

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

MEMORIA DE TÍTULO

**VALIDACIÓN DE UN PROTOCOLO DE CAMPO PARA LA
EVALUACIÓN DE INDICADORES BIOFÍSICOS DE LA
DESERTIFICACIÓN**

VIVIANA PAZ ÁVALOS ARAYA

SANTIAGO-CHILE

2004

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

**VALIDACIÓN DE UN PROTOCOLO DE CAMPO PARA LA EVALUACIÓN DE
INDICADORES BIOFÍSICOS DE LA DESERTIFICACIÓN**

Memoria para optar al Título Profesional
de Ingeniero en Recursos Naturales
Renovables.

VIVIANA PAZ ÁVALOS ARAYA

PROFESOR GUÍA	Calificaciones
Sr. Fernando Santibáñez Q. Ingeniero Agrónomo, Dr. Es Sci.	7.0
 PROFESORES CONSEJEROS	
Sr. Mario Gallardo P. Ingeniero Agrónomo.	6.0
Sr. Alberto Mansilla M. Profesor Matemática, M.S.	7.0

Santiago, Chile. 2004

AGRADECIMIENTOS

Mis sinceros agradecimientos a quienes de algún modo hicieron posible el desarrollo de esta memoria, en especial a:

Simón Aldunate, Francisca Díaz, Ignacio Montes, Ignacio Ibarra y Loreto Urbina, por su labor al formar parte del equipo de evaluadores, sometiéndose a varios días de trabajo en terreno, en pleno verano, en una de las regiones más áridas de Chile.

Don Alberto Mansilla y Don Mario Gallardo, por sus aportes como profesores consejeros de esta memoria.

Don Fernando, por la confianza y el tiempo dedicado, y por enseñarme a enfrentar los desafíos que se fueron presentado en el desarrollo de este trabajo con ingenio y creatividad.

Don Raúl Aguilera, por su buena disposición para aclarar mis dudas, por sus enseñanzas y por la valiosa información proporcionada.

Nelson Urra, por su ayuda en terreno, por el tiempo dedicado a mi trabajo y por su buena disposición en todo momento.

Claudia Torres, por su hospitalidad y ayuda desinteresada.

Don Waldo Mundaca, por el tiempo dedicado a mi trabajo como por su excelente labor como guía de terreno en la comunidad agrícola de Barraza.

Don Javier Pacheco, por su hospitalidad y por mostrarme que con ganas es posible alcanzar grandes logros por las comunidades agrícolas.

Pablo y a mi familia, en especial a mi madre, por la paciencia y apoyo en todo momento.

Mi amiga Francisca, por ser mi brazo derecho y guía en este largo proceso.

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
SUMMARY	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
INTRODUCCIÓN	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
Objetivo general.....	¡Error! Marcador no definido.
Objetivos específicos	¡Error! Marcador no definido.
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
Problemática de la desertificación	¡Error! Marcador no definido.
Desertificación en la IV Región.....	¡Error! Marcador no definido.
Protocolo de campo	¡Error! Marcador no definido.
Estructura.....	¡Error! Marcador no definido.
Principios	¡Error! Marcador no definido.
Percepción experta	¡Error! Marcador no definido.
Uso de escalas conceptuales	¡Error! Marcador no definido.
Benchmark	¡Error! Marcador no definido.
Funcionamiento	¡Error! Marcador no definido.
Etapa de entrenamiento.....	¡Error! Marcador no definido.
Contextualización dentro de la zona de estudio	¡Error! Marcador no definido.
Evaluación en terreno	¡Error! Marcador no definido.
Integración de resultados en un modelo.....	¡Error! Marcador no definido.
Antecedentes generales de la IV Región	¡Error! Marcador no definido.
MATERIALES Y MÉTODO	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
Ubicación del área de estudio	¡Error! Marcador no definido.
Materiales	¡Error! Marcador no definido.
Información utilizada.....	¡Error! Marcador no definido.
Herramientas.....	¡Error! Marcador no definido.
Método.....	¡Error! Marcador no definido.
Descripción del estudio.....	¡Error! Marcador no definido.
Selección de áreas piloto de evaluación.....	¡Error! Marcador no definido.
Aplicación preliminar del protocolo y selección del benchmark	¡Error! Marcador no definido.
Características generales del benchmark	¡Error! Marcador no definido.
Selección y descripción de indicadores	¡Error! Marcador no definido.
Grado de erosión	¡Error! Marcador no definido.
Estructura de la vegetación	¡Error! Marcador no definido.
Cobertura vegetal.....	¡Error! Marcador no definido.

Diversidad vegetal	; Error! Marcador no definido.
Exposición a la lluvia.....	; Error! Marcador no definido.
Presión de talaje	; Error! Marcador no definido.
Deforestación	; Error! Marcador no definido.
Preparación de cartografía	; Error! Marcador no definido.
Selección de equipo de evaluadores	; Error! Marcador no definido.
Aplicación del protocolo.....	; Error! Marcador no definido.
Contextualización dentro de la zona de estudio	; Error! Marcador no definido.
Entrenamiento	; Error! Marcador no definido.
Evaluación en terreno	; Error! Marcador no definido.
Medición del porcentaje de cobertura vegetal	; Error! Marcador no definido.
Tabulación de resultados	; Error! Marcador no definido.
Análisis de resultados	; Error! Marcador no definido.
Evaluación de indicadores para obtención de cartografía.....	; Error! Marcador no definido.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN ;**Error! MARCADOR NO DEFINIDO.**

Aplicación del protocolo de campo	; Error! Marcador no definido.
Análisis del grado de coherencia de las evaluaciones.....	; Error! Marcador no definido.
Grado de coherencia del método	; Error! Marcador no definido.
Grado de coherencia de indicadores	; Error! Marcador no definido.
Grado de coherencia según intensidad de alteración	; Error! Marcador no definido.
Relación entre indicador de cobertura vegetal y porcentajes medidos instrumentalmente. ; Error! Marcador no definido.	
Aplicabilidad del protocolo de campo	; Error! Marcador no definido.
Resultados de indicadores según intensidad de alteración.....	; Error! Marcador no definido.
Cartografía de indicadores	; Error! Marcador no definido.
Comentarios finales	; Error! Marcador no definido.

CONCLUSIONES..... ;**Error! MARCADOR NO DEFINIDO.**

LITERATURA CITADA ;**Error! MARCADOR NO DEFINIDO.**

APÉNDICES ;**Error! MARCADOR NO DEFINIDO.**

Apéndice I. Fotografías y esquema de ubicación de sitios donde fue aplicado el protocolo	; Error! Marcador no definido.
Apéndice II. Panel utilizado para la evaluación de indicadores ..	; Error! Marcador no definido.
Apéndice III. Ficha de terreno	; Error! Marcador no definido.
Apéndice IV. Resultados de indicadores en zonas de evaluación	; Error! Marcador no definido.
Apéndice V. Resultados de indicadores por unidad cartográfica en Barraza ...;	; Error! Marcador no definido.
Apéndice VI. Mapas de indicadores evaluados en Barraza.....	; Error! Marcador no definido.

RESUMEN

La degradación ambiental asociada a la desertificación, así como los impactos que ésta provoca en la calidad de vida de la población, puede ser evaluada mediante sistemas expertos. En este contexto, se está desarrollando un “Manual para la evaluación de indicadores de desertificación” basado en la percepción de evaluadores, quienes al observar en terreno los parámetros que definen a cada indicador, deben calificarlos utilizando una escala conceptual de cinco categorías.

El objetivo esta memoria fue validar el protocolo de campo en la región árida de Chile, verificando si es lo suficientemente objetivo para ser aplicado por un grupo de evaluadores, y obtener resultados coherentes entre sí, con bajos niveles de discordancia.

Con este propósito, un equipo de seis panelistas evaluó siete indicadores biofísicos de los componentes suelo y vegetación en treinta y cinco puntos muestrales ubicados en cuatro zonas de secano de la IV Región, en condiciones diferentes de degradación ambiental. Los resultados fueron analizados por medio de los procedimientos estadísticos ANDEVA, regresiones y porcentajes de acierto y error.

El protocolo de campo probó ser una herramienta objetiva para evaluar variables biofísicas mediante criterios expertos, ya que al ser aplicado por un equipo que recibió un entrenamiento básico, se obtuvieron resultados que no difieren significativamente entre sí; la regresión entre los resultados obtenidos por el equipo y el valor de referencia para cada punto muestral arrojó un R^2 alto y significativo de 0.77. Además, en tres de cada cuatro evaluaciones se acertó con el valor de referencia y en el resto se cometieron errores por lo general de un grado.

Los indicadores que presentaron un mayor grado de consenso en los resultados obtenidos por el equipo de panelistas correspondieron a aquellos cuya evaluación es netamente sensorial (indicadores de estado y exposición a la lluvia), es decir, el proceso de ponderación de los parámetros proviene de una observación directa en terreno, lo que los hace más objetivos. Por otro lado, los indicadores que presentaron un menor grado de coherencia en los resultados, correspondieron a presión de pastoreo y deforestación, los cuales, además de la observación de los parámetros en terreno, requieren de una evaluación más interpretativa sobre las presiones que se están ejerciendo sobre la vegetación, lo que se traduce en un menor grado de objetividad. El indicador de cobertura vegetal fue el único que se validó objetivamente, por la disponibilidad de medidas perceptivas e instrumentales, obteniendo un R^2 de 0.83, de lo que se concluye que los resultados obtenidos son válidos para los puntos muestrales evaluados.

Palabras claves: protocolo de campo, sistema experto de evaluación, percepción, indicadores biofísicos de desertificación.

SUMMARY

The environmental degradation undergoing a process of desertification, as well as the impacts it causes in the quality of life of population, can be assessed by using expert systems. In this context, it's being developed a "Handbook for the evaluation of desertification indicators", based on the perception of evaluators who have to qualify indicators using a conceptual scale of five categories, while observing on field the parameters that define each one of them.

The objective of this thesis was to validate the field protocol in the Chilean arid region, in order to verify whether they are objective enough to be put into practice by a group of evaluators and obtain consistent results between them, with low levels of discrepancy.

With this purpose, a six panelist's team evaluated seven biophysical indicators of soil and vegetation in thirty five sampling points, situated in four unirrigated areas in the IV Region of Chile, in different conditions of environmental degradation. Results were analyzed by statistic procedures such as ANOVA, regressions and correct answer and mistake percentage.

The field protocol proved to be an objective tool to assess biophysical variables by expert criteria, since results achieved by a team who received basic training don't differ significantly among each other: the regression between results obtained by the team and reference value for each sampling point produced a high and significant R^2 of 0.77. Moreover, three of every four evaluations got the right reference value and in the rest, error was generally of only one degree.

Indicators that showed a higher degree of coherence in results achieved by the panelist's team, where those whose evaluation is absolutely sensorial (state indicators and rain exposition), this means, the weighting process of the parameters comes from direct field observation, what makes indicators more objective. On the other hand, bigger inconsistencies were produced by the assessment of grazing pressure and deforestation indicators, in which, as well as field observation of parameters, require a more interpretative assessment of pressures over vegetation that results in a lower degree of objectivity. Vegetation coverage indicator was the only one validated objectively, because of the availability of perceptive and instrumental measurements, obtaining a R^2 of 0.83, form which can be concluded that results obtained are valid for the evaluated sampling points.

Key Words: field protocol, expert system of assessment, perception, biophysical indicators of desertification.

INTRODUCCIÓN

Producto del manejo deficiente y extracción indiscriminada de los recursos naturales renovables en las zonas áridas y semiáridas de nuestro país, como consecuencia de un excesivo sobrepastoreo, deforestación y uso inadecuado del suelo para cultivos, se ha desencadenado el proceso de desertificación. Dicho proceso afecta la calidad de vida de la población e incluye, además de la degradación del medio físico, químico y biológico y consecuente cambio irreparable del funcionamiento de ecosistemas, un contexto mucho más amplio, destacándose aspectos económicos, laborales, migratorios, culturales y educacionales, lo que se presenta como un panorama complejo y de difícil solución.

La significancia del proceso de desertificación en Chile radica en la gran superficie que abarca (47.3 millones de Ha, equivalente al 62.2% del territorio nacional) como en el número de personas que afecta, cifra que alcanza los 1.5 millones de habitantes en condiciones de pobreza rural (Soto, 1999).

La degradación ambiental asociada a la desertificación, así como los impactos que ésta provoca en la calidad de vida de la población, puede ser evaluada a través de variables cuantificables mediante métodos tanto estadísticos, instrumentales, como mediante sistemas expertos de evaluación (Santibáñez y Aguilera, 2003).

Los sistemas expertos se basan en la capacidad de percepción de evaluadores sobre ciertas variables. Una de las principales críticas a estos sistemas consiste en que el ser humano tiende a interpretar de forma personalizada el estado del medio ambiente, según diversos factores que influyen en su interpretación, atribuyéndoseles poca objetividad. En este contexto, se está desarrollando un “Manual para la evaluación de indicadores de desertificación” (Santibáñez, 2003), cuyo objetivo es objetivizar la percepción de evaluadores sobre variables de desertificación, para cuando éstas no pueden ser evaluadas en tiempos y costos razonables mediante métodos instrumentales.

La importancia de la validación del protocolo de campo radica en que corresponde a la primera iniciativa que utiliza la percepción guiada del ser humano para la evaluación de indicadores de desertificación, razón por la cual es necesario verificar si un grupo de evaluadores, al aplicar el protocolo individualmente en terreno, obtiene resultados coherentes entre sí, con bajos niveles de discordancia.

El presente estudio se inserta dentro del proyecto Fondecyt 1020766 denominado “Modelación del proceso de desertificación en Chile mediante un sistema de indicadores ambientales y sociales” el cual requiere del desarrollo de metodologías de campo para evaluar los indicadores de desertificación por parte de personal entrenado (Santibáñez et al., 2003).

Objetivo general

Validar el protocolo de campo denominado “Manual para la evaluación de indicadores de desertificación”, en la región árida de Chile, IV Región de Coquimbo.

Objetivos específicos

- Aplicar el protocolo en diferentes zonas de la provincia del Limarí.
- Verificar la consistencia de la evaluación de variables biofísicas mediante criterios expertos.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Problemática de la desertificación

Existen variadas definiciones entregadas por investigadores relacionados con el problema de la desertificación, las que se diferencian por el tipo de enfoque, ya sea demográfico, productivista o ecológico, sin embargo, corresponden a discrepancias generalmente de tipo formal (Etienne et al, 1987).

La desertificación puede ser definida como un proceso continuo de degradación del medio físico y biológico, asociado a la pérdida general de la productividad en ecosistemas sometidos a estrés, impactando a las actividades humanas, limitando la capacidad de sustentación, reduciendo las fuentes de ingresos y deteriorando la calidad de vida de la población (Santibáñez y Pérez, 1997). En ecosistemas frágiles esta degradación puede fácilmente llegar a ser irreversible y reducir de manera permanente la capacidad del área afectada para sostener la vida humana (FAO, 1984).

En la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (Naciones Unidas, 1997) celebrada en París en 1994 y ratificada por Chile en noviembre de 1997, se definió la desertificación como “la degradación de las tierras en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas resultantes de diversos factores, tales como variaciones climáticas y actividades humanas”. Según Le Houérou (1975, citado por Etienne et al, 1987) existe consenso en señalar al hombre como el único responsable de la desertificación, siendo el clima sólo una circunstancia favorable. Considerando lo expuesto por Le Houérou (1975), Floret et al (1977), Gastó y Contreras (1979), Bladuzzi et al (1981), todos citados por Valdés (1983) las principales causas de la desertificación son el uso irracional de terrenos para cultivo, el sobrepastoreo y la erradicación de especies arbóreas y arbustivas.

Según Santibáñez y Pérez (1997), un ecosistema en desertificación puede ser entendido como la interacción del sistema físico, biológico y social (Figura 1). El medio físico provee sostén, materias primas y energía al sistema biológico, y a su vez provee de una capacidad de sustentación al sistema social, que obtiene alimentos y materias primas tanto del sistema físico como biológico. En la medida en que los flujos entre los componentes del ecosistema son no conservativos, comienza un proceso de degradación que se traduce en una disminución de elementos constitutivos de los sistemas, perdiendo información que le es esencial para su recuperación. En el caso extremo de degradación, lo antrópico y lo físico alcanzan una expresión mínima, en tanto que lo biológico podría

desaparecer completamente. Incluso la población puede abandonar totalmente el medio, en busca de nuevas fuentes de sustento.

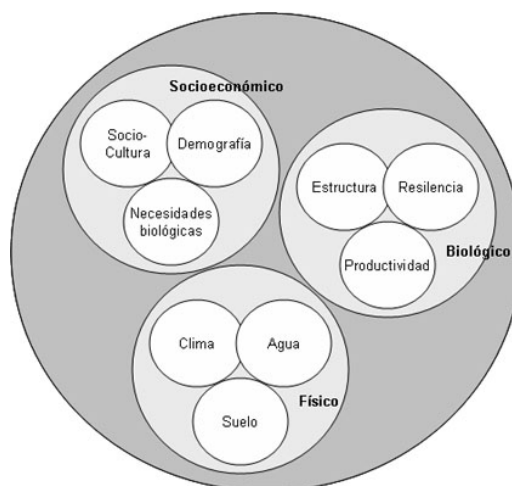


Figura 1: Esquema de los sistemas y subsistemas de la desertificación.

Fuente: Santibáñez y Pérez, 1997.

Los sistemas naturales tienen la capacidad de resiliencia, esto es, la posibilidad que tiene un ecosistema de recuperar su integridad estructural y funcional cuando es afectado por imbalances temporales o presiones (UNEP, 1981; citado por Valdés, 1983), manteniendo de esta manera su dinamismo natural¹. En la medida que un ecosistema, como consecuencia de factores externos, no pierda sus componentes o información esencial, podrá restituir su estructura y funcionamiento, recuperando su equilibrio natural. Sin embargo, cuando los desequilibrios van más allá de la capacidad de resiliencia de un ecosistema, ellos se convierten en transformaciones permanentes, estado desde el cual no podría recuperarse por si solo (Santibáñez *et al.*, 2003).

El impacto de la desertificación es directamente sufrido por la población con menos recursos, quienes al ocupar áreas marginales y vulnerables, son incapaces de equilibrar la demanda del sistema social, con la oferta de la naturaleza (Urquiza, 2003). A medida que van apareciendo externalidades negativas de la relación entre ser humano y recursos se establece un ciclo entre pobreza y desertificación difícil de frenar y revertir (Santibáñez y Aguilera, 2003).

¹ Gallardo, M., Ingeniero Agrónomo, 2004, Chile. (Comunicación Personal).

Desertificación en la IV Región

En Chile, la desertificación ha adquirido gran intensidad y se expresa con mayor magnitud en las regiones I a VIII y XI y XII (Soto, 1999). Sin desconocer que afecta al 62,2% del territorio nacional, resulta prioritario enfocar la atención en la IV Región, ya que en ella se conjugan grados extremos de deterioro de los recursos naturales, y de las condiciones de vida de la población (INIA, 1977, citado por Valdés, 1983).

Según una caracterización efectuada por CONAF, en el contexto del Programa de Acción Nacional Contra la Desertificación, del total de 15 comunas presentes en la IV Región, sólo la comuna de Paihuano presenta un estado de desertificación leve y el resto presenta un estado de desertificación moderado (6) y grave (8) (Soto, 1999).

Las principales causas de la desertificación en la Región de Coquimbo corresponden a una fuerte erosión y degradación de la vegetación por tala, siembra de cereales, sobrepastoreo e intensa explotación minera (Peralta, 1978). Por otro lado, los principales procesos de degradación que ocurren en la Región corresponden a la degradación de la cobertura vegetal total y de especies leñosas, reemplazo de especies herbáceas y gramíneas perennes por anuales, erosión hídrica y eólica, salinización y compactación del suelo, disminución de la materia orgánica y de la capacidad de infiltración del suelo (Ministerio de Agricultura y Gobierno Regional de Coquimbo, 2004).

Según Santibáñez y Marín (1998), la causa fundamental de esta situación corresponde al particular sistema de tenencia de tierra de la Región, compuesto por tres grandes unidades: agricultura de regadío, grandes haciendas y comunidades agrícolas. Sin ignorar el proceso de deterioro resultante de las malas prácticas asociadas a la agricultura de regadío, los principales problemas se presentan en las tierras en manos de las comunidades agrícolas, que representan un cuarto de la superficie total de la Región, esto es, un millón de hectáreas.

Las comunidades agrícolas corresponden a “un exclusivo, peculiar y complejo sistema de propiedad de la tierra y de vida rural” (Avendaño, 1986, citado por Livenais y Aranda, 2003). Está caracterizado por un terreno rural de propiedad común, perteneciente a un conjunto de “comuneros”, según el número de derechos que posea cada comunidad. Al interior de cada comunidad coexisten diferentes formas de tenencias de tierra, tales como: goces singulares (terreno propios de cada comunero para habitación y explotación familiar de subsistencia), lluvias (terreno temporalmente entregado a un comunero para explotar, por lo general, cereales de secano) y campo común (terreno en el cual los recursos pueden

ser usados conforme a la reglamentación de cada directiva comunal) (Instituto de Investigación de Recursos Naturales, 1977; Ministerio de Agricultura y Gobierno Regional de Coquimbo, 2004).

En el año 2002 se contaron 178 comunidades agrícolas legalmente constituidas y una población estimada de 67.338 habitantes, lo que equivale a alrededor de 11% de la población total de la IV Región (Livenais y Aranda, 2003). Se desarrollan en la superficie de secano, es decir, en aquellas tierras que se encuentran por sobre la cota de los canales de riego y sólo se sirven de aguas lluvias. Se dedican principalmente a la ganadería caprina y a una agricultura marginal, haciendo uso de terrenos con fuertes pendientes para cultivos de temporada los que luego son abandonados desprovistos vegetación, facilitando la degradación del suelo por erosión hídrica y eólica (Ministerio de Agricultura y Gobierno Regional de Coquimbo, 2004).

Protocolo de campo

Dada la complejidad y gravedad de los impactos ambientales y socioeconómicos de la desertificación, se hace necesario el desarrollo de técnicas de diagnóstico y monitoreo para evaluar el problema en diferentes situaciones geográficas y socioeconómicas (Bochet y Rubio, 1998). Según Santibáñez y Aguilera (2003), es preciso contar con un sistema de indicadores que traduzcan en forma simple el qué, cuánto y dónde de los fenómenos vinculados a la desertificación, capaces de generar una radiografía que facilite la identificación tanto del estado actual de los recursos, como de las presiones a las que se ven expuestos, y de las posibles respuestas de los sistemas territoriales frente a la acción e inacción.

Según Rubio y Bochet (1998), los indicadores corresponden a un parámetro que provee información simplificada y sintética sobre el estado y tendencia de un fenómeno complejo, y que puede ser fácilmente comunicado a distintos tipos de público, tales como tomadores de decisión y población en general.

Como una alternativa para evaluar indicadores cuando no pueden ser evaluados mediante métodos instrumentales en tiempos y costos razonables, o simplemente cuando no existe una medición instrumental, se está desarrollando un “Manual para la evaluación de indicadores de desertificación” (Santibáñez, 2003). Éste corresponde a un protocolo de campo para evaluar en terreno indicadores de desertificación mediante la percepción de evaluadores sobre ciertas variables. A continuación se describirá el protocolo de campo en cuanto a su estructura, principios y funcionamiento.

Estructura

El protocolo de campo está dividido en dos secciones. La primera, contiene catorce indicadores de estado de los componentes suelo, vegetación, agua y población, los cuales dan cuenta de la condición de un componente en un instante dado, en términos de los impactos que ha debido absorber en el tiempo. La segunda sección consta de diecisiete indicadores de presión de los mismos componentes, los cuales representan las presiones directas o indirectas a las que están siendo sometidos los recursos en un instante dado.

Principios

El protocolo está basado en tres principios fundamentales, los que serán descritos a continuación.

Percepción experta. Robbins (1999, citado por Castañeda, 2002) define la percepción como un proceso a través del cual los individuos organizan e interpretan sus impresiones sensoriales, a fin de darle un significado a su ambiente. Los indicadores de desertificación presentes en el protocolo se califican según la percepción que tenga un evaluador sobre el grado de alteración o presión ejercida sobre los recursos, mediante la observación de los signos o parámetros que definen a cada indicador.

Uso de escalas conceptuales. Para la evaluación de los indicadores se utiliza una escala discreta de cinco categorías dado que se estima que el ser humano puede identificar hasta cinco niveles de degradación de las variables ambientales. Dependiendo de la naturaleza de una variable, los conceptos asociados a cada grado numérico cambian. En el cuadro 1 se presentan las escalas conceptuales genéricas para los indicadores de estado y presión.

Cuadro 1: Resumen de las escalas conceptuales genéricas usadas para evaluar indicadores de desertificación.

Valor	Indicadores de estado (grado de alteración)	Indicadores de presión
	Concepto asociado	
1	Muy leve	Muy baja
2	Leve	Baja
3	Medio	Media
4	Alto	Alta
5	Muy alto	Muy alta

Fuente: elaborado por el autor a partir de Santibáñez (2003).

Los indicadores de estado con valor 1 representan una ligera alteración de un componente o fenómeno teniendo como referencia un estado inalterado y aquellos con valor 5 representan una alteración muy fuerte comparado con la misma referencia. Para los indicadores de presión, el valor 1 representa una presión muy baja y el valor 5 una presión muy alta. Cuando no es posible apreciar cambios de una condición pristina, es decir, la entidad está en su nivel de referencia, o no existe presión alguna (área protegida o remota), el sistema debe calificarse con cero (Santibáñez, 2003).

La escala conceptual de cada indicador viene desglosada en una tabla donde se describen las características que debe presentar el recurso evaluado para ser calificado con un cierto valor. Tanto los parámetros como las características deben ser adaptados a la realidad de la zona en estudio una vez que el evaluador se haya contextualizado en ella debidamente. A modo de ejemplo, en el cuadro 2 se exhibe la escala conceptual genérica para los indicadores de estado, que corresponde al formato en que son presentadas las tablas para cada indicador.

Cuadro 2. Escala conceptual genérica para indicadores de estado.

Concepto (Grado de alteración)	Descripción	Valor indicador
Muy Leve	El proceso de deterioro es apenas perceptible mediante los sentidos. La observación cuidadosa muestra que hay algún grado de deterioro incipiente.	1
Leve	El deterioro puede ser fácilmente percibido pero se encuentra en sus grados iniciales. Aún no incide de manera importante sobre la calidad global del sistema.	2
Media	El deterioro es evidente a los sentidos. El sistema o recurso natural ha perdido una parte importante de su valor o de sus funcionalidades. En el caso de las variables sociales, el deterioro ya está afectando importantemente la calidad de vida o las posibilidades de subsistencia.	3
Alta	El deterioro esta provocando un cambio de gran dimensión en la calidad o la funcionalidad del sistema. La propiedad ha cambiado al punto de ser de difícil reversibilidad.	4
Muy Alta	El deterioro es máximo, la propiedad que se evalúa ha cambiado por completo respecto de sus valores originales, en algunos caso ha desaparecido por completo un componente (especies vegetales, un horizonte del suelo). Existe una distorsión total de las funciones del sistema.	5

Fuente: Santibáñez, 2003.

A pesar que la evaluación de indicadores pareciera corresponder a un enfoque cuantitativo, los grados numéricos están necesariamente ligados a escalas conceptuales, correspondiendo por ende a un enfoque cualitativo. La ventaja del uso de un lenguaje

numérico discreto, corresponde a que es posible normalizar las escalas de evaluación, permitiendo manejar en un lenguaje común variables de distinta naturaleza. Esto además posibilita la representación y comparación de varios perfiles de desertificación de los diferentes ecosistemas que componen un sistema territorial, facilitando el establecimiento de la posición relativa de un ecosistema degradado, comparado con un estado no afectado y con una degradación total donde los componentes del ecosistema han desaparecido casi por completo (Santibáñez y Aguilera, 2003).

Benchmark. El protocolo utiliza el concepto de benchmark o nivel de referencia, que se define como una condición que es representativa de un grupo de sitios cuando han sido mínimamente alterados y conservan su estado natural. Las variables de estado se evalúan comparándolas con su nivel de referencia, es decir, con ellas mismas pero antes de recibir los impactos, lo que también se conoce como línea de base. Dado que la mayor parte de las veces no es posible contar con esta información, se puede tomar como referencia al recurso que se está evaluando en el mejor sitio conservado dentro de la zona de estudio (Santibáñez, 2003).

Funcionamiento

Etapa de entrenamiento. El uso del protocolo requiere de un entrenamiento previo para lograr una correcta aplicación y mantener la confianza necesaria en los resultados.

Contextualización dentro de la zona de estudio. Previo a la aplicación del protocolo, los evaluadores se deben internalizar dentro de la región en que se ubica la zona de estudio de manera de poder adaptar los parámetros y características que definen a cada indicador. Esto les permitirá visualizar lo que se entiende por un recurso leve y altamente alterado y establecer el benchmark para cada variable. El evaluador debe comprender el estado de las variables en condiciones inalteradas para poder compararlas con su estado actual.

Evaluación en terreno. Los indicadores se evalúan en terreno mediante las tablas que proporciona el protocolo de campo. Para cada indicador se facilita una tabla donde se guía al evaluador en la determinación del valor del indicador, jerarquizando sus observaciones. En ciertos casos se proporciona una segunda tabla que permite evaluar el indicador cuando existe un conocimiento más acabado de los parámetros que lo determinan. Además se han identificado los parámetros que influyen en la evaluación de cada indicador, para ser combinados por el usuario del protocolo dándole la mejor ponderación posible. Para evaluar los indicadores no necesariamente deben cumplirse todos los parámetros o síntomas

descritos por categoría, ya que éstos varían según las características propias del sitio en estudio.

Integración de resultados en un modelo. La simple evaluación de los estados y presiones operando en un ecosistema no necesariamente conllevan a entender la dinámica del sistema; para esto es necesario relacionar las presiones, estados y tasas de cambio causada por la combinación de ellos, a través de un modelo (Santibáñez y Aguilera, 2003). El protocolo de campo constituye la primera etapa de recopilación de información para ingresar al modelo.

Los indicadores han sido abordados desde el enfoque presión-estado-respuesta (PER). Según Jilberto *et al* (2000), los indicadores se relacionan en un modelo de causalidad en que las actividades humanas *presionan* sobre el medio, la calidad y cantidad de los recursos naturales, modificando su *estado*, lo que se traduce en una *respuesta* social a través de políticas y acciones sociales que modulan la presión sobre el medio.

Antecedentes generales de la IV Región

La IV Región de Coquimbo se extiende entre los paralelos 29° a 32° de latitud sur y abarca una superficie aproximada de 4 millones de hectáreas, de las cuales el 5% constituye la superficie bajo riego y el resto corresponde a superficie de secano (Ministerio de Agricultura y Gobierno Regional de Coquimbo, 2004).

Se divide administrativamente en tres provincias, de norte a sur: Elqui, Limarí y Choapa. Estas integran un total de 15 comunas. Tiene una población de 603.210 habitantes, de la cual el 22% corresponde a población rural y el 78% de la población reside en localidades urbanas, destacando la capital regional, La Serena, el Puerto de Coquimbo, Ovalle e Illapel (INE, 2002).

Desde el punto de vista climático, la Región se caracteriza por una aridez climática debido a la influencia del Anticiclón del Pacífico Sur Oriental, generador de altas presiones (Álvarez y Lira, 1994). Se encuentra en una transición entre clima mediterráneo árido y semi-árido, con diferentes matices: húmedo y nuboso en el litoral y estepario cálido en el interior. La influencia del clima estepárico costero con nublados abundantes penetra por los valles transversales aproximadamente 30 km en dirección al este para dar paso al clima estepárico interior con gran sequedad atmosférica. (Novoa y López, 2001).

La característica más relevante de las precipitaciones de la Región corresponde a la gran variabilidad pluviométrica en función del espacio y el tiempo. Las precipitaciones varían de norte a sur entre 50 y 200 mm al año, concentradas principalmente en los meses de invierno (mayo-agosto) y en un reducido número de evento pluviométricos altamente variables en intensidad (Universidad de Chile, 1997).

El relieve de la Región está dominado por la presencia de las cordilleras de la Costa y Los Andes y la presencia de valles fluviales transversales de orientación oriente-poniente que hacen desaparecer la típica depresión intermedia presente en el resto del país, razón que ha llevado a denominarla como "Región de los valles transversales" (Novoa 1989, citado por Novoa y López, 2001). Se identifican cuatro grandes unidades geográficas: la alta cordillera de Los Andes, la montaña media que corresponde a los cordones transversales, los grandes valles fluviales transversales y la franja costera, siendo las dos últimas, las que concentran la mayor parte de la población y las actividades económicas.

MATERIALES Y MÉTODO

Ubicación del área de estudio

El estudio fue realizado en el secano árido de la IV Región de Coquimbo, específicamente en tres comunidades agrícolas ubicadas en la provincia del Limarí y en la Estación Experimental Las Cardas perteneciente a la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, ubicada en la provincia del Elqui (Figura 2).

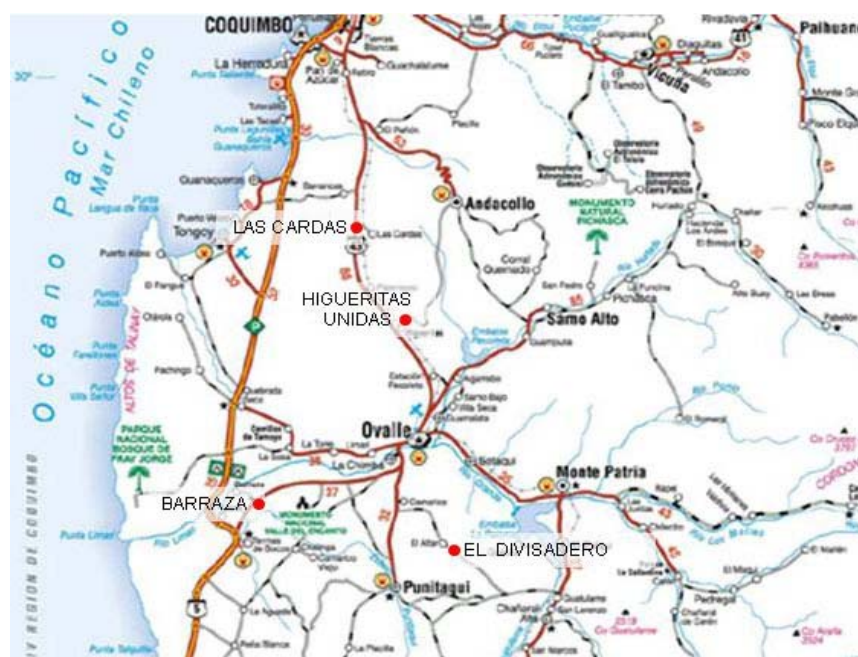


Figura 2: Esquema de ubicación del estudio.

Fuente: Modificado por el autor de http://www.turistel.cl/mapas_ruteros/rut_d_1.htm, 2004.

Materiales

Información utilizada

La principal herramienta de trabajo correspondió al documento del protocolo de campo denominado “Manual para la evaluación de indicadores de la desertificación” desarrollado por Santibáñez (2003) en el marco del Proyecto GEF 1040-00-10 (Santibáñez, 2002).

Para la selección de las zonas donde se aplicaría el protocolo de campo se utilizó información digital de los límites de las provincias Elqui y Limarí y de los límites de las comunidades agrícolas, información obtenida de la base de datos del proyecto Fondecyt 1020766 en el cual se enmarca el presente estudio. Además se utilizó una imagen satelital Landsat de septiembre del 2002 a escala 1:250.000, obtenida del Centro de Estudios Espaciales de la Universidad de Chile, y aerofotografía de la zona de estudio del año 2001, a escala 1:70.000, obtenida del proyecto Catastro de la Vegetación Nativa de la IV Región, CONAF-COMAMA, sitio web www.sinia.cl. Esta última información además fue utilizada en la elaboración de cartografía que sería utilizada en las campañas de terreno.

Herramientas

Se utilizó un Plotter Encad Novajet 4 para plotear cartografía de las zonas de estudio. Para la aplicación del protocolo en terreno se utilizó un navegador satelital (GPS), cámara fotográfica digital, anteojos largavistas, cuerda de 100 m y huinchas de medir de 5 m. Para el análisis de los resultados se utilizó un computador con los programas Arcview 3.2, MONITOR 1.0, SPSS 11.5 y Excel.

Método

El método utilizado para la validación del protocolo se puede resumir en el siguiente diagrama (Figura 3).

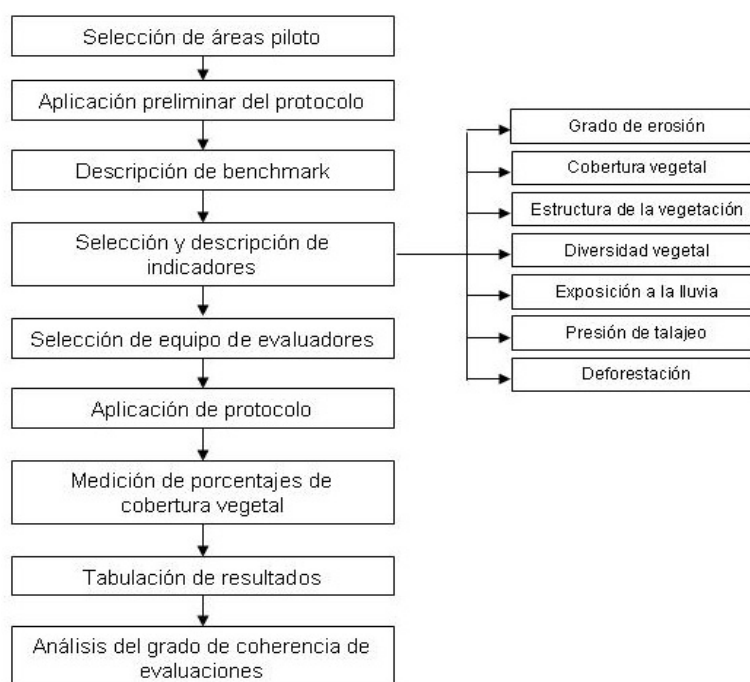


Figura 3: Diagrama del método utilizado.

Descripción del estudio

Selección de áreas piloto de evaluación

Con el objetivo de examinar las escalas conceptuales completas propuestas en el protocolo y determinar si el ser humano es capaz de diferenciar con claridad cinco categorías en la escala de degradación de las variables biofísicas, se estimó conveniente seleccionar como áreas piloto comunidades agrícolas en condiciones diferentes de degradación ambiental.

El principal criterio de selección correspondió a estados distintos de degradación de la vegetación. Para escoger comunidades agrícolas con tales características se visitó el terreno y conjuntamente se realizó un análisis visual de una imagen satelital Landsat de septiembre del 2002 a escala 1:250.000 en falso color convencional. El falso color convencional o infrarrojo color, corresponde a la combinación de color más comúnmente utilizada en análisis visuales de imágenes satelitales y se obtiene desplazando hacia longitudes de onda más largas las bandas del espectro visible. Es decir, en lugar de aplicar los colores azul, verde y rojo a sus respectivas bandas del espectro, se aplican a las bandas verde, rojo e infrarrojo cercano, respectivamente (Chuvieco, 1990).

La posibilidad de realizar un análisis visual a partir de una imagen satelital en falso color obtenida en el mes de septiembre, se sustenta en el hecho que las precipitaciones en la IV Región se concentran entre los meses mayo y agosto y es en el mes de septiembre cuando la vegetación presenta su máxima expresión, denotándose de color rojo intenso no sólo los cultivos regados sino también la vegetación de secano. Además, en el año en que fue obtenida la imagen satelital, 2002, la precipitación en La Serena fue muy superior a un año normal (188.2 mm) por lo aquellas zonas de secano con vegetación vigorosa resultan ser fácilmente discriminables.

Utilizando el software ArcView se procedió a superponer a la imagen satelital los límites de las comunidades agrícolas presentes en la provincia del Limarí (98 comunidades legalmente constituidas). Luego se realizó un análisis visual para escoger comunidades con niveles altos y bajos de cobertura vegetal según los colores que predominaran en cada una de ellas. Aquellas comunidades agrícolas que exhibieron buena parte de su superficie de color rojo intenso a rosado, fueron consideradas como representantes de un buen estado de la vegetación mientras que aquellas comunidades que exhibieron parte importante de su superficie de colores grises a beige-dorado (lo que denota suelo desnudo y prados secos) fueron consideradas como representantes de un estado deficiente de la vegetación. Se seleccionaron un total de tres comunidades agrícolas.

Aplicación preliminar del protocolo y selección del benchmark

Dentro del mes de enero, se realizó una visita a terreno cuyo objetivo fue reconocer las áreas pilotos seleccionadas en la etapa anterior y verificar que en términos generales éstas representaran grados contrastados de degradación.

Se contó con la colaboración del autor del Manual de Indicadores de Desertificación como también de dos personas integrantes del proyecto Fondecyt en el cual se enmarca el

presente estudio, con quienes se realizó una primera aplicación del protocolo en las áreas piloto. Cada uno aportó su propia experiencia en la percepción de los estados de degradación del suelo y vegetación, para luego discutir la interpretación de los criterios en los diferentes sitios evaluados.

Se recorrió gran parte de los cordones transversales de la provincia del Limarí y fue posible constatar que la superficie está marcada por un fuerte deterioro ambiental, representado básicamente por el estado de degradación del recurso suelo y vegetación. En vista que para evaluar las variables de estado se requiere compararlas con ellas mismas pero antes de recibir los impactos, y no se cuenta con líneas de base para cada zona de estudio, se optó por utilizar como benchmark, o nivel de referencia de una zona no degradada, una zona de exclusión ubicada en el la Estación Experimental Las Cardas.

Características generales del benchmark

La zona de exclusión mencionada ha estado reservada por más de 25 años de la presión humana y animal. Etienne y Prado (1982) definen exclusión como vegetación inducida artificialmente, por decisión humana, a su dinámica natural y cuyo origen se debe a un proceso de recuperación, posterior a una acción antrópica. Si bien la exclusión no corresponde a la vegetación original en estado inalterado, el estado de los recursos dentro de ella fue utilizado como benchmark para evaluar los indicadores dado que se considera uno de los sitios mejores conservados en relación al resto de las tierras de secano de la Región.



Figura 4: Zona de Exclusión en La Estación Experimental Agronómica Las Cardas.

La Estación Experimental Agronómica Las Cardas pertenece a la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile y se ubica en la comuna de Coquimbo, provincia del Elqui, a aproximadamente 30 km de Ovalle en dirección norte, en la unidad geográfica de los cordones transversales.

El clima imperante corresponde al de tipo mediterráneo árido templado. La precipitación se ubica entre las isoyetas 100 y 150 mm/año y se concentra en los tres meses más fríos; mayo, junio y julio (Azócar *et al.*, 1989). La temperatura media de los meses más contrastados es de 13°C en junio y de 20°C en febrero (Lailhacar *et al.*, 1989).

El suelo es de origen coluvial-aluvial, pedregoso y gravoso en todo el perfil, delgado a moderadamente profundo (Lailhacar *et al.*, 1989). Se clasifica como Aridisol (su característica esencial es tener un déficit de humedad permanente o casi permanente) y en todos los perfiles se puede identificar un horizonte B, ya sea textural, de color o de estructura (Díaz *et al.*, 1992). La textura del suelo es franco-arcillo-arenosa entre la superficie y los 60 cm, y arcillosa en profundidades superiores. La profundidad del perfil es moderada y sus horizontes tienen bajo contenido de materia orgánica (Rojo, 1989, citado por Azócar *et al.*, 1989).

La vegetación dominante corresponde al matorral estepario interior. La formación más importante dentro de la exclusión corresponde a la unidad de inciensal dominada por *Flourensia thurifera* (Lailhacar, 1985, citado por Azócar *et al.*, 1989). Otras especies leñosas dominantes corresponden a *Heliotropium stenophyllum* (palo negro), *Gutierrezia resinosa* (pichanilla), *Porlieria chilensis* (guayacán), *Cassia coquimbensis* (alcaparra) y *Adesmia microphylla* (palhuén) (Azócar *et al.*, 1989). Conjuntamente con la pichanilla, las especies que aparecieron en la zona de exclusión producto de la intervención del suelo en el pasado son *Happlopapus sp.* y *Muehlenbeckia hastulata* (quilo). Además se presentan ejemplares del estrato arbóreo correspondientes a *Lithraea caustica* (Litre) y *Acacia caven* (Espino). No será descrita la composición del estrato herbáceo debido a que no fue considerado como tal para evaluar el protocolo, por presentarse como seca o muerta, producto de la fecha en que fue realizada la campaña de terreno. El estrato herbáceo sólo se consideró en conjunto con el mantillo.

En el período en que se realizó la aplicación del protocolo de campo en terreno, febrero de 2004, la precipitación pluviométrica medida en Ovalle hasta octubre de 2003 fue de 74 mm, inferior al promedio de un año normal (102.6 mm). El suelo se presentó cubierto casi en su totalidad, principalmente por un estrato leñoso bajo y por mantillo denso.

Selección y descripción de indicadores

Del total de indicadores biofísicos se seleccionaron los indicadores de los componentes suelo y vegetación cuya evaluación sólo requiere de observación y no se incluyeron los indicadores referentes al componente agua por requerir de información proveniente de pobladores, resultando esto un impedimento para ser evaluados por seis personas simultáneamente de forma individual.

En el protocolo de campo se especifican tanto los parámetros como las características que debe presentar un recurso para que el indicador sea calificado con un valor dentro de la escala conceptual. A continuación se presenta una breve descripción de cada indicador, de sus parámetros y de la caracterización de las escalas conceptuales.

Grado de erosión. Corresponde a la intensidad del proceso de erosión en términos cualitativos. La erosión del suelo se define como el desprendimiento y desplazamiento de las partículas del suelo de una determinada superficie de terreno, causada por factores ambientales (lluvia, viento, escurrimiento superficial de agua) y humanos (Peña, 1992 y Cubero, 1994, citados por Santibáñez y Pérez, 1997). La degradación erosiva del suelo puede ser de dos tipos: hídrica, que corresponde a la degradación generada por las gotas de lluvia y el escurrimiento de las aguas sobre el suelo, y eólica, proceso por el cual el viento recoge y transporta el material superficial suelto.

Los parámetros considerados fueron el estado superficial del suelo y las formas de erosión por escurrimiento superficial del agua. La sucesión de las diferentes formas de erosión hídrica de carácter superficial se exponen en la figura 5.



Figura 5: Formas de erosión hídrica para algunos suelos y bajo condiciones extremas de degradación.

Fuente: Santibáñez y Pérez, 1997.

Es importante mencionar que las etapas definidas en la figura 5 pueden ocurrir en forma conjunta en un mismo período de tiempo sobre una superficie determinada; de presentarse erosión de cárcava no implica necesariamente que en la superficie aledaña a la

cárcava no siga ocurriendo erosión de impacto y flujo precanalizado (Santibáñez y Pérez, 1997).

A continuación se presentan las características que se deben observar para calificar al indicador dentro de la escala de cinco categorías (Santibáñez, 2003):

1. Muy leve: muy leves signos de erosión, el proceso es incipiente y poco evidente, se observa algo de sedimentación en micrositos de acumulación de aguas de lluvia.
2. Leve: signos comienzan a ser visibles. Se aprecia remoción de material fino en superficie dejando el material más grueso expuesto (gravilla, piedras pequeñas).
3. Media: erosión moderada, signos claros de remoción de partículas desde la superficie del suelo. Erosión de manto es evidente, quedando el material grueso claramente expuesto en superficie. Algunos microcanalículos son apreciables.
4. Alta: erosión fuerte, fuerte erosión de manto deja gravas esparcidas en superficie, los canalículos son abundantes y en activo proceso de crecimiento, aparecen algunas cárcavas en su estado inicial o intermedio de formación. Quedan muy pocos materiales del horizonte superficial por lo que el suelo ha comenzado a cambiar de color.
5. Muy alta: erosión muy fuerte, se han removido por completo los horizontes superficiales generando un cambio de color del suelo, hay cambio generalizado de textura debido a la dominancia del horizonte C en superficie. Se observan cárcavas activas en varios sectores.

Estructura de la vegetación. Corresponde al grado de alteración que ha sufrido la estructura de la vegetación con respecto a la vegetación original, considerando si se ha reducido o incluso eliminado uno o varios tipos biológicos. Según Etienne y Prado (1982) la estructura de la vegetación corresponde a la clasificación de las comunidades en formaciones o tipos vegetacionales. El concepto de tipo biológico puede entenderse como un conjunto de plantas, pertenecientes o no a la misma especie, pero que presentan caracteres convergentes tanto en su forma como comportamiento. En el cuadro 3 es posible apreciar la clasificación de los tipos biológicos.

Cuadro 3: Clasificación de tipos biológicos.

Tipo biológico	Definición	Ejemplo
Leñosos altos	Especies de tejidos lignificados cuyo tamaño excede los dos metros de altura y que normalmente presentan un solo tronco o fuste central (árboles).	<i>Lithraea caustica</i> (litre) <i>Acacia caven</i> (espino)
Leñosos bajos	Especies de tejidos lignificados o leñosos cuyo tamaño no pasa los dos metros de altura, y normalmente presentan varios troncos, ramas principales o fustes (arbustos).	<i>Flourensia thurifera</i> (incienso) <i>Gutierrezia resinosa</i> (pichanilla)
Suculentos	Se agrupan principalmente las cactáceas y bromeliáceas, y otras familias vegetales, las cuales presentan una fisonomía muy particular, sobre todo respecto a la fijación de anhídrido carbónico.	<i>Eulychnia sp.</i> (quiscos) <i>Puya chilensis</i> (chagual)
Herbáceos	Aquellas especies de tejidos no lignificados con tallos ricos en clorofila y fotosintéticos.	<i>Calandrina coquimbensis</i> <i>Oxalis micrantha</i>

Fuente: Modificado por el autor a partir de Gordon *et al.*, 1968, citado por Santibáñez y Pérez, 1997; Etienne y Prado, 1982).

Dado que la aplicación del protocolo en terreno fue llevado a cabo en temporada de verano y la vegetación herbácea se observaba seca o muerta, se utilizó la presencia de mantillo como indicador del tipo biológico herbáceo. El mantillo se define como todo el material orgánico inerte que reposa sobre el suelo, compuesto por residuos vegetales como ramas y hojas y por vegetación herbácea seca o muerta. Fue clasificado según el porcentaje de cobertura que proporciona al suelo, en tres tipos: mantillo denso (se observa menos de un 10% de la superficie del suelo a través del mantillo), semidenso (se observa el 50% de la superficie del suelo a través del mantillo) y ralo (se observa el 90% de la superficie del suelo a través del mantillo).

Los parámetros considerados en la evaluación de este indicador corresponden a la presencia de los tipos biológicos leñoso alto, leñoso bajo, suculento y mantillo, la cual fue ponderada según grado de representatividad de cada uno con respecto de lo que fue la vegetación original. El término tipo biológico se utiliza como sinónimo de estrato. A continuación se presentan las características que se deben observar para calificar al indicador dentro de la escala de cinco categorías (Santibáñez, 2003):

1. Muy poco alterada: los estratos leñosos y herbáceos están bien representados respecto de lo que fue la vegetación original.

2. Ligeramente alterada: la vegetación mantiene una estructura similar a la original. Se aprecia una disminución incipiente de uno o más estratos leñosos.
3. Medianamente alterado: grado moderado de simplificación estructural. Un estrato de vegetación perenne exhibe signos evidentes de involución o se ha reducido a un mínimo.
4. Fuertemente alterado: se observan fuertes modificaciones estructurales. Dos o más estratos están fuertemente reducidos o no existen. Se han reducido a un mínimo los estratos arbustivo y arbóreo.
5. Muy fuertemente alterado: Todos los estratos se encuentran alterados en un grado máximo. Empobrecimiento generalizado de la vegetación leñosa y herbácea. Se aprecia una fuerte acción antrópica sobre la vegetación.

Cobertura vegetal. Corresponde al grado de alteración que ha sufrido la cobertura vegetal originaria de la zona, en términos de la fracción de cobertura vegetal que ha sido removida. Se define como la porción de terreno que es ocupada por vegetación o por su proyección vertical y se mide en porcentaje.

El parámetro considerado para la evaluación del indicador corresponde a la fracción de suelo cubierto por vegetación perenne y mantillo denso. A continuación se presentan las características que se deben observar para calificar al indicador de cobertura vegetal dentro de la escala de cinco categorías (Santibáñez, 2003):

1. Muy poco alterada: la cobertura vegetal es alta en relación con la vegetación de la zona, la cubierta esta muy poco alterada.
2. Ligeramente alterada: cobertura vegetal levemente menor que lo posible para la zona. Existe una remoción ligera de elementos vegetales, reducción hasta un 20% de la cubierta original.
3. Medianamente alterada: cobertura vegetal medianamente reducida, ella revela una acción moderada del hombre. Reducción de 21 a 50% de la cubierta original.
4. Fuertemente alterada: fuerte reducción de la cobertura en relación con lo esperable para la zona. Reducción de 51 a 80% de la cubierta original.
5. Muy fuertemente alterada: cubierta vegetal muy empobrecida, se aprecia una intensa acción humana sobre la vegetación, en sus estados finales de degradación. Reducción superior al 80% de la cubierta original.

Diversidad vegetal. Corresponde al grado de alteración de la diversidad vegetal con respecto a lo que fue la original. Si bien Squeo *et al* (2001) definen la diversidad vegetal como la suma total de toda la variación biológica desde el nivel de genes a ecosistemas, fue considerado como parámetro fundamental en la evaluación de este indicador el número de especies vegetales presentes. Con menor importancia se consideró la presencia de especies botánicamente valiosas, definidas según estado de conservación o pertenecientes al tipo biológico leñoso alto. A continuación se presentan las características que se deben observar en la vegetación para calificar al indicador dentro de la escala de cinco categorías (Santibáñez, 2003):

1. Muy poco alterada: elevado nivel de diversidad interespecífica. Presencia significativa de especies botánicamente valiosas.
2. Ligeramente alterada: nivel de diversidad interespecífica superior a la media para la región. Hay presencia moderada a alta de especies botánicamente valiosas.
3. Medianamente alterada: diversidad interespecífica promedio para la región. No destaca por su diversidad, no obstante coexisten un número aceptable de especies aún cuando no hay especies particularmente valiosas o ellas son muy escasas.
4. Fuertemente alterada: vegetación empobrecida en especies en relación con lo esperado para la zona. Las especies valiosas han desaparecido por completo. Comienzan a aparecer especies invasoras propias de terrenos altamente intervenidos o artificializados.
5. Muy fuertemente alterada: vegetación muy empobrecida en especies. Muy pocas especies de la zona están representadas. Dominancia de especies invasoras propias de terrenos altamente intervenidos o artificializados.

Exposición a la lluvia. Corresponde al grado de desprotección del suelo frente a la erosión producto de eventos pluviométricos. El recurso suelo puede sufrir un acelerado proceso de degradación facilitado en parte por condiciones naturales, como inclinación y extensión de las laderas. Sin embargo la pérdida o reducción de la cobertura vegetal se debe a causas antrópicas, siendo éste el principal parámetro a considerar en la evaluación del indicador. A continuación se presentan las características que se deben observar en el sitio evaluado para calificar al indicador dentro de la escala de cinco categorías (Santibáñez, 2003):

1. Ligera desprotección: alta cobertura vegetal, suelo debidamente protegido salvo contra eventos pluviométricos muy intensos.
2. Moderada desprotección: cubierta moderadamente deficiente, suelo ligeramente expuesto en relación con la precipitación del lugar, signos leves de erosión hídrica.
3. Fuerte desprotección: suelo moderada a fuertemente expuesto a la lluvia por falta de cubierta vegetal, claros signos de erosión hídrica.

4. Muy fuerte desprotección: cubierta vegetal claramente deficiente, suelo muy fuertemente expuesto a la acción del clima, fuertes signos de erosión hídrica o eólica.
5. Desprotección total: muy escasa cubierta vegetal en relación con la lluvia, suelo casi desprovisto de protección, signos de erosión hídrica muy fuertes.

Se proporciona una segunda tabla que relaciona la precipitación anual, con el porcentaje de cobertura vegetal otorgada por la vegetación perenne y con la pendiente del terreno, de modo de otorgar el valor adecuado al indicador. En aquellos casos en que el mantillo denso cubría un porcentaje importante del suelo, se consideró como cobertura vegetal que protege al suelo ante eventos pluviométricos.

Presión de talajeo. Corresponde a la presión ejercida por animales sobre la vegetación. A diferencia del término sobrepastoreo, la presión de talajeo puede estar bajo o sobre la capacidad de regeneración de la vegetación (Universidad de Chile, 1997).

Dentro de los parámetros considerados para evaluar el indicador, se tiene: estado de los ápices de crecimiento; presencia de especies perennes palatables, de especies herbáceas, y de guano fresco; senderos formados por el paso de animales; vegetación extraída de raíz y vegetación camefitizada. En la medida que se observen estos parámetros en mayor proporción, aumenta el valor del indicador. A continuación se presentan las características que se deben observar en el sitio evaluado para calificar al indicador dentro de la escala de cinco categorías (Santibáñez, 2003):

1. Muy baja: carga animal cercana al equilibrio respecto de la capacidad sustentadora de la vegetación. Signos de presión de pastoreo a penas perceptibles en la vegetación perenne.
2. Baja: carga animal ligeramente superior a la capacidad sustentadora de la vegetación. Se observan signos leves de presión de pastoreo, en donde algunos ápices de crecimiento de las plantas han sido cortados.
3. Media: carga animal claramente por sobre la capacidad sustentadora de la vegetación. Se observan signos claros de presión de pastoreo, en donde gran parte de los ápices de crecimiento de las plantas han sido consumidos, y la vegetación herbácea es consumida antes de semillar.
4. Alta: carga animal muy por sobre la capacidad sustentadora de la vegetación. Se observan signos intensos de presión de pastoreo, en donde las plantas perennes han sido fuertemente consumidas, y la vegetación herbácea es escasa.

5. Muy alta: carga animal excede fuertemente la capacidad sustentadora de la vegetación. Se observan signos intensos de degradación de la vegetación, donde las plantas perennes menos palatables han sido consumidas, y la vegetación herbácea es casi inexistente.

Deforestación. Corresponde a la cosecha de la vegetación arbórea con diversos fines, tales como madereros y combustibles. Los parámetros considerados para calificar este indicador corresponden a presencia de vegetación arbórea y árboles con cortes recientes. A continuación se presentan las características que se deben observar para calificar al indicador dentro de la escala de cinco categorías (Santibáñez, 2003):

1. Muy baja: la vegetación arbórea no esta siendo extraída o su extracción queda neutralizada por la regeneración natural.
2. Baja: existe una leve extracción de elementos arbóreos del paisaje
3. Media: hay una extracción regular o constante de ciertos elementos arbóreos, dentro de márgenes moderados.
4. Alta: hay una importante remoción de la vegetación arbórea, en pocas décadas se agotaran los elementos leñosos altos.
5. Muy alta: intensa extracción de vegetación arbórea, en pocos años desaparecerán los elementos arbóreos.

Preparación de cartografía

Se preparó el material cartográfico requerido para terreno, para lo cual se plotearon aerofotografías de las áreas piloto del año 2001 a escala 1:70.000, las cuales fueron previamente georeferenciadas en el programa Arcview. Estas imágenes resultaron de especial utilidad en terreno ya que en ellas es posible observar la vegetación arbórea, cursos de agua, topografía y caminos, incluso los menos transitados, facilitando el recorrido de las comunidades agrícolas y selección las parcelas de muestreo.

Selección de equipo de evaluadores

Según el método propuesto para validar el protocolo de campo y los recursos disponibles, se formó un equipo de 6 personas para aplicarlo en terreno y luego analizar la coherencia de los resultados (Apéndice II. Equipo de evaluadores).

Aplicación del protocolo

La aplicación del protocolo se llevó a cabo en febrero del 2004 y contó con una primera etapa de contextualización dentro de la zona de estudio y entrenamiento, para finalmente evaluar el protocolo en terreno.

Contextualización dentro de la zona de estudio. Se realizó un recorrido por parte de la unidad geográfica donde se ubican las zonas de aplicación del protocolo, montaña media, con el objetivo de mostrar al equipo los distintos niveles de degradación posibles de encontrar en la región. Luego se visitó la zona de exclusión de Las Cardas para que los evaluadores visualizaran el estado de las variables que evaluarían, en óptimas condiciones.

Entrenamiento. Se procedió a realizar una jornada de entrenamiento al equipo de evaluadores para la correcta aplicación del protocolo. Contó con dos modalidades:

- Un taller realizado por la autora de esta memoria y el profesor guía, donde se expuso sobre la desertificación en cuanto a su definición, causas e impactos, se explicó la forma de utilizar el protocolo y se revisaron uno a uno los indicadores con apoyo de fotografías representativas de las escalas conceptuales. El taller tuvo una duración aproximada de tres horas.
- Una práctica en terreno de evaluación de los indicadores que permitió resolver dudas con respecto al protocolo y discutir la ponderación de los parámetros que debían ser considerados. Se realizaron evaluaciones en diferentes puntos muestrales de Las Cardas. Cada evaluador debía calificar los indicadores de forma individual para luego discutir los resultados y llegar a un consenso sobre los valores más acertados para el punto muestral en cuestión. La práctica tuvo una duración aproximada de cinco horas.

Evaluación en terreno. Dentro de las cuatro zonas de estudio se seleccionaron un total de treinta y cinco parcelas de muestreo para aplicar el protocolo. En cada parcela se marcó con un navegador satelital un punto (way point) que fue considerado como punto medio de un cuadrante de 1 Há y se aplicó el protocolo dentro de dichos límites. Como se observa en la figura 6, los seis evaluadores debían recorrer el cuadrante observando los parámetros correspondientes para luego, individualmente, calificar los indicadores llenando una ficha de terreno para cada punto muestral evaluado (Apéndice III. Ficha de terreno). Una vez concluidas las evaluaciones en una parcela de muestreo, se recolectaron las fichas de los resultados antes de pasar al siguiente sitio, de modo de evitar, dentro de lo posible, que los resultados de un sitio influyeran sobre el próximo.



Figura 6: Aplicación del protocolo de campo por parte de cinco de los seis evaluadores, en el punto muestral 34, ubicado en la comunidad agrícola de Barraza.

En aquellos casos en que los indicadores de cobertura vegetal, grado de erosión y exposición a la lluvia no presentaron un comportamiento homogéneo dentro de la parcela de muestreo como para otorgar un único valor representativo, se entregó la opción a los evaluadores de realizar una calificación ponderada, determinada por la siguiente fórmula:

$$VI_i = f_1 * 1 + f_2 * 2 + f_3 * 3 + f_4 * 4 + f_5 * 5$$

donde:

VI_i: valor indicador i

f₁: fracción del área total que se califica con 1

f₂: fracción del área total que se califica con 2

f₃: fracción del área total que se califica con 3

f₄: fracción del área total que se califica con 4

f₅: fracción del área total que se califica con 5

Cuando en una parcela de muestreo se presentó una pequeña fracción de la superficie con características diferentes, se dio la posibilidad de otorgar un valor como representativo y en paréntesis el valor correspondiente a la “isla”, registrando en la ficha de terreno lo observado. Para desarrollar los análisis posteriores, el valor considerado fue el número principal, más menos un tercio del valor en paréntesis.

Medición del porcentaje de cobertura vegetal

Con el objetivo de relacionar los resultados del indicador de cobertura vegetal con los porcentajes de cobertura medidos instrumentalmente, y determinar si dichos resultados son válidos para las parcelas muestrales evaluadas, se procedió a medir la fracción de suelo cubierto por tipo biológico.

La determinación del porcentaje de cobertura se efectuó en una línea transecta de 100 m de longitud a lo largo de la cual se midió, con una huincha de 5 m, la proporción de cada componente que pasa bajo la línea. Luego se obtuvo la sumatoria del largo ocupado por cada componente y se dividió por el largo total de la cuerda, resultando los porcentajes de cobertura vegetal de los tipos biológicos leñoso alto, leñoso bajo, suculento; mantillo denso, semidenso y ralo y suelo desnudo.

Tabulación de resultados

Una vez aplicado el protocolo de campo y recolectados los datos, se realizó la tabulación de éstos para su posterior análisis. Como resultado de esta etapa se obtuvo una base de datos con los resultados obtenidos por los seis evaluadores para los siete indicadores en un total de treinta y cinco puntos muestrales (Apéndice IV).

Análisis de resultados

Los resultados fueron analizados considerando tres niveles de aproximación: método, indicadores e intensidad de alteración. Con la primera aproximación se busca reconocer, de manera generalizada, el grado de coherencia obtenido por los evaluadores al aplicar el protocolo, considerando los resultados de los siete indicadores en los treinta y cinco puntos muestrales evaluados. Con el nivel de indicadores se busca reconocer si se presentaron ambigüedades en la aplicación de uno o más indicadores en particular e inferir las razones que expliquen dicho comportamiento. Con la tercera aproximación se busca determinar si se presentaron imprecisiones tales como tendencias a sub o sobrestimar los resultados al evaluar zonas más y menos degradadas.

Para llevar a cabo los análisis en los diferentes niveles de aproximación se realizaron los siguientes procedimientos estadísticos:

Análisis de varianza de un factor (ANDEVA): el objetivo del análisis de varianza corresponde a probar la hipótesis de que en promedio, los resultados obtenidos de la aplicación del protocolo por cada uno de los seis evaluadores no difieren significativamente. Como variable independiente (o tratamiento) se consideraron cada uno de seis evaluadores y como variable dependiente se consideraron los resultados de la aplicación del protocolo, según el nivel de aproximación.

Regresiones: los resultados generados por los seis evaluadores fueron comparados, por medio de regresiones, con los valores más representativos de cada punto muestral, lo que se denomina valor de referencia. En teoría, mientras mayor sea el coeficiente de determinación obtenido de la regresión entre los resultados obtenidos por los evaluadores y los valores de referencia para cada punto muestral, mayor el grado de coherencia. Para efectos del análisis, se consideró como valor de referencia la moda obtenida de los resultados de los seis evaluadores, la cual, por ser el valor más frecuente de las evaluaciones para un punto muestral, excluye los valores extremos. En aquellos casos en que la distribución de los datos resultó ser bimodal, se obtuvo un promedio entre ambas modas y el valor resultante fue considerado como valor de referencia.

Porcentajes de acierto: estima la probabilidad de que un evaluador acierte con el valor de referencia para un punto muestral, rescatando la magnitud de los aciertos obtenidos. Este porcentaje se obtuvo calculando el número de veces en que las evaluaciones realizadas por los panelistas coincidieron con el valor de referencia para luego calcular el porcentaje del total de evaluaciones.

Porcentajes de error: estima la probabilidad de que un evaluador cometa errores de diferente grado con respecto al valor de referencia para un punto muestral. Este porcentaje fue medido como el número de veces en que la diferencia con el valor de referencia fue de 1, 2, 3, y 4 grados. El objetivo de obtener los porcentajes de error del método corresponde a analizar la magnitud de errores cometidos y a su vez, detectar si se presentaron tendencias a subestimar y sobrestimar los resultados.

Evaluación de indicadores para obtención de cartografía

Si bien el objetivo principal de este estudio es validar el protocolo de campo verificando la consistencia de la evaluación de variables biofísicas mediante criterios expertos, fue también posible determinar la variabilidad de los resultados de los indicadores entre predios de la comunidad agrícola de Barraza y entregar resultados cartográficos.

Como primera etapa se realizó una zonificación de la comunidad agrícola, considerando la topografía y estado de la cobertura vegetal. En el programa Arcview y utilizando la imagen satelital Landsat en falso color y fotografía aérea de la zona de estudio, se procedió a delimitar polígonos que presentaran rasgos de estado de cobertura vegetal similares. Según las denotaciones de los colores en una imagen en falso color establecidas por Chuvieco (1990) se delimitaron polígonos que parecieran homogéneos en términos del colorido de la imagen. Resultaron un total de 21 unidades cartográficas. Luego, la zonificación resultante fue superpuesta a un modelo digital de elevación, generado a partir de la información de curvas de nivel a través de la extensión 3D Análisis de Arcview, para corregir los límites de las unidades cartográficas según topografía. La zonificación consiguiente fue plotada para poder disponer de ella en terreno.

Como segunda etapa se procedió a evaluar los indicadores en las unidades cartográficas. Se realizaron trabajos en terreno con el objetivo de definir el número de puntos muestrales requeridos por unidad cartográfica para que el promedio de los resultados de cada indicador fuese representativo de todo el polígono. Para esto se definieron dos unidades cartográficas dentro de Las Cardas; una muy homogénea en términos de cobertura vegetal y una más heterogénea. En ambos polígonos se superpuso una malla cuadrículada transparente de cuadrantes de 1 ha, y se ubicaron diez de ellos en forma sistemática. Luego, se evaluaron los indicadores en las diez parcelas de muestreo y los resultados fueron analizados por medio del coeficiente de variación y el error estándar. Como resultado, se obtuvo que el número de muestras por polígono para que el promedio de los resultados de cada indicador fuese representativo varió entre una y diez, dependiendo de la heterogeneidad de cada variable en las parcelas. Considerando esto, se optó por realizar sólo una evaluación por unidad cartográfica, otorgando a los indicadores el valor más representativo de la unidad.

En cada unidad cartográfica se realizó un recorrido para luego evaluar los indicadores en un sector representativo de sus características generales. Previo a la evaluación de los indicadores, se realizó una caracterización de cada unidad cartográfica en cuanto a superficie, pendiente media y exposición solar. Esto, con el fin de facilitar la elección de los sitios representativos de cada polígono y tener un conocimiento a priori de sus características generales (ver descripción de unidades cartográficas en apéndice V).

Durante la aplicación del protocolo en terreno se contó con la cooperación de un comunero encargado de algunos proyectos en la comunidad agrícola de Barraza, quién aportó su propia experiencia en la percepción de las presiones ejercidas sobre los recursos y estados de degradación de suelo y vegetación, haciendo más representativos los resultados de la realidad del sistema. Finalmente, se transcribieron los resultados de los indicadores a la tabla asociada a la zonificación, posibilitando el mapeo de los resultados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aplicación del protocolo de campo

El protocolo de campo fue aplicado en tres comunidades agrícolas de la provincia del Limarí que corresponden al Divisadero, Higuieritas Unidas y Barraza. Las dos primeras fueron escogidas como representantes de una alta intensidad de degradación de los recursos y la última fue escogida como representante de una intensidad media de degradación. Además se incluyó dentro de las zonas de evaluación la Estación Experimental Agronómica Las Cardas, cuya zona de exclusión constituye uno de los sitios mejores conservados en relación al resto de las tierras de secano de la Región. En el apéndice I se presenta un esquema de ubicación de los sitios y fotografías representativas y en el cuadro 4 se presentan algunas características generales de las comunidades agrícolas.

Cuadro 4: Características generales de las comunidades agrícolas donde fue aplicado el protocolo.

Nombre	Unidad geográfica	Comuna	Distancia de Ovalle	Superficie (Ha)	Nº de derechos comuneros
Higuieritas Unidas	Cordones transversales	Ovalle	17 km en dirección N	4.700	41
Barraza	Transición entre cordones transversales y franja costera	Ovalle	25 km en dirección SO	4.200	92
El Divisadero	Cordones transversales	Punitaqui	26 km en dirección S	2.100	67

Se evaluaron un total de 8 puntos muestrales en la Estación Experimental Las Cardas, 3 en Higuieritas Unidas, 12 en El Divisadero y 12 en Barraza. En la figura 7 es posible observar la variación de los valores de referencia de los indicadores en los treinta y cinco puntos muestrales evaluados.

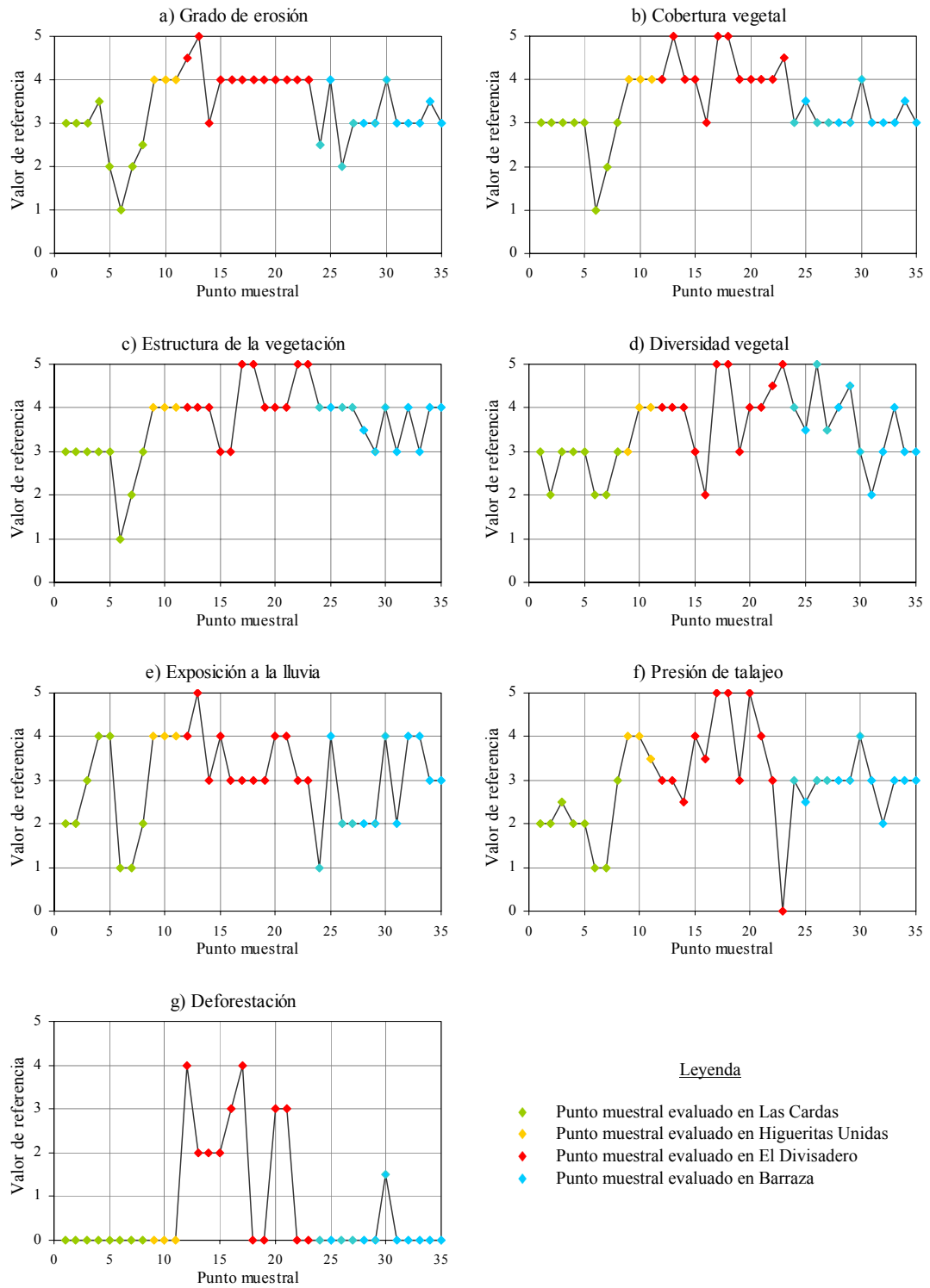


Figura 7: Valores de referencia de los indicadores en los 35 puntos muestrales evaluados.

Los gráficos presentados en la figura 7 ilustran la alta variabilidad de los resultados de los indicadores en los puntos muestrales evaluados, lo que confirma que las zonas escogidas para la aplicación del protocolo presentan diversas intensidades de presión y degradación de los recursos suelo y vegetación. Lo anterior fue fundamental para permitir examinar en su gran mayoría las escalas conceptuales propuestas en el protocolo de campo para cada indicador, como es posible observar en la figura 8.

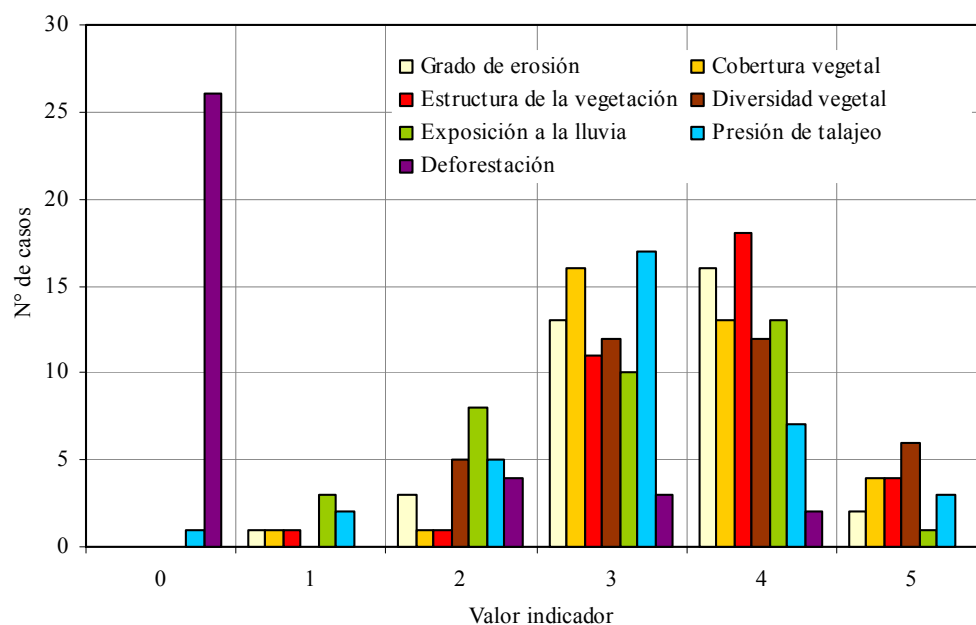


Figura 8: Histograma del número de casos en que se evaluaron los indicadores por grado numérico.

De la figura 8 también se observa que la presión de deforestación se manifestó como nula en 26 de los 35 puntos muestrales evaluados. Este comportamiento indica que en la actualidad, la vegetación arbórea en las comunidades agrícolas está fuertemente degradada y casi ha desaparecido por completo, y por consiguiente, no está siendo extraída para ser utilizada con fines madereros y combustibles. Esta conducta no corresponde al caso de la exclusión del Campo Experimental Las Cardas, donde la deforestación se presentó como nula (valor cero) por estar resguardada de la intervención humana.

Análisis del grado de coherencia de las evaluaciones

Grado de coherencia del método

De acuerdo con el análisis de varianza efectuado, se puede concluir que en promedio los resultados obtenidos de la aplicación del protocolo por cada uno de los seis evaluadores no difieren significativamente ($P \leq 0.05$). Esto indica que el promedio de los resultados de los indicadores evaluados en las cuatro zonas de estudio no varía según el evaluador que los haya calificado.

El máximo grado de coherencia posible de obtener con el protocolo de campo, es aquel en que todos los resultados obtenidos por los panelistas coinciden con el valor de referencia. Al relacionar ambos resultados en cada punto muestral se obtendría una ecuación lineal “ $y = x$ ” y un coeficiente de determinación igual a uno. Para determinar la relación existente entre el máximo grado de coherencia y los resultados obtenidos, se llevó a cabo una regresión lineal considerando como variable independiente todos los resultados obtenidos por los evaluadores y como variable dependiente el valor de referencia para cada punto muestral. En la figura 9 es posible observar el diagrama de dispersión para un total de 1470 pares de datos, la recta de regresión y el ajuste.

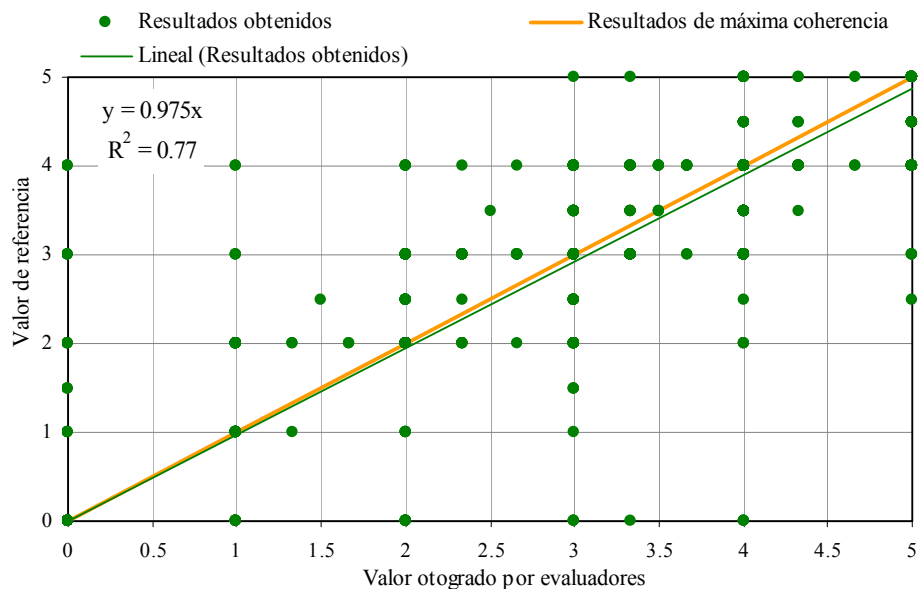


Figura 9: Recta de regresión de máxima coherencia y diagrama de dispersión, recta de regresión por el origen y ajuste de los resultados obtenidos por seis evaluadores y valores de referencia.

De la figura 9 se observa que la relación entre los resultados obtenidos por los seis evaluadores y el valor de referencia para cada punto muestral arrojó la ecuación $y = 0.975x$. El resultado del estadístico F demostró que la pendiente de la recta no difiere significativamente de uno ($P < 0.05$), lo cual permite concluir que existe una alta relación lineal entre el máximo grado de coherencia y los resultados obtenidos de la aplicación del protocolo.

Por otra parte, se probaron diferentes modelos para determinar la curva de regresión que mejor representa al conjunto total de puntos, resultando el modelo lineal $y = 0.86x + 0.40$, con un coeficiente de determinación de 0.79 (figura 10). El resultado del estadístico F indica que este coeficiente es significativo, lo que permite concluir que existe una relación alta y positiva entre los resultados obtenidos por los seis evaluadores y el valor de referencia.

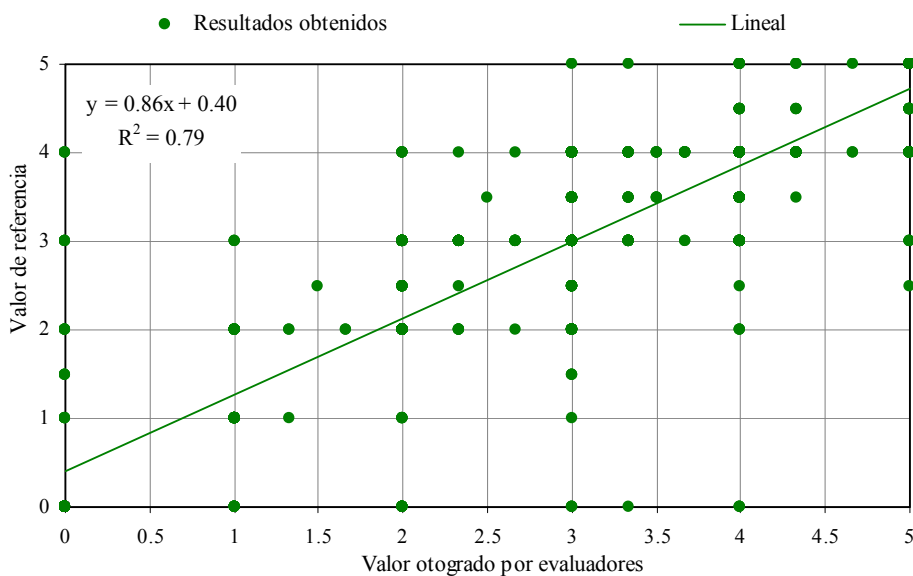


Figura 10: Diagrama de dispersión, recta de regresión y ajuste de los resultados obtenidos por seis evaluadores y valores de referencia.

Como se aprecia en la figura 11, el porcentaje de acierto resultó ser de un 70% del total de evaluaciones, lo que en términos prácticos significa que en aproximadamente 3 de cada 4 evaluaciones se acertó con el valor de referencia, y en sólo 1 de cada 4 evaluaciones se cometieron errores que fueron, por lo general, de un solo grado.

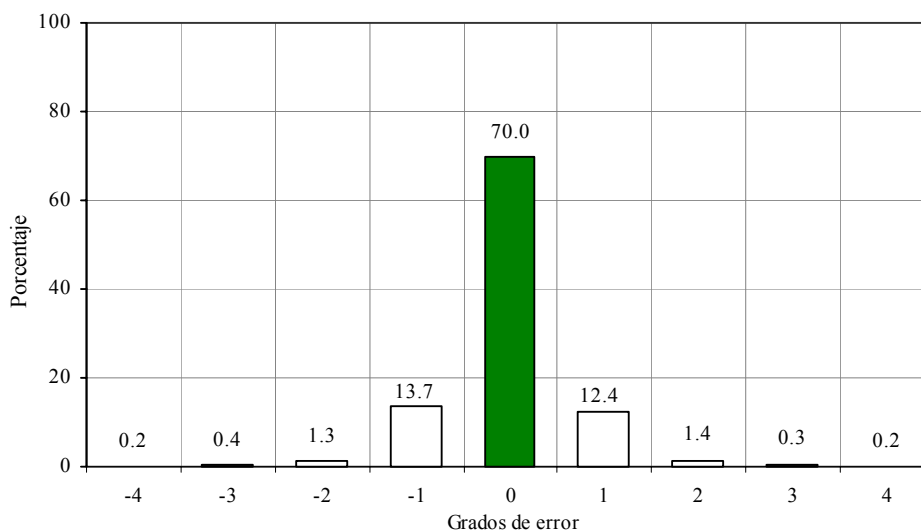


Figura 11: Porcentajes de acierto y error obtenidos de los resultados generados por el equipo y el valor referencia.

En lo que respecta a la distribución de los porcentajes de acierto y error, es posible constatar que presentan una distribución normal, con una desviación estándar de 0.66 y media de 0. De esto se concluye que la gran mayoría de los errores cometidos están dentro de un solo grado a ambos lados de la media y una pequeña minoría se desvía en dos grados o más, lo que corresponde al 4% de las evaluaciones. También es destacable el hecho que no se presentó una tendencia a subestimar o sobrestimar los resultados. Una tendencia de este tipo, se podría haber atribuido tanto al método propuesto por el protocolo como a una conducta pesimista o positivista de los evaluadores frente a la degradación del medio.

De los resultados obtenidos, es posible confirmar que se presentó un alto grado de consistencia en la evaluación de variables biofísicas mediante criterios expertos, debido a que los evaluadores lograron sintonizar con el protocolo de campo, obteniendo resultados coherentes entre sí, con bajos niveles de discordancia.

Grado de coherencia de indicadores

A continuación se analizan los indicadores en forma independiente de manera de detectar posibles ambigüedades en uno o más de ellos en particular.

El estadístico F del ANDEVA se basa en el cumplimiento del supuesto de homogeneidad de varianzas. Para que exista homogeneidad de varianzas la variable dependiente debe distribuirse normalmente y las poblaciones muestreadas deben poseer la misma varianza. En el caso de incumplimiento de dicho supuesto, la prueba del ANDEVA puede ser sustituida por la prueba de Brown-Forsythe. Como primer paso para probar la hipótesis de igualdad de medias entre evaluadores se comprobó dicho supuesto por medio de la prueba de Levene, resultando que el indicador de deforestación no posee homogeneidad de varianzas. Esto se atribuye a que el indicador de deforestación se calificó como nulo, valor 0, en gran parte de los sitios evaluados, resultando en una distribución no normal. El comportamiento del indicador de deforestación será comentado más adelante. En el cuadro 5 se presenta un resumen de los resultados obtenidos.

Cuadro 5: Resultados por indicador obtenidos del análisis de homogeneidad de varianzas, análisis de varianza y Brown-Forsythe.

Indicador	Homogeneidad de varianzas	ANDEVA	Brown-Forsythe
		Valor de probabilidad (p)	
Grado de erosión	0.99	0.50	-
Cobertura vegetal	0.81	0.35	-
Estructura de la vegetación	0.48	0.43	-
Diversidad vegetal	0.24	0.01**	-
Exposición a la lluvia	0.97	0.38	-
Presión de pastoreo	0.55	0.49	-
Deforestación	0.00*	-	0.00**

* Se rechaza la hipótesis nula de igualdad de varianzas con un error no superior al 5%.

** Se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias entre evaluadores con un error no superior al 5%.

De los siete indicadores en estudio, sólo dos de ellos, diversidad vegetal y deforestación, resultaron arrojar medias significativamente diferentes entre evaluadores, Para el resto de los indicadores es posible establecer que las medias de los resultados de los indicadores evaluados en las cuatro zonas de estudio no varían según el evaluador que los haya calificado.

Se probaron diferentes modelos para determinar la curva de regresión que mejor representa al conjunto total de puntos de cada indicador. Sólo para el indicador de cobertura vegetal, el coeficiente de determinación más alto se obtuvo con un modelo distinto al lineal, como resultó el comportamiento del resto de los indicadores. Puesto que la diferencia del coeficiente de determinación obtenido por ambos modelos fue de sólo 0.04, se realizaron los análisis utilizando únicamente modelos lineales.

Las regresiones de cada indicador generadas de la comparación entre los resultados obtenidos por los seis evaluadores y los valores de referencia para cada punto muestral, como los porcentajes de acierto y error se presentan en la figuras 12 a 18.

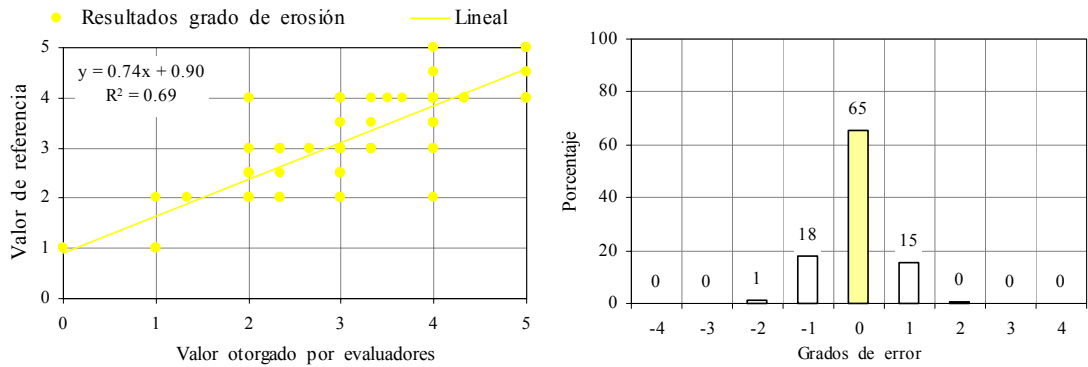


Figura 12: Regresión de los resultados obtenidos para el indicador de grado de erosión y los valores de referencia e histograma de los porcentajes de acierto y error.

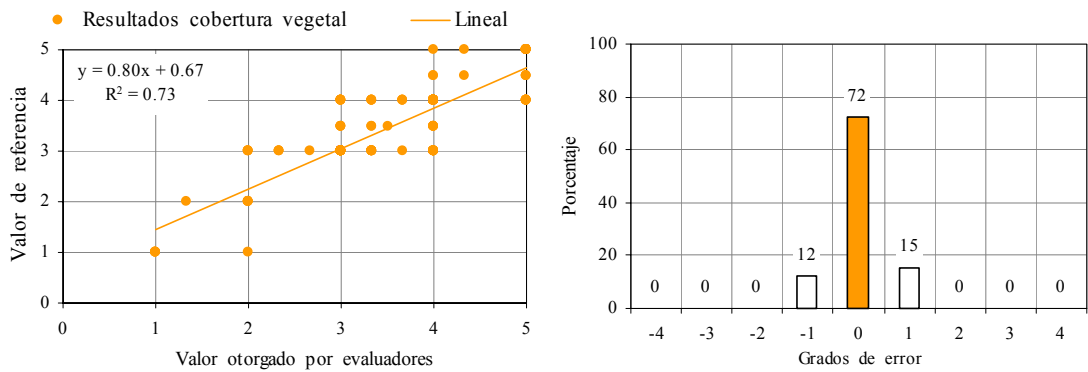


Figura 13: Regresión de los resultados obtenidos para el indicador de cobertura vegetal y los valores de referencia e histograma de los porcentajes de acierto y error.

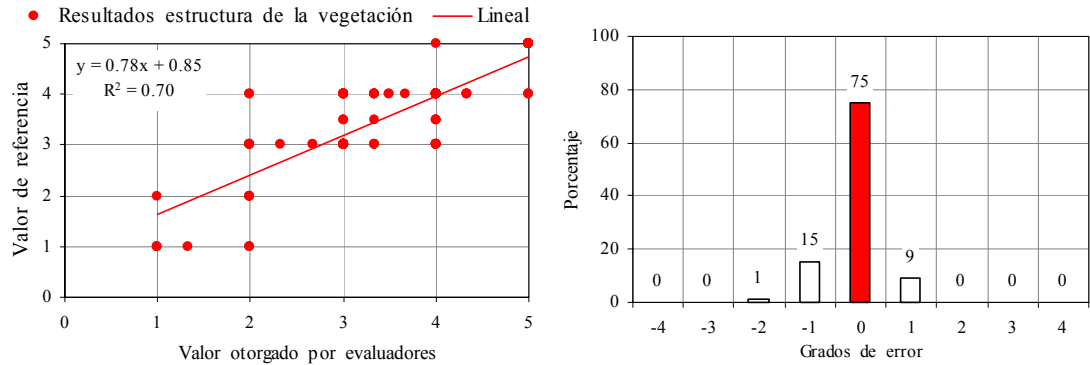


Figura 14: Regresión de los resultados obtenidos para el indicador de estructura de la vegetación y los valores de referencia e histograma de los porcentajes de acierto y error.

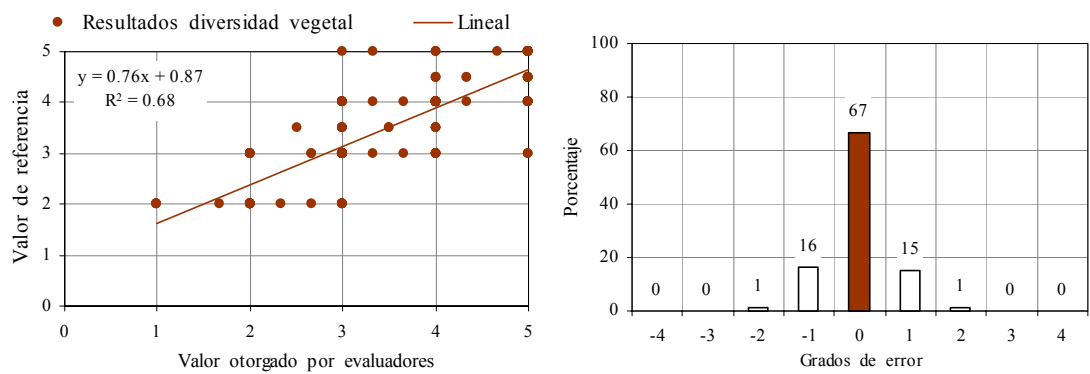


Figura 15: Regresión de los resultados obtenidos para el indicador de diversidad vegetal y los valores de referencia e histograma de los porcentajes de acierto y error.

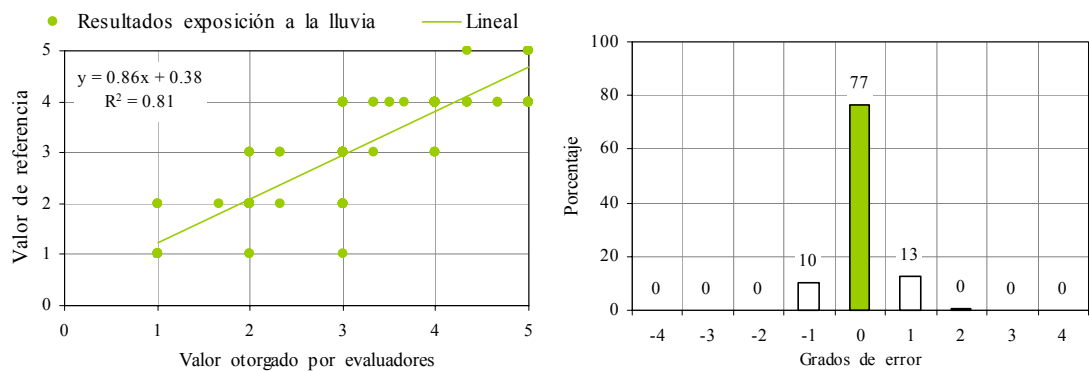


Figura 16: Regresión de los resultados obtenidos para el indicador de exposición a la lluvia y los valores de referencia e histograma de los porcentajes de acierto y error.

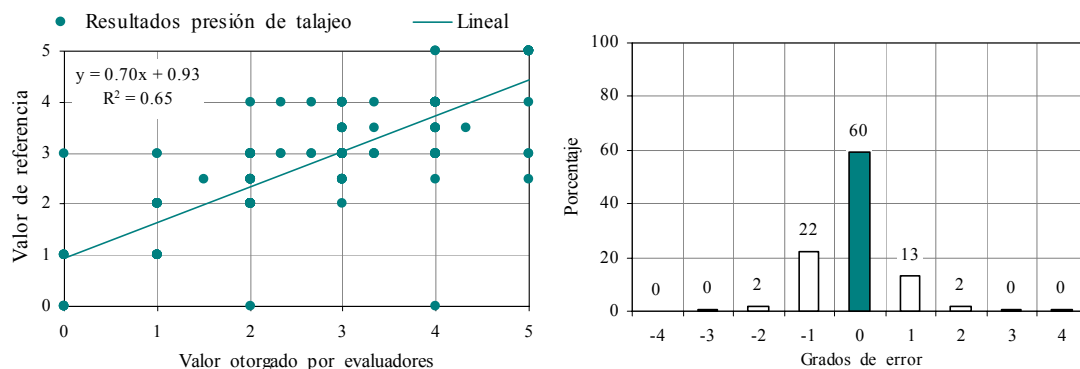


Figura 17: Regresión de los resultados obtenidos para el indicador de presión de talaje y los valores de referencia e histograma de los porcentajes de acierto y error.

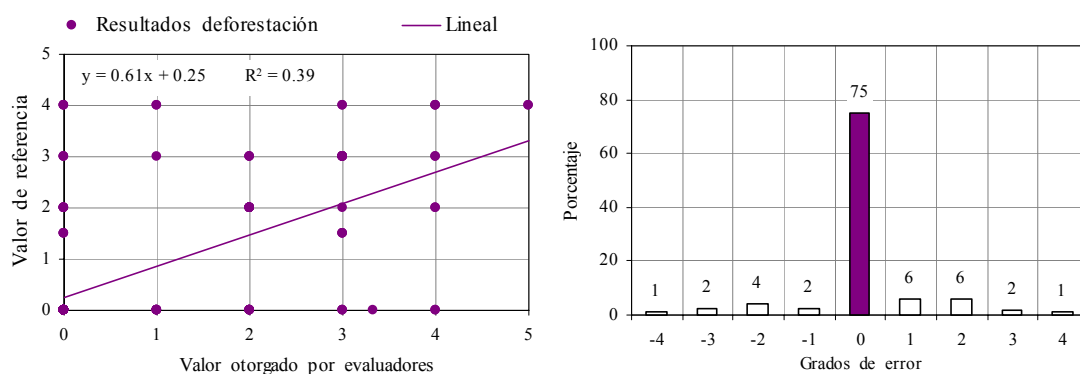


Figura 18: Regresión de los resultados obtenidos para el indicador de deforestación y los valores de referencia e histograma de los porcentajes de acierto y error.

Como resumen de los resultados expuestos en las figuras 12 a 18, se presenta el cuadro 6.

Cuadro 6: Resumen de los coeficientes de determinación y porcentajes de acierto obtenidos para cada indicador evaluado.

Indicador	R ²	%		
		Acierto	Error de 1 g°	Error ≥ 2 g°
Grado de erosión	0.69*	65	33	1
Cobertura vegetal	0.73*	72	28	0
Estructura de la vegetación	0.70*	75	24	1
Diversidad vegetal	0.68*	67	31	2
Exposición a la lluvia	0.81*	77	23	0
Presión de pastoreo	0.65*	60	35	5
Deforestación	0.39*	75	8	17

* Significativo para $P \leq 0.05$

Los resultados indican que los coeficientes de determinación son significativos ($P \leq 0.05$) para los siete indicadores evaluados. No obstante, se presentaron grandes diferencias entre coeficientes, los cuales variaron entre 0.39 y 0.81.

El indicador que presentó el más alto grado de coherencia en las evaluaciones fue el de exposición a la lluvia, al obtener el mayor coeficiente de determinación y porcentaje de acierto (figura 16). El alto grado de coherencia presentado por este indicador se adjudica a que para su calificación, los parámetros a considerar (precipitación anual, porcentaje de cobertura vegetal y pendiente) resultan ser bastante objetivos y su ponderación no genera errores de calificación de más de un grado.

El más bajo grado de coherencia fue obtenido para el indicador de deforestación. En la figura 18 se observa que no presenta una pauta de variación clara, lo cual queda reflejado en una nube dispersa de puntos, muy lejos de lo que podría ser una línea recta. Por otro lado, se obtuvo un porcentaje de acierto de 75%, lo que podría inducir a una conclusión errónea dado que en 3 de cada 4 evaluaciones se acertó con el valor de referencia. No obstante, en el 17% de las evaluaciones se cometieron errores superiores a 1 grado, error que llegó a ser de incluso 4 grados, lo que se traduce en altos niveles de discrepancia. Las incoherencias presentadas en los resultados de este indicador se adjudican a que los evaluadores no comprendieron el concepto de presión de deforestación. Para evitar ambigüedades que pueden conducir a análisis erróneos cuando se intenta identificar una presión sobre un recurso natural, es necesario establecer claramente la diferencia entre el factor de presión y estado del mismo. Esto, con el objetivo de no confundir la evaluación del estado de un recurso muy alterado, víctima de los fuertes impactos que ha debido absorber en el tiempo, con la presión directa o indirecta a la que se ve sometido el recurso en el momento de la evaluación.

Según como fue definido el indicador, la deforestación corresponde a la acción de extracción de vegetación arbórea, pero frecuentemente fue confundida con su estado. Un terreno donde el estrato leñoso alto ha desaparecido por completo debiera calificarse con una presión nula (valor 0) dado que en la actualidad no se está extrayendo vegetación arbórea y no con una presión muy alta (valor 5) como lo hicieron con frecuencia los evaluadores. Estas discrepancias ocasionaron ambigüedades en los resultados y en el cálculo de la moda, lo que alteró los resultados finales. Para obtener resultados más coherentes se recomienda que durante el entrenamiento para aplicar el protocolo se preste especial atención a estos criterios.

Los indicadores que presentaron un mayor grado de consenso en los resultados obtenidos por el equipo de panelistas fueron los indicadores de exposición a la lluvia, y los indicadores de estado cobertura vegetal, estructura de la vegetación, grado de erosión y diversidad vegetal (coeficiente de determinación mayor a 0.68 y errores principalmente de un solo grado). Le sigue en grado de coherencia el indicador de presión de talaje, con un coeficiente de determinación de 0.65 y porcentaje de error superior a un grado, del 5% del total de evaluaciones.

Se concluye que el grupo de indicadores que presentaron los resultados más coherentes corresponden a aquellos cuya evaluación es netamente sensorial, es decir, el proceso de ponderación de los parámetros proviene de una observación directa en terreno, lo que los hace más objetivos. Por el contrario, los indicadores que presentaron un menor grado de coherencia en los resultados (presión de pastoreo y deforestación), además de la observación de los parámetros en terreno, requieren una evaluación más interpretativa sobre las presiones que se están ejerciendo sobre la vegetación, lo que disminuye su objetividad.

Grado de coherencia según intensidad de alteración

Para analizar el tercer nivel de aproximación del grado de coherencia obtenido de las evaluaciones del protocolo de campo, se clasificaron los puntos muestrales en tres categorías de intensidad de alteración. Como sitios levemente alterados se consideraron los puntos muestrales 6 y 7, ubicados en la zona de exclusión de la Estación Experimental Las Cardas. Como sitios medianamente alterados se consideraron el resto de los puntos muestrales evaluados en Las Cardas (puntos muestrales 1 a 5 y 8) y los evaluados en la comunidad agrícola de Barraza (puntos muestrales 24 a 35). Como sitios altamente alterados se consideraron los puntos muestrales 12 a 23, ubicados en la comunidad agrícola El Divisadero. Para las tres intensidades de alteración definidas, se realizaron los procedimientos estadísticos. En el cuadro 7 se presentan los resultados obtenidos del análisis de homogeneidad de varianzas, ANDEVA y Brown- Forsythe.

Cuadro 7: Resultados por intensidad de alteración obtenidos del análisis de homogeneidad de varianzas, análisis de varianza y Brown-Forsythe.

Intensidad de alteración	Homogeneidad de varianzas	ANDEVA		Brown-Forsythe
		Valor de probabilidad		
Ligero	0.04*	-	-	0.69
Medio	0.39	0.76	-	-
Alto	0.31	0.72	-	-

* Se rechaza la hipótesis nula de igualdad de varianzas con un error no superior al 5%.

Del cuadro 7 es posible concluir, con un error no superior al 5%, que para las diferentes intensidades de alteración, las medias de los resultados del protocolo no varían significativamente según el evaluador que lo haya aplicado.

Por otra parte, se presentan en la figuras 19 a 21 las regresiones de cada intensidad de alteración generadas de la comparación entre los resultados obtenidos por los seis evaluadores y los valores de referencia para cada punto muestral, como también los porcentajes de acierto y error.

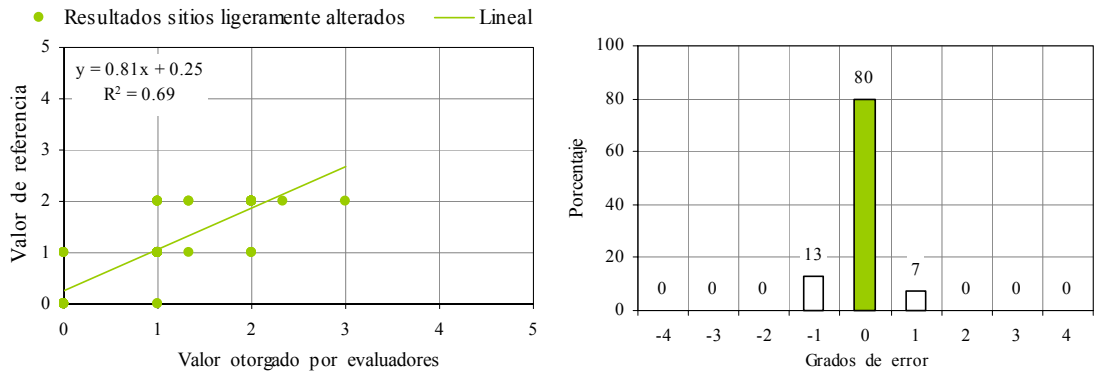


Figura 19: Regresión de los resultados de indicadores evaluados en sitios ligeramente alterados y los valores de referencia e histograma de los porcentajes de acierto y error.

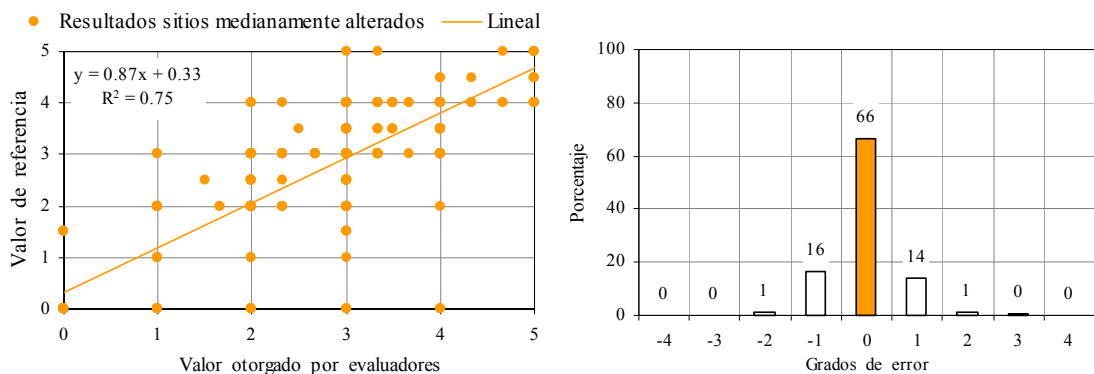


Figura 20: Regresión de los resultados de indicadores evaluados en sitios medianamente alterados y los valores de referencia e histograma de los porcentajes de acierto y error.

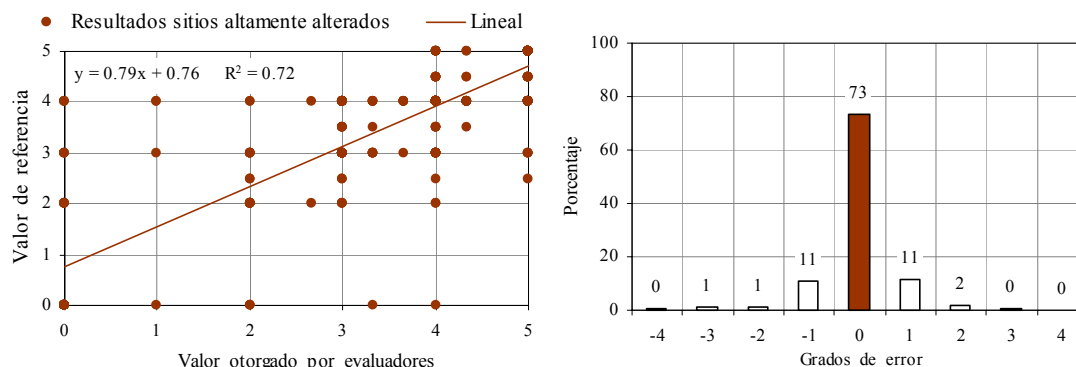


Figura 21: Regresión de los resultados de indicadores evaluados en sitios altamente alterados y los valores de referencia e histograma de los porcentajes de acierto y error.

Los resultados indican que los coeficientes de determinación obtenidos de los modelos lineales son significativos ($P \leq 0.05$) para las tres intensidades de alteración analizadas. Estos coeficientes fueron altos y varían entre 0.69 y 0.72. En lo que respecta a la distribución de los porcentajes de acierto y error, es posible constatar que se presenta una distribución normal para los tres casos evaluados. Sólo para los sitios levemente alterados fue posible observar una ligera tendencia a subestimar los resultados, lo que se atribuye a la percepción positiva de los evaluadores frente a grados poco alterados, traduciéndose en una calificación de los indicadores con valores bajos (Figura 19).

De los resultados obtenidos del presente análisis se concluye que el grado de alteración de los sitios evaluados no influye mayormente en la coherencia de las evaluaciones de variables biofísicas mediante criterios expertos.

Relación entre indicador de cobertura vegetal y porcentajes medidos instrumentalmente

Con el objetivo de establecer la relación existente entre una medida perceptiva otorgada por el protocolo de campo y una medida instrumental, se compararon los resultados del indicador de cobertura vegetal con los valores obtenidos de la medición instrumental de dicha variable en los treinta y cinco puntos muestrales.

Previo al análisis, es importante mencionar que los resultados obtenidos por el equipo de evaluadores al calificar el indicador de cobertura vegetal corresponden a una medida de su grado de alteración, tomando como referencia el estado del recurso en la Zona de Exclusión de Las Cardas. Debido que se tomó como referencia el mismo patrón para

todas las zonas evaluadas, el indicador de grado de alteración de la cobertura vegetal se transforma en un indicador relativo de cobertura, permitiendo comparar estos resultados con los valores medidos instrumentalmente.

En la calificación del indicador de cobertura vegetal fue considerada, además de la fracción de suelo cubierto por vegetación perenne, aquella fracción cubierta por mantillo denso, de tal forma que en las medidas instrumentales se consideró como cobertura vegetal la suma de los porcentajes de los tipos biológicos leñoso alto, leñoso bajo, suculento, además de mantillo denso. Se agregó al diagrama de dispersión resultante un punto evaluado durante la etapa de entrenamiento en la Zona de Exclusión de Las Cardas por presentar un 95% de cobertura vegetal (considerando el mantillo denso) y un grado de alteración muy leve. La relación entre las medidas perceptivas e instrumentales de cobertura vegetal puede ser apreciada en la figura 22.

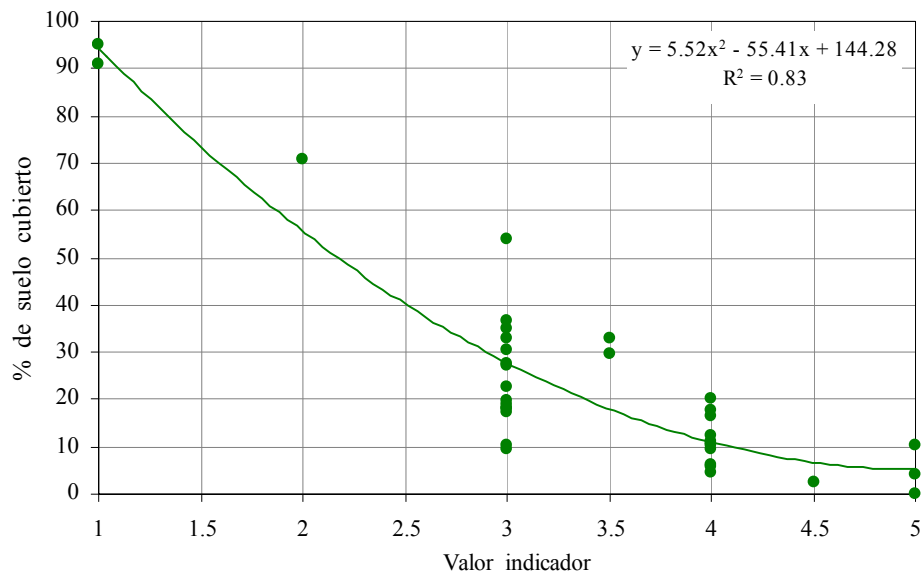


Figura 22: Relación entre los resultados del indicador de cobertura vegetal y los obtenidos como medida instrumental, considerando los tipos biológicos leñoso alto, leñoso bajo, suculento, además de mantillo denso.

La curva de regresión que mejor representa la relación existente entre los resultados de cobertura vegetal obtenidos con el protocolo y los obtenidos como medida instrumental correspondió a un modelo de tipo parabólico. El coeficiente de determinación resultó ser alto y significativo ($P \leq 0.05$), de lo que se concluye que los resultados obtenidos del grado de alteración de la cobertura vegetal son válidos para los puntos muestrales evaluados. Por

otra parte, se presenta una relación inversa entre ambas medidas, que indica que los evaluadores calificaron con grados de alteración más bajos aquellos sectores con una alta cobertura vegetal y con grado de alteración más alto aquellos sectores con un alto porcentaje de suelo desnudo.

La ecuación obtenida no puede ser utilizada para predecir el porcentaje de cobertura vegetal de manera generalizada, dado que las evaluaciones corresponden a situaciones particulares y no son extrapolables al resto de las comunidades agrícolas de la provincia del Limarí. Además, según Santibáñez *et al* (1998), la cobertura vegetal varía naturalmente durante el año como consecuencia de la estacionalidad del crecimiento de las planta. Por lo tanto, para obtener un modelo predictor de los porcentajes de cobertura vegetal a partir de la calificación del indicador, sería necesario estimar la cobertura para las distintas estaciones del año con el fin de obtener un promedio anual de cobertura para cada tipo biológico identificado en terreno.

Es importante mencionar que este análisis fue realizado exclusivamente para el indicador de cobertura vegetal, por corresponder al único indicador que depende de un solo parámetro, el cual pudo ser evaluado instrumentalmente de manera sencilla y rápida en todos los puntos muestrales. El resto de los indicadores dependen como mínimo de 2 o 3 parámetros, dificultando la realización de relaciones de este tipo.

Aplicabilidad del protocolo de campo

Si bien el objetivo principal de este estudio era validar el protocolo de campo verificando la consistencia de las evaluaciones de variables biofísicas mediante criterios expertos, fue también posible aplicar el protocolo en otras instancias con el fin de ejemplificar su utilidad.

Resultados de indicadores según intensidad de alteración

Con el propósito de analizar los cambios que la degradación produce en un ecosistema, se evaluaron algunos indicadores en situaciones contrastadas, de alta y baja alteración. Se consideraron los indicadores de grado de erosión, cobertura vegetal y estructura de la vegetación de modo de observar los cambios en el estado de estos componentes a medida que aumenta la intensidad de alteración de los sitios evaluados.

Para dicho análisis, además de los treinta y cinco puntos muestrales evaluados con motivo de la validación del protocolo, se consideraron los resultados de otras parcelas de muestreo evaluadas durante los trabajos en terreno. Como sitios levemente alterados se consideró la zona de exclusión de Las Cardas además de algunos sectores aledaños (21 parcelas de muestreo). Como sitios medianamente alterados se consideró la comunidad agrícola de Barraza y un sector de Las Cardas que no está resguardado de la intervención humana y animal (31 y 14 parcelas de muestreo respectivamente) y como sitios fuertemente alterados se consideraron las comunidades agrícolas El Divisadero e Higuieritas Unidas (22 parcelas de muestreo).

Los resultados de los indicadores fueron tabulados según la clasificación antes mencionada y se procedió a contar número de casos registrados por grado numérico, obteniéndose los porcentajes respectivos. En la figura 23 se presentan las gráficas resultantes.

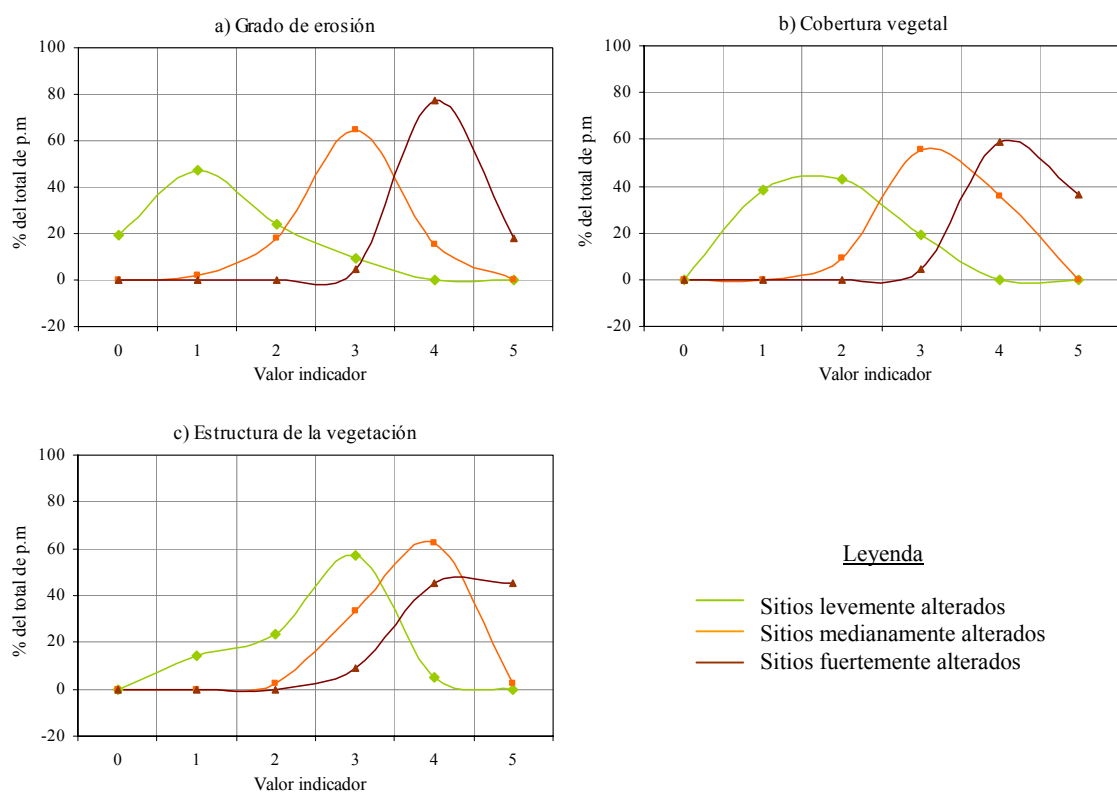


Figura 23: Distribución de los resultados según la intensidad de alteración de los sitios evaluados.

De los gráficos presentados en la figura 23, se observa que la intensidad de alteración de un ecosistema se refleja en cambios en la distribución de los resultados de los indicadores. Aquellos sitios levemente alterados exhiben una distribución más aplanada y dispersa, concentrando los resultados en un grado de alteración muy leve y leve (valores 1 y 2) pero además presentan algunos casos con grados más altos de alteración. Es decir, en ecosistemas levemente alterados es posible reconocer, en su mayoría, sitios bien conservados, pero además se reconocen sitios más deteriorados. En contraste, aquellos sitios fuertemente alterados exhiben una distribución más apuntada, la cual concentra los resultados sólo en grados de alteración alto y muy alto (valores 4 y 5) siendo más improbable el reconocimiento de sitios con mejores características.

A diferencia de los indicadores de grado de erosión y cobertura vegetal, el indicador de estructura de la vegetación presenta una distribución menos segregada entre los diferentes grados de alteración. Además, en sitios definidos como levemente alterados, se concentra el 57% de los casos en el valor 3, y no en los valores 1 y 2 como era de esperar, lo que se atribuye a que corresponde a la variable más fuertemente afectada dentro de los sitios evaluados.

De los tres indicadores analizados, aquel que presenta mayor sensibilidad en los resultados ante diferentes intensidades de alteración corresponde al indicador de grado de erosión. Este indicador correspondería al de mayor utilidad en la diferenciación de diferentes grados de desertificación, ya que es el que permite una mayor segregación entre diferentes ecosistemas evaluados. Esta afirmación coincide con lo establecido por Lacaze *et al* (1996), quienes establecen que los principales elementos para monitorear las dinámicas ecosistémicas corresponden a la caracterización de los cambios en la cobertura vegetal y el grado de erosión. Por lo general, estos parámetros están muy asociados, dado que el grado de degradación del suelo es en muchos casos un reflejo del estado de la vegetación que lo cubre y lo condiciona (Pérez y Trejo, 1994, citado por Lacaze *et al*, 1996).

Cartografía de indicadores

El objetivo de aplicar el protocolo de campo en una comunidad agrícola zonificada en predios y representar cartográficamente los resultados de los indicadores, fue principalmente exponer la variabilidad interpredial y la posibilidad de desplegar espacialmente la información. Producto de la evaluación de los indicadores para la obtención de una visión territorial en la comunidad agrícola de Barraza, se obtuvieron los mapas correspondientes a los siete indicadores en estudio (Apéndice VI). En la figura 24 se muestra, a modo de ejemplo, el mapa obtenido para el indicador de grado de erosión.

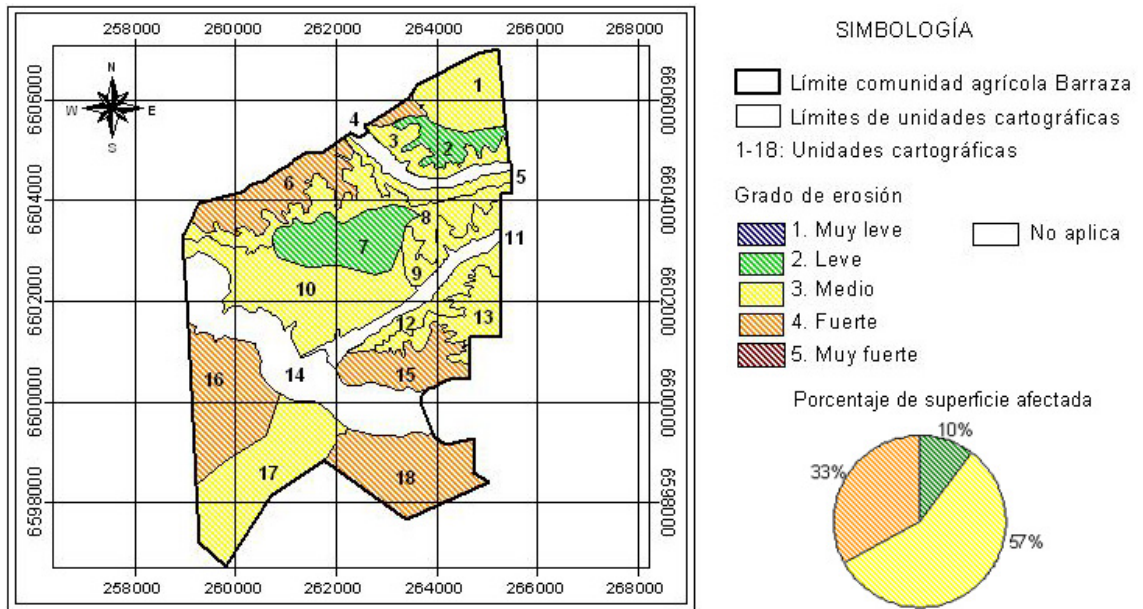


Figura 24: Mapa del indicador grado de erosión en la comunidad agrícola de Barraza.

Tanto la figura 24 como las otras seis cartas presentadas en el apéndice VI, ilustran claramente la variabilidad de los indicadores entre predios. Es importante mencionar que en las unidades cartográficas 4, 11 y 14, que corresponden a la quebrada del Molino, quebrada de Guayacán y estero Punitaqui, respectivamente, no se evaluaron los indicadores porque las dinámicas que allí ocurren son muy diferentes a las de los otros predios evaluados, dificultando el establecimiento de un benchmark representativo.

Como una manera de ejemplificar cómo podría ser evaluado el estado global de la degradación del medio, se procedió a sumar los resultados de los indicadores de estado en cada unidad cartográfica. Como se observa en la figura 25, los valores de las sumas, en forma ascendente, indican una peor condición de conservación del suelo y vegetación.

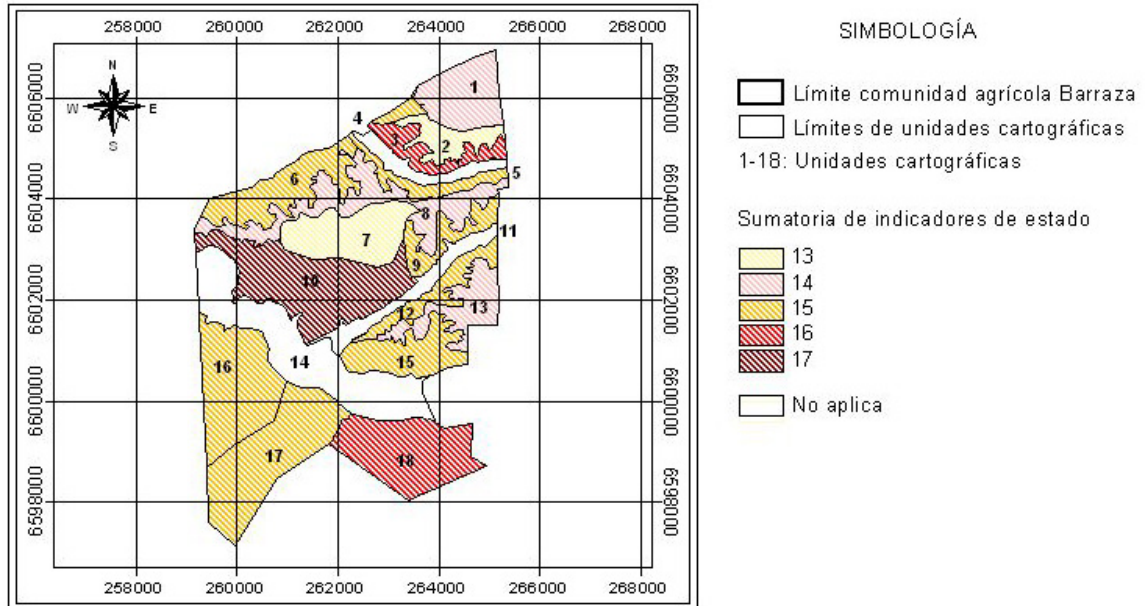


Figura 25: Mapa de los resultados obtenidos de la suma de los valores de los indicadores de estado por unidad cartográfica en la comunidad agrícola Barraza.

Si bien los mapas generados de la aplicación del protocolo en la comunidad agrícola de Barraza no dan cuenta de la dinámica funcional del ecosistema afectado por la desertificación, constituyen una primera etapa en que se busca reconocer de manera generalizada, el comportamiento de los indicadores entre los predios. A esta etapa le sigue la agregación de la información en torno a superíndices, interpretación de los resultados y toma de decisiones respecto de cómo adaptar, evitar, mitigar o reparar las situaciones que va creando la desertificación, según sea el objetivo de la investigación.

Para analizar la dinámica de la desertificación mediante un sistema de indicadores, se hace necesaria la utilización de un modelo específico para cada realidad donde se aplica, dadas las diferentes condiciones que prevalecen en las regiones afectadas por la desertificación, además de las diferentes escalas en que ocurren los procesos (Bochet y Rubio, 1998).

Comentarios finales

En el presente estudio se realizó una modesta demostración de que el ser humano tiene la capacidad de diferenciar distintos estados de degradación ambiental y que el sistema propuesto por el protocolo de campo permite que evaluadores perciban de la misma forma algunas variables de desertificación, con pequeños márgenes de error. Queda pendiente la tarea de validar los resultados obtenidos por el método experto, en aquellos casos en que la existencia de métodos instrumentales permita medir las variables en estudio para su posterior comparación.

El protocolo de campo fue aplicado por jóvenes de características afines, todos estudiantes egresados de carreras directamente relacionadas con la temática ambiental. Sería conveniente e interesante realizar la validación del protocolo utilizando un equipo de evaluadores de distinta índole, como por ejemplo, campesinos, comuneros agrícolas, expertos en los componentes involucrados y tomadores de decisión en el ámbito ambiental. Si bien lo anteriormente expuesto corresponde a una tarea compleja, por los costos que implica una investigación de este tipo, permitiría analizar si el grado de coherencia obtenido de la aplicación del protocolo en el presente estudio presentaría variaciones significativas ante evaluaciones por distintos grupos humanos.

Por otro lado, como una alternativa para aumentar la objetividad del protocolo y facilitar su aplicación, se propone la documentación fotográfica de la gradualidad de las escalas conceptuales, con el objetivo de brindar una base visual sobre la cual evaluar los indicadores. Esta tarea comenzó a ser desarrollada en paralelo a la realización de esta memoria, y fue de gran utilidad en la etapa de entrenamiento al equipo de evaluadores.

CONCLUSIONES

El protocolo de campo fue aplicado en condiciones contrastadas de degradación que permitieron examinar en su gran mayoría las escalas conceptuales de cada indicador.

La variabilidad presentada en los resultados de los indicadores no se adjudica a las posibles diferencias de percepción de los evaluadores, sino más bien a las diversas intensidades de presión y degradación de los recursos suelo y vegetación en las zonas evaluadas.

El protocolo de campo de indicadores biofísicos de desertificación probó ser una herramienta objetiva para evaluar variables biofísicas mediante criterios expertos, ya que al ser evaluado por un equipo que recibió un entrenamiento básico se obtuvieron resultados que no difieren significativamente entre sí, presentando bajos niveles de discordancia. Esto se traduce en la posibilidad de poder capacitar a personas para una correcta aplicación del protocolo y obtener información sobre el sistema evaluado en tiempos y costos razonables, facilitando la generación de información que respalde iniciativas para revertir el problema de la desertificación.

Por otro lado, los diferentes grados de alteración presentados por los sitios evaluados no influyeron mayormente en la coherencia de las evaluaciones de indicadores biofísicos, al no presentarse tendencias por parte del equipo a subestimar los resultados en sitios bien conservados y sobrestimarlos en sitios muy degradados.

Los indicadores que presentaron un mayor grado de consenso en los resultados obtenidos por el equipo de panelistas correspondieron a aquellos cuya evaluación es netamente sensorial (indicadores de estado y exposición a la lluvia), es decir, el proceso de ponderación de los parámetros proviene de una observación directa en terreno, lo que los hace más objetivos. Por otro lado, los indicadores que presentaron un menor grado de coherencia en los resultados correspondieron a presión de pastoreo y deforestación, los cuales, además de la observación de los parámetros en terreno, requieren de una evaluación más interpretativa sobre las presiones que se están ejerciendo sobre la vegetación, lo que se traduce en un menor grado de objetividad.

Previo a la aplicación del protocolo de campo, el establecimiento de la diferencia entre el factor de presión sobre un recurso y el estado del mismo constituye una etapa

fundamental para evitar ambigüedades que puedan conducir a análisis erróneos cuando se intenta identificar una presión sobre un recurso natural.

El indicador de cobertura vegetal fue el único que se validó objetivamente, por la disponibilidad de medidas perceptivas e instrumentales. De la alta relación entre ambas medidas de cobertura, se estima que los resultados obtenidos del grado de alteración de la cobertura vegetal son válidos para los puntos muestrales evaluados.

LITERATURA CITADA

- ALVAREZ, D. y LIRA, M. 1994.** Empleo de la teledetección en el diagnóstico del complejo vegetación-suelo, en serranía árida, Región de Coquimbo, Chile. Tesis Ing. Agronómica, Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 220 p.
- AZÓCAR, P., LAILHACAR, S. y ROJO, H. 1989.** Estimación de la fitomasa forrajera del incienso (*Flourensia thurifera* (Mol.) DC.) a través de variables alométricas. Avances en Producción Animal, 14(1-2):15-25.
- BOCHET, E. y RUBIO, J. 1998.** Desertification indicators: an appealing concept. Pp. 319-227 In: Enne, G., D'angelo, M and Zanolla, C. (Eds.) Indicators for assessing desertification in the Mediterranean, Proceedings for the International Seminar, Porto Torres, Italy, Sept 18-20, 1998. Osservatorio Nazionale sulla Desertificazione, Italia. 333 p.
- CASTAÑEDA, D. 2002.** Variables del capital humano asociados a la gestión del conocimiento: el papel de la percepción. [en línea]. Disponible en el WWW: <<http://www.gestiopolis.com/canales/gerencial/articulos/69/varcaphumgecon.htm>> (Consulta: 28 de octubre de 2004).
- CHUVIECO, E. 1990.** Fundamentos de la teledetección espacial. Ediciones Rialp. Madrid. España. 452 p.
- DÍAZ, C., INCAZA, M., KREMER, C. y LIRA, V. 1992.** Informe práctica profesional Estación Experimental Las Cardas. IV Región. Departamento de Ingeniería y Suelo, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile. 93 p.
- ETIENNE, M y PRADO, C. 1982.** Descripción de la vegetación mediante la cartografía de ocupación de tierras. Conceptos y manual de uso práctico. Ciencias Agrícolas N°10. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales. Santiago, Chile. 120 p.
- ETIENNE, M., FAUNDEZ, L y VALDÉS, J. 1987.** La Desertización en la Zona Árida Mediterránea de Chile. Terra Árida N°6. 43 p.
- FAO-PNUMA. 1984.** Metodología provisional para la evaluación y la representación cartográfica de la desertización. Roma, Italia. 74 p.

INE. CHILE. 2002. Censo 2002. [en línea] Disponible en el WWW: <<http://www.censo2002.cl>> (Consulta: 15 octubre 2003).

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS NATURALES. 1977. Estudio de las comunidades agrícolas, IV Región, volumen 2: catastro. Santiago, Chile. 27 p.

JILBERTO, R., MANTELGA, M., SUNYER, C., GARCÍA, M. y ALVAREZ-ARENAS, M. 2000. Indicadores ambientales. Una propuesta para España. Ministerio del Medio Ambiente de España. España, 146 p.

LACAZE, B., CASELLES, V., COLL, C., HILL, J., HOFF, C., JONG, S., MEHL, W., NEGENDANK, J., RIEZEBOS, H., RUBIO, E., SOMMER, S., TEIXEIRA, J. and VALOR, E. 1996. Integrated approaches to desertification mapping and monitoring in the Mediterranean Basin. Luxemburgo, Burselas. 176 p.

LAILHACAR, S., LUZIO, W., y GUITERREZ, R. 1989. Variables edáficas a considerarse en la elección de terrenos para plantaciones con el arbusto forrajero *Atriplex nummularia* Lindl. Estación Experimental Agronómica de Las Cardas, Avances en Producción Animal, 14(1-2):27-39.

LIVENAIS, P. y ARANDA, X. (Eds.). 2003. Dinámicas de los sistemas agrarios en Chile árido: la Región de Coquimbo. LOM ediciones, Santiago, Chile. 502 p.

MINISTERIO DE AGRICULTURA y GOBIERNO REGIONAL DE COQUIMBO. 2004. Diseño, implementación y seguimiento plan integral de desarrollo del secano, IV Región de Coquimbo. Resumen segundo informe de avance, final etapa 1. Coquimbo, Chile. 91 p.

NACIONES UNIDAS. 1997. The United Nations Convention to Combat Desertification: A new response to an age-old problem [en línea]. Disponible en el WWW: <<http://www.un.org/ecosocdev/geninfo/sustdev/desert.htm>> (Consulta: 26 de septiembre de 2003)

NOVOA, J. y LÓPEZ, D. 2001. IV Región: el escenario geográfico físico. 2: 13-28. In: Squeo, F., Arancio, G. y Gutiérrez, J. (Eds.). Libro rojo de la flora nativa y de los sitios prioritarios para su conservación: Región de Coquimbo. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile. 372 p.

PERALTA, M. 1978. Procesos y áreas de desertificación en Chile Continental, mapa preliminar. Santiago, Chile, Fac. Cs. Forestales, Universidad de Chile. Ciencias forestales N°1. 41-44p.

SANTIBÁÑEZ, F. 2002. Modelo de indicadores para la evaluación y monitoreo de ecosistemas áridos en América Latina (MONITOR). Proyecto GEF 1040-00-10. [en línea]. Disponible en el WWW: <http://www.agrimed.cl/Proyecto_Monitor.htm> (Consulta: 28 de septiembre de 2003)

SANTIBÁÑEZ, F. 2003. Manual para la evaluación de indicadores de la desertificación. Global Environmental Facility, GEF. No publicado, Santiago. Chile. 37 p.

SANTIBÁÑEZ, F. y PÉREZ, J. 1997. Metodología unificada para la evaluación y monitoreo de la desertificación en América Latina. Indicadores de desertificación. FAO, PNUMA, Universidad de Chile y Centro de Agricultura y Medio Ambiente, Santiago, Chile. 189 p.

SANTIBÁÑEZ, F. and MARÍN, V. (Eds.). 1998. An environmental information and modeling system (EIMS) for sustainable development. Computer tools for sustainable management of arid and antarctic ecosystems. Santiago, Chile. 305 p.

SANTIBÁÑEZ, F. y AGUILERA, R. 2003. Modelación de la desertificación a través de un sistema de indicadores biofísicos y sociales. p. 241- 254. In: Livenais, P y Aranda, X (Eds.). Dinámicas de los sistemas agrarios en Chile árido: la Región de Coquimbo. LOM ediciones, Santiago. 502 p.

SANTIBÁÑEZ, F., AGUILERA, R., PÉREZ, A., MONTOYA, H. y AZÓCAR. 2003. Modelación del proceso de desertificación en Chile mediante un sistema de indicadores ambientales y sociales (MODES). Proyecto Fondecyt 1020766. [en línea]. Disponible en el WWW: <<http://www.agrimed.cl/fondecyt/>> (Consulta: 26 de septiembre de 2003).

SOTO, G. 1999. Mapa preliminar de la desertificación en Chile. Por comunas. La Serena, Chile, 88 p.

SQUEO, F., ARANCIO, G. y GUTIÉRREZ, J. (Eds.). 2001. Libro rojo de la flora nativa y de los sitios prioritarios para su conservación: Región de Coquimbo. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile. 372 p.

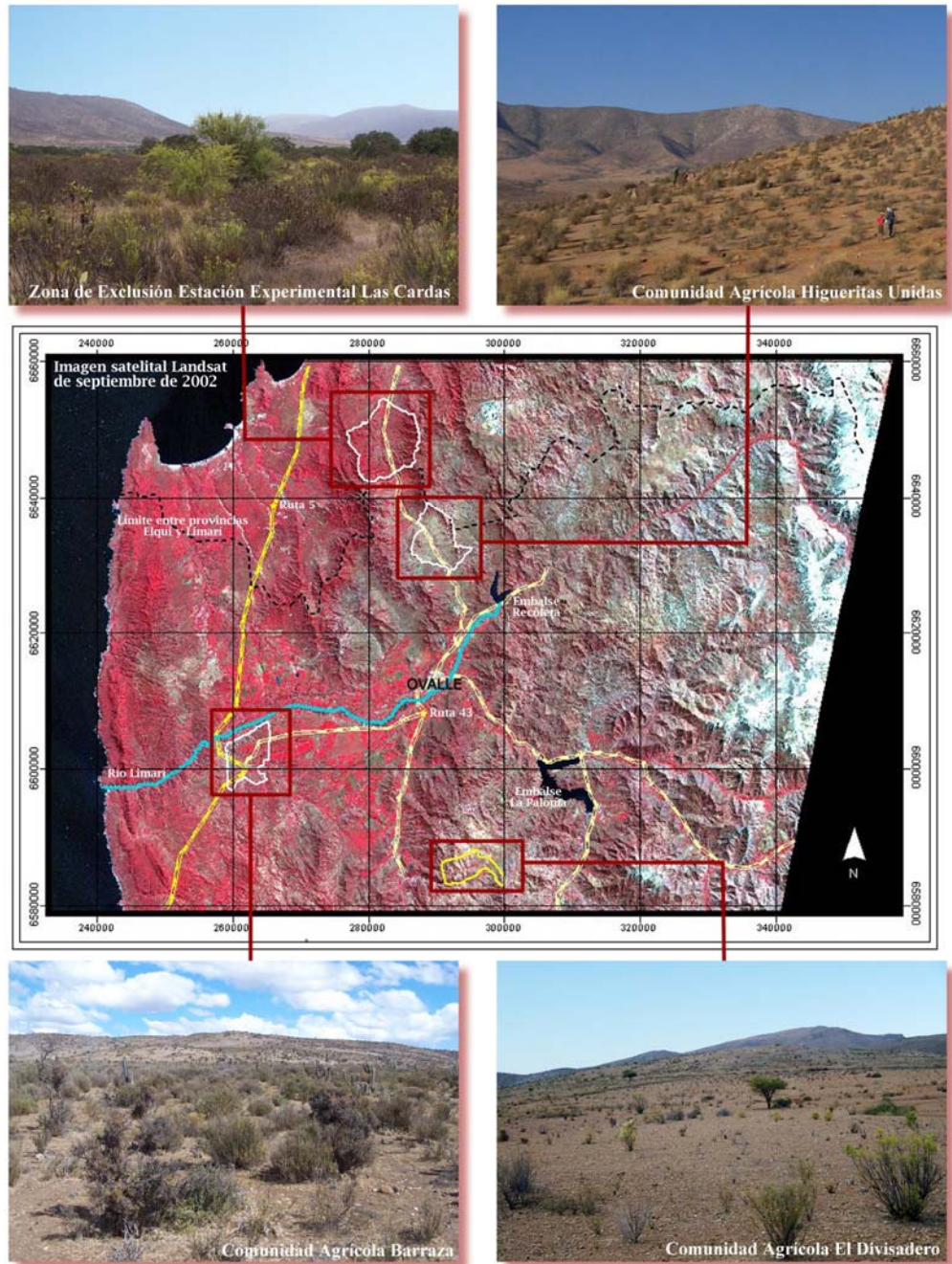
UNIVERSIDAD DE CHILE. 1997. Diagnóstico de la desertificación en Chile. CONAF, La Serena, Chile. 399 p.

URQUIZA, N. 2003. Desertificación, un flagelo de la humanidad. Zonas Áridas 7: 7-17.

VALDÉS, J. 1983. Dinámica de la desertificación en tres áreas del secano interior de la IV Región. Tesis Ing. For., Santiago, Chile, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 135 p.

Apéndice I

Fotografías y esquemas de ubicación de sitios donde fue aplicado el protocolo de campo



Apéndice II

Panel utilizado para la evaluación de indicadores

El equipo fue compuesto de la siguiente manera:

- Evaluador 1: Viviana Ávalos, egresada de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, Universidad de Chile. Autora de esta memoria.
- Evaluador 2: Simón Aldunate, egresado de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, Universidad de Chile.
- Evaluador 3: Francisca Díaz, egresada de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, Universidad de Chile.
- Evaluador 4: Ignacio Ibarra, egresado de Ingeniería Forestal, Universidad de Chile
- Evaluador 5: Ignacio Montes, egresado de Ingeniería Agronómica, Universidad Mayor
- Evaluador 6: Loreto Urbina, egresada de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, Universidad de Chile.



Figura 26: Equipo de evaluadores. De izquierda a derecha. Sentados: Loreto Urbina, Ignacio Ibarra, Francisca Díaz y Simón Aldunate. De pie: Ignacio Montes y Viviana Ávalos.

Apéndice III

Ficha de terreno: "Manual para la evaluación de indicadores biofísicos de desertificación"

Fecha: _____ Hora: _____ Nombre del evaluador: _____

Nombre del sector evaluado: _____ Punto muestral n° _____ Identificación de way points y detalles _____

Características de la parcela de muestro o unidad cartográfica (dibujar un esquema si se considera necesario)

 Número de fotografías y detalles: _____

a) Evaluación de indicadores

Indicador	Valor	Concepto	Observaciones
Grado de erosión			
Cobertura vegetal			
Estructura de la vegetación			
Diversidad vegetal			
Exposición a la lluvia			
Presión de talajeo			
Deforestación			

b) Evaluación de cobertura vegetal

Tipo biológico
 Leñoso alto: La Leñoso bajo: Lb Suculento: Sc Herbáceo: H
Mantillo
 Mantillo denso: Md Mantillo semidenso: Ms Mantillo ralo: Mr
Suelo desnudo: Sd

Tipo biológico	Especie	Largo	Tipo biológico	Especie	Largo

Antes de abandonar la parcela de muestro, chequear la ficha para asegurarse de que todas las variables hayan sido completadas

Apéndice IV

Resultados de indicadores en zonas de evaluación

Cuadro 8: Resultados de indicadores en los 35 puntos muestrales evaluados

PM	Grado de erosión							Estructura de la vegetación							Cobertura vegetal							Diversidad vegetal						
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	VR	E1	E2	E3	E4	E5	E6	VR	E1	E2	E3	E4	E5	E6	VR	E1	E2	E3	E4	E5	E6	VR
1	2.3	3	3	2	2.3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	4	3	3	2	3	3	3	4	3	3	2	3	3
2	3	3.3	3	3	3	3	3	3	3	2.6	3	2	2.6	3	2	2	2	1	3	3	2	2	2	2	1	3	2	
3	3	3	3	3	3.3	3.3	3	3	4	3	4	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	
4	3	4	3.3	4	4	3	3.5	3	3	2	2	4	3.3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
5	2.3	2.3	3	2	3	2	2	3	2.3	3	2	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	
6	0	1	0	1	1	1	1	1	1.3	2	1	1	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	2	
7	2	2.3	2	1	1.3	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	3	2	1	2	2	1	2	3	2	1	2	
8	2	3	2	3	3	2	2.5	3	4	3	2	3	3	3	3	3.3	3	3	3	3	3	3	3.3	3	3	3	3	
9	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	3	3	3.6	3	3	4	4	3	3	3.6	3	3	4	
10	4	4	4	4	4.3	5	4	4	4	4	3	4.3	4	4	3	3	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	
11	4	4	4	3	4	4	4	4	4.3	4	3.3	4	4	4	4	4	4	3	4	3	4	4	4	4	3	4	4	
12	5	5	5	4	4	4	4.5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	
13	5	5	4	4	5	5	5	4.3	4	4	4	5	4.3	4	4	4	5	4	5	4	5	4.3	4	5	4	5	4	
14	3	4	3	3	3	4	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
15	5	4.3	4	4	3.3	5	4	3	3	3	4	3.3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	4	3	
16	3	3	4	2	4	4	4	3	3	3	2	3	3	3	3	2	2.6	2	2	3	3	3	2	2.6	2	2	3	
17	4	4	4	4.3	4.3	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5	5	
18	4	4.3	4	4	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
19	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	3	3	4	3	5	5	4	3	3	4	3	5	3	
20	4.3	4	4	5	5	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	3.6	4	3	5	4	4	4	3.6	4	3	5	4	
21	4	4	4	4.3	4	4	4	4	3.6	4	3.3	4	4	4	4	4	5	3	5	4	4	4	4	5	3	5	4	
22	4	4	4	3	5	4	4	4	5	5	5	5	5	5	4	4.3	5	4	5	5	4	4	4.3	5	4	5	4.5	
23	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	4.5	5	5	5	4	5	5	
24	2	3	2	2.3	3	3	2.5	4	4	4	3	3.3	4	4	4	3	4	3	4	4	3	4	3	4	3	4	4	
25	3.5	4	3	4	4	3	4	3.5	4	3	2	3.5	4	4	3	4	3.5	2.5	3.5	3	3.5	3	4	3.5	2.5	3.5	3.5	
26	2	3	2	2	4	3	2	4	4	4	3.3	4	4	4	5	3	5	3.3	4.6	5	3	5	3	5	3.3	4.6	5	
27	3	3	3	3	3.3	3	3	4	3	4	4	4	4	4	3	3	4	3	4	4	3	3	3	4	3	4	3.5	
28	3	2.6	3	3	3	3	3	4	3.3	3	3	4	4	3.5	4	4	5	4	4	5	3	4	4	5	4	4	4	
29	3	2.3	3	2	3.3	3	3	3	4	3	3	4	3	3	5	4.3	5	4	4	5	3	5	4.3	5	4	4	4.5	
30	3	4	3.6	4	2	3	4	3	4	4	2	3.3	4	4	3	3	4	2	3	4	4	3	3	4	2	3	4	
31	3	4	3	3	3.3	3	3	3	4	4	3	3.3	3.3	3	2	1.6	3	2	2.3	3	3	2	1.6	3	2	2.3	3	
32	3	3	2.3	3	3	3	3	4	3	3	4	4	4	4	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	2	3	3	
33	2.3	2.6	3	2.3	3.3	3	3	3	4	3	3	3	4	3	4	4	4	3.3	4	4	3	4	4	3.3	4	4	4	
34	3	4	4	4	3	3	3.5	4	4	3	3	4	4	4	3	2.6	3	2	2.6	4	3.5	3	2.6	3	2	2.6	4	
35	2.3	4	3	3	3	3	3	3	4	4	3	4	4	4	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	2	3	3	

(continúa)

Cuadro 8 (continuación).

PM	Exposición a la lluvia							Presión de talaje						Deforestación							
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	VR	E1	E2	E3	E4	E5	E6	VR	E1	E2	E3	E4	E5	E6	VR
1	2	2	2	2	3	2	2	1	2	2	2	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0
2	2	2	1.6	2	3	2	2	2	2	2	2	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0
3	3	2	2.3	3	3	3	3	2	3	2	3	3	2	2.5	0	0	0	0	0	0	0
4	3	4	4	3	5	5	4	2	1	2	1	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0
5	4	4	3.6	4	4.6	4	4	1	1	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0
6	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
7	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
8	2	2	2	3	3	2	2	3	4	3	3	3	2.3	3	0	0	0	0	0	0	0
9	5	5	4	4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0
10	4	4	5	5	4.3	4	4	4	4	4	2.6	2	4	4	0	0	0	0	0	0	0
11	4	4	4	4	4.3	4	4	4	4.3	4	3	3.3	3	3.5	0	0	0	0	0	0	0
12	4	4.3	4	4	5	4	4	3	4	3	3	3	4	3	0	4	4	4	0	1	4
13	4.3	5	5	5	5	5	5	3	3	3	3	4	5	3	2	4	2	2	0	0	2
14	3	3	3	3	3	3	3	2	3	4	2	3	5	2.5	2	2	0	2	0	2	2
15	4	3	4	4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	2	3	2	2	0	4	2
16	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3	4	3.5	3	4	3	3	0	2	3
17	3	3	3	3	3	3	3	5	4	5	4	5	5	5	5	5	3	1	0	3	4
18	3	3	3	3	3	3	3	5	5	5	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0
19	2	3	3	3	3	3	3	3	3.3	3	3.3	4	4	3	0	3.3	2	0	0	2	0
20	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	3	4	3	3	1	2	3
21	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	0	3	2	3	0	3	3
22	3	3	3	3	3	3	3	4	0	2	4	2	5	3	0	0	0	1	0	0	0
23	3	3	3	3	3	4	3	0	0	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	1	2	1	1	3	2	1	3	3	1	2	2	3	3	0	0	0	1	0	0	0
25	3	4	3.5	3.5	4	3	4	3	3	2	2	1.5	3	2.5	0	0	0	1	0	0	0
26	2	2	2	2	3	2	2	3	3	2	3	2	4	3	0	0	0	2	0	0	0
27	2	2	2	1	3	2.3	2	2	3	2	2.6	3	3	3	0	0	0	1	0	0	0
28	2	2	2	1	2	2	2	3	3	3	2	2.6	3	3	4	4	3	0	0	0	0
29	2	2	2	2	3	1	2	3	3	3	2.3	3	3	3	0	0	3	1	0	0	0
30	5	4.3	4	4.3	5	4	4	4	4	3	3.3	2.3	4	4	3	0	3	3	0	0	1.5
31	2	3	2	2	3	2	2	3	4	3	3	3.3	4	3	2	3	0	2	0	0	0
32	4	3.3	3	5	5	4	4	2	2	1	3	2	2	2	0	0	0	1	0	0	0
33	4	3.3	4	4	4.6	3	4	3	3	2	3	1	3	3	0	0	0	1	0	0	0
34	3	4	3	4	3.3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	0	0	2	0	0	0	0
35	3	2.3	3	2	3	3	3	3	3.3	3	3	3	3	3	0	2	2	0	0	0	0

Donde:

VR: Valor de referencia

E1: Evaluador 1

E2: Evaluador 2

E3: Evaluador 3

E4: Evaluador 4

E5: Evaluador 5

E6: Evaluador 6

Apéndice V

Resultados de indicadores en comunidad agrícola Barraza

Cuadro 9: Descripción de unidades cartográficas de la comunidad agrícola de Barraza y resultados de indicadores.

Unidad cartográfica	Descripción	Indicadores						
		Grado de erosión	Cobertura vegetal	Estructura de la vegetación	Diversidad vegetal	Exposición a la lluvia	Presión de talajeo	Deforestación
1	Plantación de <i>Atriplex nummularia</i> . La mitad de la superficie corresponde a terrenos con una pendiente menor al 10% y la otra mitad corresponde a laderas con una pendiente entre 10-40%.	3	3	4	4	4	4	0
2	Terreno con pendiente menor al 10% invadido por <i>Gutierrezia resinosa</i> (pichanilla). Posee características similares a UC 8.	2	3	4	4	1	4	0
3	Ladera de exposición S. La mitad de la superficie tiene una pendiente 10-20% y la otra mitad tiene una pendiente entre 20-30%. Presenta laderas de exposición SE y SO, considerándose como representativa la exposición S.	3	4	4	5	4	5	0
4	Quebrada del Molino.	-	-	-	-	-	-	-
5	Ladera de exposición NE y NO, 80% de la superficie presenta pendiente 10-20% y el 20% restante presenta una pendiente de 20-30%. Se evaluaron ambas exposiciones y se obtuvo un valor promedio.	3	4	4	4	4	4	0
6	Ladera de exposición NO, pendiente 10-20%. Corresponde al límite NO de la comunidad agrícola, da al camino que va hacia el pueblo de Barraza.	4	3	3	4	4	3	0
7	Plantación de <i>Atriplex nummularia</i> en terreno con pendiente menor al 10%.	2	3	4	4	2	4	0
8	Terreno con pendiente menor al 10%, invadido por <i>Gutierrezia resinosa</i> (pichanilla). Ubicado a ambos lados de la carretera 43.	3	3	4	4	1	4	0

(continúa)

Cuadro 9 (continuación).

Unidad cartográfica	Descripción	Indicadores						
		Grado de erosión	Cobertura vegetal	Estructura de la vegetación	Diversidad vegetal	Exposición a la lluvia	Presión de talajeo	Deforestación
9	Ladera de exposición S, 50% de la superficie presenta pendiente entre 10-20%, 40% de la superficie presenta pendiente entre 20-30% y el 10% restante presenta pendiente entre 30-40%. Similar a UC 3.	3	4	4	4	4	3	0
10	Conjunto de laderas de exposición S, SO con una pendiente media entre 10-20%.	3	4	5	5	5	5	0
11	Quebrada de Guayacán.	-	-	-	-	-	-	-
12	Ladera de exposición NO principalmente, 80% de la superficie presenta una pendiente 10-20% y el 20% restante presenta una pendiente entre 20-30%.	3	4	4	4	4	5	5
13	Terreno plano con una pendiente <10%, similar a uc 8 pero menos accesible.	3	3	4	4	1	3	0
14	Estero Punitaqui	-	-	-	-	-	-	-
15	Ladera de exposición S principalmente, la mitad de la superficie presenta pendiente <10% y la mitad restante presenta pendiente entre 10-20%.	4	4	3	4	5	5	0
16	Conjunto de lomas de diferente exposición pero se tomó como representativa la exposición NE que da a la carretera Panamericana. LA mitad de la superficie presenta pendiente <10% y la mitad restante presenta pendiente entre 10-20%.	4	4	3	4	4	3	0
17	Laderas de exposición NO y laderas de exposición E, a ambos lados de la carretera panamericana. Se evaluaron ambas laderas y se obtuvo un promedio. La mitad de la superficie presenta pendiente <10% y la mitad restante presenta pendiente entre 10-20%.	3	4	4	4	4	1	0
18	Laderas de exposición N principalmente, la mitad de la superficie presenta pendiente <10% y la mitad restante presenta pendiente entre 10-20%. Presencia de lluvias antiguas que están completamente descubiertas pero no se consideraron dentro del promedio de la unidad.	4	4	4	4	3	5	0

Apéndice VI

Mapas de indicadores evaluados en la comunidad agrícola Barraza

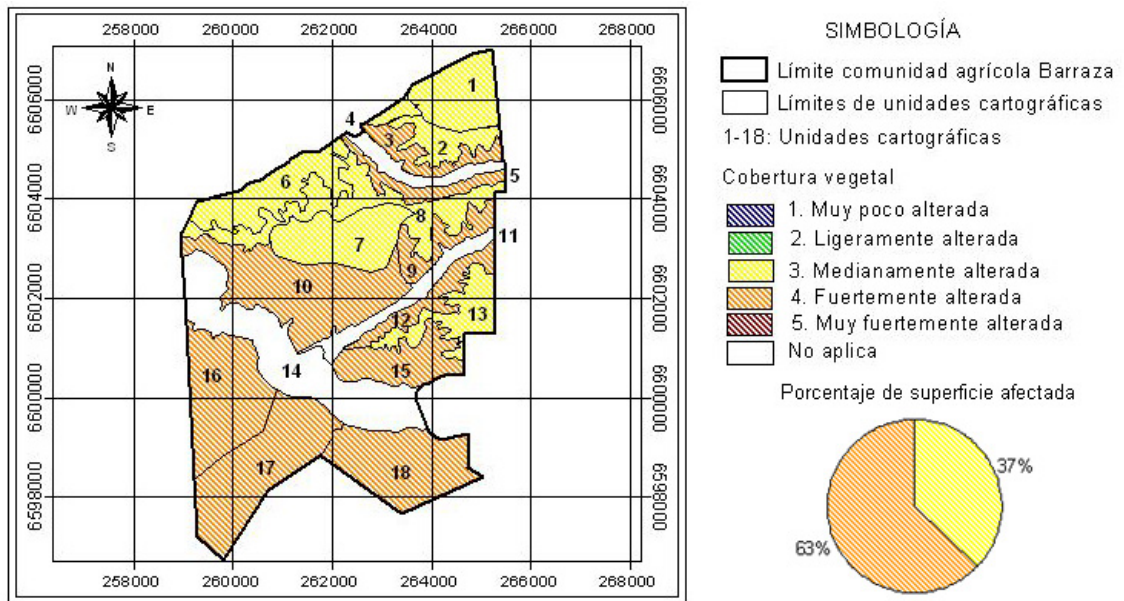


Figura 27: Mapa de resultados del indicador de cobertura vegetal en la comunidad agrícola Barraza.

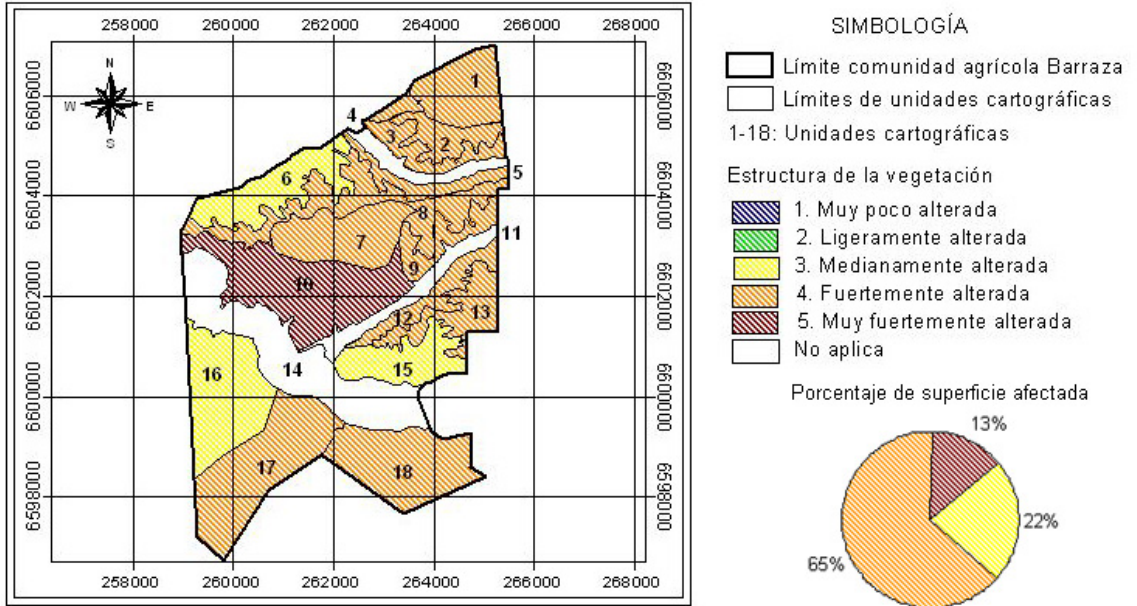


Figura 28: Mapa de resultados del indicador de estructura de la vegetación en la comunidad agrícola Barraza.

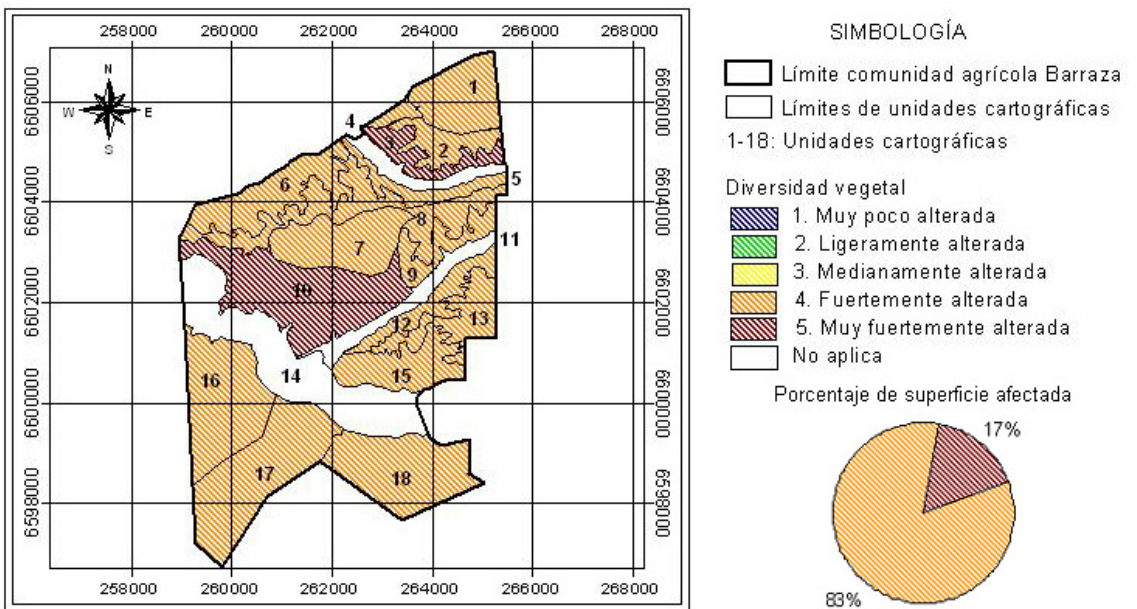


Figura 29: Mapa de resultados del indicador de diversidad vegetal en la comunidad agrícola Barraza.

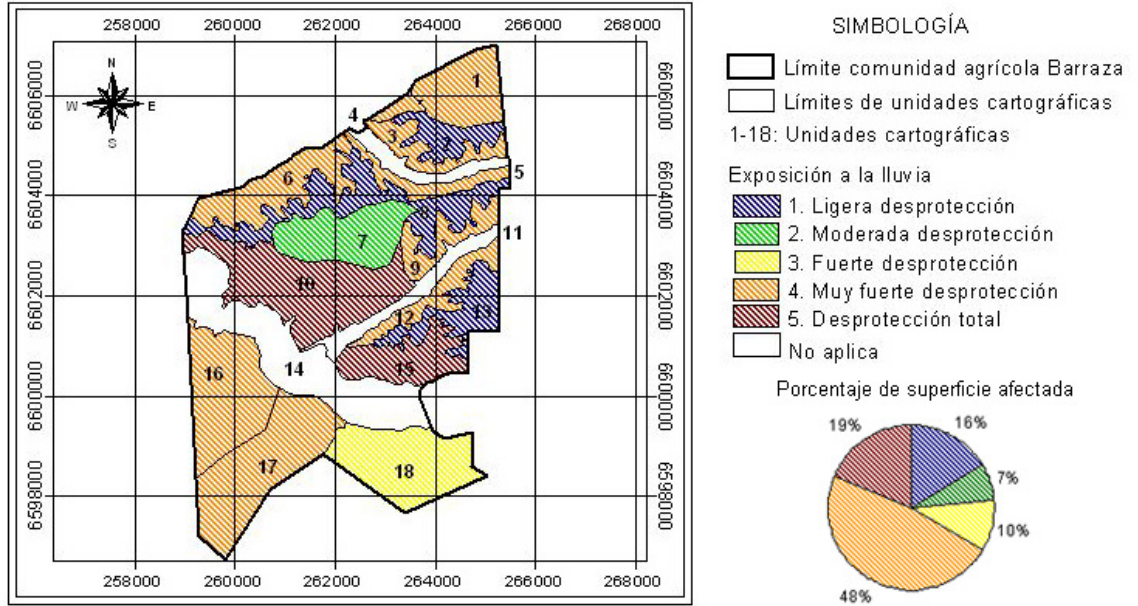


Figura 30: Mapa de resultados del indicador de exposición a la lluvia en la comunidad agrícola Barraza.

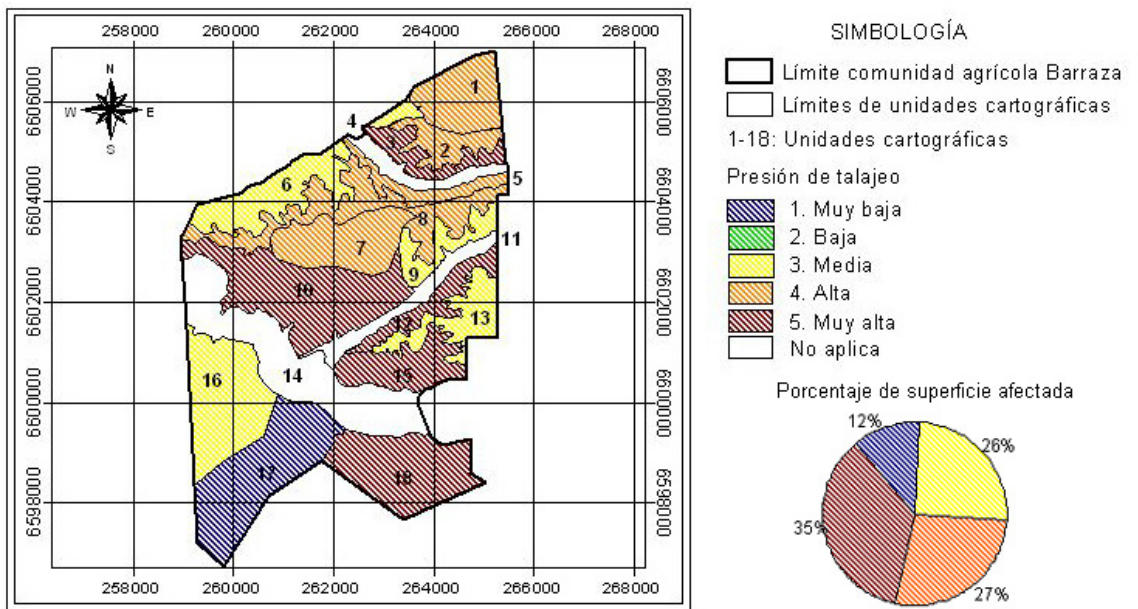


Figura 31: Mapa de resultados del indicador de presión de talaje en la comunidad agrícola Barraza.

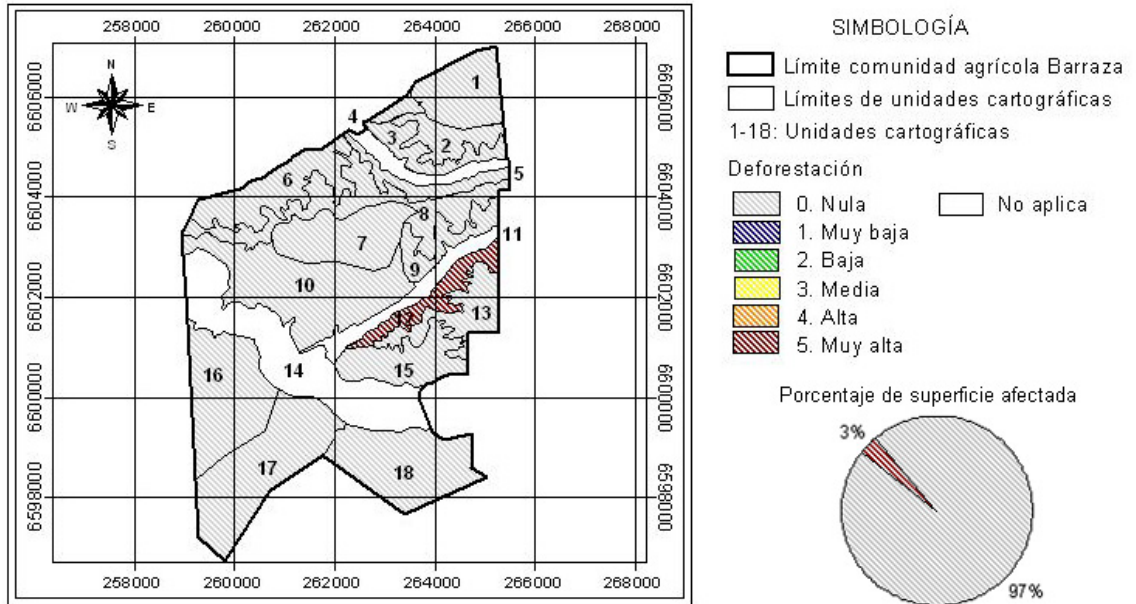


Figura 32: Mapa de resultados del indicador de deforestación en la comunidad agrícola Barraza.