los colores de las composiciones falso color. Para una cobertura vegetal total comprendida entre 40 y 60 %, convendría precisar las respectivas influencias del suelo y de la vegetación.

Igual que para el modelo CLB, la inversión de los modelos precedentes conduce a una modelización del color de la cobertura mineral. El índice IRM y los tres parámetros Munsell, pueden así estimarse a partir de los índices radiométricos SPOT (Fig IV 2.11). Los modelos obtenidos son menos sólidos, en especial para INT y SAT, donde menos del 40 % de la varianza se explica. Para IRM y MAT el índice de rojo SPOT (IRS) juega un rol determinante.

| | Modelos de regresión | Coef. cor. | % de varianza (p<0,05) |
|-------------------------------|--------------------------------------|---------------------|------------------------|
| IRM Índice de Rojo Munsell | IRM = 0,1815 IRS - 7,2808 | r=0,68 R2=0,467 | IRS=46,7% |
| MAT Matos | MAT = -0,27 IRS + 0,254 IVS - 14,494 | r=0,706 R2=0,498 | IRS=37,2% IVS=12,6% |
| INT Intensidad | INT = 0,036 IBS + 0,087 IVS - 12,145 | r=0,615 R2=0,378 | IBS=20,7% IVS=17,1% |
| SAT Saturación | SAT = 0,102 IVS + 0,052 IRS - 15,083 | r=0,5 R2=0,25 | IVS=17% IRS=8% |

Fig. IV 2.11 Los modelos de regresión de los datos SPOT como predicción del color del suelo (IRM, MAT, INT et SAT) para CVT < 40% (44 sitios)

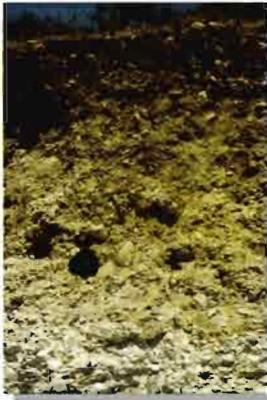
| VAR | IRM med | MAT med | INT med | SAT med |
|---------|----------|---------|---------|---------|
| IRM mod | 0,878** | | | |
| MAT mod | -0,797** | 0,749** | | |
| INT mod | -0,164 | 0,196 | 0,443* | |
| SAT mod | 0,625* | -0,465* | 0,077 | 0,67** |

DDL 16 **P<0,05 *P<0,01

Fig. IV 2.12 Coeficientes de correlación entre los valores medidos y modelizados de los parámetros Munsell para 18 sitios (CVT < 40%).

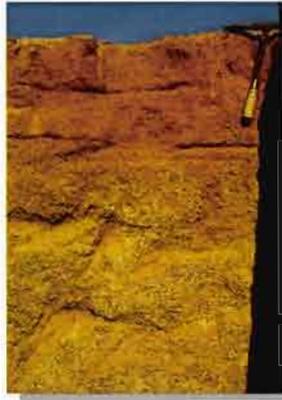
Los valores medidos en el terreno para los sitios del estudio sincrónico (CVT < 40%) fueron utilizados para la validación de los modelos. La comparación de los valores medidos (IRM med, MAT med, INT med, SAT med) y de los valores modelizados (IRM mod, MAT mod, INT mod, SAT mod) proporcionan correlaciones más o menos significativas (Fig 2.12). Para INT la correlación es menos sólida. La estimación del INT sobre el terreno no toma en cuenta ni la topografía, ni la micro y meso rugosidad de la superficie, que son factores determinantes para el IBS.

Estos modelos permiten calcular los valores estimados de los parámetros color de la cobertura mineral, y por lo tanto, crear cuatro nuevos canales (IRM, MAT, INT, SAT), aplicando a cada pixel de la imagen las ecuaciones de regresión. Es necesario hacer una máscara de la imagen para considerar sólo las zonas en que la cobertura vegetal es inferior a 40% (Pouget et al., 1995).



M.J. Pouget®

• Suelo pedregoso de la terraza aluvial del río Limori.



M.J. Pouget®

• Suelo arenoso sobre roca granítica leucocrática (diorita cuarcífero con biotita), al norte de Ovalle.



M.J. Pouget®

• Suelo franco-arenoso a franco sobre roca granítica máfica (tonalita a anfíbala y piroxeno), lomajes y serranías de la costa.



M.J. Pouget®

• Suelo arcilloso sobre roca granítica máfica (monzodiorita con mucho anfíbala y piroxeno), al oeste de Punitaqui.



M.J. Pouget®

• Suelo franco sobre roca andesítica, al sur de Monte Patria.

LOS COLORES DE LA COBERTURA MINERAL



M.J. Pouget®

• Color muy claro con cuarzos (maicillo), sobre diorita cuarcífero (INT muy alta).



M.J. Pouget®

• Color gris sobre andesita (IRM muy bajo).



M.J. Pouget®

• Color gris-verdoso sobre andesita con alteración propilítica (IRM muy bajo).



M.J. Pouget®

• Color morado sobre andesita (IRM medio).



M.J. Pouget®

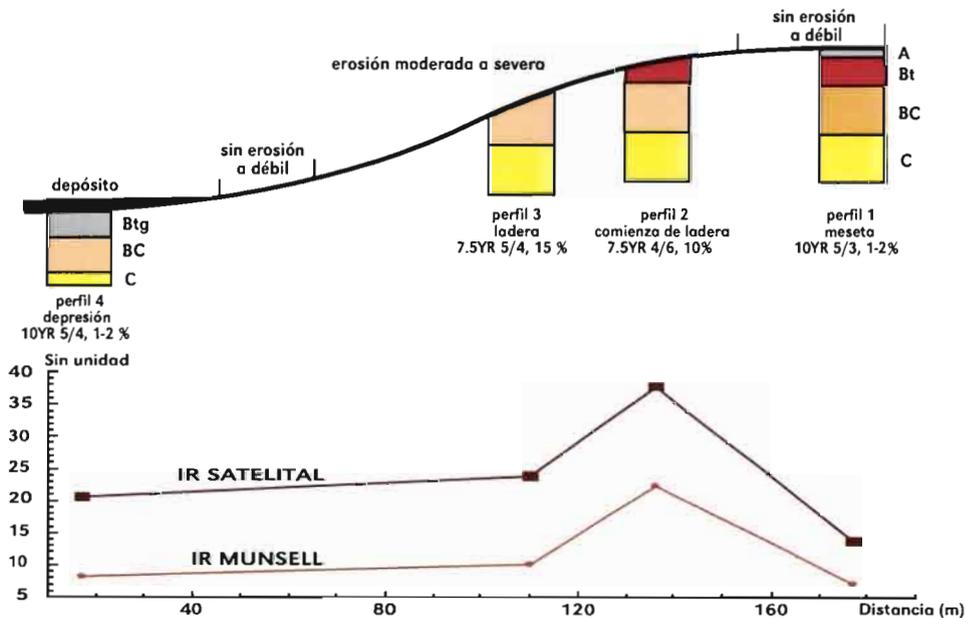
• Color muy rojo sobre roca volcánica con alteración hidrotermal orgánica y hematítica (IRM muy alto).

COLOR DEL SUELO Y CARTOGRAFIA DE LA EROSION HIDRICA

A nivel de la Cordillera de la Costa de Chile, entre 33° y 38° de Latitud Sur, el examen de perfiles típicos de suelos graníticos (Haploxerolf, Hapludolt) muestra variaciones marcadas del color, especialmente de la claridad y del Índice de Rojo Munsell (Torrent et al, 1983). Estos cambios simulan el efecto potencial de la erosión laminar sobre las características pedológicas del horizonte de superficie. Traducen el efecto combinado de las modificaciones verticales del contenido de materia orgánica, óxidos de hierro (hematita, gaeita) y de la proporción de los minerales primarios (fracción arenítica, cuarzo, feldspatos, láminas de mica).

La información espectral disponible a nivel de los captoreos satelitales SPOT XS o Landsat TM, se muestra eficaz para modelar el sistema color en su conjunta; esto gracias a cuatro índices simples: el Índice de Matiz, el Índice de Claridad, el Índice de Saturación y el Índice de Rojo (Escadafal y al., 1989, 1994; Mathieu y al., 1996). Estos indicadores radiométricos son, por lo tanto, susceptibles de aportar una información valioso para ayudar a la cartografía de la intensidad de la erosión difusa a partir de datos satelitales.

La figura presentada a continuación muestra, a modo de ejemplo, la pertinencia del Índice de Rojo para detectar la denudación del horizonte Bt, rico en óxidos de hierro, a lo largo de una toposecuencia de alfisoles naturalmente erosionados (Cordillera de la Costa, Leyda, V° Región). El Índice de Claridad, complementario, discrimina las superficies más severamente erosionados aunque reflejan fuertemente la luz. Esta propiedad debe ser relacionado con la formación de un pavimento de erosión bajo el efecto de una erosión más intensa, es decir, con la acumulación progresiva de residuos de roca, más y más gruesos, en la superficie del suelo.



En la región del embalse de Cogotí y de Comabarbalá, por ejemplo (Fig. IV 2 - 2.6 Lámina color A4), los índices de rojo IRM más altos corresponden a las áreas con alteración hidrotermal enriquecidas en hematita. Los índices IRM más bajos se refieren a coberturas minerales de color gris más o menos oscuro: dioritas cuarcíferas o algunas rocas andesíticas poco afectadas por la alteración hidrotermal. La carta del parámetro Intensidad (o Value de Munsell), permite individualizar las rocas graníticas leucocráticas (dioritas cuarcíferas) con superficies muy claras. En cambio, las superficies muy oscuras destacan las rocas andesíticas y algunos tipos de alteración hidrotermal (brechas muy enriquecidas en hematita).

❖ *Posibilidades de aplicación de los modelos*

Estos modelos empíricos pueden ser adaptados a otras fechas. El modelo CLB se aplica a los datos SPOT del 19 de diciembre de 1987, pues esta imagen corresponde al mismo período del año (principio de la estación seca), tan húmeda como el año 1992. En esta fecha el estrato de leñosos bajos está aún verde. Una comparación de las imágenes del 92 y del 87 permite localizar los cambios más notables de la cobertura arbustiva, en relación con los desmontes recientes para cultivos o con plantaciones de arbustos forrajeros. La aplicación de modelos color a los datos SPOT de diciembre de 1987 se puede hacer en las mismas condiciones. Algunos cambios, de uno o de otro parámetro color, son susceptibles de tener alguna significación en la evolución de los estados de superficie y, por lo tanto, de la dinámica de los ecosistemas.

A otros sensores de alta resolución espacial como Landsat Thematic Mapper, puede aplicarse la metodología propuesta.

Además, este tipo de estudio sincrónico terreno-imagen puede ser realizado en otras épocas del año para modelizar otros parámetros importantes del estado del medio, que se manifiestan sólo al principio del período seco. De este modo, un recurso pastoral particularmente importante, como la vegetación herbácea, podría ser estudiado programando una toma de datos satelitales en período invernal (julio, agosto), en el momento del desarrollo óptimo de este tipo de vegetación.

❖ *Conclusión*

El estudio terreno-imagen muestra que los índices radiométricos (IVS, IBS e IRS), construídos sin correcciones particulares, a partir de tres canales brutos, integran lo esencial de la información espectral contenida en las imágenes SPOT. Estos índices son fundamentales para la interpretación de los datos satelitales, ya que cada uno de ellos está en estrecha relación con ciertas características específicas del complejo suelo-vegetación. Este trabajo subraya así, la importancia del análisis de las relaciones entre el terreno, su composición y los datos espectrales para extraer una información más rica de los datos SPOT. Los principales parámetros del complejo suelo-vegetación que SPOT es susceptible de percibir han sido identificados y modelizados:

- con respecto a la vegetación, se ha establecido un modelo empírico para determinar con precisión la superficie cubierta por la vegetación arbustiva a partir de datos SPOT. Esta espacialización precisa la distribución en el paisaje de un atributo clave de la estructura de los sistemas ecológicos en zona árida. La cobertura vegetal leñosa es, en efecto, uno de los parámetros esenciales para la caracterización del estado del complejo suelo-vegetación. Es utilizado en el modelo de susceptibilidad de los suelos a la erosión (cf IV 2 -3) y de una manera más general, para la caracterización y el seguimiento de los fenómenos de degradación y de desertificación.
- con respecto al color de la cobertura mineral (para cobertura vegetal inferior a 40%), se han establecido modelos empíricos para determinar y espacializar los parámetros del color Munsell (hue, croma, value, índice de rojo) a partir de datos SPOT. Estas variables aportan una información importante sobre la naturaleza y el estado del horizonte superficial (composición mineralógica, estructura superficial, pedregosidad) e indirectamente, sobre el estado del complejo suelo-vegetación. Estos modelos constituyen una ayuda eficaz para el estudio de las formaciones superficiales en zonas áridas.

Estos modelos empíricos contribuyen de manera importante a optimizar la interpretación de los datos satelitales y, por lo tanto, a su utilización en la caracterización y el seguimiento de los fenómenos de degradación y de desertificación. La cobertura arbustiva y el color de la cobertura mineral constituyen indicadores importantes de la dinámica espacio-temporal de los ecosistemas de la zona árida, que se pueden extraer de los datos satelitales.

Es necesario recordar que esta aplicación, concierne a un millón de hectáreas y subraya el valor real de los datos satelitales de alta resolución espacial para dirigir una tarea fundamental de gestión ambiental.

COLOR DEL SUELO E INDICES RADIOMETRICOS

El color de los suelos es un parámetro pedológico de síntesis esencial, directa y fácilmente accesible en el terreno. Interviene como criterio de clasificación, revela la presencia de ciertos constituyentes (ej. óxidos de hierro, materia orgánica), indica el desarrollo de procesos natural o de degradación antrópica que afectan el suelo (ej. salinización, erosión) y denuncia, a veces, la naturaleza del sustrato geológico o el tipo de alteración de las formaciones superficiales (Latz et al., 1984, Mougnot et al., 1993; Bigham y Ciolkosz, 1993, Pouget et al., 1994). En la ciencia del suelo el color es tradicionalmente estimado por la comparación visual de una muestra de suelo con las pastillas de la tabla de color Munsell, organizadas en función de la intensidad o claridad (Value), del matiz (Hue) y de la saturación (Chroma) (Munsell Color Co., 1975). Dicho método encuentra limitaciones, por una parte, en la discretización de la información que ella condiciona y, por otra, en una cierta parte de subjetividad, ligada al modo de visión humana que dificulta su reproductibilidad (estado de fatiga y calidad de visión del operador).

El color de un objeto es el resultado de un fenómeno físico que constituye el propósito de una ciencia, la colorimetría. La sensación de color que cada uno de nosotros percibe está determinada por la conversión psicosensoorial, efectuada por el sistema ojo-cerebro, de la energía reflejada por un objeto en el visible (380 a 770 nm) y por una iluminación dada (Wyszecki y Stiles, 1982; Mac Adam, 1985). Los espectros de reflectancia recolectados a partir de un equipo, tal como un espectroradiómetro, permite así, obtener una medida precisa y reproducible del color calculada según uno de las dos grandes familias de representación colorimétrica existentes: el sistema CIE basado en los tres colores primarios Rojo, Verde, Azul, o el sistema Helmholtz, desarrollado según las nociones de claridad, de matiz y de saturación (Torrent y Barrón, 1993).

La aplicación de los principios básicos de la colorimetría a la teledetección espacial de la cobertura pedológica, ha llevado a la definición de índices radiométricos simples que permiten modelizar el sistema color utilizado por los pedólogos. Estos índices se construyen sobre la base de la información espectral disponible a nivel de los principales satélites de observación de la tierra, tales como SPOT o Landsat TM (Salmon-Drexler, 1977, Escadafal et al., 1989; Pouget et al., 1991; Madeira, 1993, Escadafal et al., 1994, Mathieu et al., 1996). Se trata del Índice de Claridad, del Índice de Matiz y del Índice de Saturación. Un índice sintético del color completo este sistema tridimensional, el Índice de Rojo. Para ciertos suelos tropicales y templados, este índice está estrechamente ligado al contenido de hematita (Torrent et al., 1983; Madeira, 1993).

La medida directa de la reflectancia en terreno con un espectroradiómetro portátil posee la enorme ventaja de integrar los diferentes componentes elementales del estado de superficie. Es posible generar una información sintética del color de una combinación de terrones, de costras, de gravas y/o de afloramientos rocosos, que sería difícil obtener por otros métodos. Este tipo de medida se compara más fácilmente con la información extraída de las imágenes satelitales.

Representación conceptual de los índices de color

En esta representación conceptual el espectro electromagnético se divide en tres colores primarios: azul (400-500 nm), verde (500-600 nm) y rojo (600-700 nm)

$$I \text{ Claridad} = \frac{\sqrt{AZUL^2 + VERDE^2 + ROJO^2}}{3}$$

$$I \text{ Matiz} = \frac{((2 * ROJO) - VERDE) - AZUL}{VERDE - AZUL}$$

$$I \text{ Saturación} = \frac{(ROJO - AZUL)}{ROJO}$$

$$I \text{ Rojo} = \frac{ROJO^2}{AZUL * VERDE^3}$$

Susceptibilidad de los suelos a la erosión (SURO)

El estado actual de la erosión se conoce localmente a nivel de los sitios y también a través de los sistemas ecológicos, que integran parcialmente este parámetro.

La susceptibilidad de los suelos a la erosión es un parámetro importante para precisar la dinámica de los ecosistemas en el futuro. Además sirve en la búsqueda de opciones que lleven a una utilización más armoniosa de los suelos y de la vegetación.

Se propone generar un modelo cualitativo de susceptibilidad a la erosión (SURO) y proveer un diagnóstico de los riesgos de erosión en la provincia del Limarí, a escala regional (1:250 000).

Las observaciones de terreno a nivel de los sitios, conducen a describir los fenómenos de erosión y establecer una tipología de su intensidad; dicha tipología es empleada para modelizar el estado del complejo suelo-vegetación CSV.

A escala regional, tres grupos de factores condicionan el inicio y desarrollo de la erosión:

- Los factores edáficos, que incluyen la posición topográfica, especialmente la pendiente, y las características de los suelos. Las fuertes pendientes y las texturas gruesas constituyen, por ejemplo, factores muy favorables para la erosión. Las rocas duras, consolidadas, son difícilmente erosionadas, mientras que las blandas lo son fácilmente.
- La vegetación, juega un rol protector bien conocido, especialmente el de la vegetación perenne que cubre el suelo durante todo el año; en cambio, la cobertura herbácea anual o los cultivos dejan el suelo desnudo y desprotegido cierto tiempo, especialmente, cuando en agricultura de secano se emplea el barbecho (práctica agrícola consistente en arar el suelo a la salida del invierno del año anterior a la siembra, dejando totalmente descubierto el suelo).
- Las características climáticas, que intervienen principalmente a través de la intensidad de las precipitaciones y que condicionan los fenómenos de escurrimiento y de erosión.

❖Elaboración del modelo SURO

En la Figura IV 2.13 se esquematiza la metodología general empleada para generar el modelo de susceptibilidad a la erosión (Alvarez et al, 1996).

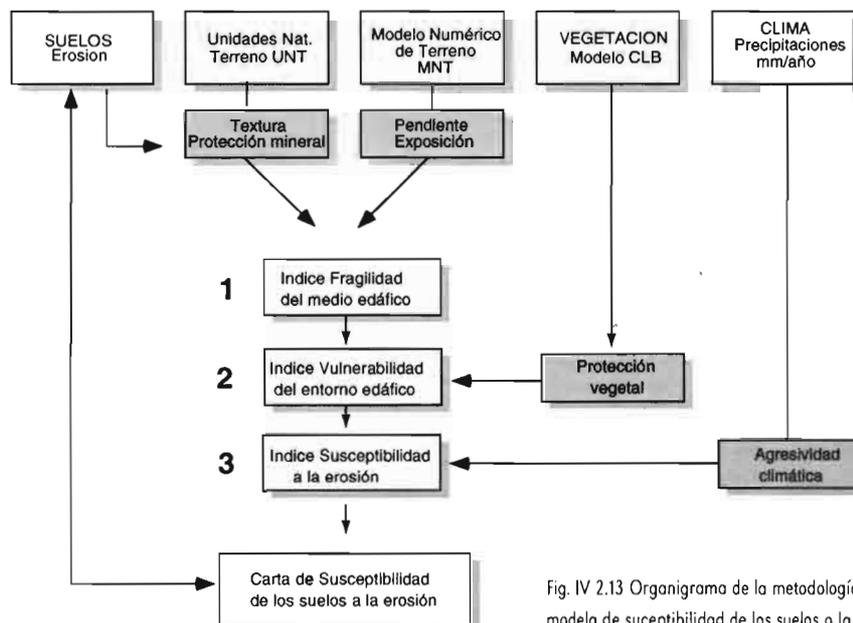


Fig. IV 2.13 Organigrama de la metodología para generar el modelo de susceptibilidad de los suelos a la erosión

En primer lugar se estableció una base de reglas a través de 3 tablas cruzadas combinando los tres principales factores ya mencionados. Tomando como base las observaciones de terreno y la bibliografía, se ordenaron las notas para calificar la capacidad de tal o cual factor que favorece o limita la erosión. Luego se procedió a la espacialización del fenómeno a partir del cruzamiento de los distintos planos previamente generados, obteniéndose un mapa de susceptibilidad de los suelos a la erosión.

Tabla cruzada 1: Unidades Naturales de Terreno (UNT) / Pendiente.

En las casillas de cruce se representa **la fragilidad del medio edáfico** con un índice que va de 1 a 5, es decir, desde los suelos menos frágiles a los más frágiles, respectivamente (Fig. IV 2.14).

Para cada UNT, las dos principales características del suelo tomadas en cuenta, son la **textura** y el rol protector de la **pedregosidad**. Esta protección mineral corresponde al porcentaje de bloques y de piedras presentes en la superficie del suelo. Las otras dos características del suelo, profundidad y reservas de agua útil, aportan solamente una información complementaria sobre el contexto edáfico (Fig. IV 2.15).

| CARACTERÍSTICAS | SUELOS | CLASES |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| Protección mineral PMIN | baja protección | <15% |
| | moderada protección | 5-30% |
| | alta protección | >30% |
| Profundidad PROF | muy poca profunda | <20cm |
| | poca profundo | 20 a 40cm |
| | moderadamente profundo | 40 a 60 cm |
| | profundo | 60 a 100cm |
| | muy profundo | >100cm |
| Retención de agua útil RAU | muy baja | 0 a 40mm |
| | baja | 40 a 80mm |
| | moderada | 80 a 120mm |
| | alta | 120 a 160mm |
| | muy alta | >180mm |

Fig. IV 2.15 Características de los suelos y clases correspondientes

Se consideró 4 categorías de pendiente, teniendo en cuenta valores umbrales con alguna significación temática. También se consideró necesario distinguir entre exposiciones orientadas hacia el norte y hacia el sur, a partir de pendientes superiores al 15%.

Esta tabla, al estar referida espacialmente a unidades ya integradas en el SIG, constituye una cartografía inmediata.

Tabla cruzada 2: Fragilidad del medio edáfico / Protección vegetal

Se confrontó las 5 clases de fragilidad del medio edáfico con las 4 clases de cobertura de los leñosos bajos (protección vegetal), generándose un índice de **vulnerabilidad potencial del medio edáfico** que va de 1 a 5, desde los suelos más vulnerables a los menos vulnerables, respectivamente (Fig. IV 2.16).

| | | Protección vegetal (clases de cobertura leñosos bajos CLB) | | | |
|--|---|---|-------------|-------------|------------|
| | | 1 < 10% | 2 10-25% | 3 25-40% | 4 > 40% |
| Índice de fragilidad del medio edáfico | 1 | 3 | 2 | 1 | 1 |
| | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 |
| | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 |
| | 4 | 5 | 4 | 3 | 3 |
| | 5 | 5 | 5 | 4 | 3 |

Fig. IV 2.16 Índice de Vulnerabilidad del entorno edáfico, en 5 clases (desde 1 muy poco, hasta 5 muy alto)

| UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS MAYORES (UGM) | LITOLOGÍA | UNIDADES NATURALES DE TERRENO | | | | PENDIENTE % | | | | |
|--|----------------------------------|---|--------------------------|----------------------------|----------------------------------|-----------------------------|---------|-----|--------|-----|
| | | CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SUELOS | | | | 5-15 % | 15-30 % | | > 30 % | |
| | | TEXTURA | PROFUNDIDAD | RESERVA AGUA UTIL | PROTECCIÓN MINERAL | | Norte | Sur | Norte | Sur |
| DUNAS LITORALES DUNAS ANTIGUAS | Arenas | Arenosos | Moderada a profunda | Escasa | Nula | Sectores con erosión eólica | | | | |
| TERRAZAS SED. MARINA | Depósitos marinos | Arenosos | Moderada | Escasa | Nula | 2 | 4 | 3 | 5 | 4 |
| TERRAZAS ABR. MARINA | Depósitos continentales | Francosos | Escasa a moderada | Escasa a moderada | Nula | 2 | 4 | 3 | 5 | 4 |
| TERRAZAS ALUVIALES GLACIS | Aluvians y coluvians pedregosos | Francosos | Moderada a profunda | Moderada (alta) | Baja (media a alta) | 1 | 3 | 2 | 4 | 3 |
| LLANURAS MESETA | Graníticas leucocráticas (10-12) | Arenosos (Francosos) | Escasa | Baja | Baja (alta) | 3 | 5 | 4 | 5 | 5 |
| | Andesitas pórfidicas (13) | Francosos | Escasa | Baja a media | Baja a alta | 1 | 3 | 2 | 4 | 3 |
| LOMAGES COSTEROS | Graníticas máficas (8) | Arenosos (aF-Fa=75%) | Escasa (muy poco a mod.) | Baja (muy baja a moderada) | Baja | 2 | 4 | 3 | 5 | 4 |
| | Graníticas leucocráticas (10) | Francosos | Escasa | Baja | Baja | 2 | 4 | 3 | 5 | 4 |
| LOMAGES DEL INTERIOR | Graníticas leucocráticas (10) | Arenosos | Escasa (muy poco prof.) | Baja (muy baja) | Baja, media, alta media = 25% | 3 | 5 | 4 | 5 | 5 |
| | Andesitas y sed. clast. (14-15) | Francosos | Escasa (muy poco prof.) | Baja (muy baja) | Baja, media, alta media = 25% | 2 | 4 | 3 | 5 | 4 |
| CORDILLERA DE LA COSTA Y MORFOLÓGICAS COSTERAS | Rocas metamórficas (6) | Arenosos | Escasa o moderada | Baja a muy baja | Baja | 2 | 4 | 3 | 5 | 4 |
| | Esquistos verdes (7) | Francosos | Escasa a moderada | Moderada a baja | Baja | 2 | 4 | 3 | 5 | 4 |
| | Graníticas maf. y leuc. (8-9) | Franco a arenosos (aF-a) | Escasa | Baja a muy baja | Baja | 2 | 4 | 3 | 5 | 4 |
| | Graníticas leucocráticas (10) | Arenosos (aF) (aF-Fa=70%) | Escasa a moderada | Baja a muy baja | Baja | 2 | 4 | 3 | 5 | 4 |
| | Graníticas máficas (11) | Arcillosos (65%) | Moderada | Moderada | Baja | 1 | 3 | 2 | 4 | 3 |
| CORDILLERA DEL INTERIOR | Andesitas porfidicas (13) | Francosos | Moderada a escasa | Moderada (baja) | Baja | 1 | 3 | 2 | 4 | 3 |
| | Graníticas leucocráticas (10-12) | Aren. (65%) Franc. (35%) (aF-Fa=80%) | Escasa | Baja a muy baja | Baja y alta media = 25% | 2 | 4 | 3 | 5 | 4 |
| CORDILLERA | Andesitas (13-14-15) | Francosos (70%) (aF-Fa=80%) | Escasa (moderada) | Baja (muy baja) | Media | 1 | 3 | 2 | 4 | 3 |
| | Graníticas leucocráticas (12) | Arenosos y francosos (aF-Fa=80%) | Escasa | Baja a muy baja | Baja y alta media=20% | 2 | 4 | 3 | 5 | 4 |
| CORDILLERA | Andesitas (15) | Francosos | Escasa | Baja | Alta | 1 | 3 | 2 | 4 | 3 |

Fig. IV 2.14 Tabla cruzada de Unidades Naturales de Terreno y de Pendiente empleada para definir el índice de Fragilidad del medio edáfico, desde 1 (muy débil) hasta 5 (muy fuerte)

Tabla cruzada 3: Vulnerabilidad potencial del medio edáfico / agresividad climática

A este nivel interesa introducir un **índice de agresividad climática** que "actualiza" la potencial sensibilidad de los medios edáficos frente a la erosión y que permite, por otra parte, llevar a una base comparable medios sometidos a una diferente intensidad de precipitaciones.

En la zona de estudio, la ausencia de información detallada sobre las características de las precipitaciones, impide tener un indicador directo de la intensidad de las lluvias. Por tal motivo, se debió determinar de manera indirecto, un índice de la agresividad climática, a partir de los promedios históricos de las precipitaciones y de las lluvias máximas mensuales en 24, 48 y 72 horas. Se constató que existe una fuerte correlación entre estos dos parámetros, de tal manera que a mayor monto promedio existe una mayor cantidad de lluvia caída en 24, 48 o 72 horas, las cuales a su vez representan buena parte de la precipitación anual. El promedio de precipitaciones puede, entonces, ser tomado indirectamente como un indicador de la intensidad de las lluvias.

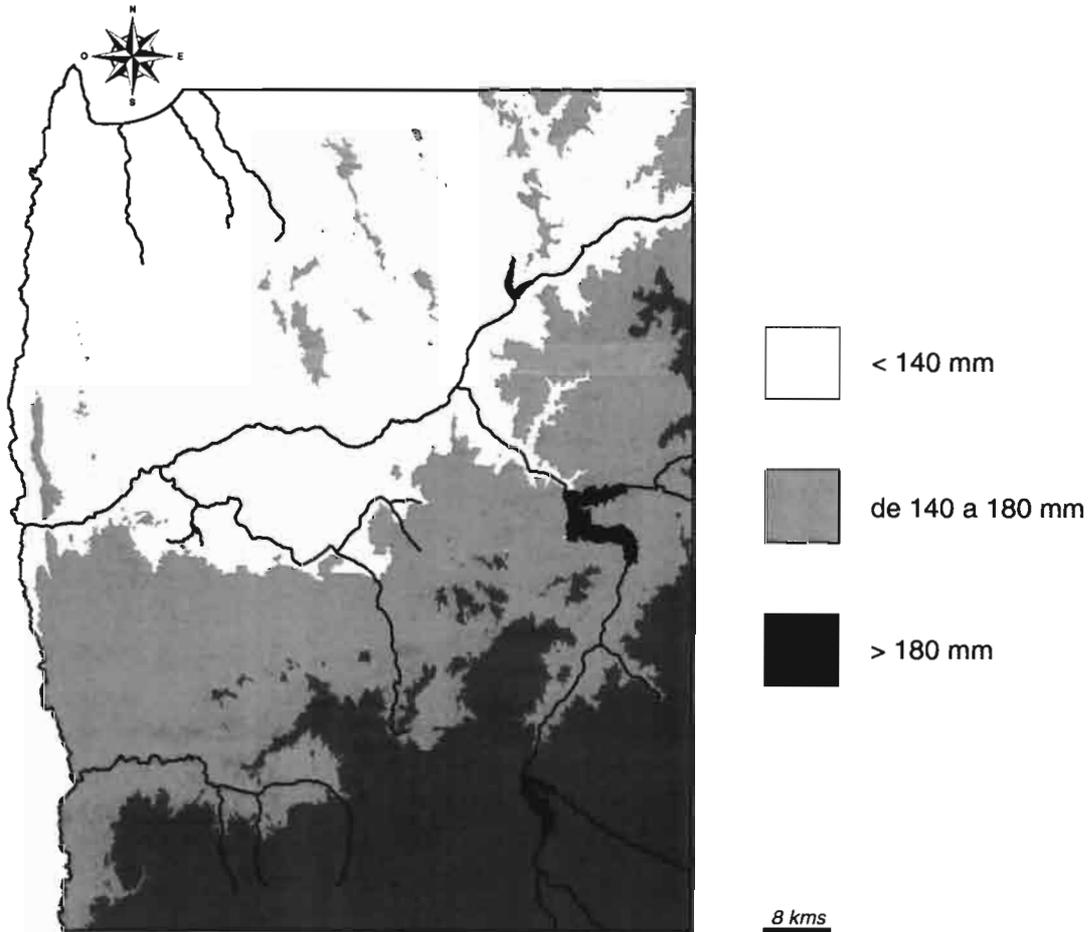
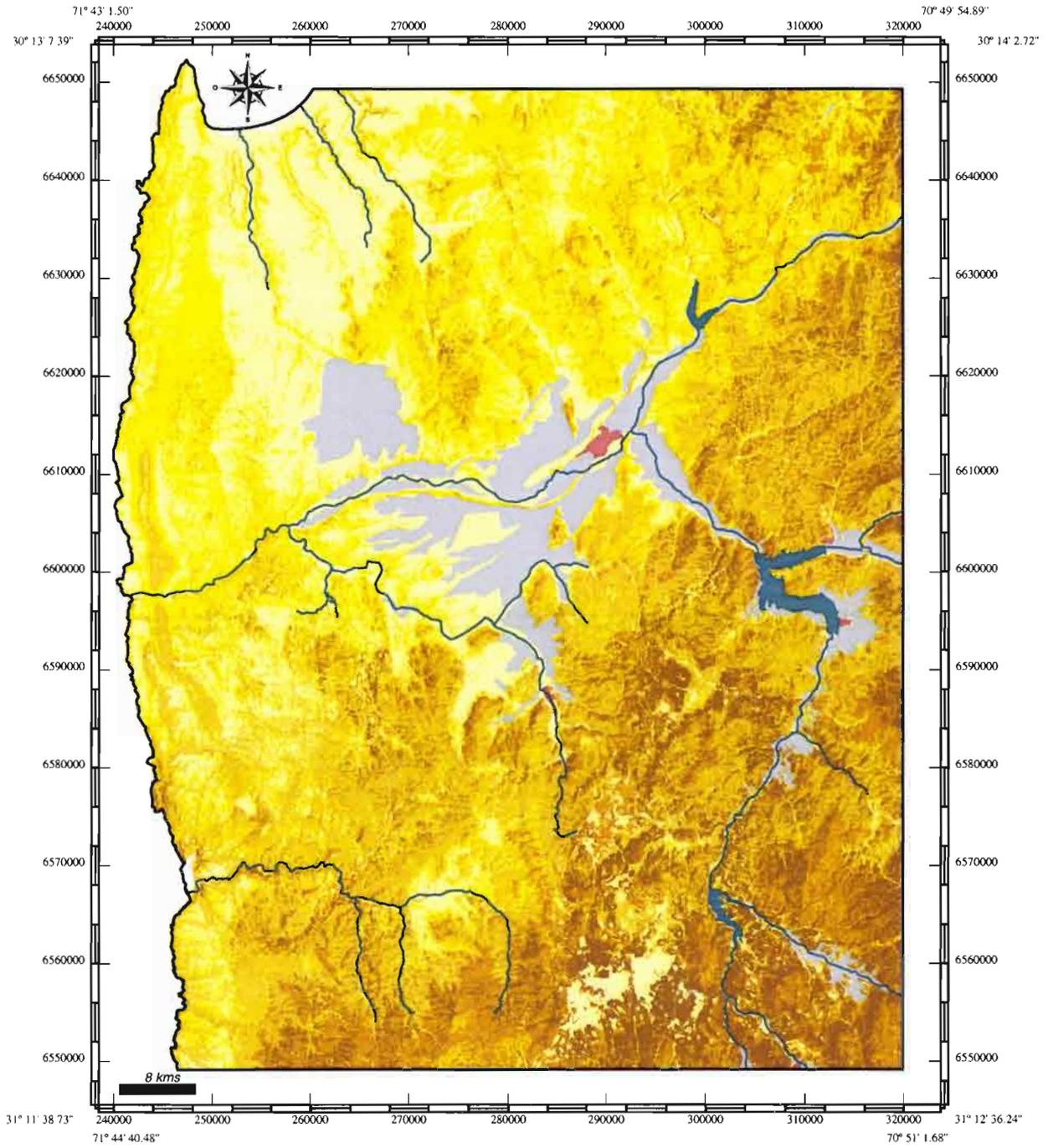


Fig. IV 2.17 Pluviometría

Por ello, a partir de los montos medios de las estaciones pluviométricas, se realizó un modelo de interpolación de precipitaciones, el que constituye un plano más de información dentro de la base de datos (Fig IV 2.17). El plano así generado permitió realizar una espacialización en tres categorías de precipitaciones, cada una de las cuales representa un índice de agresividad climática que va de 1 a 3, vale decir, de la menor agresividad a la mayor agresividad climática, respectivamente (100 a 140 mm; 140 - 180 mm; y > 180 mm).

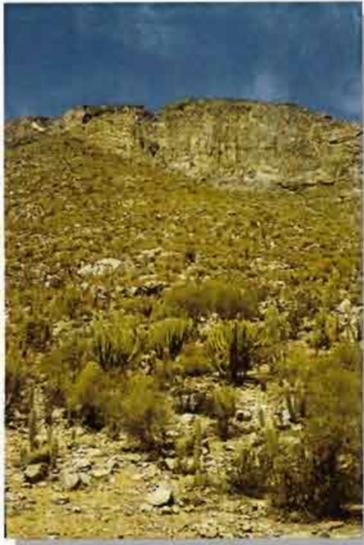
SUCEPTIBILIDAD DE LOS SUELOS A LA EROSIÓN



LEYENDA



Fig. IV 2.19



M.J. Pouget®

• Erosión débil sobre rocas andesíticas. Serranía del interior.



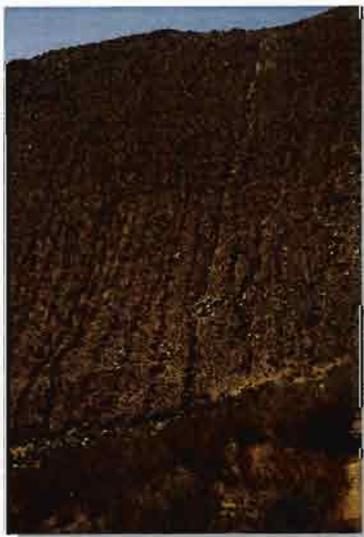
M.J. Pouget®

• Erosión fuerte con surcos, sobre diorita cuarcífero. Ladero norte de serranía castero.



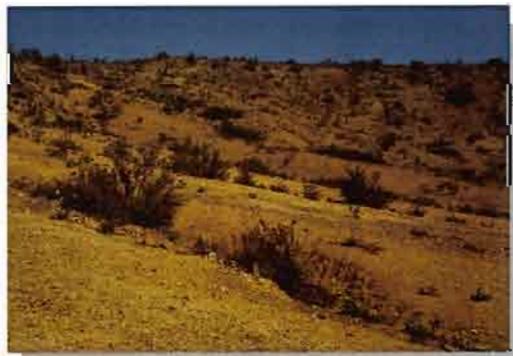
M.J. Pouget®

• Erosión muy fuerte en cárcavas, relacionada con el arado de la "lluvia" en la cumbre de la lama (roca granítica)



M.J. Pouget®

• Erosión muy fuerte en zanjas, relacionada con la pendiente muy fuerte y el tipo de roca (roca granítica).



M.J. Pouget®

• Erosión muy fuerte en zanjas sobre rocas blandas. Ladera norte de lamajes y serranías del interior.

Con esta información disponible, se confrontó en tablas cruz las clases de vulnerabilidad potencial del medio edáfico con las tres clases de agresividad climática, generando finalmente el índice de susceptibilidad a la erosión que va desde la clase 1 a la 5, es decir, desde los suelos más susceptibles a aquellos menos susceptibles, respectivamente (Fig. IV 2.18).

| | | Agresividad climática | | |
|--|---|-----------------------|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 |
| Índice de vulnerabilidad del entorno edáfico | 1 | 1 | 1 | 2 |
| | 2 | 1 | 2 | 3 |
| | 3 | 2 | 3 | 4 |
| | 4 | 3 | 4 | 5 |
| | 5 | 4 | 5 | 5 |

Fig. IV 2.18 Tabla cruzada de Vulnerabilidad del entorno edáfico y de agresividad climática, empleada para definir el Índice de Susceptibilidad de los suelos a la erosión en 5 clases (desde 1 muy débil hasta 5 muy alto)

| Sus. Ero (ERO) / Terreno \ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | % de buena correspondencia |
|----------------------------|------|------|------|------|------|----------------------------|
| 1 | 73 | 3 | 21 | 0 | 2 | 76 |
| 2 | 29,2 | 22,9 | 21,9 | 9,6 | 15 | 74 |
| 3 | 19,1 | 19,9 | 28,4 | 16,1 | 15,3 | 64 |
| 4 | 10,4 | 14,7 | 22,5 | 22,9 | 26,8 | 72 |
| 5 | 5,5 | 8,2 | 12,3 | 16,4 | 57,5 | 74 |

Fig. IV 2.20 Confrontación de la erosión observada en terreno v/s las clases de susceptibilidad del modelo

❖ Mapa de susceptibilidad de los suelos a la erosión

A continuación, utilizando los planos previamente generados, se extrapoló el producto de las tablas cruz al conjunto del área estudiada, obteniéndose de este modo, un **mapa de susceptibilidad de los suelos a la erosión** (Fig. IV 2.19)

Para comprobar la validez del modelo propuesto se comparó, a nivel de los sitios descritos, el grado de correspondencia entre las clases de intensidad de erosión observada en terreno y las clases de susceptibilidad a la erosión calculadas.

Luego, en forma global, se cuantificó cómo se repartía cada clase de erosión observada en terreno (ERO) dentro de las clases de susceptibilidad a la erosión (SURO), en términos de porcentaje del área (Fig. IV 2.20).

Para interpretar los resultados hay que tener presente varios aspectos. Primeramente, que si bien existe bastante relación entre erosión observada en terreno y susceptibilidad a la erosión, no se trata exactamente del mismo fenómeno y por ello, no corresponde esperar una equivalencia total entre ambos. En forma adicional, debe recordarse que los límites de las clases responden a un juicio cualitativo y, por eso, la correspondencia entre ellas, una a una, es aproximada, por lo que es normal cierto grado de traslape entre las mismas. Finalmente, siempre hay algún error en la precisión cartográfica, que puede inducir cierto grado de confusión. Tomando estos factores en cuenta, y debido a que el interés es detectar si se marca una tendencia en el comportamiento de los sitios, se consideró que una clase de erosión observada en terreno, se sitúa, ya sea, al mismo nivel (categoría) de susceptibilidad a la erosión o, aproximadamente, al interior de más o menos una clase de ésta última.

Las cifras indican que las clases de erosión observadas en terreno (en 250 sitios), se encuentran correctamente definidas en clases de susceptibilidad a la erosión, en alrededor de un 70% de su área. El 30% donde no se observa una buena correspondencia, puede explicarse por otro motivo, además de las razones ya señaladas.

En efecto, al realizar una calificación de la erosión de terreno según la intensidad y densidad de los rasgos observados, no se puede discernir sistemáticamente si se trata de signos actuales o históricos. Por lo tanto, un

elemento que corresponde afinar es la verificación en terreno donde debe conocerse mejor la historia de los sitios o bien, tratar de calificar al sitio en términos de una susceptibilidad a la erosión evaluada en terreno. A la luz de los resultados obtenidos, se puede considerar que el modelo propuesto marca suficientemente bien las tendencias de los riesgos de erosión y puede ser utilizado para fines de diagnóstico.

❖ *Posibilidades de seguimiento de la erosión a través del modelo*

La eficacia del enfoque cualitativo propuesto se basa, en buena medida, en la estratificación del espacio de manera de definir correctamente límites o puntos de quiebre del paisaje edáfico. Estos límites, como señalan King y Delpont (1993), separan unidades según la acción similar del escurrimiento y de la erosión y tienen la ventaja, una vez que han sido reconocidos, de ser constantes y, por lo tanto, reproducibles con la ayuda de un modelo numérico de terreno, imagen satelital, cartas geológicas y/o pedológicas.

Estas "unidades de erosión", aunque pueden ser afinadas, han sido ya bastante bien caracterizadas en este trabajo (geomorfología, litología, atributos de suelo, pendiente, exposición) y constituyen un buen marco espacial para realizar seguimientos de la erosión. Lo que corresponde a continuación es pesquisar la evolución de la susceptibilidad a la erosión al interior de estas unidades.

El objetivo señalado implica detectar los cambios que se producen sobre sus estados de superficie como respuesta a variables antrópicas o climáticas, pues estas alteraciones pueden modificar fuertemente el comportamiento hídrico en medios áridos, como ha sido largamente comentado por diversos autores (Escadafal, 1989; Floret et al, 1990; Mathieu et al, 1993; Pouget et al, 1990).

En este trabajo, considerando la escala (1: 250.000) y la superficie cubierta, lo importante fue modelizar un elemento de la superficie del suelo que fuera suficientemente sensible a los cambios y que marcara una tendencia fundamental en términos de aumento o disminución de los riesgos de erosión. En tal sentido, la espacialización de la cobertura de especies leñosas bajas, a través del modelo utilizado en este trabajo, resultó un indicador apropiado para este tipo de seguimiento.

Otras fracciones de la superficie del suelo, como la pedregosidad, pueden considerarse constantes, en tanto que la tierra fina (costra, agregados orgánicos), es más bien escasa en el área de estudio y además, sus aumentos o disminuciones de superficie se relacionan bien con aumentos o disminuciones de la cobertura vegetal.

En todo caso, es necesario y conveniente actualizar periódicamente la información de suelos, sobre todo, de algunos indicadores sensibles, como el tenor de materia orgánica o la textura superficial. Por otra parte, sería de utilidad, para afinar el método propuesto, incorporar la espacialización de la cobertura herbácea, a través de una metodología terreno-imagen similar a la utilizada para la estrata arbustiva, pero considerando una fecha distinta. Finalmente, dado que el modelo para caracterizar la cobertura arbustiva se relaciona fundamentalmente con vegetación activa, su fiabilidad resulta significativamente superior en año húmedo, cuando esta cobertura expresa mejor su potencial; en caso contrario, puede subestimarse una cobertura arbustiva presente, pero menos vigorosa. El seguimiento de la susceptibilidad a la erosión, después de años lluviosos resulta acertado, pues si se tiene presente la persistencia de los ciclos de sequía, que según Santibáñez et al (1994) van de 3 a 8 años, se constata que existen largos períodos en que los daños por erosión son prácticamente nulos.

El modelo cualitativo generado, a juzgar por los resultados obtenidos, puede ser una buena herramienta para evaluar la erosión en la provincia del Limarí, en relación a enfoques determinísticos, tales como la ecuación universal de la erosión (Wischmeier y Smith, 1978) o la revisión de ésta (Renard et al, 1991), los cuales cuantifican pérdidas de suelo. Este tipo de estudios puede ser de gran utilidad cuando existe un control y conocimiento del conjunto de parámetros que intervienen y cuando la naturaleza de la erosión se aproxima al contexto ambiental en el cual las ecuaciones han mostrado su validez. En ausencia de este conocimiento, como ocurre en muchos casos, se está llamado a asumir los valores de los parámetros, lo cual, por una parte, es de difícil verificación y, por otra, a escala regional puede encerrar un alto riesgo de error.

3 Un balance negativo

La cartografía de los indicadores del estado del medio permite localizar los fenómenos de degradación de la vegetación y de erosión de los suelos. Se dispone así, de los elementos necesarios para establecer un balance del estado del medio. Los estados del CSV sintetizan la degradación del complejo suelo-vegetación; el estado de la cobertura leñosa (CLB) y el modelo de susceptibilidad de los suelos a la erosión (SURO), expresan ciertos aspectos de la fragilidad del medio.

Las comunidades agrícolas en el secano

En primer lugar, se comparó el estado del medio del conjunto de las comunidades agrícolas con el de otras formas de tenencia. Las 809.600 hectáreas de la zona de estudio, se dividen en 312.000 hectáreas ocupadas por 73 comunidades agrícolas y 442.000 hectáreas ocupadas por las grandes haciendas y algunos agricultores individuales (parceleros). Las 52.400 hectáreas de riego y las 3.200 hectáreas de terrenos urbanos fueron excluidas del estudio. La superposición de esta partición del secano con la cartografía de los diferentes indicadores, permite una comparación del estado del medio entre estos dos grupos.

Las clases I y II del CSV, correspondientes a las zonas menos degradadas, representan el 20 % de la superficie de las comunidades agrícolas, contra 33 % en el resto del secano.

La casi totalidad del espacio (87 %) en que las pendientes son inferiores a 30 %, se encuentra en estado degradado a muy fuertemente degradado (Clase III y IV-V del CSV) para las comunidades agrícolas, contra 77 % para el resto del secano (Fig. IV 3.1). Hay que notar, sin embargo, que el porcentaje de las zonas muy degradadas (clase IV y V del CSV) varía de simple a doble entre las comunidades agrícolas y los demás sistemas de tenencia. Por el contrario, en los terrenos cuyas pendientes son superiores a 30 %, se constata que el medio natural está mejor preservado.

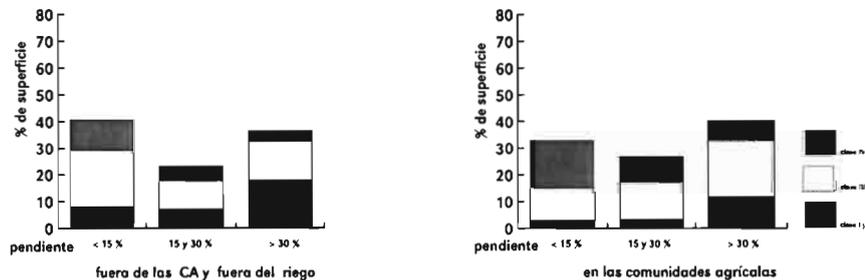


Fig. IV 3.1 Distribución del CSV según la pendiente en el secano

La cobertura leñosa modelizada (CLB) es menos densa en las comunidades agrícolas que en el resto del secano. Las zonas denudadas (CLB < 10 %) representan el 20 % de la superficie de las comunidades agrícolas, contra solamente el 9 % en los demás sistemas de tenencia de secano. A la inversa, las zonas con cobertura leñosa densa (CLB > 40 %) representan solamente el 14 % en las comunidades agrícolas y 30 % en la grandes haciendas (Fig. IV 3.2).

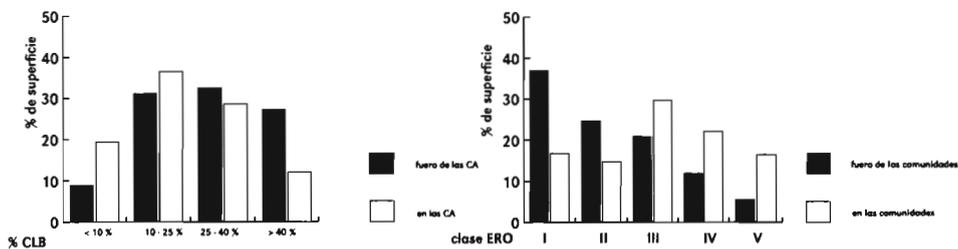


Fig. IV 3.2 Distribución del CLB en el secano

Fig. IV 3.3 Distribución del SURO en el secano

La susceptibilidad de los suelos a la erosión, materializada por el índice SURO, es más importante en las comunidades agrícolas que en el resto del secano (Fig. IV 3.3). Las zonas más sensibles (SURO 4 y 5) ocupan una superficie importante en las comunidades agrícolas (39 %), contra solamente 17 % en el resto. Por el contrario, las zonas muy poco sensibles (SURO 1) representan el 17 % en las comunidades agrícolas y 37 % en las grandes haciendas, es decir, menos de la mitad que para el resto del secano.

Un relieve más accidentado (las zonas de pendiente superior a un 15% representan el 72 % del espacio de las comunidades agrícolas, contra un 58 % en el exterior) y un gradiente climático más desfavorable (las comunidades agrícolas están situadas principalmente en el interior y en la precordillera) constituyen factores que limitan las potencialidades agrícolas de las comunidades agrícolas. Además, el hecho que las comunidades agrícolas correspondan a las zonas más densamente pobladas del secano, explica, por una parte, la sobreexplotación del medio natural. Sin embargo, el empleo del porcentaje de superficie (que presenta un estado de degradación dado) que se utiliza en este estudio comparativo, no debe encubrir que la superficie de las zonas degradadas a muy degradadas es más importante en el resto del secano (300.000 ha) que en las comunidades agrícolas (249.000 ha). La degradación del medio natural es un fenómeno que afecta a todo el secano.

Estado del medio de las comunidades agrícolas según la región ecológica

Para comparar el estado del medio entre las comunidades agrícolas, se retuvieron aquellas cuyo territorio está incluido, en su totalidad, en la zona de estudio, eliminándose las comunidades agrícolas que presentaban solo una porción de territorio en la zona de estudio. Las 63 comunidades agrícolas consideradas representan una superficie de 29.4610 hectáreas, y se reparten en las tres regiones ecológicas: costa (72.360 ha), interior (149.494 ha) y precordillera (72.756 ha).

El histograma (Fig. IV 3.4) muestra que la cobertura leñosa es más densa en las comunidades agrícolas situadas en la costa, que en aquellas situadas en las otras dos regiones ecológicas.

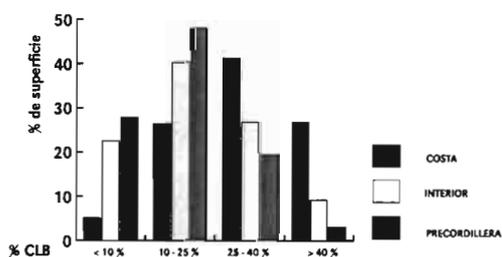


Fig. IV 3.4 Distribución del CLB en las Comunidades Agrícolas

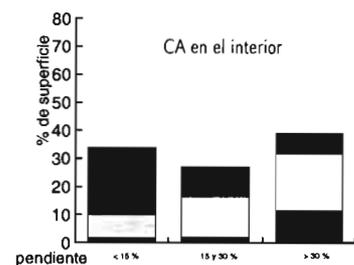
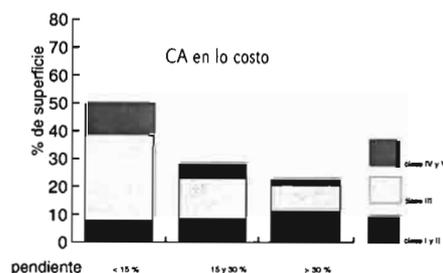
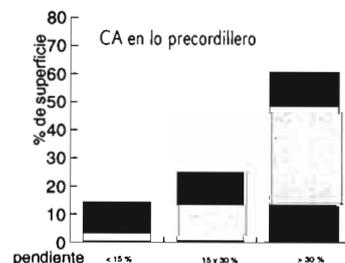


Fig. IV 3.5 Distribución del CSV en las Comunidades Agrícolas según las regiones ecológicas



El estudio del estado del complejo suelo-vegetación se efectuó tomando en cuenta tres clases de pendientes: 0-15 %, 15-30 % y > 30 %. La comparación de los histogramas (Fig. IV 3.5) indica, lógicamente, que las comunidades agrícolas situadas en la precordillera y en el interior están más fuertemente degradadas que las de la costa. En efecto, en las comunidades del interior y de la precordillera, más del 40 % de su territorio se encuentra en estado degradado y muy degradado, correspondiente a la casi totalidad de su zona plana (pendiente < 15%), lo que es aún más inquietante!

Lo anterior se debe principalmente a que la velocidad de cicatrización es mayor en la costa (mejor balance hídrico que en el interior). Por otra parte, históricamente en el interior siempre hubo una mayor población.

Para las comunidades agrícolas de la costa, globalmente más planas, hay que notar la importancia de la clase III, destacando por cierto, una degradación, pero con posibilidades de recuperación (rehabilitación).

Variación del estado del CSV entre las comunidades agrícolas

La carta (Fig. IV 3.6.) es el resultado de la superposición del mapa de las comunidades agrícolas y el del estado del complejo suelo-vegetación. Luego, se calculó el porcentaje de la superficie de las zonas afectadas por una degradación fuerte y muy fuerte (clase CSV IV y V) para cada una de las comunidades agrícolas. Para poder representar cartográficamente el resultado obtenido, el porcentaje se clasificó en cuatro grupos:

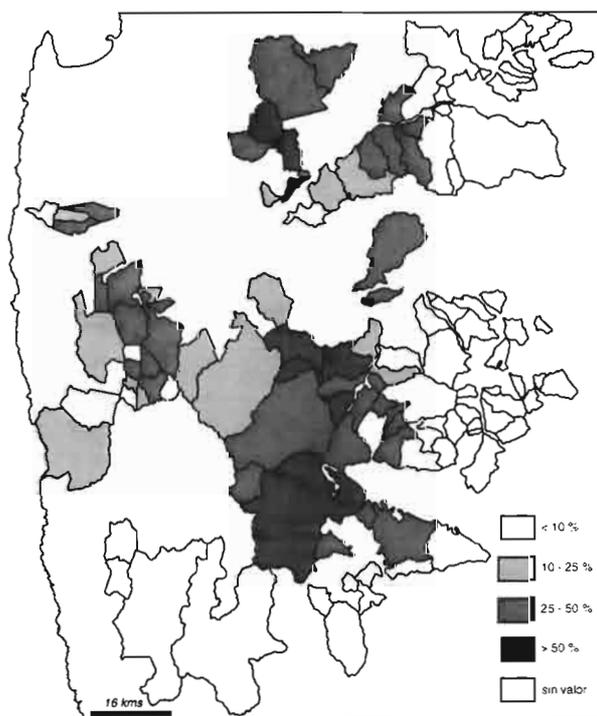


Fig. IV 3.6 Estado del CSV en las Comunidades Agrícolas

- Grupo 1: menos del 10 % de superficie fuertemente degradada;
- Grupo 2: entre 10 y 25 % de superficie fuertemente degradada;
- Grupo 3: entre 25 y 50 % de superficie fuertemente degradada;
- Grupo 4: más del 50 % de superficie fuertemente degradada.

La representación espacial muestra las variaciones del porcentaje de las superficies muy degradadas entre las comunidades agrícolas. Confirma que el clima juega un rol importante en la evolución de la degradación. En efecto, las comunidades agrícolas situadas en la región de la costa, se encuentran en general, menos fuertemente degradadas. Sin embargo, algunas comunidades de la costa, presentan un porcentaje de zona fuertemente degradada, más importante que las comunidades situadas en el interior o en la precordillera. Este hecho traduce simplemente el impacto de la actividad humana sobre el medio natural.

Las cartas (Fig. IV 3.7. y Fig. IV 3.8) miden igualmente la amplitud del fenómeno de degradación en las comunidades agrícolas, pero teniendo en cuenta un parámetro suplementario: la pendiente. La carta (Fig. IV 3.7) indica el porcentaje de zona plana, calificada como fuertemente degradada, con respecto a la superficie total plana de que dispone la comunidad.

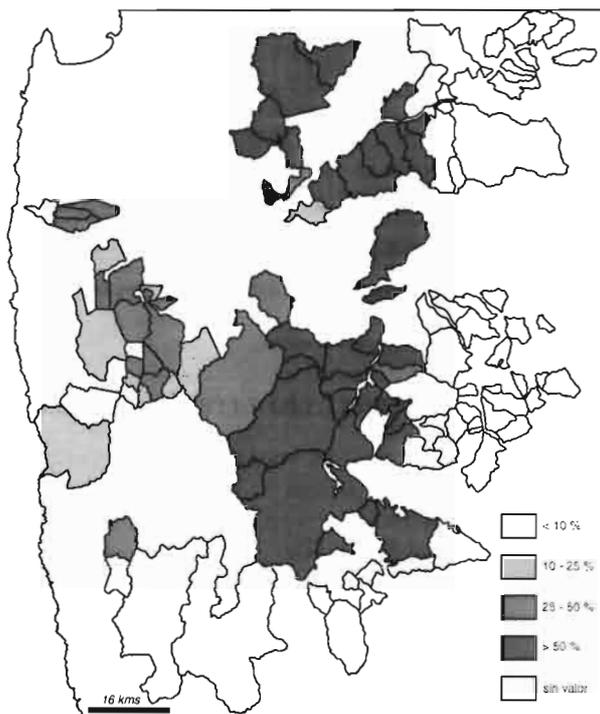


Fig. IV 3.7 Estado del CVS en las Comunidades Agrícolas (zonas con pendiente <15%)

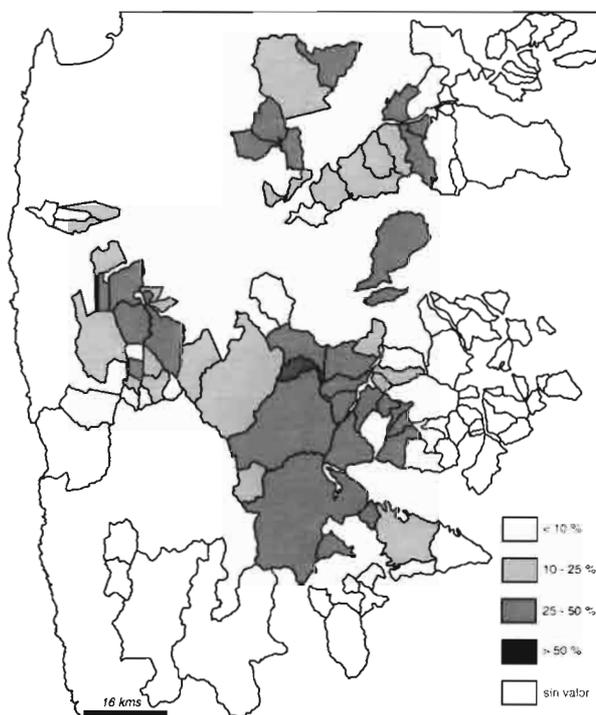


Fig. IV 3.8 Estado del CVS en las CA (zona con pendiente > 15%)

Más de la mitad de las comunidades estudiadas (35 exactamente) tiene más del 50 % de su territorio plano gravemente degradado. Algunas comunidades agrícolas que pertenecen a este grupo, tales como Jimenez y Tapia, Higueritas Unidas, El Espinal San Pedro, tienen más del 90 % de su territorio gravemente degradado.

La carta (Fig. IV 3 8) indica el porcentaje de superficie clasificada como fuertemente degradada para las zonas de pendiente superior a 15 %. Estos terrenos, por ser menos accesibles, sufren una degradación menos importante; algunos hechos, sin embargo, invalidan esta impresión. Primeramente, un número importante de comunidades tienen entre 40 y 50 % de su territorio considerado como fuertemente degradado (clase IV y V del CSV). Enseguida, la carta da sólo una interpretación cuantitativa del fenómeno de la degradación y no una interpretación cualitativa. Efectivamente, la pendiente juega un rol fundamental en el proceso de erosión. La degradación del medio natural, en las zonas cuya pendiente es superior a 15 %, es más fuerte que en las zonas planas.

En una primera etapa en este estudio se comparó las comunidades agrícolas contra el resto del secano. En este contexto, se asocia, rápidamente, el resto del secano a las Haciendas. Sin embargo, existe una fuerte variación entre el uso del suelo y la definición de tenencia de la tierra. El término Hacienda, entrega poca información de cómo funciona la propiedad. Además, no se cuenta con ninguna carta que describa correctamente los límites de los sistemas de tenencia de la tierra, salvo en el caso de las comunidades agrícolas. El censo agrícola de 1997 aportará la información necesaria para realizar un balance más preciso. Esta primera aproximación indica claramente que los territorios situados en las comunidades agrícolas están más degradados que aquellos situados en el resto del secano. Confirma un hecho conocido, pero que no había sido cuantificado nunca antes a nivel de un número importante de comunidades agrícolas. Se nota una gran variación del nivel de degradación entre las comunidades agrícolas y las otras formas de tenencia de la tierra y también, al interior del conjunto de las comunidades agrícolas. Toda el área del secano está particularmente afectada por la sequía que reina desde 1992. De ahí resulta una baja muy importante de la producción agropecuaria, que tiene consecuencias socio-económica graves para las comunidades agrícolas, que son las zonas más densamente pobladas del secano.

V

LA POBLACIÓN DE LIMARÍ

Hace varios siglos que la población de Limarí, confrontada a un medio ambiente poco generoso, lucha por crecer y vivir. Los hombres del Limarí desarrollaron múltiples estrategias (del riego a las migraciones) para mantener el equilibrio entre la población y los recursos. Pero en la zona árida el equilibrio siempre está debilitado por la escasez de los recursos.

❶ LOS HABITANTES DEL LIMARÍ

La población de la provincia de Limarí, entre 1982 y 1992, experimentó un débil crecimiento (1,2% anual). Este crecimiento se repartió de manera desigual. Si la tasa de crecimiento urbano, 2,36 % es positiva, la del espacio rural es negativa. En el espacio rural el sector irrigado conoció un crecimiento anual de su población muy débil (0,5 %), mientras que en el secoano perdió el 12 % de su población en 10 años. Los 141.551 habitantes de la provincia en 1992 tienen una edad media de 28,3 años, y son, en promedio, 2 años más viejos que los 126.437 habitantes de 1982, pero son un año más jóvenes que el conjunto de la población chilena.

Una estructura particular de la población

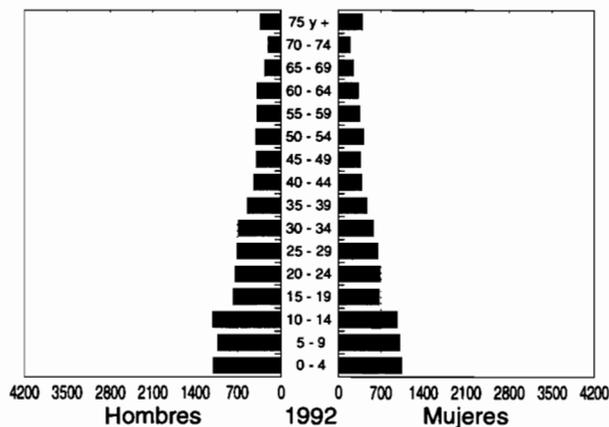
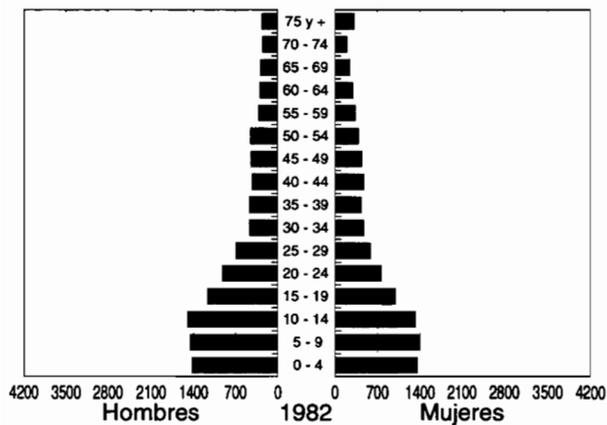
Los índices agrupados en la Fig. V 1.1 muestran que la estructura de la población de la provincia es netamente diferente a la de la población chilena, y relativamente original.

Fig. V 1.1 Indicadores de la estructura de la población. Censos 1982 y 1992.

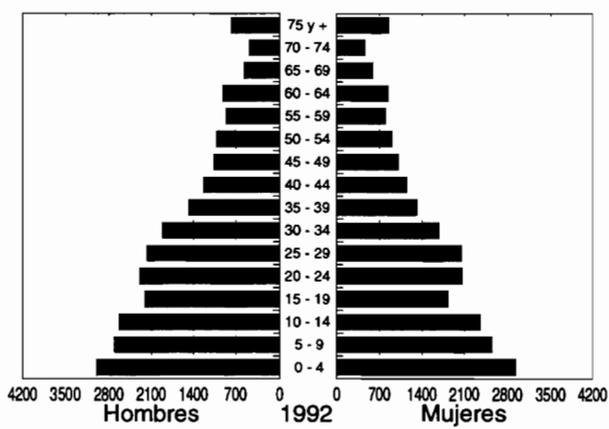
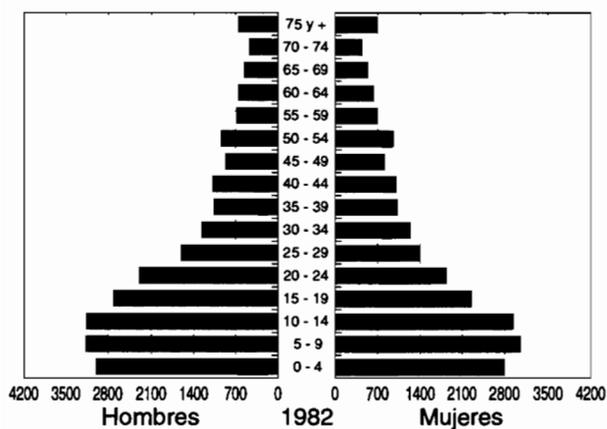
| INDICES | DEPENDENCIA | VEJEZ | JUVENIL | MASCULINIDAD |
|-------------|-------------|-------|---------|--------------|
| CHILE 1982 | 56 | 22 | 42 | 96 |
| 1992 | 55 | 26 | 40 | 96 |
| LIMARÍ 1982 | 87 | 22 | 62 | 99 |
| 1992 | 78 | 26 | 53 | 98 |
| SECANO 1982 | 103 | 26 | 68 | 107 |
| 1992 | 89 | 38 | 52 | 108 |
| RIEGO 1982 | 96 | 26 | 64 | 108 |
| 1992 | 80 | 34 | 50 | 108 |
| URBANO 1982 | 75 | 17 | 58 | 89 |
| 1992 | 73 | 19 | 56 | 89 |

A los movimientos naturales de la población (fecundidad y mortalidad) que dan forma generalmente a esta estructura, se superponen, en el caso de Limarí, movimientos migratorios intensos y complejos.

SECANO



RIEGO



URBANO

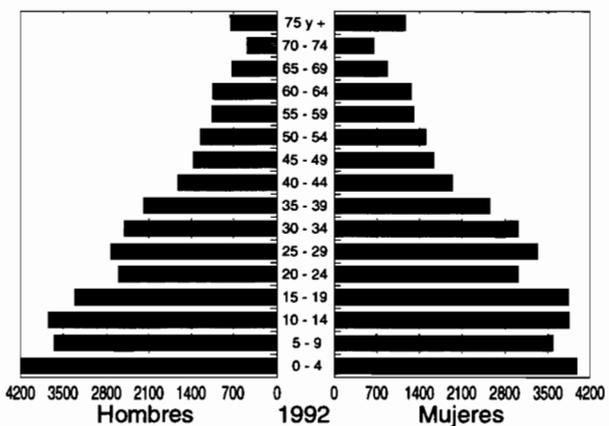
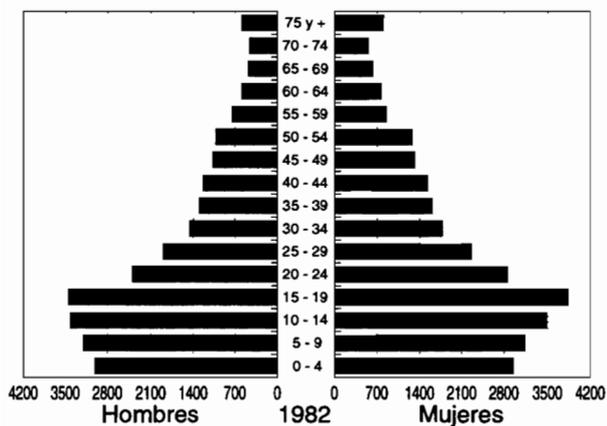


Fig V 12

El índice de dependencia, expresa el número de personas en edades "dependientes" (menores de 15 años y adultos mayores de 65 años) por cada 100 personas en edades "económicamente productivas" (15-64 años). El de la provincia, a pesar de una baja importante entre 1982 y 1992, es 55% más alto que para el conjunto de la población chilena. Es característico de una población en el inicio de la transición demográfica, mientras que Chile se sitúa actualmente en la fase final de la transición. La muy débil reducción de este índice en el medio urbano no está para nada ligada a una fecundidad más elevada en la ciudad, sino a una generalización de la educación secundaria, que desde los 12 años lleva a los jóvenes rurales hacia los internados de los colegios de las ciudades.

El índice de vejez, expresa el número de adultos mayores (65 años y más) por cada 100 jóvenes (0-14 años), es, por el contrario, exactamente igual en 1982 y 1992, al de la población chilena. La diferencia, ya importante en 1982 para este índice entre lo urbano y lo rural, se ha amplificado en 1992. La población de la provincia en 1992 cuenta con 9 % de personas con más de 65 años contra sólo un 7 % para el conjunto de Chile. El riego y el secano, con 11% y 13% respectivamente de 65 años y más, conoce un envejecimiento rápido de su población. El índice de vejez es semejante sólo en apariencia, ya que disfraza la ausencia, a causa de la migración, de los adultos en edad de trabajar.

El índice juvenil, expresa el número de jóvenes (0-14 años) por cada 100 personas de 15 años y más, es netamente superior al de Chile, pero tiende a aproximarse. De la misma manera, la diferencia entre lo rural y lo urbano se reduce y las ciudades han llegado a ser más jóvenes que los campos.

El índice de masculinidad, expresa el número de hombres por cada 100 mujeres, es estable en el tiempo y ligeramente más alto que la media nacional. La diferencia entre lo urbano y lo rural es menos importante que para el conjunto de Chile, a causa de una tolerancia muy grande que tienen las comunidades agrícolas de esta región hacia las madres solteras (Saenz, 1986).

Los datos del censo no permiten calcular directamente un índice de fecundidad. Pero se ha podido calcular el número medio de niños nacidos vivos de mujeres de 14 años y más, que es un buen indicador de la fecundidad (INE, 1992). El número medio de niños nacidos vivos de mujeres de más de 14 años ha bajado en 35 % para la provincia de Limarí, pasando de 4,9 a 2,9 niños por mujer entre 1982 y 1992. Esta baja de 1,6 niños por mujer en media, ha reducido la importante diferencia que existía entre el conjunto de Chile y Limarí en 1982 (respectivamente 2,6 y 4,5 en 1982, contra 2,4 y 2,9 en 1992). La baja de la fecundidad ha sido mucho más tardía para la provincia de Limarí, pero tiende a alcanzar rápidamente el nivel nacional. Esta baja tardía de la fecundidad explica el alto nivel del índice juvenil.

Cuando se compara los grupos de edades de la población de 1982 y de 1992 (Fig. V 1.2), se mide la importancia del cambio que ha conocido la población de la provincia. La distribución por edad de 1992 refleja bien la fase de transición en la que se encuentra la provincia. La baja rápida de la fecundidad permite un mejor equilibrio entre la población de menos de 15 años y la población activa. La alta tasa de emigración de los jóvenes adultos estaba ligada a una fecundidad elevada. Del ajuste de la tasa de emigración a la baja de la fecundidad, depende la evolución futura de la población de la provincia de Limarí. Si las partidas se mantienen a su nivel actual podrían provocar una disminución de la población. Disminución tanto más grave, ya que son los jóvenes adultos quienes parten, es decir, las fuerzas vivas que pueden impulsar el desarrollo.

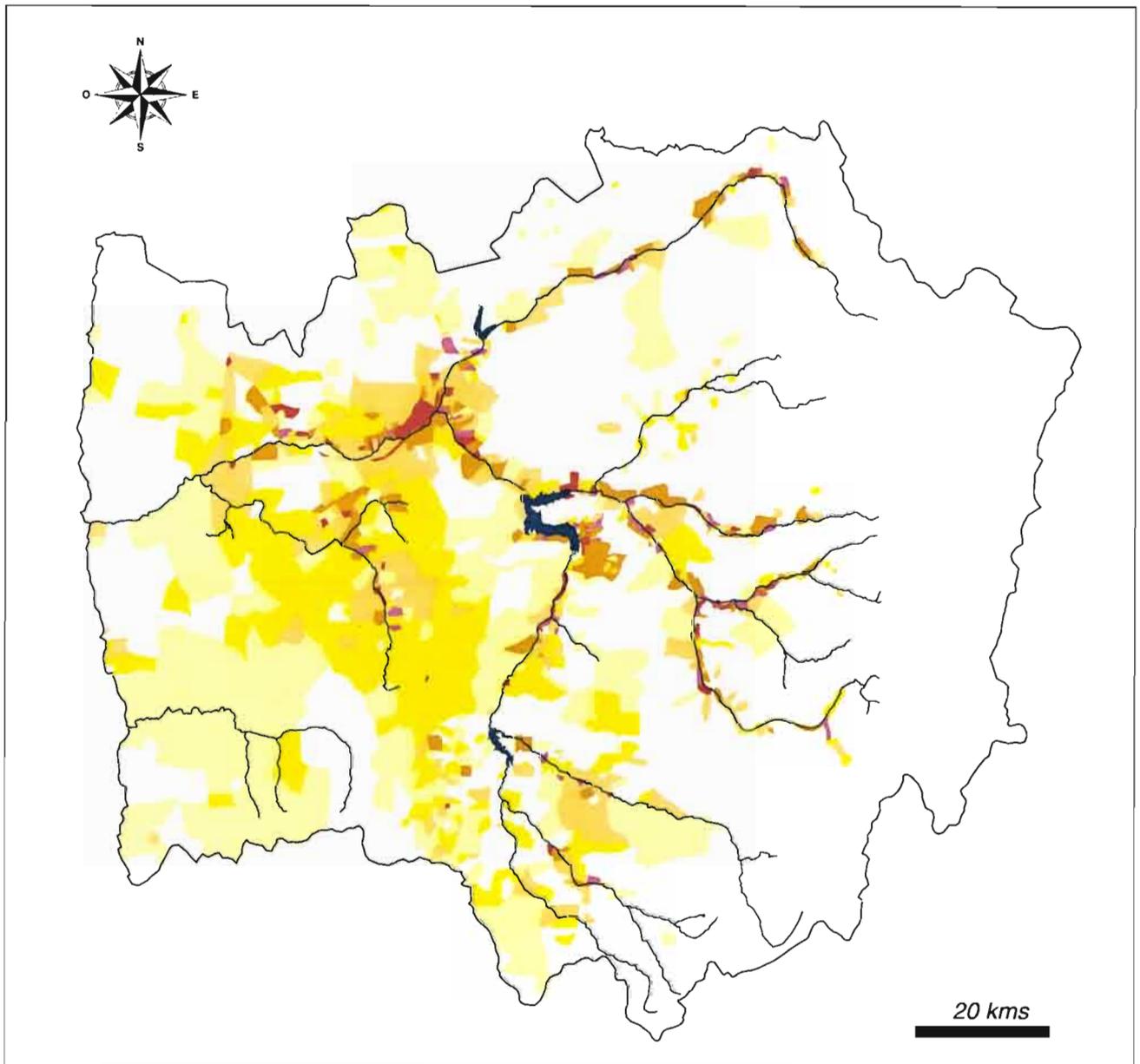
Una distribución espacial muy contrastada

En 1992 las ciudades y el espacio irrigado concentra más del 80 % de la población sobre menos del 5 % del territorio. El mapa de densidad (Fig. V 1.3) de la población muestra muy bien este fenómeno. A las fuertes densidades en el valle del río Limarí y de sus afluentes, se opone el vacío de las tierras altas de la Cordillera de los Andes y la débil densidad de la zona costera, del sur y del límite norte

ORSTOM

Proyecto LIMARI

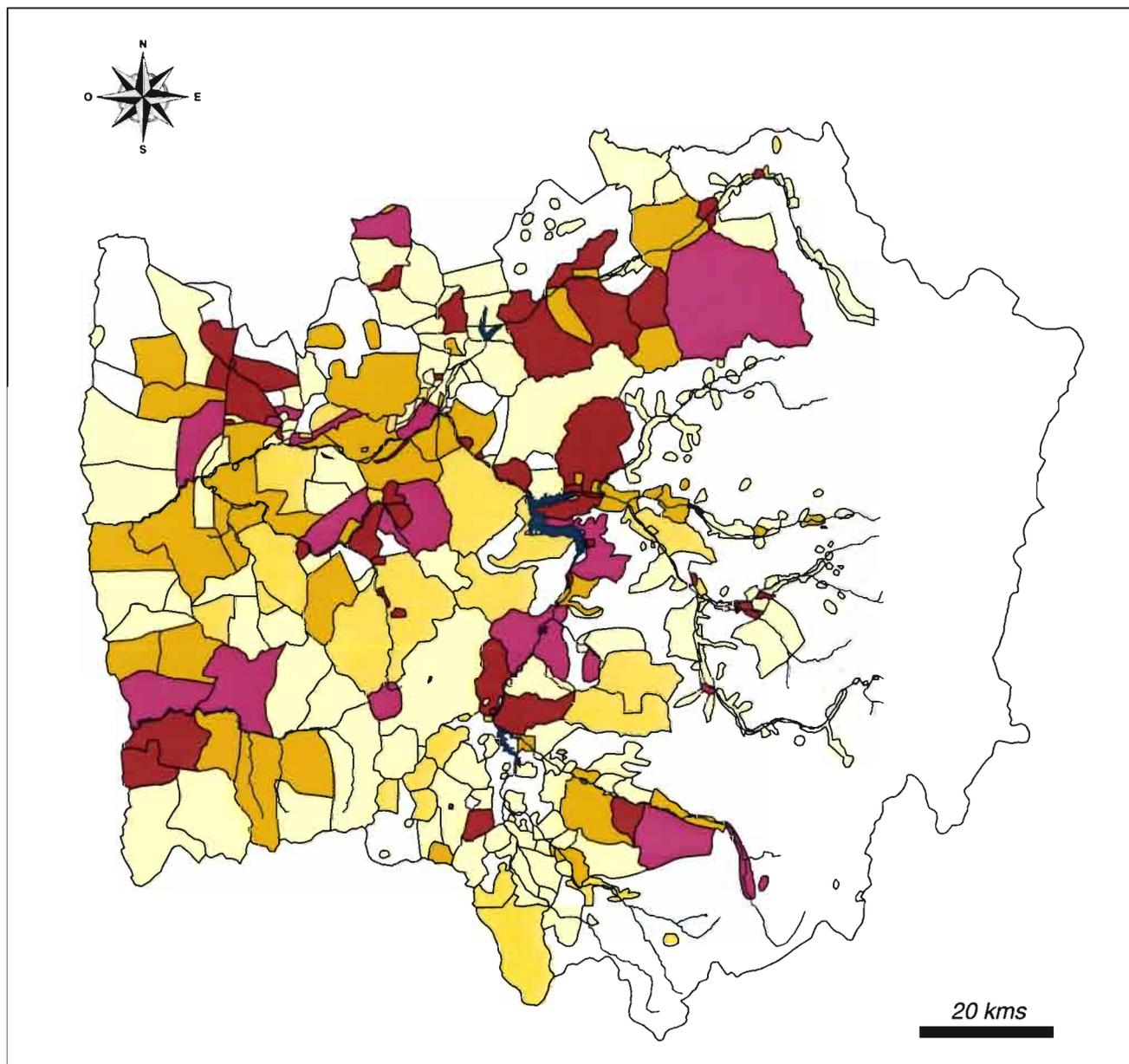
FACAF U.de Chile



Savane / Planete ORSTOM



Fig. V 1.3 Densidad de población por manzana en 1992



Savane / Planete ORSTOM



Fig. V 1.4 Tasa de crecimiento de la población entre 1982 y 1992

de la provincia (Fig. V 1.4). Entre 1982 y 1992 el despoblamiento de los altos valles de la precordillera y del sur de la provincia fueron muy marcados, en oposición, la ciudad de Ovalle absorbió más del 70 % del crecimiento total de la población de la provincia. Las 5 comunas de la provincia han conocido evoluciones diferentes.

- La comuna de Combarbalá perdió el 8 % de su población. El débil crecimiento de la ciudad de Combarbalá (inferior a la tasa de crecimiento natural) no compensó la brutal disminución de 16% de la población rural. La crisis de la actividad minera forzó a la migración a los rurales, que se mantienen sólo gracias a la práctica de la doble actividad minería y agricultura. La sequía, que reina desde hace 4 años, ha amplificado aún más la crisis y la comuna conoce hoy día una situación económica y social preocupante.

- La comuna de Hurtado, como la de Combarbalá, está relativamente aislada y no dispone de acceso a la red caminera asfaltada. Pero el desarrollo de cultivos irrigados alrededor del embalse Recoleta ha permitido compensar la pérdida de población del alto valle del río Hurtado y mantener un débil crecimiento de la población (6 % en 10 años).

- La comuna de Punitaqui ha sufrido también la baja de la actividad minera, pero la población rural quedó estable gracias al desarrollo de las viñas irrigadas en el norte de la comuna.

- La comuna de Monte Patria conoció un profundo cambio en la distribución de su población; el desarrollo de la producción de uva de mesa en el valle del río Guatulame ha permitido mantener estable la población rural que se concentra alrededor de los tres sitios urbanos de Monte Patria, El Palqui y Chañaral Alto, que debido a su tasa anual de 4%, han experimentado un crecimiento rápido de su población.

- La ciudad de Ovalle ha absorbido más del 90 % del crecimiento de la población de la comuna. La estabilidad de la población rural es sólo aparente. El crecimiento de la población en los perímetros irrigados consagrados a la viña (entre Ovalle y Punitaqui) y el ligero aumento de la población de la zona costera (nuevas minas y creación de servicios a lo largo de la ruta Panamericana), se compensa por una disminución de la población de la zona del Secano, pero también de aquella de los perímetros irrigados tradicionales (crianza, producción de trigo y de papas).

Varios factores condicionan la distribución espacial de la población de la provincia:

- lo urbano. La ciudad atrae; los servicios, agua, electricidad, educación y salud están disponibles.
- la accesibilidad. Combarbalá, única ciudad que no está unida por una ruta asfaltada, es también el único sitio urbano en que el saldo migratorio es negativo,
- la doble actividad. La producción agrícola sola es incapaz de mantener la población de secano. Cuando la mina no ya sea un complemento de recurso y la viña no ofrezca una alternativa de empleo temporal como en Punitaqui, la población rural de Combarbalá disminuirá drásticamente.

2 LOS FLUJOS MIGRATORIOS

Los flujos migratorios modelan la estructura y la distribución de la población. Un medio hostil y una fuerte fecundidad hacen que, tradicionalmente, la región haya sido siempre una tierra de emigración para poder mantener el equilibrio entre la población y los recursos.

Hoy día la baja tardía y rápida de la fecundidad y la mantención de la emigración ponen en peligro la reproducción social del secano y ciertas zonas se encuentran en riesgo de desertificación humana. Los flujos migratorios son complejos. Los datos del censo permiten evaluar el saldo migratorio y dan una información parcial sobre los inmigrados, pero son insuficientes para registrar los movimientos migratorios de corta duración, particularmente las migraciones temporales. La encuesta efectuada en agosto de 1996 permite identificar una gran variedad de estrategias migratorias y la importancia de las migraciones temporales para la población de secano.

Una provincia abierta al exterior

Si 17.000¹ personas vinieron del exterior de la provincia entre 1982 y 1992, se puede estimar que 22.000² la han dejado. La Fig. V 2.1 muestra claramente la amplitud del fenómeno. La inmigración dirigida principalmente hacia lo urbano, presenta curvas regulares con una intensidad ligeramente más fuerte para los jóvenes adultos. Ovalle y los tres centros urbanos de la comuna de Monte Patria son los principales receptores de esta inmigración. Los flujos externos son más intensos y mejor distribuidos que los flujos internos (Fig. V 2.2). La migración lejana parece más reversible que la migración de proximidad.

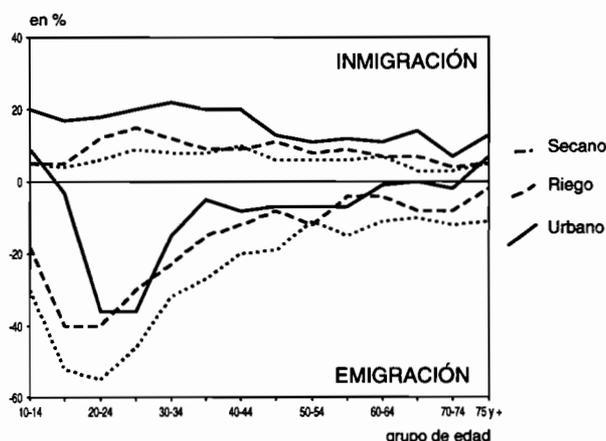


Fig. V 2.1

La inmigración se distingue por su fuerte intensidad en los jóvenes entre 15 y 29 años. Globalmente 40 % de los jóvenes entre 20 y 29 años dejan la provincia y en el secano, casi un 60 % de los jóvenes están concernidos. Las migraciones por sus intensidades, conciernen a más de una persona sobre tres en la provincia, condicionan la evolución de la estructura y sobretodo, la distribución de la población en el espacio.

Los saldos migratorios

Los saldos migratorios por grupo de edad entre 1982 y 1992 se han hecho aplicando las tablas de mortalidad a la generación de 1982 y comparando a las mismas generaciones en 1992. La juventud deja la provincia y los adultos vuelven, pero menos numerosos, en dos etapas, entre 30 y 40 años y luego en el momento de la jubilación (Fig. V 2.3); la región pierde sus fuerzas vivas. El gráfico (Fig. V 2.4) muestra que el fenómeno es más acentuado en el espacio rural y concierne no sólo a los jóvenes adultos, sino también la población entre 10 y 40 años. Desde los 12 años los jóvenes dejan el mundo rural y es tal vez, una buena noticia. La generalización de la educación secundaria es la causa de esta migración. La débil densidad de la población obliga a los niños del medio rural a dejar a sus familias para proseguir sus estudios en los internados de los centros urbanos. La búsqueda de un primer empleo obliga también, a los jóvenes urbanos, los hombres más que las mujeres, a la emigración (Fig. V 2.5). La creación de empleos a través del desarrollo de los servicios públicos de salud y de educación ha permitido el retorno de una parte de los adultos formados en la enseñanza superior (75 % de los adultos que han recibido una formación universitaria, trabaja en el servicio público). Para el espacio rural (Fig. V 2.6 y Fig. V 2.7) la migración escolar es más importante para las mujeres. La menor migración de mujeres entre 20 y 30 años en el riego se debe a la preferencia de las empresas exportadoras de fruta por la mano de obra femenina. Después de los 30 años las mujeres muy difícilmente vuelven al lugar de origen.

Las diferentes formas de migración

Las migraciones con cambio de residencia son antiguas e inscritas en la organización social. En efecto, instaurando la regla del heredero único³, las comunidades agrícolas manejan, de manera relativamente eficaz, la relación población-recurso, pero fuerza a la migración a una parte de sus niños cuando la

¹ El número de emigrantes ha sido calculado según la pregunta sobre el lugar de residencia en 1987

² El número ha sido obtenido a partir del cálculo de los saldos migratorios hecho de 2 maneras, ya sea con la ayuda de tablas de mortalidad a con índices de fecundidad

³ Primeramente es el cónyuge sobreviviente quien hereda el título de comunero, luego el hijo mayor a el hijo que se ocupa de sus padres

fecundidad es elevada. El lazo social, sin embargo, no se rompe. Juan, padre de 9 hijos, los tres más jóvenes viven con él, reúne en su casa, cada año en el mes de octubre, a todos sus hijos. La Comunidad de El Peral ha cedido un terreno, en que los hijos de los comuneros tienen derecho a construir una casa. Esta

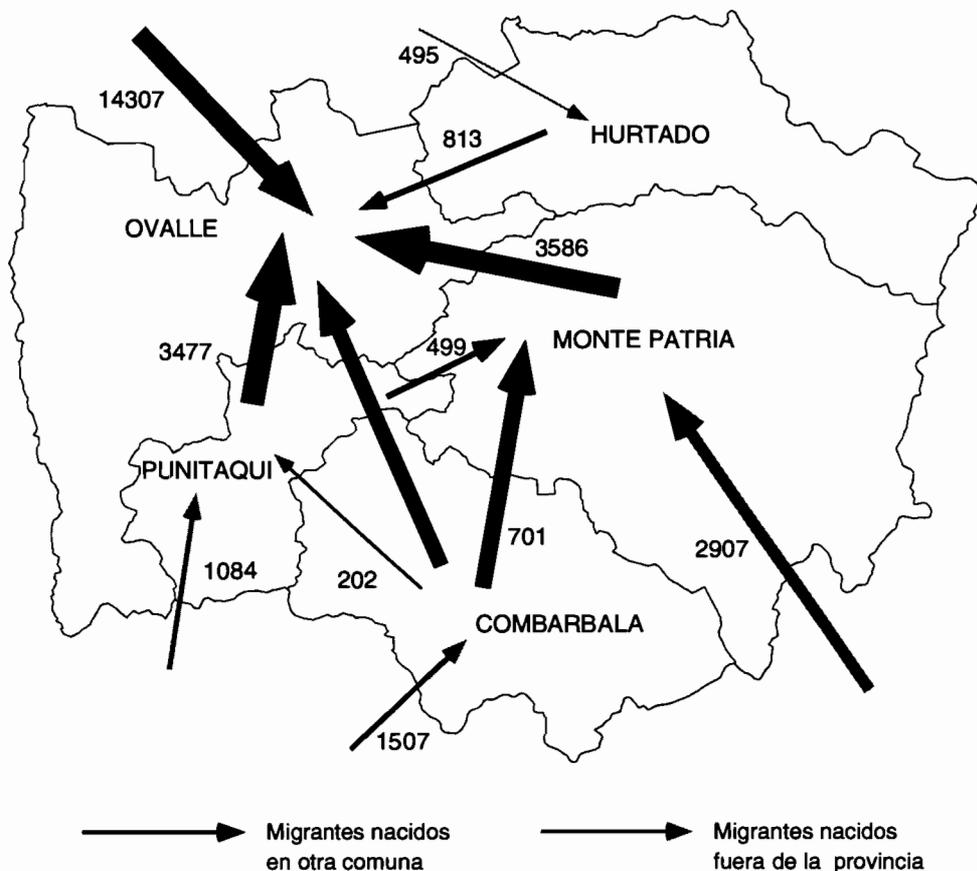


Fig V 2.2 Flujo de emigrantes según lugar de nacimiento

sólo es habitada algunas semanas al año para las vacaciones, pero algunos piensan ocuparla de forma permanente en el momento de su jubilación.

Una parte de estas migraciones son sin retorno y las otras se pueden clasificar en dos categorías:

- Las migraciones reversibles de larga duración: es el retorno, cerca de los 40 años, de un hijo de comunero que viene a retomar la sucesión de su padre, de su madre o de un pariente que no tenía herederos. El emigrante se instala con su familia o funda una.

- Las migraciones reversibles esporádicas. Ellas tienen dos causas:

- El retorno elegido, que se refiere principalmente a personas calificadas muy ligadas a su comunidad. Ya sea que han ahorrado lo suficiente para venir a pasar varios años en la comunidad de origen entre dos contratos, o que sus calificaciones les permiten postular a un empleo público.

- El retorno forzado, ya sea por la pérdida del empleo o por la maternidad, para las mujeres solteras; se vuelve en busca de solidaridad y comprensión del grupo familiar y de la comunidad, pero volverán a partir.

- Las migraciones sin cambio de lugar de residencia. En este caso, la migración concierne sólo a una parte de la célula familiar. Se pueden clasificar estas migraciones según el tipo de actividad y el lugar y la frecuencia de los desplazamientos.

SALDOS MIGRATORIOS POR GRUPO DE EDAD

Fig. V 2.3 Población total

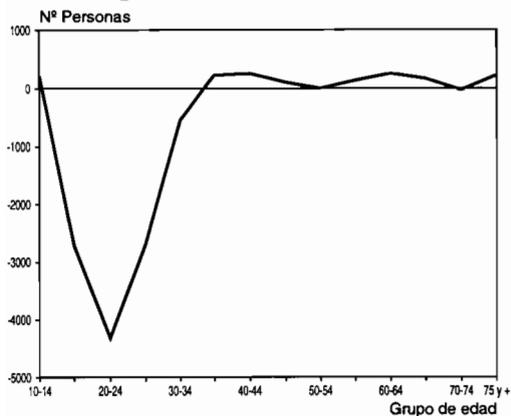


Fig. V 2.4 Los tres sectores

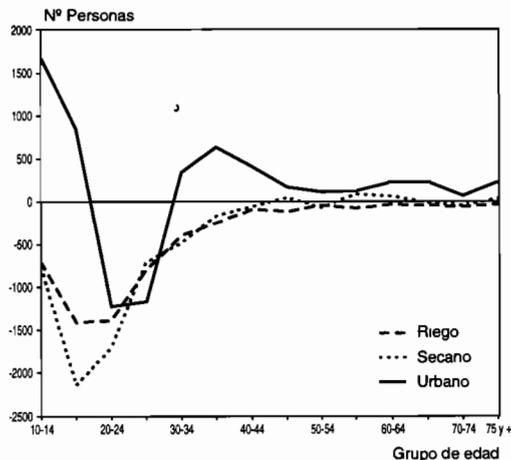


Fig. V 2.5 Urbano

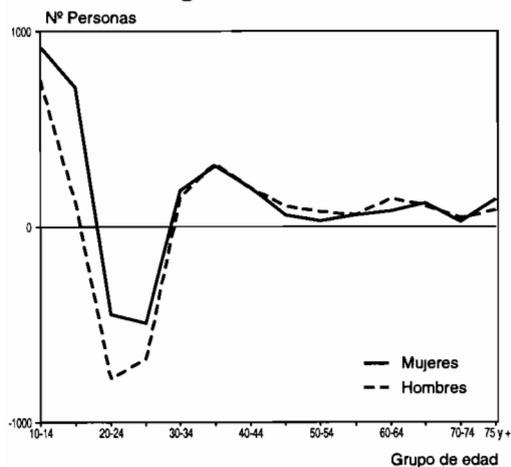


Fig. V 2.6 Riego

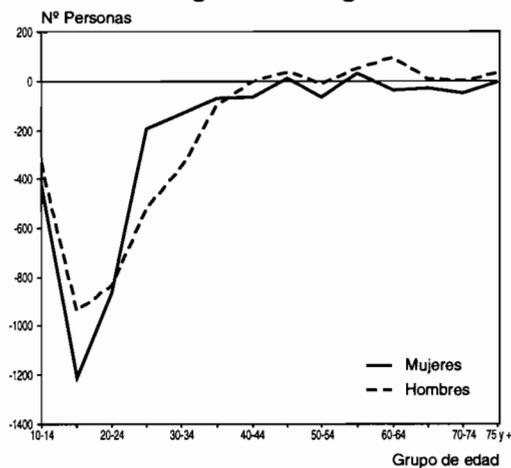
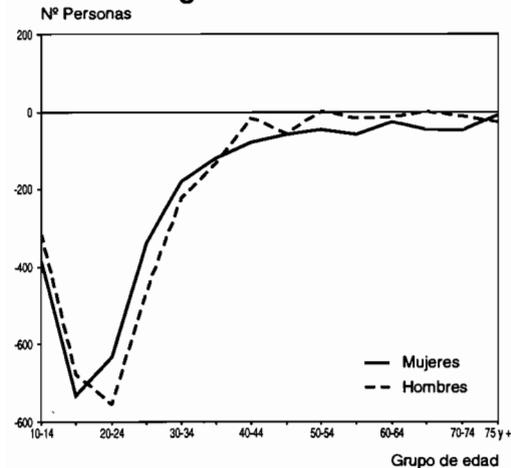


Fig. V 2.7 Secano



•Las migraciones temporales hacia las explotaciones fruteras de la provincia son las más practicadas y conciernen al 42 % del conjunto de los activos en el momento de la encuesta de 1996. Duran entre 2 y 6 meses, afectan por igual a mujeres y hombres. Más irregulares y más lejanas son las migraciones de los jefes de familia hacia los trabajos de construcción.

-Las migraciones de fin de semana, los primeros concernidos son los liceanos de los internados, pero también los jóvenes trabajadores y los jefes de hogar que vuelven a sus casas cada fin de semana.

3 LA POBLACIÓN ACTIVA

El censo sólo registra la actividad de la semana precedente y para los cesantes, el último empleo. No da ninguna información sobre la pluriactividad y, según la encuesta de 1996, aparece que las mujeres, que trabajan temporalmente en el momento de la estación frutera, se inscriben como amas de casa y no como cesantes, ya que el censo fué durante la inter-estación. La actividad es ciertamente sub-estimada por los censos, pero comparando los dos censos, podemos ver las grandes tendencias. El crecimiento de la actividad ha sido más fuerte que el crecimiento de la población, no solamente ella ha beneficiado del crecimiento de la población económicamente productiva (los de 15 a 65 años), sino que representa en 1992 el 52% de ésta, contra 48 % en 1982. La población activa femenina ha crecido más rápidamente, representaba el 18 % del conjunto de los activos en 1982, contra 22% en 1992. Las mujeres de la provincia están todavía lejos de la media chilena que es superior a 30 %.

La mano de obra ha llegado a ser mayoritariamente urbana (Fig. V 3.1). En 10 años el secano sólo cuenta 22 activos más, el riego ha creado 2.000 empleos, mientras que el urbano ha ganado más de 7.000 trabajadores. La mina y la industria representan sólo el 10 % de los activos, tanto en 1982, como en 1992. El desarrollo del empleo en la ciudad podría hacer suponer que el sector agrícola ha perdido empleos y lo contrario ha ocurrido. El sector agrícola (Fig. V 3.2) ha llegado a ser el primer sector de empleo, pero los trabajadores agrícolas residen en la ciudad. Los empleos temporales de la fruticultura no permiten la instalación en el lugar. Los trabajadores prefieren residir en la ciudad, donde tienen la esperanza de encontrar un trabajo durante la inter-estación para completar sus débiles ingresos. Se nota la caída brutal de los empleos en los servicios para el secano (Fig. V 3.3). La desaparición de los artesanos y de los pequeños comerciantes es la principal causa. Los activos del secano trabajan en el riego.

Los trabajadores son más frecuentemente urbanos, pero trabajan más a menudo en el sector agrícola. Para la agricultura moderna, como es la producción de fruta para exportación, llega a ser, como para la industria, un factor de producción que, gracias a la facilidad de los transportes, tiene menor costo en el mercado. Esta modernidad provoca la fragmentación y la ampliación del espacio de vida. Residir y trabajar o estudiar en lugares diferentes modifica la relación del hombre con el medio.

4 EL HOMBRE Y SU RELACIÓN CON EL MEDIO

El secano representa el 95 % de la superficie de la Provincia, si bien menos del 20 % de población reside ahí, es donde se entablan las relaciones entre el hombre y el medio. El secano es una tierra histórica en que los hombres, confrontados a un medio hostil, han sabido vivir, reproducirse y crecer.

La historia

La escasez del agua y las sequías, que se pueden prolongar durante varios años, fuerzan a los hombres a correr riesgos. Para asumírselos es necesario, ya sea controlar la población, o desarrollar los recursos. Históricamente la población de Limarí ha preferido un modo de regulación social a la innovación tecnológica. Instaurando la regla del heredero único la comunidad ejerce un estricto control de la población. La regla del heredero único, con prioridad al cónyuge sobreviviente, que obliga a los hombres jóvenes a la migración, puede poner en peligro la reproducción del grupo. La gran tolerancia hacia las concepciones fuera del matrimonio y a las madres solteras limita el riesgo de despoblación, ligada a la migración de los hombres jóvenes. El riesgo se asume también desde el punto de vista económico, los azares de la producción agrícola son atenuados por la explotación de los recursos mineros, que no están sujetos a las variaciones del clima.

REPARTICIÓN DE LA POBLACIÓN ACTIVA SEGÚN LOS SECTORES

1982

Fig. V 3.1 Población total

1992

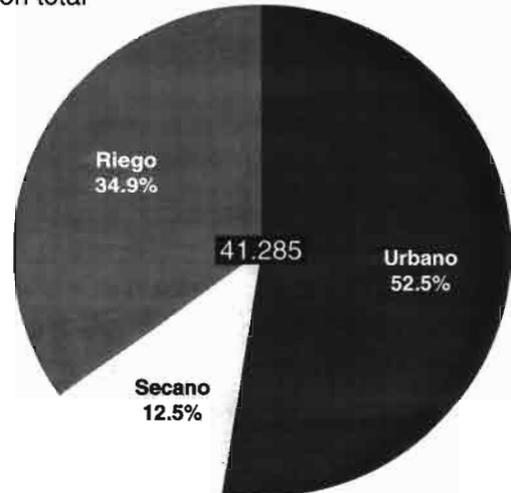
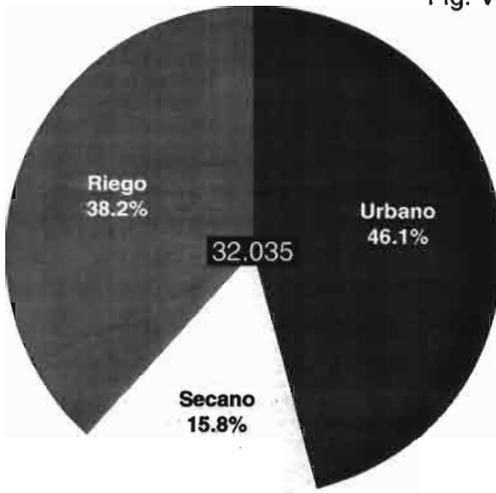


Fig. V 3.2 En la agricultura

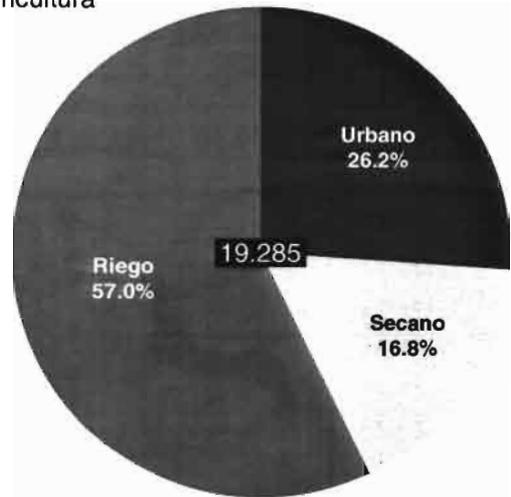
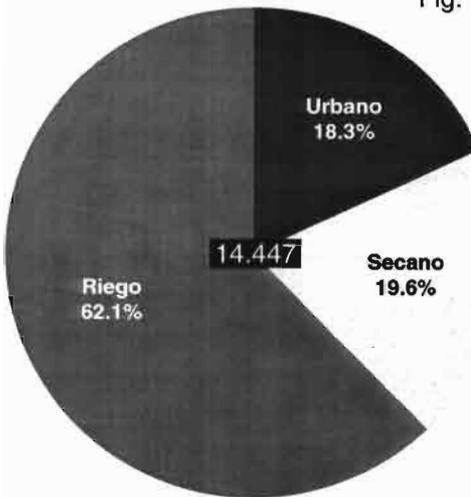
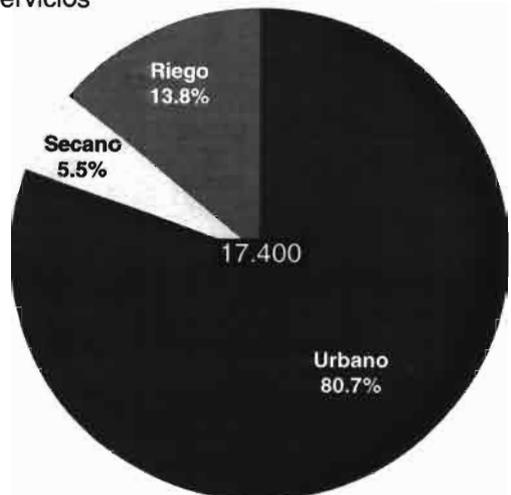
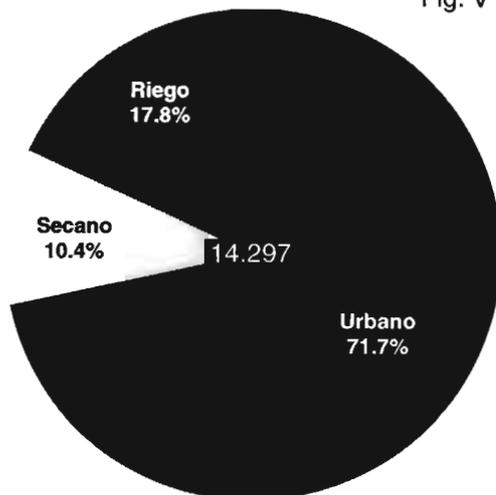


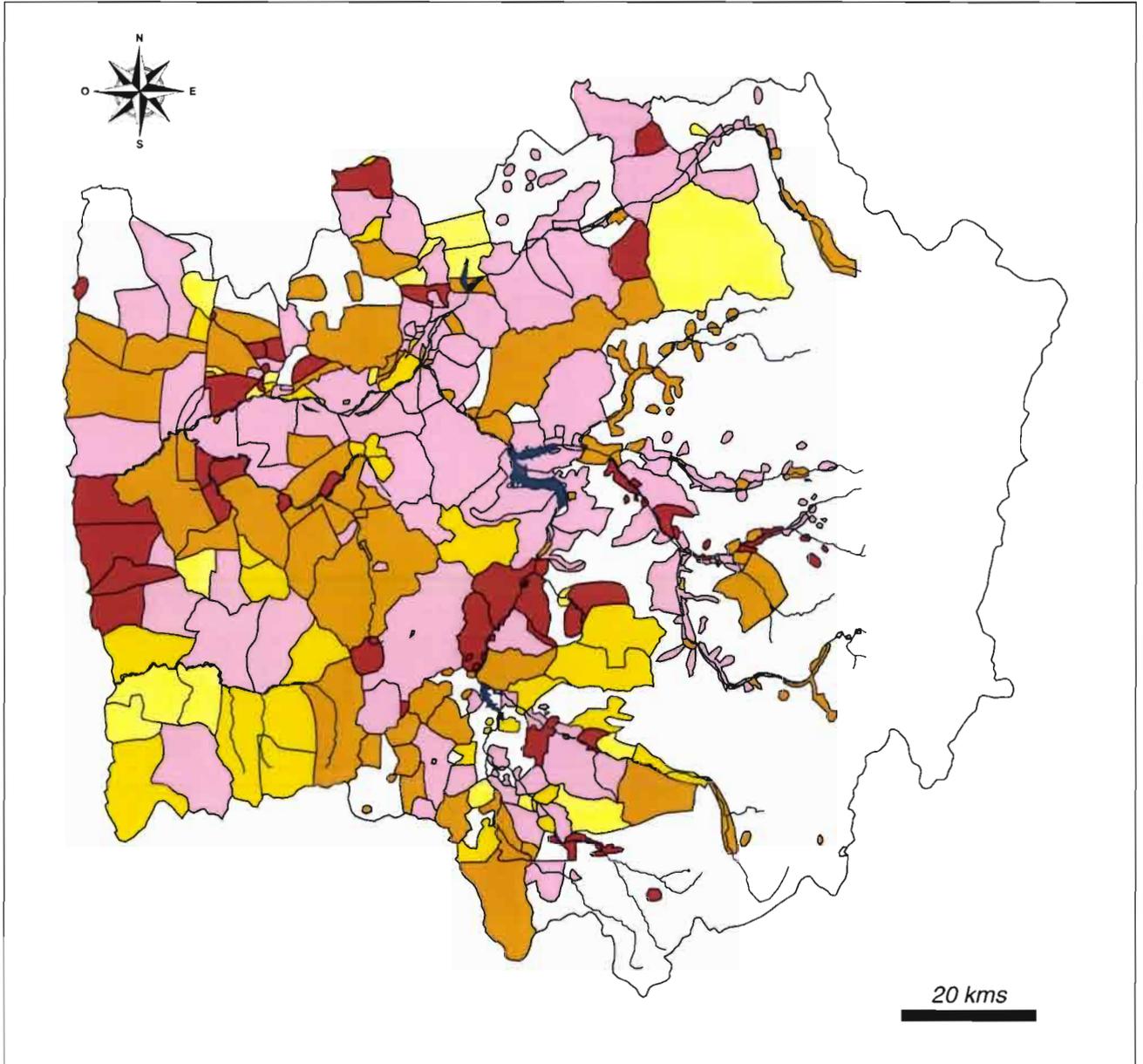
Fig. V 3.3 En los servicios



ORSTOM

Proyecto LIMARI

FACAF U.de Chile



Savane / Planete ORSTOM

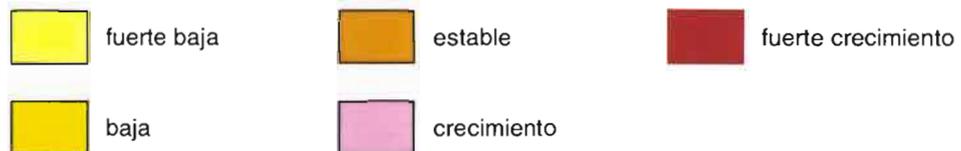


Fig. V 4.1 Evolución del nivel de vida entre 1982 y 1992

Las comunidades, gracias a un modo de gestión hábil, han sabido mantener el equilibrio entre población y recursos durante cuatro siglos.

La situación actual

El desarrollo de cultivos fruteros para la exportación ha dinamizado la economía de la provincia. La agricultura irrigada ha más que compensado el descenso de la producción agrícola del secano. La situación del secano es paradójica. Se constata un mejoramiento neto del nivel de vida (Fig. V 4.1), mientras que la producción local está en plena recesión. En el momento de la encuesta de 1996 se constató una producción agrícola casi nula a causa de la sequía que reina desde 1992. El rebaño de cabras se ha reducido en tres cuartas partes, el trigo y la cebada, base de la alimentación, ya no se



© CNES 1987 Imagen SPOT del 19 de Diciembre 1987, Composición Falso Color (Provincia de Limarí, Chile)

producen, sólo subsiste una producción de frutas y verduras para el auto-consumo. Dos factores explican esta aparente paradoja: los traspasos sociales del Estado y la actividad fuera de la comunidad. Un 72 % de las 120 familias encuestadas reciben al menos una pensión de jubilación o de invalidez. Los niños son alimentados gratuitamente al mediodía y el internado es también, gratuito. Los trabajos de interés comunitario (limpieza de los pozos, mantención de los caminos, creación de equipamientos sociales o recreativos) financiados por el Estado, aseguran entradas monetarias a los que no pueden trabajar en el exterior. El 84 % de los 124 activos censados en el momento de la encuesta, trabajan al exterior de su comunidad. Entre ellos, 60 % (52 de 87) tiene un empleo temporal en las empresas fruteras. El secano de la provincia de Limarí ya no es más un espacio de producción, es un espacio residencial donde se reproduce una organización social original. Su futuro está tan amenazado por la desertificación humana como por la degradación del medio natural.

El futuro

Cuando se comparan los datos de la encuesta y del censo, se constata que la población de la zona encuestada ha disminuído de 18 % en 4 años y medio. La sequía ha obligado a la migración a los que vivían principalmente de la crianza de cabras, pero sobretodo, la búsqueda de un empleo estable para una juventud mejor formada, explica esta situación preocupante para el futuro. Las escuelas sufren una baja importante de efectivos, algunas con menos de 15 alumnos podrían desaparecer. Por debajo de un cierto margen de población, se vuelve muy oneroso mantener las infraestructuras y el envejecimiento de la población termina por impedir todo proyecto de desarrollo. Si la disminución de la pobreza, como lo atestigua la fuerte progresión del nivel de vida (mapa de nivel de vida) es un éxito, la intervención del Estado en el desarrollo económico es más discutible. La causa de este fracaso es, ciertamente, el haber centrado el desarrollo en la producción agrícola. Históricamente la prioridad de las comunidades del secano jamás ha sido la producción agrícola, sino la reproducción social del grupo asegurada por estrategias migratorias complejas. Hoy la producción agrícola muy baja del secano resulta:

- ¿de los cambios globales, la baja del régimen de lluvias produce una baja de la productividad agrícola?
- ¿de la degradación de medio, las tierras pierden su capacidad de producción?
- ¿del progreso social, las potencialidades del medio ya no son suficientes para permitir a los habitantes de esta zona acceder a los bienes y a los servicios modernos, resulta más económico, en tiempo, trabajar en la recolección de la uva y comprar trigo, que tratar de producirlo en sus tierras?.

No existen respuestas simples, se trata ciertamente, de una combinación de los tres factores, con pesos variables según los lugares. Pero aún en el caso en que la degradación del medio fuera la única responsable, una rehabilitación costosa sólo permitiría satisfacer las necesidades de un número restringido de familias. Si se quiere mantener una población en el secano, es necesario abandonar la idea de un desarrollo únicamente centrado en la producción agrícola. Cualquiera que sea la opción para el desarrollo, ella debe tomar en cuenta el modo de organización social comunitario y la fuerte movilidad de la población.

La accesibilidad es la primera prioridad, facilita los desplazamientos temporales hacia el trabajo, pero también condiciona el desarrollo, en el lugar, de todas las actividades económicas. La búsqueda de actividades complementarias para los temporeros, si es posible en el lugar, es una urgencia, sino, emigrarán definitivamente y el secano perderá sus últimas fuerzas vivas. El desarrollo es global, los diferentes sectores son interdependientes. El riego es la producción agrícola, base de la actividad económica de la provincia, pero depende en parte de la mano de obra que le proporciona el urbano y el secano. Cada sector tiene una vocación específica. El secano tiene una vocación residencial que se podría desarrollar. Es posible favorecer la instalación residencial de la mano de obra del riego en el secano, más que en las ciudades, donde, a veces, el crecimiento es difícil de manejar.

La decisión de mantener una población y una actividad económica en el secano sólo se puede tomar en el marco de una reflexión global del ordenamiento del territorio. A partir de esta reflexión global se podrán definir prioridades para cada localidad, no solamente en función de las potencialidades y del estado del medio, sino también de la accesibilidad, de los recursos humanos y del deseo de las poblaciones.

VI

UNA HERRAMIENTA PARA LA GESTIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

La base de datos georeferenciados LIMARI es el resultado de un trabajo de investigación llevado por un equipo pluridisciplinario constituido de agrónomos y demógrafos. Es una herramienta de investigación poderosa que abre nuevas perspectivas al estudio de la relación entre población y medioambiente en la Provincia de Limarí. Por la elección de las escalas de trabajo utilizadas (1: 50.000 y 1: 250.000), la superficie estudiada (una provincia) es igualmente uno de los elementos esenciales para constituir una herramienta de ayuda en la decisión, en el marco del ordenamiento del territorio.

1 Herramienta de investigación pluridisciplinaria

El SIG permite tomar en cuenta la dimensión espacial, en el estudio de un fenómeno, asociándolo a su dimensión temática. El objeto espacial es el que traduce esta asociación. Este objeto es definido como una superficie homogénea desde el punto de vista temático, mientras que su dimensión espacial es descrita por su localización y su superficie en el espacio geográfico. Existe una relación fundamental entre la superficie de representación del objeto y el número de criterios distintivos que le será posible asociar. Mientras más pequeña sea la escala, luego la superficie a representar será grande, más reducidos serán el número y la precisión de los criterios. La escala de espacialización de una temática depende esencialmente de la precisión y/o de la generalización de los criterios a representar y, por consecuencia, fija el límite del nivel de análisis al que se puede pretender.

Los SIG no escapan a las tensiones conocidas desde hace largo tiempo en cartografía tradicional: las transferencias de escala están limitadas por la precisión de la toma de datos de base. Si siempre es posible pasar de una escala fina a una escala más grosera por agregación de los datos, en cambio, la operación inversa, que consiste en pasar de una escala grosera a una más fina, hay que utilizarla con la mayor precaución.

En el primer caso, la carta obtenida definirá zonas que el temático considera homogéneas con respecto al factor y a la escala de representación utilizada. En el segundo caso, se trata de la distribución aleatoria de un fenómeno observado a una escala más pequeña.

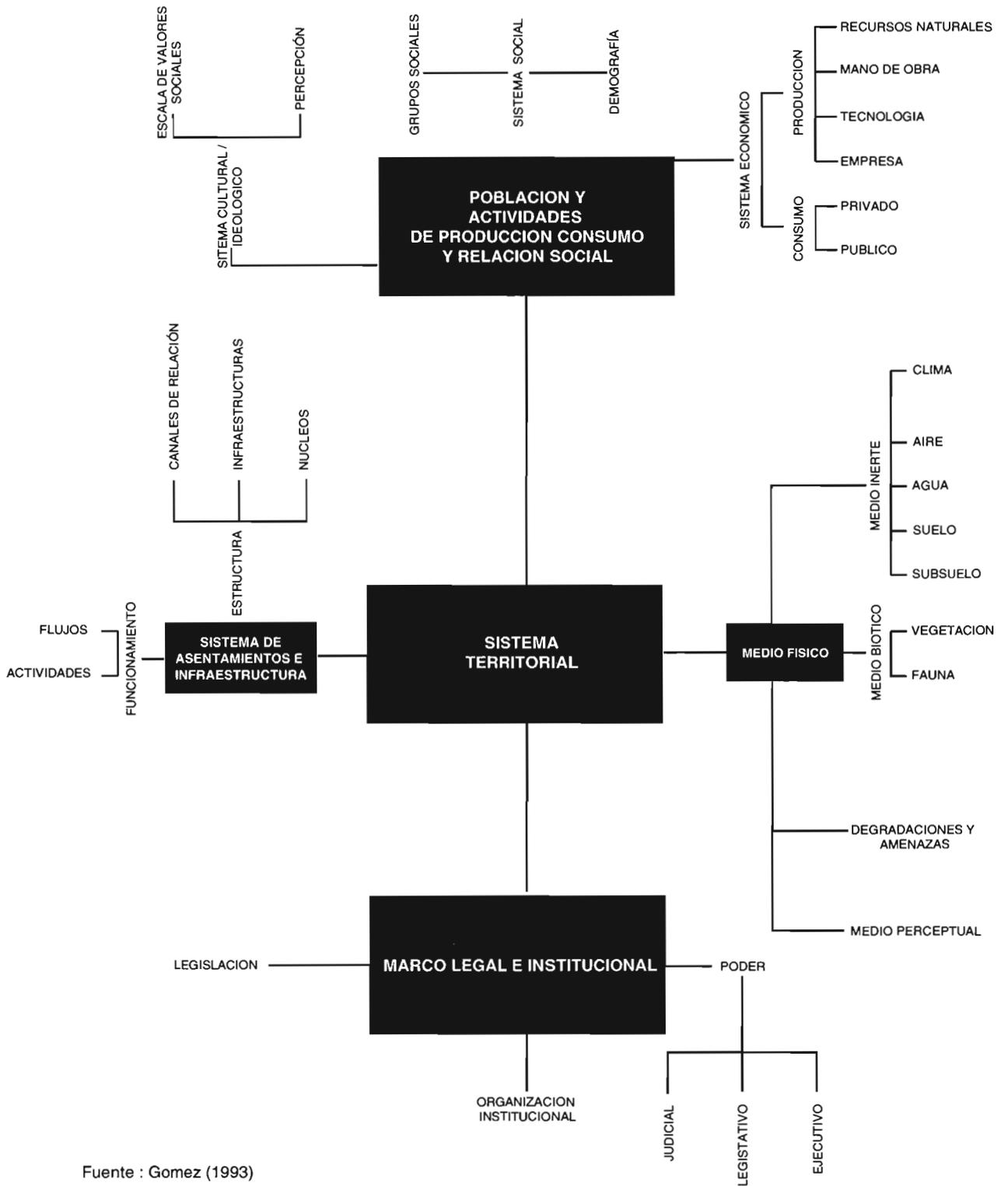
El SIG permite combinar las informaciones provenientes de diferentes disciplinas fácil y rápidamente, no dispensando al utilizador de verificar la coherencia de las combinaciones obtenidas. El primer criterio de esta coherencia es disponer de la información de cada una de las disciplinas a escalas comparables de precisión. La definición de estas escalas de comparación es el primer trabajo común efectuado por los temáticos de las diferentes disciplinas científicas que componen el equipo. Este trabajo va bastante más lejos que la simple elección de escalas de representación, condiciona la elección y la precisión de los indicadores que son elaborados para cada una de las disciplinas. Estos indicadores deben ser válidos cualquiera sea la división utilizada (administrativa, del medio natural, etc.). Su codificación debe ser comprendida por el conjunto de los miembros del equipo.

Además, la realización de una carta necesita, por parte del temático, hacer elecciones. Estas elecciones son tomadas en función de las definiciones y de los criterios que el temático considere importantes. La representación cartográfica necesita sintetizar la información a representar. La presentación bajo forma de clases es una reducción de la realidad. La elección de estas clases, consideradas como homogéneas y representativas de un fenómeno estudiado, es directamente el punto de vista del temático. El documento cartográfico es, entonces, el resultado de un trabajo de síntesis que puede ser sometido a la crítica del conjunto del equipo. Esta crítica es enriquecedora, pues permite confrontar, al autor de la carta, su opinión y la de sus colegas, y a sus colegas, y comprender cómo se estructura el razonamiento del autor con respecto al fenómeno estudiado.

2 Ayuda al ordenamiento del territorio

El ordenamiento del territorio es definir una estrategia de desarrollo económico, social y medioambiental. Los principales objetivos de esta estrategia son mejorar la calidad de vida de la población, asegurar el desarrollo económico y preservar al máximo el medioambiente.

SUBSISTEMAS DEL SISTEMA TERRITORIAL Y SU UNIVERSO DE RELACIONES



Fuente : Gomez (1993)

Fig. VI 1

El ordenador debe conocer, lo más finamente posible, los elementos que constituyen este territorio. Dispone de cartas descriptivas y de inventario del medio, a pequeña o mediana escala, para cumplir su rol. Los conocimientos sobre el medio natural y la población se han acrecentado de manera importante, especialmente gracias al potencial de las herramientas informáticas para tratar y almacenar masas considerables de información. Ahora, las posibilidades de los decididores (seres humanos) de aprehender la realidad han quedado idénticas. Esta constante implica que actualmente para poder decidir, tomando en cuenta el conjunto de las tensiones y de elementos que constituyen una región, es necesario utilizar la potencia de la informática. Además de la herramienta de investigación que representa el SIG, constituye el elemento esencial de los sistemas de ayuda a la decisión. Estos sistemas son herramientas informáticas que, además de las posibilidades de los SIG, son capaces de administrar una base de tensiones. Son instrumentos destinados a ayudar a los responsables del ordenamiento del territorio a efectuar una elección de las estrategias a seguir. El decididor, según las tensiones (sociales, políticas, económicas, ambientales) interpretará los resultados obtenidos a partir del SIG para tomar su decisión. Los datos almacenados en estos sistemas se organizan para permitir simular en el espacio y en el tiempo el impacto posible de la elección de tal o cual política de ordenamiento. En general, la base de datos, imagen informática del sistema territorial, como lo indica la Fig. VI 1, está constituida de cuatro sub-sistemas territoriales. Uno de los resultados del trabajo de investigación efectuado en la Provincia de Limarí es de ser una de las principales etapas en la realización de un sistema territorial.

Unidades espaciales del medio natural y de la población

El estudio del medio natural se articula, principalmente, alrededor de tres temas: el suelo, la vegetación y el estudio de la degradación del medio.

Los resultados de este estudio son, por una parte, la creación de unidades de integración de los elementos del medio natural (sectores ecológicos, sistemas ecológicos) y por otra parte, la espacialización de los fenómenos de degradación o de riesgo de degradación (estado del complejo suelo-vegetación, modelo de susceptibilidad a la erosión).

Los sistemas ecológicos son unidades de integración del medio natural a una escala de representación 1: 50.000. Estas son zonas consideradas como homogéneas con respecto a los criterios tomados en cuenta en el estudio. Constituye el punto de vista de agrónomos y pedólogos sobre la estratificación del medio y cuáles son los criterios determinantes. Estas zonas pueden servir de entidades de integración para efectuar estudios de potencialidades del medioambiente ligadas a ciertas actividades o, inversamente, el impacto de las actividades sobre el medioambiente. Es decir, que será posible reagrupar los sistemas ecológicos utilizando otros criterios (ecológicos, agrícolas, turísticos, etc.) que aquellos que sirvieron para crearlos.

La descripción del medio natural permite también, medir la amplitud y la gravedad de los procesos de degradación del medioambiente. Estas degradaciones traducen, en general, el impacto de la actividad humana sobre el medio ambiente. Es importante conocer los factores que ponen en marcha estos procesos para poder, en caso contrario, detenerlos. Los métodos propuestos en este informe pueden ser repetidos en el tiempo para estudiar la dinámica del fenómeno de degradación. Constituyen pues, igualmente, herramientas para medir el fracaso o el éxito de una política de protección del medioambiente.

Finalmente, es necesario conocer las amenazas que pesan sobre el medio físico. El modelo de la susceptibilidad a la erosión es una tentativa por localizar y espacializar a 1: 250.000 las zonas más sensibles a la erosión, en la zona de estudio. Evidentemente, la carta propuesta no puede ser utilizada en un estudio local, pero permite indicar las zonas sensibles a supervisar más especialmente.

La finalidad del ordenamiento del territorio es mejorar el bienestar de la población. Para cumplir este objetivo, el decididor debe estar en condiciones de identificar las necesidades de esta población. Estas necesidades se traducen en diferentes demandas económicas, en bienes y servicios y en materia de educación.

El estudio demográfico sobre la Provincia de Limarí, está destinado a desarrollar diferentes indicadores que ponen en evidencia las particularidades de la estructura de la población. Por otra parte, el estudio de la dinámica de la población permite conocer las modificaciones cuantitativas (la emigración, la inmigración, etc.) y cualitativas (el envejecimiento, el rejuvenecimiento, el empobrecimiento, etc.) que afectan a la población. Esta dinámica traduce las elecciones estratégicas individuales de la población para mejorar las condiciones de vida. Estas elecciones se hacen en función de la disponibilidad de trabajo, de los ingresos económicos y del contexto social e indican el grado de satisfacción/insatisfacción de la población. Este grado es un parámetro importante a tener en cuenta en la elaboración de una política de ordenamiento del territorio. En el caso de una política de mantención de la población sobre el territorio, indicará los esfuerzos a consentir en materia de empleo, infraestructura, etc...

La repartición espacial de la estructura de la población y de las diferentes dinámicas constituye uno de los eslabones esenciales para comprender las modalidades de funcionamiento de esta población. La densidad de población es el indicador de la repartición espacial. La densidad de población es el número de habitantes dividido por la superficie de

una zona de integración. Puede ser utilizado, igualmente, para evaluar la repartición de una parte de la población. Esta repartición condiciona fuertemente la estrategia que se adoptará en materia de ordenamiento. Una zona densamente poblada necesita inversiones públicas mucha más importantes, pero la naturaleza de estas inversiones es diferente según la estructura de la población. En la base LIMARI se dispone de cuatro niveles de integración diferentes que van de la manzana a la provincia. El tratamiento informático de la información geográfica, gracias a la rapidez de ejecución de los computadores, permite constituir rápidamente cartas de una misma problemática utilizando los diferentes niveles de integración. Estas cartas traducen, con resoluciones diferentes, un nivel de percepción de una misma realidad y permiten explorar los diferentes aspectos de las relaciones jerárquicas. La comparación de dos cartas de densidad de población de la Provincia de Limarí, utilizando dos niveles de integración diferentes, los límites respectivos de manzanas Fig. V 1.3 y los límites de comunas Fig. VI 2, es edificante.

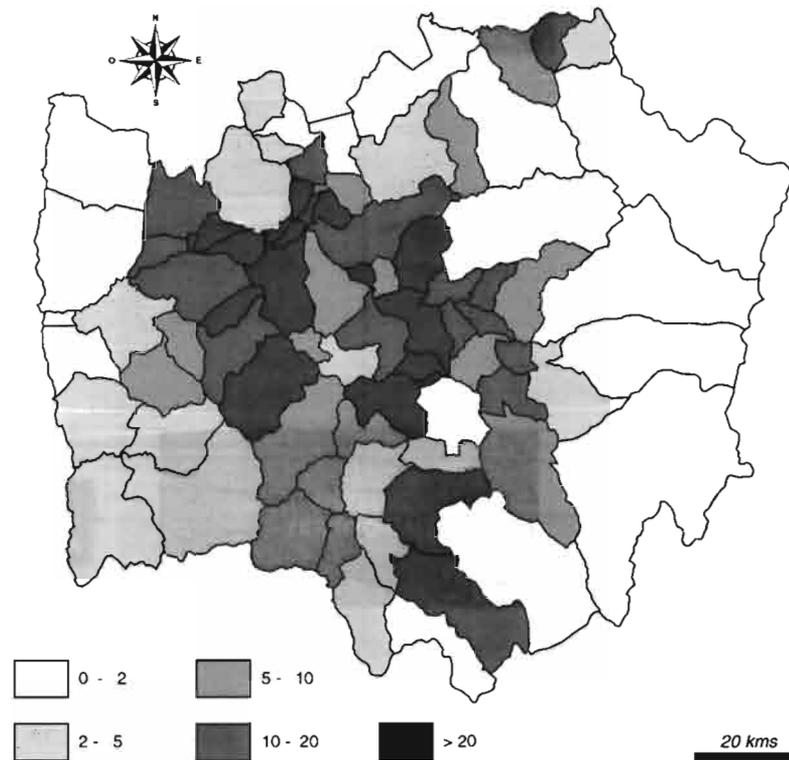


Fig. VI 2 Densidad de población por distrito en 1992

Así, es posible identificar a cada nivel de percepción, los indicadores pertinentes de los fenómenos estudiados. Se mide la importancia de disponer del conjunto de estos indicadores en una base de datos georeferenciados a un nivel casi tan fino como el de las manzanas.

La base de datos georeferenciados constituye una parte de la información indispensable para poner en marcha una herramienta de ayuda a la decisión, en el marco del ordenamiento de la Provincia de Limarí. El corte de la provincia, a 1:50.000, en sistemas ecológicos, zonas irrigadas y zonas urbanas, permite proyectar en el espacio el impacto del seguimiento de una política de ordenamiento de la provincia. La utilización de escalas comparables en el estudio del complejo suelo-vegetación y de la población, asegura una coherencia con los datos de la base. Esta coherencia permite realizar los indicadores que pueden ser utilizados por el conjunto de las disciplinas técnicas o científicas en la resolución de problemas referentes a la gestión del territorio. Con la base LIMARI se dispone de diagnósticos y de cartas de inventarios preparados por los temáticos y de los datos que sirvieron para realizar este trabajo. Estos datos podrán ser directamente utilizables, como información de base sobre la población y sobre el medio natural, en el marco del estudio sobre la Provincia de Limarí. Esta base puede igualmente servir en la elaboración de modelos de utilización del espacio y de los recursos.

CONCLUSIÓN

Esta investigación interdisciplinaria sobre el medio natural y la población se ha visto confrontada a la complejidad de las relaciones existentes entre el hombre y su entorno. Una parte de esta complejidad se deriva de la masa y de la heterogeneidad de la información que conviene tratar. Se han obtenido dos resultados significativos: por un lado, la puesta a punto de un método de análisis de un espacio regional en zona árida, permitiendo la realización de un diagnóstico espacializado (medio natural y población) para la provincia de Limarí; por otra parte, la creación de una base de datos georeferenciados, necesaria para la aplicación de este método, y se revela a la vez, como una herramienta de ayuda en la decisión para el ordenamiento territorial y como una base de conocimientos disponible para profundizar las investigaciones sobre las relaciones entre el hombre y el medioambiente.

El método de análisis de un espacio regional asocia estrechamente los datos satelitales, las observaciones de terreno y los datos relativos al medio (topografía, litología, clima), dentro de un sistema coherente de información. Conduce a una estratificación y a una caracterización del medio en unidades espaciales encajadas y homogéneas a diferentes niveles de observación: los sectores ecológicos y los sistemas ecológicos. Lleva, igualmente, a la modelización espacial sobre el estado de la dinámica del medioambiente: estado del complejo suelo-vegetación (CSV), cobertura de la vegetación leñosa (modelo CLB), color de la cobertura mineral y susceptibilidades de los suelos a la erosión (SURO).

El diagnóstico de la Provincia de Limarí confirma el mal estado del secano y la generalización de la degradación de la vegetación y de la erosión de los suelos. El espacio correspondiente a las Comunidades Agrícolas está particularmente dañado, pero la degradación se extiende mucho más allá. No se trata de una sorpresa en sí, la novedad es que ahora se dispone de datos objetivos y espacializados que se pueden poner en relación con la información sobre la población.

El estado del medio y la evolución de la población, plantean hoy la pregunta de la mantención de una población y de una actividad económica en el secano. La cartografía del estado del complejo suelo-vegetación muestra que, para ciertas zonas, existen posibilidades de mejoramiento y de desarrollo del espacio agro-pastoral, pero ¿serán suficientes para satisfacer las necesidades de la población? Para sobrevivir a la decadencia de la producción agrícola, la población del secano ha desarrollado estrategias que combinan la pluriactividad, las migraciones y el empleo temporal. Se deben buscar otras alternativas fuera del sector de la producción agrícola, y deben tener en cuenta, no sólo las potencialidades y el estado del medio, sino también, la accesibilidad, los recursos humanos y los deseos de la población. La existencia de una gran diversidad, tanto desde el punto de vista del medio natural, como de la organización social en el secano, muestra la necesidad de modular los ordenamientos en función de cada realidad local.

El desafío enfrentado en el estudio de los sistemas complejos que combinan medio natural y dinámica de las poblaciones, consiste en crear un conjunto coherente de información pluridisciplinaria a partir de datos brutos disponibles. Si el análisis permite comprender el modo de funcionamiento de estos sistemas, el trabajo de síntesis constituye la etapa indispensable para la difusión de los conocimientos adquiridos sobre los sujetos estudiados. Esta difusión se ha traducido en publicaciones, organización de coloquios y seminarios, y la creación de una base de datos georeferenciados Limarí. La organización de los datos en la base Limarí es la codificación informática del trabajo de síntesis. Esta organización materializa los diferentes niveles de acceso a la información y orienta al investigador o al decisor en la utilización de la base. La cartografía fina de las potencialidades del medio, la identificación de las zonas de riesgo y la distribución espacial de la población constituyen una fotografía del estado de la provincia de Limarí en 1992. La base Limarí recapitula un conjunto de presiones iniciales indispensables para seguir la evolución de las dinámicas estudiadas o para establecer modelos que permitan hacer una predicción de esta evolución. Los resultados de este programa y la experiencia del equipo del Centro Agrimed¹ en modelización del medio ambiente, son otros tantos factores favorables a la puesta en marcha de un sistema de ayuda a la decisión en materia de gestión del territorio y del cuidado del medio ambiente. Es responsabilidad de los investigadores y de los decisores el favorecer la emergencia de una estructura adecuada que tome a su cargo la puesta en marcha de una herramienta operacional.

El censo agrícola, previsto para 1997, aportará una información de primera importancia para estudiar, de manera más precisa, las relaciones entre la población, los usos agrícolas y el estado del medio. El estudio del secano era el objetivo principal del programa Limarí. Sin embargo, más del 50 % de la población es urbana y la agricultura de riego, base de la actividad económica de la provincia, depende, en parte, de la mano de obra proporcionada por el secano y el urbano. Se observa la interdependencia de los modos de funcionamiento de los diferentes sectores que componen la provincia de Limarí. Por lo tanto, para continuar el estudio es indispensable ampliar el campo de las investigaciones a seguir. El agua, elemento fundamental en zona árida, las potencialidades del medio para otros usos que la producción agrícola, la inserción de la provincia en la economía regional y nacional, las nuevas relaciones entre lo urbano y lo rural, la fragmentación del espacio de vida en espacio de trabajo, espacio de residencia y de estudio, deben ser el objeto de investigaciones que permitirán obtener un grado superior de la síntesis de los conocimientos disponibles sobre la provincia de Limarí.

¹ Centro Agricultura y Medio Ambiente de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad de Chile, dirigida por Fernando Santibañez.

BIBLIOGRAFIA

- Alvarez, D. & Lira, V., 1994. Empleo de la teledetección en el diagnóstico del complejo vegetación-suelo, en serranía árida, Región de Coquimbo, Chile. *Tesis Ing Agrónomo*, U de Chile. 220 p.
- Alvarez, D., Remy, D., Pouget, M., Caviedes, E. & Lira, V., 1996. Un modelo de susceptibilidad a la erosión con apoyo de terreno, teledetección y SIG: Aplicación en la Provincia del Limarí, Chile. In *Proceeding IV Congreso Internacional de Ciencias de la Tierra*, 5-9 de Agosto. Instituto Geográfico Militar. Santiago, Chile (en prensa).
- ARCHILU, 1985a. Levantamiento fitoecológico de la IV Región. 3) Análisis fitoecológico. Informe final. U. de Chile, Fac. Cs. Agr. y For. - Min. de Agricultura - CEPE/CNRS, Santiago, 9 mapas color, esc. 1:100.000, 72 p.
- ARCHILU, 1985b. Levantamiento fitoecológico de la IV Región. 4) Recursos pastorales. Informe final. U. de Chile, Fac. Cs. Agr. y For. - Min. de Agricultura - CEPE/CNRS, Santiago, 9 mapas b/n esc 1:100.000, 38 p.
- ARCHILU, 1985c. Levantamiento fitoecológico de la IV Región. 6) Dinámica de la vegetación. Informe final. U. de Chile, Fac. Cs. Agr. y For. - Min. de Agricultura - CEPE/CNRS, Santiago, 9 mapas, esc 1:100 000, 93 p.
- Aronson, J., Floret, C., Le Floc'h, E., Ovalle, C. & Pontanier, R., 1995. Restauration et réhabilitation des écosystèmes dégradés en zones arides et semi-arides. Le vocabulaire et les concepts. In *L'Homme peut-il refaire ce qu'il a défoit?* (ed(s) Pontanier, R., M'Hiri, A., Aronson, J., Akrimi, N. & Le Floc'h, E.), 11-29, John Libbey Eurotext, Paris.
- Avendaño, S., 1994. Carta de las Comunidades Agrícolas, IV Région, esc 1:250 000. Min. Bienes Nacionales - IV Región, Ovalle.
- Azócar, P., Osorio, R., Covarrubias, G. & Compbell, J., 1981. Productividad del *Atriplex repanda* Phil. y terófitas residentes en el secano mediterráneo árido de Chile en períodos de invierno. *Avances en Producción Animal* 6(1), 29-39.
- Benedetti, S., 1985. Evaluación del recurso leñoso en relación a las necesidades humanas en una comunidad agrícola de la IV Región. *Tesis Ing. Forestal*, U de Chile. 125 p.
- Bigham, J. M. & Ciolkosz, E. J. (eds), 1993. Soil color. Special Publication nº31. *Soil Science Society Association*, Madison, 159 p
- Börgel, R., 1983. Geomorfología. Tomo II. Colección de la Geografía de Chile. IGM (Chile), Santiago, 182 p
- Brabant, P., 1993. Pédologie et système d'information géographique. Comment introduire les cartes de sols et les autres données sur les sols dans les SIG? *Cahiers ORSTOM, série Pédologie XXVIII*(1), 107-135.
- Caldentey, J. P. & Pizarro, J. N., 1980. Evaluación y zonificación de los recursos climáticos de la IV Región. *Tesis Ing Forestal*, U de Chile 197 p.
- Caviedes, E. & Daget, P., 1984. Les climats méditerranéen du Chili: Contribution pour une nouvelle synthèse. *Bulletin de la Société Botanique Française. Actualisés Botaniques* 12(3-4), 205-212
- Caviedes, E., Etienne, M., Faúndez, L. & Prado, C., 1986a. Ecosistemas pastorales de la zona árida de Chile. Estudio de las comunidades agrícolas Carquindaño y Yerba Loca, del secano costero de la Región de Coquimbo. In: *Ecosistemas pastorales de la zona árida* (ed(s) Contreras, D., Gasto, J. & Cosío, F.), 7-27, UNESCO - MAB - CONICYT - COMITE MAB CHILE, Uruguay.
- Caviedes, E., Gálvez, J. & Bruna, G., 1986b. Establecimiento de una zona piloto para un programa de manejo racional. Comunidad Agrícola Yerba Loca, IV Región. Primer Informe. Proyecto CONAF/PNUD/FAO CHI/83/017-7 ACT. II - 1.2.2., Santiago, 122 p
- Caviedes, E. & Infante, R., 1987. Establecimiento de una zona piloto para un programa de manejo racional. Comunidad Agrícola Yerba Loca, IV Región. Informe final. Proyecto CONAF/PNUD/FAO-CHI/ 83/017-7, ACT II-1.2.2., Santiago, 169 p
- Clerc, R. & Díaz, J., 1988. Manejo caprino con arbustos forrajeros y pradera natural en el sector Las Cardas, años 1984-1987. Informe final. U de Chile, Fac. Cs. Agr. y For. - CONAF, 100p.
- Carrea, C. A., 1992. Variables edáficas que más influyen en la producción y calidad nutritiva del forraje de *Atriplex repanda* Phil. y *Atriplex numularia* Lindl., en la IV Región. *Tesis Ing. Forestal*, U de Chile. 120 p.
- D'Herbés, J. M. & Caviedes, E., 1985. Diagnóstico ecológico de plantaciones de arbustos forrajeros del género *Atriplex* en la IV Región, Coquimbo. Nota explicativa de las cartas de aptitud para la plantación de *Atriplex*. U de Chile, Fac. Cs. Agr. y For. - CONAF, 20 mapas esc. 1:50.000, 50 p.
- D'Herbés, J. M., Mieres, G. & Caviedes, E., 1985. Diagnóstico ecológico de plantaciones de arbustos forrajeros del género *Atriplex* en la IV Región, Coquimbo. I. Determinación de índices de sitio de plantación. Informe final. U de Chile, Fac. Cs. Agr. y For. - CONAF, Santiago, 67 p.
- Delaunay, D., 1993. Les populations dans leur environnement agraire: une application des Système d'Information Géographique. In *Proceeding International Population Conference*. International Union of Population Study. Montreal, Canada. 175-187.
- Escadafal, R., 1989. Caractérisation de la surface des sols arides par observations de terrain et par télédétection. Applications. exemple de la région de Tataouine (Tunisie). *Doctorat d'Etat*, Université de Paris VI. 317 p.
- Escadafal, R., Belghith, A. & Ben Moussa, H., 1994. Indices spectraux pour la dégradation des milieux naturels en Tunisie aride. In *Proceeding 6ème Symp. Int. "Mesures Physiques et Signatures Spectrales en Télédétection"*. ISPRS-CNES. Val d'Isère, France: 253-259.
- Escadafal, R., Girard, M.-C. & Courault, D., 1989. Munsell soil color and soil reflectance in the visible bands of Landsat MSS and TM data. *Remote Sensing of Environment* 27, 37-46.
- Etienne, M., Caviedes, E., González, C. & Prado, C., 1982a. Cartografía de la vegetación de la zona árida de Chile. Transecto I: Pto. Oscuro, Combarbalá, Monte Patria, Ovalle, La Serena. *Terra Andia*. U. de Chile, Fac. Cs. Agr. y For. 1(1), 7 mapas color esc. 1:50.000, 1-69.

- Etienne, M., González, C. & Prado, C., 1982b. Cartografía de la vegetación de la zona árida mediterránea de Chile. Transecto II: Los Vilos, Illapel, Combarbalá. *Terra Arida. Universidad de Chile, Fac. Cs. Agr. y For.* 1(2), 4 mapas color esc. 1:50.000, 81-126.
- Etienne, M., Caviedes, E. & Prado, C., 1983. Bases écologiques du développement de la zone aride méditerranéenne du Chili. Eléments pour une planification au niveau régional: Zone-test de Tunquén. *CNRS - U. de Chile, Montpellier*, 69 p.
- Etienne, M., Del Pedregal, J. & Alvarez, M., 1984. Cartografía de la vegetación de la zona árida de Chile. Transecto III: Los Vilos - Coquimbo. *Terra Arida. U. de Chile, Fac. Cs. Agr. y For.* 3(1), 9 mapas color esc. 1:50.000, 1-44.
- Etienne, M., Faúndez, L. & Valdés, J., 1987. La desertización en la zona árida de Chile. *Terra Arida. U. de Chile, Fac. Cs. Agr. y For.* 6, 1-44.
- Floret, C., Le Floc'h, E., Romane, F. & Pontanier, R., 1981. Dynamique de systèmes écologiques de la zone aride Application à l'aménagement sur des bases écologiques d'une zone de la Tunisie présaharienne. *CEcol. Applic.* 2(3), 195-214.
- Floret, C., Mimet, A. & Pontanier, R., 1990. Régime hydrique et sensibilité à l'érosion des systèmes écologiques de la zone aride (Tunisie). *Cahiers ORSTOM, série Pédologie XXV(1-2)*, 53-69.
- Floret, C., Le Floc'h, E. & Pontanier, R., 1992. Perturbations anthropiques et aridification en zone présaharienne. In: *L'aridité: une contrainte au développement* (ed(s) Pontanier, R., M'Hiri, A., Aronson, J., Akrimi, N. & Le Floc'h, E.), 127-142, Editions de l'ORSTOM, Paris.
- Gajardo, R., 1983. Sistema básico de clasificación de la vegetación nativa chilena. Informe mimeografiado U. de Chile, Fac. Cs. Agr. y For. - CONAF, 315 p.
- Gana, P., 1991. Mapa geológico de la Cordillera de la Costa entre La Serena y Quebrada el Teniente (1:100 000). SERNAGEOMIN (Chile), Santiago.
- Gastó, J. & Canteras, D., 1979. Un caso de desertificación en el norte de Chile. El ecosistema y su fitocenosis. *Boletín Técnica. U. de Chile, Fac. Cs. Agr.* 4, 1-99.
- Gómez, D., 1993. Ordenación del Territorio. Una aproximación desde el medio físico. Ingeniería Geoambiental. Instituto Tecnológico GeoMinero de España - Editorial Agrícola Española, S. A., Madrid, 237 p.
- Gómez, S., 1993. Dilemas de la sociología rural frente a la agricultura y el mundo rural en la América Latina hoy. 143-163, Colegio de Sociólogos de Chile, Santiago.
- Gozo, C., 1986. Fitodinámica post-cultivo en comunidades agrícolas del secano mediterráneo árido, IV Región, Chile. *Tesis Ing. Agrónomo*, U. de Chile. 178 p.
- Gutiérrez, R., 1990. Algunas variables edáficas que influyen en el rendimiento y en la calidad del forraje de *Atriplex repanda* Phil. y *Atriplex numularia* Lindl., en la localidad de Las Cardas, IV Región. *Tesis Ing. Forestal*, U. de Chile. 95 p.
- Hajek, E. R., 1976. Clima. In: *Cooperación internacional para combatir la desertificación. Estudio de caso de Chile, Combarbalá* (ed(s) INIA), 6-40, INIA, Santiago.
- Horvath, E. H., Post, D. F. & Kelsey, J. B., 1984. Relationships among Landsat digital data and the properties of Arizona rangelands. *Soil Science Society American Journal* 48, 1331-1334.
- Huete, A. R., 1988. A soil adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment* 25, 295-309.
- INE, 1982. Chile XV censo nacional de población y IV de vivienda, abril 1982, región de Coquimbo. Localidades pobladas. Tomo 1. *INE (Chile), Santiago*, 180 p.
- INE, 1982. Chile XV censo nacional de población y IV de vivienda, abril 1982, región de Coquimbo. Población. Tomo 1 y Tomo 2. *INE, Santiago*, 455 p.
- INE, 1982. Chile XV censo nacional de población y IV de vivienda, abril 1982, región de Coquimbo. Vivienda, hogar y familia. Tomo 1. *INE, Santiago*, 202 p.
- INE, 1992. Resultados generales, censo de la población y vivienda en Chile 1992. *INE, Santiago*, 750 p.
- INE, 1993. Estadísticas agropecuarias. Año agrícola 1992-1993. *INE*, 71 p.
- INE, 1993. Informe demográfico de Chile 1992. *INE, Santiago*, 60 p.
- IREN, 1977. Estudio de las comunidades agrícolas de la IV Región. *Agrología. IREN (Chile)*, 149 p.
- King, C. & Delpont, G., 1993. Spatial Assessment of Erosion: Contribution of Remote Sensing, a Review. *Remote Sensing Reviews* 7, 223-232.
- King, D., Hardy, R. & Le Bissonnais, Y., 1991. Evaluation spatiale de la sensibilité à l'érosion hydrique des terres agricoles de la région Nord-Pas de Calais. Rapport d'étude, Convention INRA-Région NPC, INRA-SESCPF, Orléans, 250 p.
- Lailhacar, S., 1985. Las grandes formaciones vegetales de las zonas desértica y mediterráneas perárida y árida de Chile. *Sociedad Chilena de Ciencias del Suelo Boletín* 5(2), 145-231.
- Latz, K., Weismiller, R. A., Van Scoyoc, G. E. & Baumgardner, M. F., 1984. Characteristic variations in spectral reflectance of selected eroded alfisols. *Soil Science Society American Journal* 48, 1130-1134.
- Long, G., 1974-1975. Diagnostic phyto-écologique et aménagement du territoire. Tome 1 et Tome 2. *Masson, Paris*, 472 p.
- Luzio, W., 1986. Génesis y clasificación de los suelos regionales y desérticos de Chile. *Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo Boletín* 5(1), 107-140.
- Luzio, W., Dadilla, I. & Vera, W., 1978. Zonificación del sistema fitoedáfico en el secano costero de la IV Región de Chile. In *Proceeding II Simposio Nacional de la Ciencia del Suelo*. Fac. Cs. Agr., U. de Chile. Santiago, Chile: 476-495.
- Mac Adam, D., 1985. Color measurement. Optical Sciences. *Springer Verlag, Amsterdam*, 230 p.
- Madeira, J., 1993. Etude quantitative des relations constituants minéralogiques-reflectance diffuse des latosols Brésiliens. Application

- à l'utilisation pédologique des données satellitaires TM (Région de Brasília). Collection Etudes et Thèses. *ORSTOM, Paris*, 236 p.
- Mathieu, R., King, C. & Le Bissonais, Y., 1993.** Contribution de données multitemporelles SPOT à l'identification des risques d'érosion: l'exemple de sols limoneux du nord de la France. *Cahiers ORSTOM, série Pédologie XXVIII*(1), 81-84.
- Mathieu, R., Pouget, M., Cervelle, B., Escadafal, R. & Cavedes, E., 1996.** Color de suelos e índices radiométricos: aplicación para cartografiar la erosión en alfisos de la Cordillera de la Costa (Chile). In *Proceeding IV Congreso Internacional de Ciencias de la Tierra, 5-9 de Agosto, 1996*. Instituto Geográfico Militar. Santiago, Chile (en prensa).
- Montecinos, E., 1982.** Efecto de la exposición en el desarrollo de andisols de la IV Región. *Tesis Ing. Agrónomo*, U. de Chile. 79 p.
- Mougenot, B., Pouget, J. & Epema, G. F., 1993.** Remote sensing of salt affected soils. *Remote Sensing Reviews* 7, 241-259.
- Mueller-Dombois, D. & Ellenberg, H., 1974.** Aims and Methods of vegetation ecology. Chap. 2. Community sampling: the relevé method *Wiley, New York, USA*, 45-66
- Munsell Color Compagny, 1975.** Munsell soil color charts. *Munsell Color, Macbeth Division of Kallmorgen Corporation, Maryland, USA*, 30 p.
- Paskoff, R., 1970.** Le Chili semi-aride: recherches géomorphologiques. *Biscaye Frères, Bordeaux*, 210 p
- Peralta, M., 1986.** Reconocimiento semi-detallado de suelos en el sector costero de la IV región, mediante el uso de "Land Units". *Tesis Ing. Agrónomo*, U. Chile. 317 p.
- Pouget, M. & Mulders, M. A., 1988.** Description of the landsurface for correlation with remote sensing data. In *Proceeding 5th ISSS Symp. of the Working Group of Remote Sensing*. International Soil Science Society Budapest, Hongrie: 153-158.
- Pouget, M., Le Floc'h, E., Kamal, S. & Salem, B., 1990.** Utilisation des données SPOT pour la cartographie de ressources renouvelables. Applications à la région côtière Nord-Ouest de l'Egypte. In: *Journées de Télédétection. Images satellites et milieux terrestres en régions arides et tropicales* (ed(s) ORSTOM), 103-144, Editions de l'ORSTOM, Paris.
- Pouget, M., Mathieu, R., Cavedes, E., Bedidi, A. & Escadafal, R., 1994.** Caracterización espectral de las formaciones superficiales y su aplicación en el uso de datos satelitales para el mapeo geológico. Ejemplo de la región de Combarbalá. In *Proceeding 7º Congreso Geológico Chileno*. U. de Concepción. Concepción, Chile: 139-143.
- Prado, J. A., Infante, P., Ariagada, M. & Aguirre, S., 1988.** Funciones de biomasa para siete especies arbustivas en la IV Región. Documentos de Trabajo Nº14, Proyecto CONAF/FAO/PNUD-CHI/83/017, 26 p.
- Rakoto, M. & al, 1986.** Manuel de référence du logiciel de traitement d'images PLANETE. ORSTOM, Paris, 125 p.
- Renard, K., Foster, G., Weesies, G. & Porter, J., 1991.** RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation. *Journal of Soil and Water Conservotion* 46(1), 30-33.
- Rivano, S. & Sepulveda, P., 1991.** Hoja Illapel. Carta Geológica (Chile). SERNAGEOMIN, Santiago.
- Rodríguez, M., 1959-1960.** Regiones naturales de Chile y su capacidad de uso. *Agricultura Técnica. (Chile) XIX-XX*, 309-399.
- Romero, H., 1990.** Patrones espaciales de la modernización agrícola en el norte de Chile: una perspectiva basada en los Sistemas de Información Geográfica. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis* 32, 165-196.
- Saez, J. C., 1986.** Energía para el desarrollo rural: el caso de las comunidades de Coquimbo. Informe de Proyecto Serie A, Vol. 20 nº 5, PRIEN - U. de Chile, 237 p.
- Salmon-Drexler, B. C., 1977.** Reducing Landsat data to parameter with physical significance and signature extension. A review of Landsat capabilities. In *Proceeding 11th Symp. of Remote Sens Environ.* ERIM Ann Arbor, USA: 1289-1299.
- Santibañez, F., 1983.** Zonification agroclimatique du Chili méditerranéen intégrée à l'analyse agro-écologique. In *Proceeding Colloque de Bioclimatologie Méditerranéenne*. CNRS. Montpellier, France: 1-19.
- Santibañez, F., 1986.** Carta agroclimatológica, IV Región, esc 1/500000. U. de Chile, Fac. Cs. Agr. y For., Santiago.
- Santibañez, F., 1986.** Rasgos agroclimáticos generales de la zona árida chilena. *Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo Boletín* 5, 1-28.
- Santibañez, F. & Uribe, J. M., 1994.** El clima y la desertificación en Chile. In: *Plan de acción para combatir la desertificación* (ed(s) FAO), 108, FAO, Santiago
- SERBAL/UNESCO, 1982.** Desarrollo de tierras áridas y semiáridas. Obstáculos y perspectivas. Nota Técnica MA8 nº 6, p.
- Souris, M. & al, 1986.** Manuel de référence du Système d'Information Géographique SAVANE ORSTOM, Paris, 220 p.
- Thomas, H., 1967.** Geología de la Hoja de Ovalle (Coquimbo). Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago.
- Torrent, J. & Barrón, V., 1993.** Laboratory measurement of soil color. In: *Soil Color* (ed(s) Bigham, J. M. & Ciolkosz, E. J.), *Special Publication n° 31*, 21-34, Soil Science Society Association, Madison.
- Torrent, J., Schwertmann, U., Fetcher, H. & Alferez, F., 1983.** Quantitative relationships between soil color and hematite. *Soil Science* 136(6), 354-358.
- Wischmeier, W. & Smith, S., 1978.** Predicting rainfall erosion losses. Agricultural Handbook. *US Department of Agriculture, Washington D.C.*, 537 p.
- Wysocky, G. & Stiles, W. S., 1982.** Color science: Concept and methods, quantitative data and formulae. *Wiley, New York*, 950 p

SIGLAS

| | | | |
|-------------|---|---------|--|
| AFR | Cobertura de Afloramiento Rocoso en % | MNT | Modelo Numérico de Terreno |
| AGR | Cobertura de Agregados y Terrones en % | ORSTOM | Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération |
| ARCHILI | Programa de Cooperación U. de Chile- CNRS (Francia) | PAR | Cobertura de Estructura Particular (arena) en % |
| ARC INFO | Sistema de Información Geográfica | PED | Cobertura de Pedregosidad en % |
| BLO | Cobertura de Bloques en % | PIE | Cobertura de Piedras en % |
| CELADE | Centro Latinoamericano de Demografía | PLANETE | Programa ORSTOM de Procesamiento de datos de Satelitales |
| CEPE | Centre d'Etudes Phytosociologiques et Ecologiques Louis Emberger, CNRS, Montpellier | RAU | Reserva de Agua Útil del suelo para la vegetación |
| CEZA | Centro de Estudios de Zonas Aridas de la U. de Chile | SAT | Staturación o Chroma del color Munsell |
| CHR | Cobertura de Herbáceos en % | SAVANE | Programa ORSTOM de Sistema de Información Geográfica |
| CLA | Cobertura de Leñosos Altos en % | SAVI | Soil Apuned Vegetation Index |
| CLB | Cobertura de Leñosos Bajos en % | SEC | Cordillera de la Costa y Serranías Costeras |
| CNRS | Centre National de la Recherche Scientifique | SIG | Sistema de Información Geográfica |
| CONAF | Corporación Nacional Forestal | SIN | Serranías del Interior |
| COP | Cobertura de Cropolitos (estructura biológica) en % | SPOT | Satélite de Alta Resolución Espacial (Francia) |
| COR | Cordillera de los Andes | SURO | Susceptibilidad de los Suelos a la Erosión |
| COS | Cobertura de Costras en % | TAL | Terrazas Aluviales |
| CSIRO | Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation | TAM | Terrazas de Abrasión Marina |
| CSU | Cobertura de Suculentas en % | TIF | Cobertura de Tierra Fina en % |
| CSV | Complejo Suelo-Vegetación | TSM | Terrazas de Sedimentación Marina |
| CVT | Cobertura Vegetal Total en % | UGM | Unidades Geomorfológicas Mayores |
| DAA | Dunas Antiguas | UNT | Unidades Naturales de Terreno |
| DGA | Dirección General de Aguas | UTM | Universal Transversal de Mercator |
| DLI | Dunas Litorales | | |
| DMA | Dirección Meteorológica de Chile | | |
| ERO | Grados de Erosión | | |
| EXP | Codificación de la exposición en función del acimut del sol | | |
| FAT | Fitovolumen Aéreo Total | | |
| FVPD | Fitovolumen Pastoral Disponible | | |
| FVT | Fitovolumen Total | | |
| GLA | Glacis | | |
| GRA | Cobertura de Gravas en % | | |
| GVI | Cobertura de Gravillas en % | | |
| HRV1-2 | Sensor de SPOT (Haute Résolution dans le Visible) | | |
| IBS | Índice de Brillo SPOT | | |
| IGM | Instituto Geográfico Militar | | |
| INE | Instituto Nacional de Estadísticas | | |
| INT | Intensidad o Value del color(Munsell) | | |
| IREN/CORFO | Instituto de Recursos Naturales - Corporación de Fomento | | |
| IRM | Índice de Rojo Munsell | | |
| IRS | Índice de Rojo SPOT | | |
| IVS | Índice de Vegetación SPOT | | |
| LAN | Llanuras | | |
| LANDSAT MSS | Sensor Multi Spectral Scanner del Satélite LANDSAT | | |
| LANDSAT TM | Sensor Thematic Mapper del Satélite LANDSAT | | |
| LBH | Formación Vegetal Leñosa Baja y Herbácea | | |
| LIN | Lomajes del Interior | | |
| LITO | Unidades Litológicas | | |
| LOC | Lomajes Costeros | | |
| MAN | Cobertura de Mantillo y Restos Orgánicos en % | | |
| MAT | Matiz o Hue del color (Munsell) | | |
| MES | Meseta | | |

FORMULARIO DE DESCRIPCION DE LOS SITIOS

11 Identificación

N° _____

12 Localización geográfica

121 Localidad _____
 122 Altitud _____ en metros: _____

13 Situación en el paisaje

131 Tipo de roca _____
 - intrusiva: granito, granodiorita, tonalita, diorita, diorita cuarzifera, monzodiorita.
 - volcánica: andesita, riolita, toba
 - metamórfica: esquisto, filita, gneis
 - roca sedimentaria: caliza, conglomerado, arenisca, dolomita _____

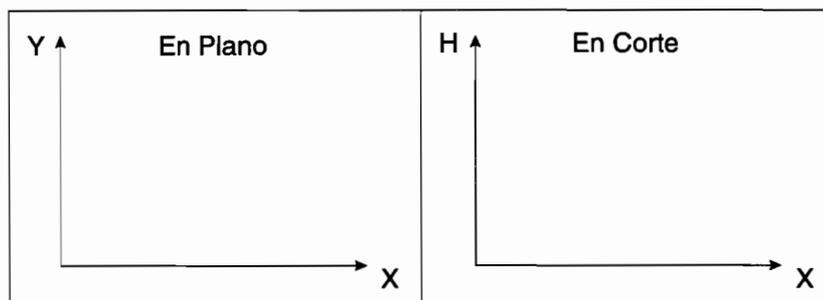
132 Unidad geomorfológica

Tipo: cordillera, serranía, lomaje, glacis, terraza aluvial (alta, media, ladera),
 lecho de rio, terraza marina, terraza de abrasión marina, duna, _____
Ubicación del sitio en la unidad: arriba, centro, abajo _____
Pendiente media: _____ en % _____
Exposición: N (1), NO (2), O (3), SO (4), S (5), SE (6), E (7), NE (8), TP(9) _____
Forma: cóncava (1), convexa (2), plana (3), _____
Ondulaciones de la superficie (> 1 m) sin (1) o con ondulaciones (2) _____
 naturaleza: geológica (1), erosión (2) _____
 amplitud vertical: _____ en metros _____
 amplitud horizontal: _____ en metros _____
 orientación cardinal (N,O, S, E) _____

133 Erosión del sitio

- | | | | |
|----|-----------------------------|----|---------------------------|
| 01 | sin erosión | 07 | hídrica con surcos fuerte |
| 02 | hídrica laminar ligera | 08 | hídrica con zanjas |
| 03 | hídrica laminar moderada | 09 | hídrica con cárcavas |
| 04 | hídrica laminar fuerte | 10 | eólica ligera |
| 05 | hídrica con surcos ligera | 11 | eólica moderada |
| 06 | hídrica con surcos moderada | 12 | eólica fuerte |

ESQUEMAS Y OBSERVACIONES DISTINTAS



2 - ESTADO DE LA OCUPACION DEL SUELO AL MOMENTO DE LA OBSERVACION

21 Momento de la observación

211 Identidad del observador :

212 Fecha :

D ____ M ____ A ____ Hora ____

22 Uso del suelo:

datos sintéticos y cuantitativos en relación con la actividad humana.

| | | |
|--|----|--|
| - <i>cultivos herbáceos de secano</i> | 37 | otros frutales |
| 01 trigo | 38 | otros |
| 02 comino | | - <i>terrenos de pastoreos (tipo de formación vegetal dominante)</i> |
| 03 anís | 41 | LA |
| 04 cilantro | 42 | LB |
| 05 chícharo | 43 | H |
| 06 lenteja | 44 | LA - LB - H |
| 07 garbanzo | 45 | LB - H - S |
| 08 otros | 46 | LB - H |
| - <i>cultivos herbáceos de riego</i> | 47 | LB - S |
| 11 trigo | 48 | H - S |
| 12 alfafa | 49 | S |
| 13 porotos | | - <i>bosque o plantación forestal</i> |
| 14 maíz | 51 | nativo |
| 15 papas | 52 | pino |
| 16 hortalizas | 53 | eucaliptus |
| 17 otros | 54 | otros |
| - <i>cultivos arbustivos de secano</i> | 6 | suelo desnudo |
| 21 arbustos | 61 | arado |
| forrajeros (atriplex...) | 62 | otros |
| 22 frutales | | - <i>zona artificializada</i> |
| - <i>cultivos arbustivos de riego</i> | 71 | zona urbana |
| 31 viña | 72 | zona pereriurbano |
| 32 olivos | 73 | minera |
| 33 polto | | - <i>agua</i> |
| 34 cítricos | 81 | rios |
| 35 manzonas | 82 | estanques |
| 36 duraznos | 83 | embalses |

3 - CARACTERIZACION CUANTITATIVA DEL ESTADO DE SUPERFICIE AL MOMENTO DE LA DESCRIPCION

31 Meso y micro relieve (afloramiento rocoso y tierra fina)

| Tipos de relieve Caracterización | MESORELIEVE de orden métrico | MICRORELIEVE de orden centimétrico |
|---|---------------------------------|---------------------------------------|
| Presencia: sin (1) o con (2) | | |
| Porcentaje de la superficie afectar | | |
| Naturaleza: litológico (1), erosión (2), trabajo del suelo (3) | | |
| Forma: arado (1), rastreado (2), surcos (3), otro (4) | | |
| Ancho medio en cm o metros | | |
| Largo medio en cm o metros | | |
| Altura media en cm o metros | | |
| Orientación: sin (9), con orientación (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8) | | |

32 Cobertura Vegetal Total: vegetación + mantillo y restos orgánicos

| Cobertura Vegetal Total CVT % | | | | | | Mantillo y restos orgánicos MAN % | CVT % |
|-------------------------------|-----|-----|-----|--|------------|--|----------|
| Vegetación % | | | | | Total % | | |
| CLA | CLB | CSU | CHF | | | | |
| | | | | | | | |

321 Mantillo y restos organicos

Naturaleza: hojas (1), ramillas (2), ramas (3), troncos (4), guano (5),mantillo (6)

322 Principales especies dominantes

Especie 1 :

Especie 2 :

Especie 3 :

Especie 4 :

Especie 5 :

| |
|--|
| |
| |
| |
| |
| |

323 Caracterización de las estratas

| CARACTERIZACION | | ESTRATAS | | | |
|---|----------------------------|----------|----|----|----|
| | | LA | LB | SU | HR |
| Identificación de las especies dominantes por estrata | | | | | |
| Cobertura % | Estimada (1) Medida (2) | | | | |
| Actividad clorofílica | Color domin | | | | |
| | Otro color | | | | |
| Estructura | Altura media | | | | |
| | Distancia media | | | | |
| | Distnbución | | | | |
| Observaciones | | | | | |

33 Cobertura Mineral Total: afloramiento rocoso + pedregosidad+ tierra fina

| Cobertura Mineral Total CMT % | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|----------------|---------|--------|--------|-------|---------------|--------|--------|---------|-------|----------|
| Aflor Roco % | Pedregosidad % | | | | | Tierra fina % | | | | | CMT % |
| | Bloques | Piedras | Gravas | Gravil | TOTAL | Agreg | Costra | Coprol | Partic. | TOTAL | |
| | | | | | | | | | | | |

331 Afloramiento rocoso

| Tipos | | Rocas duras | Rocas blandas | Otras |
|------------------------|----------------------------|-------------|---------------|-------|
| Caracterización | | | | |
| Cobertura % | Estimada (1) Medida (2) | | | |
| Color MUNSELL | Dominante | | | |
| | Otro color | | | |
| Naturaleza mineral | | | | |
| Altura media en metros | | | | |
| Revestimientos | | | | |

332 Pedregosidad

| Clases de pedregosidad | | Bloques >25 cm | Piedras 25 - 7,5 cm | Gravas 7,5 - 2 cm | Gravillas 2 - 0,2 cm |
|------------------------|----------------------------|----------------|---------------------|-------------------|----------------------|
| Caracterización | Cobertura % | | | | |
| | Estimada (1) Medida (2) | | | | |
| Color MUNSELL | Dominante | | | | |
| | Otro color | | | | |
| Naturaleza mineral | | | | | |
| Revestimientos | | | | | |

333 Tierra fina (< 0,2 cm)

| Estado estructural de la superficie | | Estructura fragmentaria agreg. y terrones | Estructura continua con costra | Estructura tipo biológico coprolitos | Estructura particular (arena) |
|--|----------------------------|---|--------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| Caracterización | Cobertura % | | | | |
| | Estimada (1) Medida (2) | | | | |
| Color MUNSELL | Seco | | | | |
| | Húmedo | | | | |
| Diámetro medio de los agregados y terrones | | | | | |
| Textura | | | | | |
| Humedad | | | | | |
| Características físico-químicas | | | | | |
| Red de fisuras de retracción | | | | | |
| Otras características destacables | | | | | |

4 - CARACTERIZACION DEL SUELO

41 Clasificación CPCS
Soil Taxonomy
FAO

42 Material de origen

43 Descripción (cf. esquema)

| Profundidad y Esquemas | Descripción de los Horizontes |
|------------------------|-------------------------------|
| | |

5 - OTRAS CARACTERIZACIONES DE LA VEGETACIÓN

51 Inventario florístico (parcelas crecientes)

52 Analisis de la estructura

- Mediciones de frecuencia específica (point quadrat)
- Mediciones de cobertura vegetal versus cobertura mineral (transecto de 100 m o más)

53 Medición o estimación de fitomasa aérea

54 Muestras de suelo conteniendo semillas
(4 cm profundidad y 25 cm de diámetro)

6- MEDICIONES RADIOMETRICAS

7- FOTOS TOMADAS

MÉTODOS DE ESTIMACION DE LA PRODUCCION VEGETAL DE LOS SITIOS

1 - Fitovolumen Total FVT (ARCHILI, 1985a)

El cálculo del fitovolumen total, se obtuvo multiplicando la altura por el porcentaje de cobertura de cada una de las especies dominantes de la vegetación.

$$FVT = S (C_i * h_i) \text{ en metros cúbicos por hectárea.}$$

donde: i = especie dominante de la formación vegetal

C_i = cobertura de la especie i

h_i = altura de la especie i

2 - Fitovolumen pastoral disponible FPD (ARCHILI, 1985a)

Para el cálculo del fitovolumen pastoral disponible es necesario tener conocimiento sobre el consumo diferenciado de las especies vegetales por el ganado, denominado apetecibilidad de la especie vegetal. Para aquellas especies que son apetecidas por el ganado, se debe conocer también la proporción de hojas y tallos, a modo de cuantificar la proporción de la planta que puede ser consumida por el ganado. Estos datos han sido determinados para las principales especies dominantes de la zona por Lailhacar (1981) y Azócar (1982).

$$FPD = S (FVT_i * A_i * RH/T_i) \text{ en metros cúbicos por hectárea.}$$

donde: i = especie dominante

FVT = fitovolumen total de la especie i

A = apetecibilidad de la especie i

RH/T = relación hoja/tallo de la especie i

3 - Fitomasa aérea total (FAT)

La estimación de la fitomasa aérea total es más complicada, puesto que existe muy poca información de los valores de este parámetro para especies de secano arbustivas y herbáceas de la zona mediterránea árida, y menos aún, asociadas con variables alométricas o con las coberturas de dichas especies.

Benedetti (1985), en un estudio sobre el consumo de leña como fuente de energía para las comunidades agrícolas, determinó algunas funciones exponenciales para estimar la fitomasa total de cada uno de siete arbustos de la zona mediterránea árida (*Adesmia microphylla*, *Baccharis linearis*, *Cassia clossiana*, *Cassia coquimbensis*, *Eupatorium salvia*, *Muehlenbeckia hastulata* y *Schinus latifolius*), utilizando como datos de base la altura, el diámetro medio de copa, el diámetro basal o el área de copa de la especie.

Prado et al (1988), por otra parte, determinaron las funciones para estimar la biomasa total de tres especies arbóreas (*Acacia caven*, *Cordia decandra* y *Lithraea caustica*) y de cuatro especies arbustivas (*Cassia coquimbensis*, *Colliguaya odorifera*, *Flourensia thurifera* y *Gutierrezia resinosa*). Los autores seleccionaron el diámetro basal, número de ramas de más de 3 cm de diámetro, altura de máximo follaje, altura total y diámetro mayor y menor de copa, como las variables que se relacionan con la biomasa total de las especies arbóreas. En tanto, para las especies arbustivas se consideró el diámetro mayor y menor de copa, altura total y altura de máximo follaje. En el caso del arbusto *Gutierrezia resinosa* se utilizó el número de plantas presentes en una superficie de 4 m² y la altura promedio de esas plantas. El traspaso del peso seco al peso verde consideró un factor de conversión global en el caso de los arbustos, mientras que en el caso de los árboles, ese mismo factor variaba según los distintos componentes de la estructura.

Correa (1992), realizó una investigación de las variables edáficas que influyen en el rendimiento de dos arbustos del género *Atriplex*, donde obtuvo ecuaciones exponenciales para estimar la fitomasa forrajera de las especies arbustivas, *Atriplex numularia* y *Atriplex repanda*, mediante el uso de variables alométricas.

Gutiérrez (1990), determinó ecuaciones exponenciales para la estimación de fitomasa forrajera en *Atriplex repanda* y *Atriplex numularia*, encontrando que en ambas especies la variable alométrica que mejor se relaciona con la fitomasa forrajera es el diámetro medio, y en *Atriplex numularia*, también la altura. Sin embargo, considerando que el diámetro N-S de estas especies es mayor que el E-O, resultó ser más

eficiente para el cálculo de fitomasa forrajera la variable cobertura elíptica de copa. Por otra parte, Correa (1992) señala que el 40 a 45% de la fitomasa total corresponde a fitomasa forrajera para el caso de *Atriplex repanda*, y se considera una fracción del 50% de la fitomasa total como la disponibilidad forrajera del *Atriplex numularia*.

En base a la bibliografía disponible, se procedió de la manera siguiente: para cada especie dominante, para la cual existe un modelo de relación entre las variables alométricas y su peso seco, se consideró un individuo de dimensiones promedio y se calculó su peso seco. Luego, se determinó su peso seco por unidad de volumen (kg/m^3).

Esas especies se agruparon en cuatro categorías, según los valores calculados en $\text{Kg MS}/\text{m}^3$. Posteriormente, las especies dominantes de los sitios descritos en terreno sin información bibliográfica de fitomasa total, se agregaron a una de las cuatro categorías considerando la estructura de la planta, su morfología o su hábito de crecimiento.

En un primer grupo se agruparon todas las especies que corresponden a aquellas más carnosas o con relación hoja-tallo más alto, de ambientes con balances hídricos relativamente favorables. En este grupo están: *Alona filifolia*, *Atriplex repanda*, *Bahía ambrosioides*, *Balsamocarpus brevifolia*, *Berberis glomerata*, *Caesalpinia angulata*, *Cardionema ramossissima*, *Cestrum palqui*, *Chuquiraga acicularis*, *Coronilla*, *Encelia canescens*, *Ephedra andina*, *Erica*, *Frankenia*, *Gutierrezia resinosa*, *Haplopappus sp.*, *Junellia seriphoides*, *Lithraea cáustica*, *Ophryosporus paradoxus*, *Oxalis gigantea*, *Phleocarpus revolutus*, *Proustia cuneifolia*, *Proustia cinerea*, *Senecio adenotrichius*, *Senecio bahioides*, *Senecio murorum*, *Talguenea quinquinervis*, *Valeriana*, *Verbena*, **con valores de hasta 1 Kg MS/m³, asignándoles un valor promedio a todas ellas de 0,7 Kg MS/m³.**

El segundo grupo lo formaron especies intermedias, donde se ubican, por ejemplo, *Acacia caven*, *Atriplex numularia*, *Baccharis concava*, *Baccharis paniculata*, *Cassia closiana*, *Cassia coquimbensis*, *Colliguaya odorifera*, *Eupatorium salvia*, *Fabiana barriosii*, *Kageneckia oblonga*, *Muehlenbeckia hastulata*, *Proustia baccharoides*, *Proustia illicifolia*, *Schinus polygamus*, que presentan **valores entre 1 y 2 Kg MS/m³, y que se les asignó 1,5 Kg MS/m³.**

En el tercer grupo se dejaron las especies de ambientes más xéricos, con poca cantidad de hojas o estas son muy pequeñas o angostas. En esta categoría se agrupó *Adesmia argentea*, *Adesmia glutinosa*, *Adesmia microphylla*, *Azara celastrina*, *Baccharis linearis*, *Cordia decandra*, *Flourensia thurifera*, *Fuchsia lysiooides*, *Heliotropium stenophyllum*, *Llagunoa glandulosa*, *Porlieria chilensis*, *Schinus molle*, que tienen **valores superiores a 2 Kg MS/m³, y se les calculó un valor promedio de 3,1 Kg MS/m³.**

Y en un cuarto grupo se dejó *Bridgesia incisifolia* sola, por ser la única con un **valor alto de 39,4 Kg MS/m³**, respetándose éste valor.

Posteriormente, el fitovolumen por especie dominante (m^3/ha) se multiplica por el valor asignado de peso seco por volumen ($\text{Kg MS}/\text{m}^3$), y así se obtiene el peso seco de la especie dominante para una superficie de una hectárea ($\text{Kg MS}/\text{ha}$). Se ejecuta este mismo cálculo para todas las especies dominantes de un sitio y se realiza la sumatoria de ellas.

En cuanto a la **estimación de la fitomasa aérea de las especies herbáceas, se multiplica el fitovolumen total de las herbáceas por un factor constante de 0,8 Kg MS/m³**, considerando similar el contenido de agua en todas las herbáceas. Esta operación se ejecuta indistintamente cualquiera sea cobertura y altura promedio características de la especie, puesto que ya se refleja esto en el valor del fitovolumen total. Se compararon estos valores con otros obtenidos en otras investigaciones, resultando cifras muy similares (Azúcar et al, 1981; Clerc y Díaz, 1987; Gozo, 1986).



P. HAMELIN®



M. J. POUGET®