

Cambio en el uso del suelo y factores asociados a la degradación
de pasturas en la Cuenca del Río Bulbul, Matiguás, Nicaragua

LESTER RAÚL ROCHA MOLINA

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN
ESCUELA DE POSGRADUADOS**

**CAMBIO EN EL USO DEL SUELO Y FACTORES ASOCIADOS A LA DEGRADACIÓN
DE PASTURAS EN LA CUENCA DEL RÍO BULBUL, MATIGUAS, NICARAGUA**

Tesis sometida a la consideración de la Escuela de Posgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza y como requisito parcial para optar por el grado de :

Magister Scientiae

Por
Lester Raúl Rocha Molina

Turrialba, Costa Rica
2002

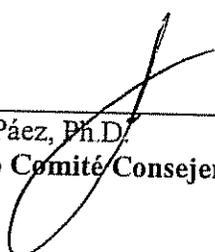
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

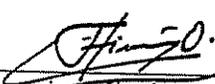
FIRMANTES:



Muhammad Ibrahim, Ph.D.
Consejero Principal



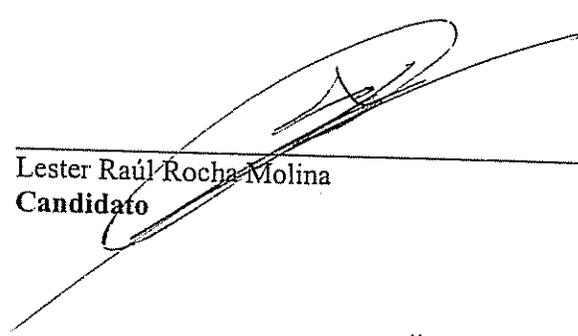
Gilberto Páez, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Francisco Jiménez, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Ali Moslemi, Ph.D.
**Director Programa de Educación y
Decano de la Escuela de Posgrado**



Lester Raúl Rocha Molina
Candidato

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a las siguientes personas:

A mi amada esposa Marcia, por el constante apoyo y comprensión.

A mis padres Raúl y Maritza, y hermanos Norman, Piero y Helmut, por su estímulo y apoyo constante.

A mi Consejero Principal Dr. Muhammad Ibrahim por su apoyo, acertados consejos y amistad.

A los miembros de mi Comité Asesor; Dr. Francisco Jiménez y Dr. Gilberto Páez por sus magníficos consejos y atención brindada.

A los productores de la Cuenca del río Bubul por permitir la toma de información en sus fincas.

Al proyecto FOCUENCAS por el financiamiento de mis estudios de maestría.

A Gustavo López por el gran apoyo brindado.

Al personal de la Escuela de Posgraduados y de la Biblioteca Conmemorativa Orton por su gran asistencia en todo momento.

Muy en especial a Luiggi Franceschi, Isis Pinto, Arlen Córdoba y Katiuska Andrew por los buenos momentos compartidos y su valiosa amistad.

CONTENIDO

Agradecimientos	iii
Contenido	iv
Resumen	vii
Summary	ix
Lista de Cuadros	xi
Lista de Figuras	xiii
Lista de Anexos	xiv
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Importancia del estudio	2
1.3 Objetivos	3
1.4 Hipótesis	3
2. Revisión de literatura	4
2.1 Aspectos conceptuales de Cuencas y Degradación	4
2.2 Degradación de pasturas en América Central e indicadores para su evaluación	5
2.3 Relación entre pobreza y degradación de recursos	7
2.4 Cambios en el uso de la tierra	8
3. Materiales y métodos	10
3.1 Localización y descripción del área de estudio	10
3.2 Metodología	12
3.2.1 Generación de datos espaciales	13
3.2.2 Estimación del cambio de uso del suelo	14

3.2.3	Generación de los modelos de transición de uso de la tierra	17
3.2.4	Transiciones en función de los factores de cambio	18
3.2.5	Dinámica de la cobertura de árboles en potreros	20
3.2.6	Dinámica del bosque de galería	20
3.2.7	Factores biofísicos y socioeconómicos relacionados al proceso de degradación de pasturas	21
3.2.7.1	Variables biofísicas	22
3.2.7.2	Variables socioeconómicas	23
3.2.8	Estimación del grado de degradación e identificación de áreas degradadas	25
4.	Resultados y Discusión	28
4.1	Uso del suelo en el área de estudio en los diferentes años evaluados	28
4.2	Dinámica del uso de la tierra en la parte baja de la cuenca del río Bulbul para los períodos evaluados	30
4.3	Modelos de transición del uso de la tierra en función de las variables explicativas	33
4.4	Efecto de las variables consideradas sobre los cambios en el uso de la tierra para los cuatro períodos en estudio	35
4.5	Efectos marginales para las transiciones evaluadas	37
4.5.1	Transiciones a área urbana ($Y = 0$)	38
4.5.2	Transiciones a cobertura boscosa ($Y = 1$)	39
4.5.3	Transiciones a potreros ($Y = 2$)	39
4.6	Dinámica del cambio de cobertura de árboles en potreros	43
4.7	Dinámica del cambio de cobertura de bosque de galería	45
4.8	Relaciones entre variables biofísicas y socioeconómicas	47
4.9	Identificación y estimación del grado de degradación en potreros	49

4.10	Pautas y acciones para el manejo integrado de la Cuenca del Río Bulbui, Matiguás	
4.10.1	Principios del manejo	55
4.10.2	Líneas de acción	
	a) Ámbito espacial	56
	b) Ámbito institucional	57
	c) Ámbito operativo	58
5.	Conclusiones	61
6.	Recomendaciones	62
7.	Bibliografía	63
8.	Anexos	68

Rocha, L. 2002. Cambio en el uso del suelo y factores asociados a la degradación de pasturas en la Cuenca del Río Bulbul, Matiguás, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 84 p.

Palabras clave: Cambio en el uso del suelo, Cuenca del Río Bulbul, Nicaragua, probabilidades Markovianas, modelos de regresión logística, cobertura arbórea en potreros, bosque de galería, degradación de pasturas, análisis multivariado.

RESUMEN

El trabajo fue realizado en la parte baja de la Cuenca del Río Bulbul, Matiguás, Nicaragua, con el objetivo de desarrollar un modelo de análisis e interpretación de la degradación de pasturas considerándolo como un sistema jerárquico con dos escalas. Para esto, fue evaluado el cambio en el uso del suelo a través de probabilidades Markovianas haciendo uso de fotografías aéreas de los años 1954, 1968, 1981 y 1987.¹ A través de regresiones logísticas, fueron desarrollados modelos de transición de uso del suelo en los que se relacionó variables espaciales con las transiciones ocurridas en el tiempo. Por otra parte, mediante análisis de varianza se determinó la dinámica de la cobertura arbórea en potreros de 1954 a 2002 y bosques de galería de 1954 a 1987. Utilizando correlaciones canónicas y scores compuestos, fueron evaluados los factores biofísicos y socioeconómicos relacionados al proceso de degradación de pasturas, así como también fueron estimadas e identificadas áreas con diferentes grados de degradación.

El proceso de ocupación durante los años 1954 a 1987 muestra una clara tendencia hacia la conversión de potreros y su persistencia en el tiempo. De los tres períodos analizados el que presentó mayor estabilidad de acuerdo a los valores probabilísticos fue el período comprendido entre 1981 a 1987, a excepción de las categorías bosque secundario que fue muy activa y cultivos que presentó una probabilidad intermedia, lo que indica una tendencia hacia el equilibrio del ecosistema. Los modelos de transición desarrollados fueron significativos ($p < 0.01$), explicando razonablemente bien las transiciones del uso del suelo estudiadas. La dinámica del uso del suelo en la parte baja de la Cuenca del Río Bulbul está regulada en términos generales por las variables espaciales uso potencial, pendiente, altitud, distancia a ríos y distancia a caminos, sin embargo, éstas no son constantes en el tiempo.

La cobertura de árboles en potreros ha sido dinámica en el tiempo ($p < 0.01$), presentando una ligera estabilidad en el período comprendido entre 1987 y 2002. Situación similar han experimentado los bosques de galería, aunque éstos no han sido significativos ($p > 0.1390$).

Las variables más relacionadas al proceso de degradación de los sistemas de pasturas son: carga animal, disponibilidad de pasto, forraje disponible, capital fijo por unidad de área productiva, registros contables, control de malezas y toma de decisiones. De esta manera, el estado de degradación de las pasturas en este estudio, reflejado por el valor de las variables con mayor influencia, resultó relacionado con aspectos de manejo inadecuado y escasos recursos económicos de los productores. El resultado de los scores compuestos indica que la mayoría de las parcelas seleccionadas presentan una condición de degradación media.

// Con base en los resultados obtenidos se proponen pautas y acciones encaminadas para el manejo integral de la cuenca con el objetivo de reducir el grado de degradación de pasturas encontrado y evitando así el avance y la consecuente destrucción de los recursos naturales, basándose en principios como el desarrollo humano, trabajo armónico y complementario, participación y trabajo inter e intra institucional. Las líneas de acción están agrupadas en tres ámbitos: espacial, institucional y operativo. //

Rocha, L. 2002. Land use change and associated factors to pasture degradation in the Río Bulbul Watershed, Matiguás, Nicaragua. Thesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 84 p.

Key words: Land use change, pasture degradation, Río Bulbul Watershed, Nicaragua, Markovians probabilities, logistic regression models, tree cover in pasture lands, gallery forest, multivariate analysis.

SUMMARY

The study was carried out in the lower part of the Río Bulbul Watershed, Matiguás, Nicaragua, aimed to develop a model of analysis and interpretation of pasture degradation considering it as a hierarchical system with two scales. For this, the land use change was evaluated through Markovian probabilities using aerial photographs of 1954, 1968, 1981 and 1987. Transition models of land use were developed using logistic regression which were also related to spatial variables with transitions occurring across time. The tree cover dynamics in pasture lands was determined for the years 1954 to 2002 and gallery forests from 1954 to 1987. Utilizing canonical correlation and scores, the biophysical and socioeconomic factors were evaluated and were related to the process of pasture degradation with different areas of degradation identified.

The settlement process during 1954 to 1987 shows a clear tendency toward conversion to pasture lands and their persistence through time. One of the three periods analyzed that presented greater stability according to probability values was the period between 1981 to 1987. The exception was related to the secondary forest that was very changing and cultivation that presented an intermediate probability, indicating a tendency toward the equilibrium of the ecosystem. The transition models developed were significant ($p < 0.01$), explaining reasonably well the transitions studied. The land use dynamics in the lower part of the Río Bulbul Watershed in general terms is regulated by the spatial variables slope, potential land use, altitude, distance to rivers, and distance to roads. Nevertheless, these are not constant through time.

Tree cover in pasture lands has been changing ($p < 0.01$); however, presenting some stability in the period between 1987 to 2002. Similar situation has been experienced by the gallery forests, although this has not been significant ($p > 0.1390$).

Most related variables to degradation process of the pasture systems are: stocking rate, grass availability, fixed capital per unit productive area, available fodder, accounting records, weed control and decision making. The state of pasture degradation in this study showed a greater influence related to aspects of inadequate management and scarcity of economic resources of the farmers. The result of the scores indicates that most of the plots selected have a medium condition of degradation.

' Based on the results obtained guidelines and actions are proposed toward an integral watershed management in order to minimize pasture degradation and avoiding the advance and the consequent destruction of natural resources. These guidelines are based on human resource development, complementary and harmonic work, participation, and inter and intra institutional work. The lines of action are grouped in three levels: spatial, institutional and operational. //

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.	Uso potencial de los suelos en la parte baja de la Cuenca del Río Bulbul.	11
Cuadro 2.	Evaluación del tamaño muestral necesario para el análisis espacial.	14
Cuadro 3.	Fotografías aéreas utilizadas para la evaluación del cambio de uso del suelo.	15
Cuadro 4.	Categorías del uso del suelo identificadas en la parte baja de la Cuenca del Río Bulbul para todos los períodos considerados	15
Cuadro 5.	Matriz de probabilidades Markovianas para cambios ocurridos entre dos instantes dados.	17
Cuadro 6.	Variables espaciales utilizadas en las transiciones del uso de la tierra.	18
Cuadro 7.	Efectos marginales esperados de cada variable explicativa	19
Cuadro 8.	Categorías y distribución del uso del suelo en la parte baja de la Cuenca del Río Bulbul para los diferentes años evaluados.	28
Cuadro 9.	Matriz de probabilidades markovianas para el período 1954-1968.	31
Cuadro 10.	Matriz de probabilidades markovianas para el período 1968-1981.	31
Cuadro 11.	Matriz de probabilidades markovianas para el período 1981-1987.	31
Cuadro 12.	Matriz de probabilidades markovianas para el período 1954-1987.	33
Cuadro 13.	Precisión del modelo de regresión logística para la predicción de transiciones para el período 1954-1968.	33
Cuadro 14.	Precisión del modelo de regresión logística para la predicción de transiciones para el período 1968-1981.	34
Cuadro 15.	Precisión del modelo de regresión logística para la predicción de transiciones para el período 1981-1987.	34
Cuadro 16.	Precisión del modelo de regresión logística para la Predicción de transiciones para el período 1954-1987.	34

Cuadro 17.	Parámetros estimados del modelo de regresión logística para las transiciones comprendidas en el período 1954-1968.	35
Cuadro 18.	Parámetros estimados del modelo de regresión logística para las transiciones comprendidas en el período 1968-1981.	36
Cuadro 19.	Parámetros estimados del modelo de regresión logística para las transiciones comprendidas en el período 1981-1987.	36
Cuadro 20.	Parámetros estimados del modelo de regresión logística para las transiciones comprendidas en el período 1954-1987.	37
Cuadro 21.	Parámetros estimados por medio de los efectos marginales para el período 1954 a 1968.	40
Cuadro 22.	Parámetros estimados por medio de los efectos marginales para el período 1968 a 1981.	41
Cuadro 23.	Parámetros estimados por medio de los efectos marginales para el período 1981 a 1987.	41
Cuadro 24.	Parámetros estimados por medio de los efectos marginales para el período 1954 a 1987.	42
Cuadro 25.	Dirección de los efectos marginales esperados y observados de las variables explicativas en todos los períodos analizados.	42
Cuadro 26.	Estadísticas descriptivas del porcentaje de cobertura de árboles en potreros para los años 1954, 1968, 1981, 1987 y 2002.	43
Cuadro 27.	Estadísticas descriptivas del porcentaje de cobertura de bosque de galería para los años 1954, 1968, 1981 y 1987.	45
Cuadro 28.	Scores compuestos de las variables biofísicas y socioeconómicas.	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Localización geográfica del área de estudio. Cuenca del Río Bulbul, Matiguás, Matagalpa. 2001.	10
Figura 2.	Tamaño de la muestra en función de la varianza muestral	14
Figura 3.	Patrones del uso de la tierra en la parte baja de la Cuenca del Río Bulbul interpretados de las fotografías aéreas para los años 1954, 1968, 1981y 1987, Matiguás, Nicaragua.	29
Figura 4.	Porcentaje promedio de cobertura de árboles en potreros para el período entre 1954 a 2002.	44
Figura 5.	Porcentaje de cobertura de bosque de galería para el período entre 1954-a 1987.	46
Figura 6.	Parcelas en bosques de galería para el período entre 1954 a 1987.	47
Figura 7.	Distribución de los scores compuestos para las variables biofísicas.	51
Figura 8.	Distribución de los scores compuestos para las variables socioeconómicas.	51
Figura 9.	Componentes principales para la recuperación de pasturas degradadas.	60

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1.	Uso potencial del suelo en la parte baja de la Cuenca del Río Bulbul	69
Anexo 2.	Distribución de los 2000 puntos de muestreo dentro de la parte baja de la Cuenca del Río Bulbul.	70
Anexo 3.	Vías de acceso en la parte baja de la Cuenca del Río Bulbul	71
Anexo 4.	Red de drenaje en la parte baja de la Cuenca del Río Bulbul	72
Anexo 5.	Grados de pendientes del terreno en la parte baja de la Cuenca del Río Bulbul	73
Anexo 6.	Altitud del terreno (msnm) en la parte baja de la Cuenca del Río Bulbul	74
Anexo 7.	Distribución de las parcelas en potreros en la parte baja de la Cuenca del Río Bulbul	75
Anexo 8.	Distribución de las parcelas de bosque de galería en la parte baja de la Cuenca del Río Bulbul	76
Anexo 9.	Análisis de varianza para el efecto de los años en el cambio de cobertura de árboles en potreros	77
Anexo 10.	Análisis de varianza para el efecto de los años en el cambio de cobertura de bosques de galería	77
Anexo 11.	Matriz de correlación entre las variables biofísicas	78
Anexo 12.	Matriz de correlación ente las variables socioeconómicas	78
Anexo 13.	Matriz de correlación entre las variables biofísicas y socioeconómicas	78
Anexo 14.	Valores estandarizados de las variables biofísicas	79
Anexo 15.	Valores estandarizados de las variables socioeconómicas	80
Anexo 16.	Scores compuestos individuales de las variables biofísicas	81
Anexo 17.	Scores compuestos individuales de las variables socioeconómicas	82
Anexo 18.	Valores originales de las variables biofísicas evaluadas	83
Anexo 19.	Valores originales de las variables socioeconómicas evaluadas	84

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Definición del problema

El avanzado deterioro de algunas cuencas, los desastres naturales y la tendencia al agravamiento de la situación de la mayoría de ellas, plantea la necesidad de enfocar las acciones asignando mayor prioridad a las cuencas, en función de reducir los daños esperados y de la rehabilitación de las más deterioradas. Esto último como una forma de ayudar a las comunidades afectadas y de reducir los daños por el agravamiento de los procesos erosivos.

En la degradación de las cuencas ha jugado un papel importante la deforestación, la que a su vez ha sido causa de la erosión. La deforestación y la erosión hídrica ocasionan alteraciones al régimen hidrológico de las cuencas y en sus patrones de drenaje. Se estima que en Nicaragua han sido afectadas por una erosión de fuerte a severa, aproximadamente unos 1.12 millones de hectáreas (MARENA 2001). De acuerdo con Browder (1988), las causas de la deforestación han sido complejas y han diferido grandemente entre regiones, esto es corroborado por White *et al.* (2001), quien además menciona que éstas varían de acuerdo al tamaño de la finca. Es claro que el aumento de áreas destinadas a pasturas han reemplazado grandes cantidades de bosques tropicales durante las décadas de los años 60, 70 y 80 (Szott *et al.* 2000).

Las tierras de pasturas convencionales están basadas en grandes extensiones de pasto en sistema de monocultivo y el uso intensivo del capital, maquinaria e insumos importados, tales como fertilizantes, plaguicidas y herbicidas. Estos modelos de producción convencional se deterioran después de un período inicial de alto rendimiento, también la fertilidad del suelo y la cobertura de pasto disminuyen, causando degradación ambiental tales como erosión del suelo, contaminación de las fuentes de agua, contaminación del aire, pérdida de la biodiversidad y degradación del paisaje (CATIE 2001).

De acuerdo con Dumazert (2001), los productores de la parte baja de la Cuenca del Río Bulbul tienen una conciencia muy alta del estado de degradación en el cual se encuentran sus capacidades productivas tanto el hato como los potreros. Así mismo, CATIE (2001), menciona que en el área de estudio las actuales formas de producción extensiva de

pasturas y la continua reconversión de las tierras destinadas a la producción de granos, constituyen las principales fuentes de degradación ambiental, lo que conduce a la contaminación de las aguas debido a la erosión y sedimentación de los suelos, siendo esto corroborado por el INTA (1998).

Aunque en Nicaragua han sido desarrollados trabajos para conocer el estado de degradación de las pasturas, estos han sido limitados a una escala de análisis regional. Tampoco ha sido identificado el estado de degradación de las pasturas y los factores biofísicos y socioeconómicos que están asociados a éste en la cuenca del Río Bulbul y cómo ha sido la dinámica en el uso del suelo a través del tiempo, lo cual no permite planificar acciones locales para la recuperación, de tipo y naturaleza puntual e integral.

1.2 Importancia del estudio

De los estudios hechos en Nicaragua sobre planificación de cuencas muy pocos han dado origen a proyectos en los que se consideren las cuencas en forma integral, sino que se han limitado a definir acciones de promoción a la producción agropecuaria para grupos de agricultores en áreas específicas.

Como menciona Jiménez (2001), el manejo integrado de cuencas implica, por un lado, el aprovechamiento de los recursos naturales con propósitos de crecimiento económico y por el otro el manejo de éstos, con el fin de buscar la sostenibilidad ambiental y el uso adecuado de los recursos. Para un manejo adecuado de cuencas un aspecto fundamental es conocer las interrelaciones biofísicas y socioeconómicas, tal como pretende el presente estudio, para luego aplicar este conocimiento hacia la rehabilitación de áreas degradadas, conservación de los recursos naturales y mejoramiento en el uso de la tierra. La identificación de un marco conceptual apropiado permite alcanzar metas: Optimizar el uso de recursos de un modo sostenible y suministrar indicadores para una adecuada planeación del desarrollo social, económico y ambiental para la administración local.

La metodología propuesta permitirá evaluar la degradación de las pasturas en la parte baja de la Cuenca del Río Bulbul, Matiguás, integrando datos biofísicos, socioeconómicos y cartográficos. Este enfoque no solamente garantiza un fácil manejo de los datos

colectados, su continua actualización y su rápida interpretación, sino también, ofrece la posibilidad de analizar los factores causantes del fenómeno en progreso.

Analizar la degradación en la parte baja de la Cuenca del Río Bulbul, es de fundamental importancia ya que en esta área se desarrolla la principal actividad económica de la que dependen los pobladores de la zona como es la ganadería, además la información generada por esta investigación permitirá proponer pautas y líneas de acción que contribuyan al mejoramiento de este sistema de producción y así mismo promover la permanencia de los agricultores en estas áreas, evitando así el avance y la consecuente destrucción de los recursos naturales de la parte alta de la cuenca.

1.3 Objetivos

General

- Desarrollar un modelo de análisis e interpretación de la degradación de pasturas en la parte baja de la Cuenca del Río Bulbul, Matiguás, Nicaragua.

Específicos

- Evaluar el cambio en el uso del suelo en la parte baja de la Cuenca del Río Bulbul en el período 1954-1987.
- Determinar los factores biofísicos y socioeconómicos que están relacionados al proceso de degradación de pasturas.
- Estimar e identificar áreas con diferentes grados de degradación.
- Proporcionar pautas y acciones para el manejo integrado de la Cuenca del Río Bulbul.

1.4 Hipótesis

- El cambio en el uso del suelo de la parte baja de la Cuenca del Río Bulbul es significativo en el período 1954-1987.
- Por medio de variables biofísicas y socioeconómicas es posible estimar y caracterizar el estado de degradación de pasturas.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Aspectos conceptuales de cuencas y degradación

Ramakrishna (1997), define a la cuenca hidrográfica como la unidad fisiográfica conformada por el conjunto de los sistemas de cursos de agua definidos por el relieve. Está compuesta por componentes biofísicos (agua, suelo), biológicos (flora, fauna) y antropocéntricos (socioeconómicos, culturales, institucionales), que están todos interrelacionados y en equilibrio entre sí, de tal manera que al afectarse uno de ellos se produce un desbalance que pone en peligro todo el sistema.

De acuerdo con Ramakrishna (1997), la degradación se refiere a los cambios dentro de los procesos biológicos, físicos y químicos que afectan negativamente el área o sitio, y reduce su capacidad productiva o potencial (por ejemplo erosión del suelo, pérdida de recursos genéticos valiosos o potencialmente valiosos).

La degradación ambiental puede ser vista también como el resultado de las interacciones entre factores elementales relativos al suelo, clima, vegetación y aspectos socioeconómicos, que están ligados individualmente o juntos. Por ejemplo, la combinación de factores ambientales tales como morfología accidentada, presencia de suelos susceptibles a fenómenos erosivos intensos, tendencias climáticas desfavorables, escasa cobertura de vegetación junto con factores socioeconómicos no óptimos, identifican y caracterizan un alta vulnerabilidad ambiental (Basso *et al.* 1998).

En términos generales, en Nicaragua la mayoría de las cuencas del país están siendo sometidas a una fuerte disminución de la cobertura vegetal y a un incremento de erosión, lo que se refleja en un aporte grande de sedimentos a los ríos y corrientes de agua. Esta degradación de las cuencas las tienen desprotegidas contra los efectos e impactos de fenómenos como el huracán Mitch (MARENA 2001).

2.2 Degradación de las pasturas en América Central e indicadores para su evaluación

Pérez (2000) señala que el desarrollo de Centro América durante los últimos 50 años ha estado asociado con una acelerada expansión de la frontera agrícola, la cual ha causado la pérdida de muchos miles de hectáreas de áreas boscosas con el consecuente deterioro ambiental, sobretodo en suelos con bajo potencial agrícola (pendientes). La deforestación de áreas ecológicamente frágiles ha causado problemas de erosión, pérdida de biodiversidad y daños a la riqueza hidrológica de la región. La ganadería ha sido una de las actividades más utilizadas en esa colonización. Sin embargo, la producción de ganado bovino se ha extendido con un crecimiento en productividad modesto.

Los sistemas de pastoreo que prevalecen están basados principalmente en pastos nativos, con una escasa integración con cultivos. Estos sistemas a menudo no incluyen ingresos externos. En áreas húmedas, los bosques y sabanas son taladas para establecer pasturas lo que causa una pérdida rápida de los nutrientes del suelo. Las malezas desplazan a los pastos y las pasturas artificiales puede solamente sostenerse por un período máximo de 10 años. En América Central grandes áreas de pasturas han sido abandonadas debido a la degradación. La regeneración natural de bosques es muy difícil, especialmente donde las áreas taladas son grandes (Steinfeld 2000).

Los sistemas de ganadería tradicional son a menudo marginales en sentido económico y las prácticas de uso de la tierra no son consideradas sostenibles en el largo plazo (Steinfeld 2000). En particular esto es aplicable a la producción de ganado en áreas con pendientes y bosques marginales en el trópico. Se estima que la degradación de pasturas en Centroamérica oscila entre el 3% y 60% (Szott *et al.* 2000).

Papanastasis (1998), menciona que los animales domésticos en pastoreo son considerados como una de las principales causas de degradación de los ecosistemas naturales en la región del Mediterráneo, teniendo múltiple efectos, ya que además de consumir la vegetación, afectan el crecimiento, vigor, reproducción, composición de especies, cobertura vegetal y biomasa, mientras que al mismo tiempo pisotean el suelo reduciendo la densidad aparente y la tasa de infiltración, incrementando el escurrimiento superficial. Por otra parte causan la redistribución de plantas y animales, así como

también en el ciclo de nutrientes, y que todos estos efectos están en dependencia de la intensidad de pastoreo.

La degradación de pasturas puede ser definida como un cambio negativo en la condición de la pastura, asociada con cambios negativos ecológicos y ambientales, o simplemente como una disminución en la calidad de la pastura conducentes a una reducción en la productividad animal (Szott *et al.* 2000). La condición de la pastura es la suma de varios parámetros (composición botánica, cobertura vegetal, etc.) con relación a un óptimo económico y ambiental. La degradación puede ser una reducción de la cobertura vegetal o fertilidad del suelo, la pérdida de especies deseables o la invasión de especies indeseables.

Muchos países de América Latina en los cuales la mayoría de las áreas deforestadas han sido convertidas en pasturas, experimentan crisis sociales profundas caracterizadas por la violencia, distribución desigual de los recursos y pérdida de oportunidades para el sector rural. La diversidad de situaciones en las que se involucra a los ciudadanos y los impactos de las prácticas ganaderas en el ambiente deben ser estudiadas para transformar los sistemas actuales en actividades compatibles con el desarrollo socioeconómico y la protección de la naturaleza (Kaimowitz 1996).

Las causas de la degradación de pasturas son variadas y ocurren en un número diverso de escalas e incluyen factores nacionales y locales como leyes, regulaciones, incentivos, acceso, infraestructura, falta de capital, falta de conocimiento apropiado, sobre-pastoreo, quemas frecuentes, entre otros, que afectan la habilidad de los productores de invertir en prácticas de manejo más intensivas o ambientalmente amigables (Szott *et al.* 2000). A este respecto, Veldkamp y Fresco (1997) mencionan que: a) Cada escala tiene sus propias unidades y variables específicas, y b) la interrelación entre grupos de variables y unidades pueden cambiar con la escala.

En un estudio de la degradación de pasturas realizado por Szott *et al.* (2000) en Guatemala, Honduras y Nicaragua encontraron que la definición y cuantificación de la degradación de pasturas fueron difíciles debido a : **1)** Los mapas de uso actual no están actualizados y la información es poca relativa a degradación de pasturas o pasturas en general; **2)** Escases de datos publicados tanto a escala local como regional con respecto

a propiedades de los suelos y vegetación tales como composición de las pasturas, compactación de suelos o cantidad de suelo sin cobertura vegetal, los cuales pueden servir como indicadores del grado de degradación de la tierra asociada con la ganadería; **3)** Existen pocos estudios en como tales propiedades o degradación evoluciona con el tiempo bajo manejo de praderas o usos de la tierra alternativos; y **4)** Agravando el problema de la ausencia de datos, el término de degradación en sí mismo está mal definido, conduciendo al uso de diferentes indicadores por diversas personas (ej. suelos erosionados o compactados, pasturas de baja productividad debido a la invasión de malezas). Esta confusión es debido en parte a la complejidad de los procesos envueltos en la degradación de pasturas.

Los indicadores biofísicos basados en las propiedades del suelo son quizás los indicadores más confiables para evaluar la degradación de las pasturas a una escala local (López-Bermudez *et al.* 1998). A este respecto, Pulina *et al.* (1998) encontraron que los indicadores como carga animal, pendiente, características de suelo y cobertura son adecuados para evaluar la intensidad del uso de la tierra en sistemas agro-silvo-pastoriles, y monitorear los efectos de la producción animal en los componentes del ecosistema, y más en general, en el fenómeno de degradación.

2.3 Relación entre pobreza y degradación de los recursos

Según Seré (1996), la inequidad en el acceso a recursos, poder y consecuentemente ingresos es una de las características estructurales más sobresalientes de las sociedades latinoamericanas. Mientras existe un acuerdo entre la mayor parte de los analistas sobre la existencia de ciertos valores absolutos tales como el de que todo ser humano tiene el derecho a satisfacer sus necesidades básicas de alimentación, vivienda, educación y autodeterminación, existe una gran disparidad de posiciones ideológicas respecto a los niveles de consumo y bienestar material factibles y deseables para las sociedades en el contexto de un mundo con recursos finitos, es decir sobre el modelo de desarrollo propuesto. Esto pone como foco la discusión de la distribución de los recursos entre individuos y sociedades hoy (equidad) y entre la generación actual y generaciones futuras (sostenibilidad).

La pobreza tiende a incrementar las perspectivas de los productores a corto plazo, limitando su interés en invertir en medidas de conservación de suelos y agua, que proporcionan beneficios sólo en el largo plazo. La falta de educación o acceso a información, asociada con la pobreza puede causar que los agricultores estén menos conscientes de los problemas de degradación de la tierra o atribuir a tales problemas causas fuera de su control y así poder reducir sus esfuerzos dirigidos a tales problemas.

El enfoque más común en la región para el análisis de esta relación es plantear que la pobreza rural es el motor de procesos de degradación relacionados a la falta de opciones de desarrollo que lleva a sobreexplotar los recursos naturales como los suelos y bosques. Autores como Panayotou (1995) asocian estos procesos fuertemente a imperfecciones en los derechos de propiedad de estos recursos, típicamente recursos de productividad tan marginal que solo eran usados muy extensivamente en el pasado frecuentemente por las poblaciones nativas bajo regímenes de manejo comunitario. La pérdida de la trama social ha creado un vacío al no funcionar más las instituciones tradicionales y no haber instituciones modernas eficientes que las reemplacen (Seré 1996).

Tal como lo indica Redclift, 1995, citado por Seré (1996), el deterioro de la trama social causado por los programas de ajuste estructural de los '80, hace particularmente difícil diseñar políticas efectivas para reducir pobreza rural y mejorar la utilización de los recursos naturales.

2.4 Cambios en el uso de la tierra

Puede definirse como todas las vías en que los seres humanos utilizan la tierra y sus recursos a través del tiempo, provocando patrones de uso que pueden alterar las tasas y dirección de procesos naturales.

En la literatura han sido reportados diversos trabajos en cuanto a la evaluación de los cambios de uso de la tierra. Muchos de ellos están centrados básicamente en ecología de paisajes tales como los realizados por Turner *et al.* (1996), Wear *et al.* (1996), Wu *et al.* (1997), Pearson *et al.* (1999) y Bermúdez (2001). Veldkamp y Fresco (1997) investigaron la extensión y distribución del uso del suelo y sus cambios en Costa Rica. Otros, como los

de Baritto (2000) y Turcios (2001), complementan análisis de la vulnerabilidad con estudios de la dinámica del cambio del uso del suelo.

El denominador común de los trabajos antes mencionados es la estimación de modelos que explican la relación funcional entre variables, factores o fuerzas directrices que influyen o determinan esos cambios. Estos modelos pueden ser determinísticos o estocásticos. Las variables estudiadas son diversas entre las que incluyen biofísicas, socioeconómicas, institucionales y normativas.

Camarda (1998), indica que los cambios en la composición de la flora y los tipos de vegetación son, entre otros, los primeros procesos resultantes de la degradación de la tierra. En el análisis de las comunidades de vegetación presentes deberá tomarse en cuenta el factor tiempo. Además, la vegetación del paisaje y los procesos de degradación/evolución tienen una tendencia no lineal, influenciada por muchos otros factores los cuales no siempre son de fácil cuantificación. Estos procesos están estrechamente ligados con diferentes aspectos socioeconómicos.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización y descripción del área de estudio

El trabajo fue realizado en la parte baja de la Cuenca del Río Bulbul ubicada en el municipio de Matiguás, departamento de Matagalpa, aproximadamente 170 kilómetros de la ciudad capital Managua (figura 1). El área de estudio corresponde a una extensión de 6326 hectáreas. La altitud del área de estudio oscila entre 240 a 440 msnm. La pluviometría media anual histórica es de 1344 mm (INETER 2002). La temperatura media anual es de 27 °C.

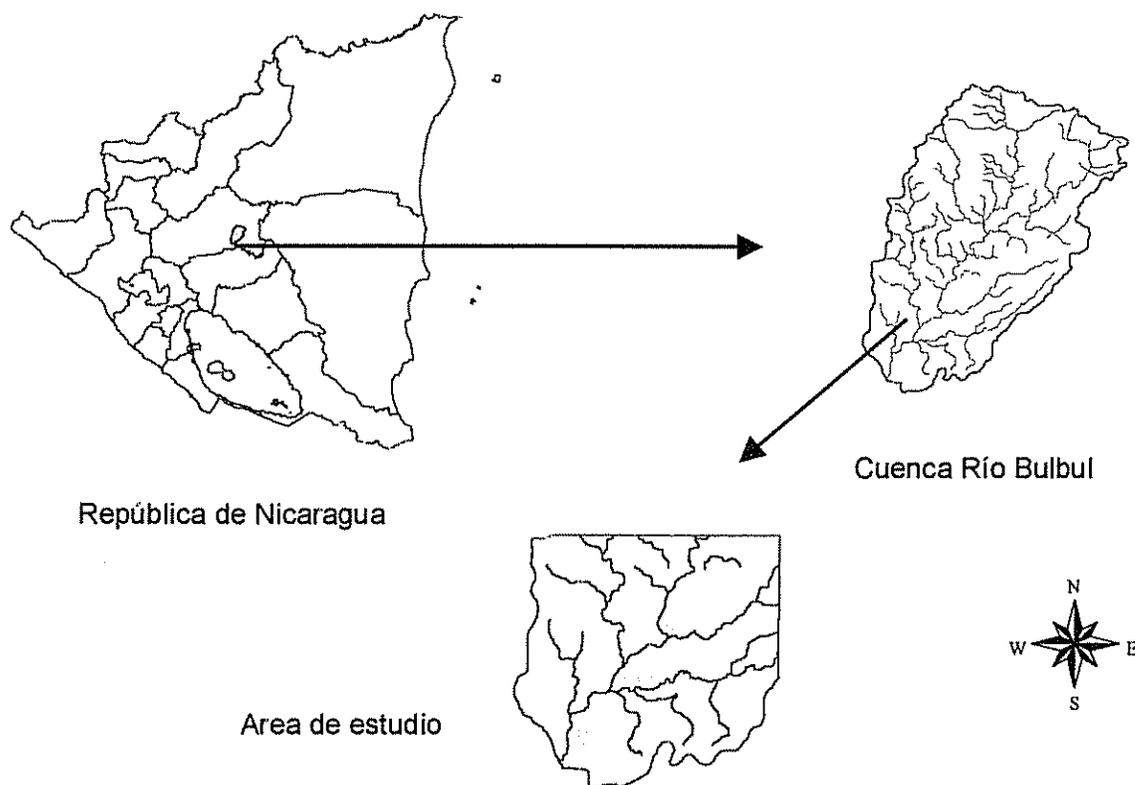


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio. Cuenca del Río Bulbul, Matiguás, Matagalpa. 2001.

El municipio de Matiguás ha experimentado cambios en su población, no obstante sólo se dispone de información a partir de 1967, con una población de 29150 habitantes, en 1971, 29746 habitantes, en 1995, 38584 habitantes, y para el año 2000 se reportan 40509 habitantes (Guerrero y Soriano 1967; INIFOM-AMUNIC 1997; INIFOM 2001). Según el PNUD (2001), Matiguás está clasificada como un municipio de pobreza alta, con un 81% de pobres en el área rural.

La topografía existente varía de ondulada-inclinada a escarpada. La zona de la investigación está dividida en cinco categorías de uso potencial de los suelos ocupando la mayor proporción el pastoreo extensivo en suelos vertisoles (cuadro 1 y anexo 1). Los suelos están catalogados de fertilidad alta con drenajes de moderado a bueno.

Cuadro 1. Uso potencial de los suelos en la parte baja de la Cuenca del Río Bulbul.

Leyenda	Uso potencial de los suelos	Área (hectáreas)
Bth	Bosque húmedo de producción (especies perennifolias).	535
AcP	Cultivos anuales de clima cálido sin canícula*, con pedregosidad superficial.	830
Giw	Pastoreo extensivo en suelos vertisoles.	3678
ScP	Pastoreo extensivo en zonas climáticas sin canícula.	567
Ac	Cultivos anuales de clima cálido, sin canícula.	716
	Total	6326

Fuente: MAGFOR (1998). Canícula: Época del año más calurosa, con pocas lluvias y ocurre generalmente en los meses de julio y agosto.

La principal actividad económica de la zona la constituye la ganadería, la cual representa la principal fuente de empleo y de recursos para sus habitantes. Las actividades agrícolas más importantes en la zona son la producción de maíz, frijoles y musáceas. También hay producción de café y cacao, mientras que las producciones frutícola, de hortalizas y de tubérculos, si bien existentes, son poco significativas. Además de las actividades mencionadas anteriormente, es común la crianza de aves y cerdos en las fincas ganaderas de la zona (Gobbi 2001).

En el año 2001 el proyecto "Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas" ejecutado por CATIE, realizó un estudio de línea de base en la parte baja

de la Cuenca del Río Bulbul, para caracterizar los sistemas de producción, en este estudio fueron definidos cuatro tipos de productores, con base en el tamaño de la finca, como una aproximación del nivel de capital, y en la carga animal, como aproximación de la intensificación. Los tipos se agrupan de acuerdo a sus características como se menciona a continuación:

Tipo A o pequeños intensivos: tienen en promedio 25 ha (rango 14 - 40 ha), en una sola finca y poseen en promedio 26 cabezas de ganado (rango 15 - 40) para 21 ha. de pastos, o sea una carga animal de 1.3. Todos viven en la finca.

Tipo B o pequeños descapitalizados: tiene en promedio 21 ha (rango 9 - 35 ha), en una sola finca y poseen en promedio 11 cabezas de ganado (rango 1 - 20) para 17 ha. de pastos, o sea una carga animal de 0.7. Todos viven en la finca.

Tipo C o medianos y grandes intensivos: tiene en promedio 108 ha (rango 40 - 260 ha), un tercio de los productores tiene 2 o más fincas. Poseen en promedio 81 cabezas de ganado (rango 27 - 150) para 93 ha. de pastos, y una carga animal de 1. La mitad no viven en la finca y tiene mandador (capataz).

Tipo D o grandes extensivos: tiene en promedio 91 ha (rango 40 - 175 ha), un tercio de los productores tiene 2 o más fincas. Poseen en promedio 36 cabezas de ganado (rango 15 - 61) para 73 ha. de pastos, y una carga animal de 0.6. La mitad no viven en la finca y tiene mandador (capataz).

La zona no presenta mayores conflictos relacionados con la tenencia de la tierra, ya que las tierras otorgadas por medio de la reforma agraria han sido legalizadas. Actualmente, la ganadería ha alcanzado su máxima expansión y se orienta a abastecer las industrias de carne y leche extraregionales (Gobbi 2001).

3.2 Metodología

La metodología empleada en este trabajo para el estudio de la degradación de sistemas de pasturas fue considerada como un sistema jerárquico, en donde los niveles se distinguen por diferencias en las tasas o frecuencias de sus procesos característicos

(Turner *et al.* 2001). Para esto fueron seleccionadas dos escalas: una escala donde se pudiera observar el proceso dinámico del uso del suelo en el paisaje entre los años 1954 a 1987, tomando como referencia la cuenca, haciendo uso de sistemas de información geográfica (SIG) y técnicas de modelación con variables explicativas de naturaleza espacial; y una a escala a nivel de parcelas ubicadas en potreros de diferentes fincas donde se pudiera observar el estado o condición actual de las pasturas a través del establecimiento de relaciones funcionales entre variables biofísicas y socioeconómicas.

3.2.1 Generación de datos espaciales

La unidad básica de información es representada por una parcela o pixel de 20 x 20 metros (0.04 ha) para un total de 158164 parcelas, distribuidas en la zona de estudio que equivale a 6326 ha. El mapa de pixeles fue obtenido utilizando el procedimiento Convert to Grid del software ArcView 3.2.

Para observar el comportamiento de la varianza en función del tamaño o número de muestras, la varianza de la variable categorizada presencia (1) o ausencia (0) del tipo determinado de uso del suelo está dado por:

$$\sigma_n^2 = \frac{pq}{n}$$

Donde:

p = Proporción de la muestra con características de la categoría del uso del suelo que se analiza.

$q = 1 - p$

n = Tamaño de las muestras.

Fueron evaluados siete tamaños de muestra 500, 800, 1100, 1400, 1700, 2000 y 2300 parcelas distribuidas al azar (cuadro 2, figura 2), las cuales fueron generadas como puntos aleatorios con la herramienta "Generation Point" del software ArcView 3.2. Fue seleccionada la categoría de bosque en un período de tiempo dado para la evaluación.

Se generó un modelo de regresión cuadrático el cual se le aplicó la primer derivada con el objetivo de obtener el tamaño de muestra que minimice la varianza. El valor obtenido

correspondió a 1955 unidades, por lo que se decidió usar el tamaño de $n = 2000$ (Anexo 2).

Cuadro 2. Evaluación del tamaño muestral necesario para el análisis espacial.

Parcelas	nbosque	No cambio	Cambio	p	q	Varianza
500	55	40	15	0.27273	0.72727	0.00361
800	87	64	23	0.26437	0.73563	0.00224
1100	120	91	29	0.24167	0.75833	0.00153
1400	152	102	50	0.32895	0.67105	0.00145
1700	208	151	57	0.27404	0.72596	0.00096
2000	264	175	89	0.33712	0.66288	0.00085
2300	246	176	70	0.28455	0.71545	0.00083

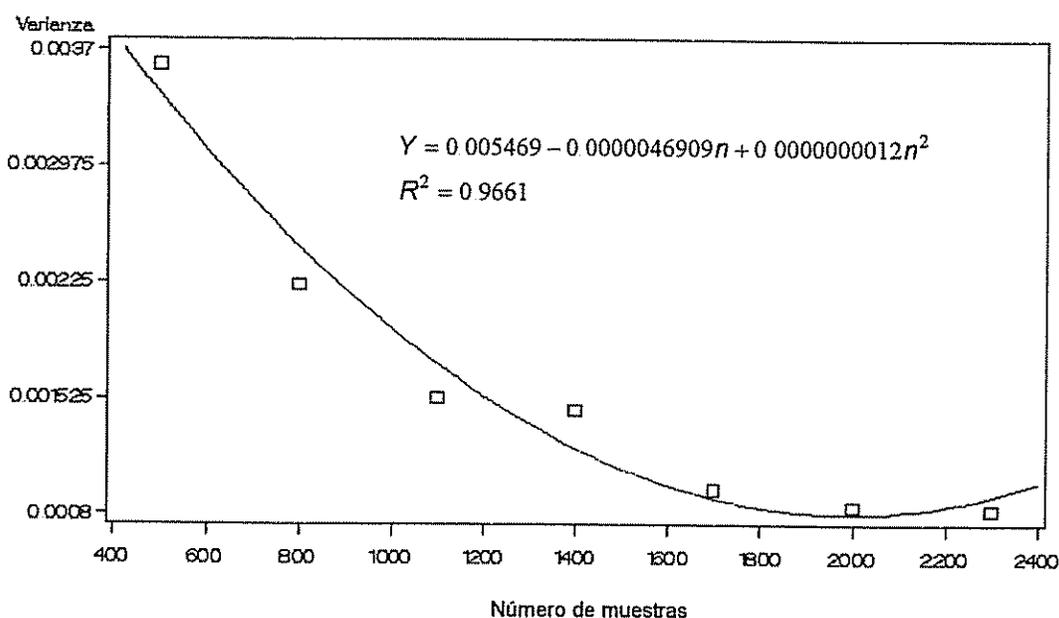


Figura 2. Tamaño de la muestra en función de la varianza muestral.

3.2.2 Estimación del cambio de uso del suelo

La interpretación del cambio de uso del suelo fue realizada a partir de fotografías aéreas para los años 1954, 1968, 1981 y 1987 (cuadro 3). Para la confección de los mosaicos de cada año, las fotografías fueron digitalizadas con una resolución de 600 dpi y dichos

mosaicos fueron estructurados utilizando el programa Corel Draw. Para confeccionar los mosaicos, se procedió a utilizar la parte central de cada fotografía, para minimizar el efecto de la distorsión de la fotografía aérea.

Cuadro 3. Fotografías aéreas utilizadas para la evaluación del cambio de uso del suelo.

Fecha	Escala	Vistas	No. de vista
1954	1:32000	LS 2117, LS 2116 a, LS 2116, LS 2120, LS 2119 a, LS 2119, LS 2118, LS 2118a.	8
1968	1:30000	4320, 4321, 4322, 3551, 3552, 3553, 3554, 3555.	8
1981	1:40000	L 22-034, L 22-036, L 22-038, L 22-040, L 23-240, L 23-242, L 23-244, L 23-246, L 24-146, L 24-148, L 24-150, L 24-152.	12
1987	1:25000	2215, 2216, 2217, 2218, 2219, 2177, 2176, 2175, 2174, 2173.	10

Con los mosaicos elaborados, se procedió con la georreferenciación, tomando el año 1987 como base. Dicho proceso fue hecho utilizando el programa ArcView 3.2 con la extensión Image Warp.

En el cuadro 4 son presentados los tipos de uso del suelo presentes en el área de estudio para los diferentes períodos.

Cuadro 4. Categorías del uso del suelo identificadas en la parte baja de la Cuenca del Río Bulbul para todos los períodos considerados.

Código	Sigla	Tipo	Descripción
0	URBA	Area urbana	Areas residenciales.
1	BO	Bosque	Bosque no intervenido. No incluye bosque de galería.
2	BOSEC	Bosque secundario	Bosque intervenido con vegetación asociada.
3	CUL	Cultivos	Areas con cultivos anuales y perennes.
4	POT	Potreros	Areas de pastos

La delineación de cada una de las categorías de uso del suelo fue hecha directamente en pantalla utilizando el programa Cartalinx 1.2, el cual es un constructor de datos espaciales que permite la digitalización de información geográfica (Clark Labs 1999).

Una vez identificadas las diferentes categorías de uso del suelo para los diferentes años en estudio, se procedió a convertirlas a formato raster. Se procedió a realizar cálculos matriciales con las coberturas para determinar los respectivos cambios.

El cambio de estado de las categorías de uso fue estimado por medio de las probabilidades de transición a través de la técnica "Cadenas de Markov", la que es definida como un proceso estocástico que satisface la propiedad Markoviana (Ross 1985):

$$P\{X_{n+1} = j | X_n = i, X_{n-1} = i_{n-1}, \dots, X_1 = i_1, X_0 = i_0\} = P_{ij}$$

para todos los estados $i_0, i_1, \dots, i_{n-1}, i, j$ y todos los $n \geq 0$

La cual puede ser interpretada como la distribución condicional de cualquier estado futuro X_{n+1} dados los estados pasados X_0, X_1, \dots, X_{n-1} y el estado presente es independiente de los estados pasados y depende solamente del estado presente.

Ya que las probabilidades son positivas, tenemos que:

$$P_{ij} \geq 0,$$

$$i, j \geq 0;$$

$$\sum_{j=0}^{\infty} P_{ij} = 1, \quad i = 0, 1, \dots$$

Las probabilidades condicionales o probabilidades de transición pueden arreglarse en una matriz de transición de estados o matriz de probabilidades markovianas en la que la diagonal representa la estabilidad del sistema. Para el presente estudio la clasificación de las categorías de uso del suelo (CUS) entre un instante y otro reflejan el estado en dichas categorías. Por lo tanto, $CUS = \{0, 1, 2, 3, 4\}$, son valores discretos, nominales e independientes entre sí, cuya definición y claves fueron mencionadas anteriormente.

La matriz de probabilidades Markovianas para un período dado en el presente estudio es de dimensión 5 x 5 a como se muestra en el cuadro 5. Fueron analizadas matrices de transición para los instantes 1954-1968, 1968-1981, 1981-1987 y 1954-1987.

Cuadro 5. Matriz de probabilidades Markovianas para cambios ocurridos entre dos instantes dados.

$t_i \backslash t_j$		CUS _j					P ₁₊	
		0	1	2	3	4		
CUS _i	0	URBA	P(0/0)	P(1/0)	P(2/0)	P(3/0)	P(4/0)	1
	1	BO	P(0/1)	P(1/1)	P(2/1)	P(3/1)	P(4/1)	1
	2	BOSEC	P(0/2)	P(1/2)	P(2/2)	P(3/2)	P(4/2)	1
	3	CUL	P(0/3)	P(1/3)	P(2/3)	P(3/3)	P(4/3)	1
	4	POT	P(0/4)	P(1/4)	P(2/4)	P(3/4)	P(4/4)	1

Donde:

CUS: Categoría de uso del suelo.

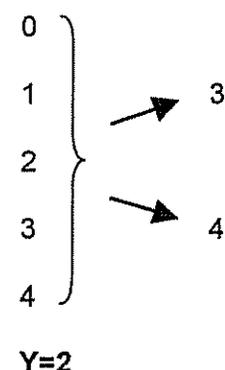
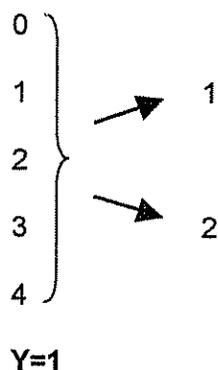
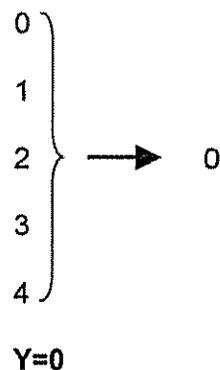
t_i, t_j : Tiempo entre dos estados

P(j/i): Probabilidad de transición de un estado en el tiempo i pase al estado j.

P=1: Suma de todas las probabilidades de transición en cada fila.

3.2.3 Generación de los modelos de transición de uso de la tierra

Para establecer relaciones funcionales entre las transiciones ocurridas y las variables explicativas consideradas, fue necesario la generación de una nueva variable "Y" que sintetice los cambios incluyendo la persistencia de una categoría de uso en un período determinado. Este es debido a que no todas las transiciones representadas en la matriz anterior ocurren o bien presentan probabilidades muy bajas en los diferentes períodos considerados. Por lo que se procedió a agruparlas de la siguiente forma:



Donde:

Y=0: Transiciones a área urbana.

Y=1: Transiciones a cobertura boscosa.

Y=2: Transiciones a potreros y de actividad agrícola.

3.2.4 Transiciones en función de los factores de cambio

Las probabilidades de transición de las variables transformadas fue relacionada con las variables explicativas presentadas en el cuadro 6; en los anexos 1, 3, 4, 5 y 6 es presentada la distribución espacial de dichas variables. Fue definida la matriz X^k de dimensión 7 x m de estas variables más una constante para cada uno de los 2000 puntos de muestreo. La probabilidad de cambio de K a j fue definida como una función de los atributos de cada sitio:

$$P(Y_i^k = j) = P_{ij}^k = F_{ij}^k(X_i^k) \quad \text{para todo } j.$$

Donde P es el operador de probabilidad y F es una función de distribución acumulativa.

Cuadro 6. Variables espaciales utilizadas en las transiciones del uso de la tierra.

Variables		Unidad de medida
Uso previo de la tierra	X_1	Categorías de uso del suelo CUS=(0,1,2,3,4)
Uso potencial	X_2	Clases (1,2,3,4,5)
Pendiente	X_3	Grados
Altitud	X_4	Metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m)
Distancia a ríos	X_5	Metros (m)
Distancia a caminos	X_6	Metros (m)

Debido a que la variable respuesta es categórica y nominal ($Y = 0, 1, 2$) y la matriz de variables explicativas presenta valores continuos y discretos, la relación fue analizada a través de modelos multinomiales logísticos, cuyos parámetros son estimados por el método de máxima verosimilitud siguiendo el método que se conoce como modelos para logits generalizados (Agresti 1990).

Lo que se modela no es el valor de la variable transformada "Y", sino la probabilidad de ocurrencia asociada con cada uno de los valores que toma dicha variable. De esta manera son formados $J - 1$ logits no redundantes tomando el nivel más bajo como referencia, que para el caso de este estudio se tomó la transición a área urbana ($Y = 0$). Así, fueron estimados cuatro modelos de transición para los períodos 1954-1968, 1968-1981, 1981-1987 y 1954-1987.

Además, Turner *et al.* (1996) mencionan que con el modelo multinomial logístico, los coeficientes estimados y sus varianzas no necesariamente corresponde al signo, magnitud relativa o significancia de las probabilidades de transición, por lo que fue necesario estimar los efectos marginales de las variables individuales a través de la función de distribución acumulativa y la matriz de varianzas-covarianzas para los β .

En el cuadro 7 son presentados los efectos marginales esperados de las variables explicativas que favorecen (+) u obstaculizan (-) las probabilidades de transición asociadas a cada una de las categorías definidas por la variable transformada "Y".

Los parámetros de los modelos y los efectos marginales fueron estimados con el software LIMDEP 7.0 (Greene 1998).

Cuadro 7. Efectos marginales esperados de cada variable explicativa.

Variables	Transición a área urbana (Y=0)	Transición a cobertura boscosa (Y=1)	Transición a potreros (Y=2)
Uso potencial	+	+	+
Pendiente	-	+	-
Altitud	-	+	-
Distancia a ríos	-	-	+
Distancia a caminos	-	+	-

3.2.5 Dinámica de la cobertura de árboles en potreros

La dinámica de la cobertura de árboles en potreros para los años 1954, 1968, 1981, 1987 y 2002, fue analizada tomando el tamaño de una parcela de una hectárea.

Fueron establecidas 52 parcelas en el campo distribuidas al azar (anexo 7) en 21 fincas de productores (la selección de las fincas es descrita en el acápite 3.2.6). Cada parcela fue georreferenciada usando GPS (Global Positioning System) y posteriormente fueron transferidas al sistema de información geográfica. Los datos de cobertura de árboles para los años 1954, 1968, 1981 y 1987 fueron obtenidos a través de fotografías aéreas delineando directamente en pantalla toda la cobertura presente en cada parcela (árboles en cercas vivas, árboles dispersos y en grupos). La información del año 2002 fue obtenida directamente en campo midiendo los diámetros mayor y menor de toda la población de árboles existente en la parcela y aplicando la ecuación de la elipse para el cálculo del área. Los datos de áreas de cobertura arbórea fueron convertidos a porcentajes para su posterior análisis. Cabe aclarar que las mediciones fueron hechas según el arreglo que presentaran los árboles en potreros: grupos, cercas vivas y dispersos.

Se realizó un análisis de varianza para evaluar diferencias en cobertura de árboles en potreros entre los diferentes años estudiados. Las parcelas fueron consideradas como mediciones repetidas en el tiempo, por lo que el modelo matemático utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + A_j + e_{jii}$$

Donde:

Y_{ij} = Observación ij .

μ = Media general.

A_j = Efecto del año j .

e_{jii} = Variabilidad de cada parcela en diferentes años.

3.2.6 Dinámica del bosque de galería

Para el análisis de cobertura para este tipo de asociación vegetal, fueron utilizadas fotografías aéreas debidamente georreferenciadas, en las cuales se estableció seis

parcelas de 75 hectáreas cada una distribuidas aleatoriamente a lo largo de los cauces de los ríos (anexo 8) para los años 1954, 1968, 1981 y 1987.

Se realizó un análisis de varianza para evaluar diferencias en cobertura de bosques de galería entre los diferentes años estudiados. Las parcelas fueron consideradas como mediciones repetidas en el tiempo, por lo que el modelo matemático utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + A_j + e_{j/i}$$

Donde:

Y_{ij} = Observación ij .

μ = Media general.

A_j = Efecto del año j .

$e_{j/i}$ = Variabilidad de cada parcela en diferentes años.

3.2.7 Factores biofísicos y socioeconómicos relacionados al proceso de degradación de pasturas

La información relacionada a los grupos de variables biofísicas y socioeconómicas provienen de fuentes primaria y secundaria. La fuente primaria de información corresponde al establecimiento de 52 parcelas temporales de una hectárea distribuidas aleatoriamente en potreros de 21 fincas de productores seleccionados para la línea base del proyecto "Enfoque silvopastoriles integrados para el manejo de ecosistemas" ejecutado por CATIE, que corresponden al 15% de población total del área. Las fincas no fueron seleccionadas según su distribución en el área de estudio, sino mas bien, fueron elegidas con base a una selección razonada de casos haciendo una estratificación ex – ante siguiendo el método de muestreo razonado para estudios cualitativos (Dumazert 2001). El anterior, es un proyecto piloto innovador que promueve el mejoramiento del funcionamiento de ecosistemas de pasturas degradadas en Colombia, Costa Rica y Nicaragua, a través del desarrollo de sistemas silvopastoriles más intensivos que provean servicios ambientales globales y beneficios socioeconómicos locales.

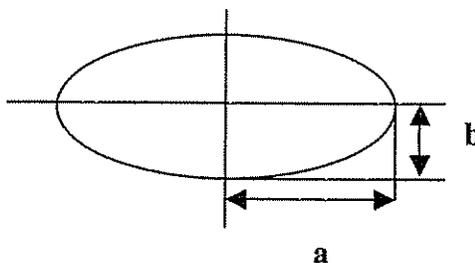
Fueron medidas las siguientes variables: disponibilidad de pasto, porcentaje de cobertura de árboles, resistencia del suelo a la penetración, densidad aparente del suelo, materia orgánica del suelo y pendiente.

Las variables carga animal, forraje disponible, capital por unidad de área productiva, mano de obra, transhumancia, registro de manejo, registros contables, toma de decisiones, asistencia técnica, suplementación y control de malezas, fueron obtenidas a través de encuestas realizadas a 21 productores de la cuenca por el proyecto antes mencionado. Cabe aclarar que las variables extraídas fueron consideradas las más importantes para este estudio, ya que las encuestas contienen mucha información.

3.2.7.1 Variables biofísicas

Disponibilidad de pasto: es la cantidad de forraje disponible en kilogramos de materia seca por unidad de área. El material fue cosechado utilizando un marco metálico de 50 x 50 cm, en cinco puntos dentro de la parcela, de los cuales cuatro fueron ubicados en los límites de la parcela y el quinto en el centro de la misma. Para la obtención de peso seco el material fue secado en un horno a 60 °C por 48 horas.

Porcentaje de cobertura árboles: es la relación entre el área cubierta por la copa de los árboles y el área total de la parcela multiplicada por 100. Las mediciones fueron hechas en toda la población de árboles (en grupos, en cercas vivas y dispersos), midiendo los diámetros de copas mayor y menor y calculando el área a través de la aplicación de la ecuación de la elipse, como se muestra a continuación:



Donde:

$$\text{Area} = \pi \times a \times b$$

$$\pi = 3.141592$$

a = Semi- eje mayor.

b = Semi- eje menor.

$$\text{Así, \% de cobertura arbórea de cada parcela} = \frac{\sum \text{áreas}}{10,000} \times 100$$

Resistencia del suelo a la penetración: es la resistencia ejercida por el suelo en kilogramos por centímetro cuadrado. Fue medida con un penetrómetro tomando una medición en el centro de la parcela. Estos valores fueron agrupados en tres categorías: 0) < 2.75 , 1) $2.75 - 4.25$, 2) > 4.25 .

Densidad aparente del suelo: es la relación entre el peso del suelo en gramos por volumen dado en centímetros cúbicos. Fue tomada una muestra en el centro de la parcela en los primeros 0-15 cm, utilizando un cilindro metálico de 7.62 cm de diámetro.

Materia orgánica del suelo: mezcla heterogénea de compuestos no vivientes producto de transformaciones microbiológicas y químicas de desechos orgánicos. Fue tomada una muestra en el centro de la parcela a una profundidad de 0-15 cm. Los valores están dados en porcentajes.

Carga animal: está definida como el número de unidades animales por hectárea. Fue determinada a través de la relación entre el número de bovinos que tienen los productores en las fincas y el área de pastos.

Pendiente: es la relación entre las distancias vertical y horizontal de dos puntos, esta dada en grados. Se obtuvo como la pendiente media de la parcela calculada a partir del modelo de elevación digital usando la hoja cartográfica 1:50000, del municipio de Matiguás con curvas a nivel cada 20 metros.

Forraje disponible: es el inverso de presión de pastoreo. Es la cantidad en kilogramos de materia seca disponible por unidad animal en un instante dado.

3.2.7.2 Variables socioeconómicas

Dentro del grupo de variables que se presentan a continuación fueron incluidas aquellas de manejo, tales como transhumancia, registros de manejo, registros contables, suplementación y control de malezas, por considerarlas dependientes de la disposición de recursos económicos y cultura del productor.

Capital fijo por unidad de área productiva: relación del valor de la infraestructura física más equipos por el tamaño de la propiedad, calculada en dólares por hectárea.

Mano de obra: personas que trabajan en las diferentes actividades productivas dentro de la finca. Fue determinada de la siguiente manera en escala discreta: 1 = familiar, 2 = ocasional, 3 = permanente, 4 = familiar y ocasional, 5 = permanente y ocasional, 6 = Familiar, permanente y ocasional.

Transhumancia: proceso que consiste en trasladar animales a sitios fuera u otra finca durante determinados períodos del año. Fue medida como variable dicotómica si realizan o no esta práctica, donde 1 = si y 0 = no.

Registros de manejo: libros, cuadernos o libretas donde se anotan aspectos relacionados a cantidad de leche o carne producida por unidad de tiempo, vacunaciones, desparasitaciones, fertilización u otros. Fue medida como variable dicotómica si poseen o no registros, donde 1 = si y 0 = no.

Registros contables: libros, cuadernos o libretas donde se anotan aspectos relacionados a costos de insumos, ingresos, pagos, jornales u otros. Fue medida como variable dicotómica si poseen o no registros, donde 1 = si y 0 = no.

Toma de decisiones: determinaciones que son tomadas en la finca en cualquier espacio y tiempo. Fue medida como variable dicotómica donde 1 = si las decisiones son tomadas de manera individual y 0 = si las decisiones son tomadas de manera compartida con otros miembros de la familia.

Asistencia técnica: disponibilidad de este servicio por diferentes organismos. Fue medida como variable dicotómica si reciben o no asistencia técnica, donde 1 = si y 0 = no.

Suplementación: es referida a la oferta de alimento adicional para corregir el déficit no suministrado por el pastoreo. Fue medida en una escala discreta ordinal de seis valores respecto a tipo de suplemento: 0 = no suplementa, 1 = suplementa minerales, 2 = suplementa minerales y fibra, 3 = suplementa minerales y energía, 4 = suplementa fibra y energía, 5 = suplementa minerales, fibra y energía.

Control de malezas: frecuencia anual del control de plantas indeseables en potreros. Fue medida en escala discreta ordinal de 0 a 5, siendo 5 el mayor número de veces en que un productor realiza el control de malezas en un año.

Para identificar las variables relacionadas al proceso de degradación, la información obtenida fue analizada utilizando el método de correlaciones canónicas, el cual permitió la construcción de pares sucesivos de variables que son combinaciones lineales de las originales, de modo que cada par represente la mejor explicación de cada conjunto respecto a otro que no haya sido ya obtenida por los pares anteriores (Lindeman *et al* 1980). De esta manera se estimó la primera correlación y vectores canónicos asociados a la máxima raíz característica entre los grupos de variables.

Para el análisis fueron formados dos grupos de variables: biofísicas y socioeconómicas (incluye variables de manejo). La matriz general de correlaciones entre variables simples que conforman los dos grupos es representada de la siguiente forma:

$$R = \begin{vmatrix} R_{11} & R_{12} \\ R_{21} & R_{22} \end{vmatrix}$$

Donde:

R = Matriz de correlación general

R_{11} = Matriz de correlación entre variables biofísicas

R_{12} = Matriz de correlación entre variables socioeconómicas

R_{22} = Matriz de correlación entre variables biofísicas y socioeconómicas

El procesamiento de los datos fue realizado mediante el procedimiento CANCECOR del programa estadístico SAS (SAS 1988).

3.2.8 Estimación del grado de degradación e identificación de áreas degradadas

Para la estimación e identificación de áreas con diferentes grados de degradación fue utilizada como unidad de análisis la parcela estándar de 1 ha, que contiene toda la información de los dos conjuntos de variables biofísicas y socioeconómicas.

Fue desarrollada una escala de calificación estandarizada por lo que fue requerido en primer lugar una transformación para las diferentes variables tomando como punto de partida la siguiente expresión:

$$Y_i = \frac{x_i - \bar{x}_i}{s_{x_i}}$$

Donde:

Y_i : representa la variable transformada i para la unidad de análisis.

X_i : representa el valor de la variable independiente i en la unidad de análisis.

\bar{X}_i : representa el valor promedio de la variable independiente i .

S_{x_i} : Desviación estándar de la variable i .

La transformación se realizó con el objetivo de hacer comparables las variables debido a que cada una presenta diferentes escalas de medición. Sin embargo, un cambio de escala supone una alteración de la dispersión absoluta de la variable transformada, por lo que, para caracterizar a cada parcela, fue necesario la multiplicación de esta expresión por vectores de ponderación provenientes de la primera correlación canónica asociada a la máxima raíz característica que sintetiza la mayor varianza. Estos vectores fueron obtenidos a partir del polinomio característico:

$$\left| R_{21}R_{11}^{-1}R_{12} - \rho^2 R_{22} \right| = 0$$

De esta manera, los valores estarán más ajustados a la realidad y representarán de forma más fiel el grado de degradación.

Fueron estimados dos conjuntos de vectores cada uno asociado a las variables biofísicas y socioeconómicas, respectivamente. Por lo anterior, puede definirse como coeficiente de degradación al score compuesto (SC) expresado de la siguiente manera:

$$SC_i = \sum_{j=1}^{52} y_i a_j$$

Donde:

SC : Score compuesto.

Y_i : Variable estandarizada correspondiente a la i-ésima parcela.

a_j : Coeficientes del primer vector canónico asociado a la máxima raíz característica del conjunto de variables j.

La clasificación de grados de degradación está dada para el rango de valores encontrados en la muestra, y la formación de categorías está determinada por la distribución de los datos obtenida a través de la función de densidad de probabilidad:

$$f(SC) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-SC^2/2}$$

Donde:

f(SC): Función de densidad de los scores compuestos.

e: Base de los logaritmos naturales.

π: 3.141592

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Uso del suelo en el área de estudio en los diferentes años evaluados.

En todos los años el paisaje de la parte baja de la cuenca ha estado dominado por potreros, ocupando entre el 70 al 80% del área de estudio. Le siguen en orden descendente el bosque, bosque secundario, cultivos y el área urbana (cuadro 8 y figura 3).

El comportamiento de las áreas de potreros a través del tiempo no ha mostrado una tendencia lineal creciente. Así, la disminución de estas áreas entre el período 1954-1968 probablemente se haya debido a la ocurrencia de procesos socio-económicos y políticos en la zona, tales como los conflictos bélicos que dieron como resultado un proceso revolucionario con la alta participación de los campesinos de la zona en grupos de apoyo al grupo opositor del gobierno de la época (CIERA 1985), lo que pudo haber provocado un abandono de las áreas de pastizales y por ende la recuperación de la cobertura boscosa.

Cuadro 8. Categorías y distribución del uso del suelo en la parte baja de la Cuenca del Río Bulbul para los diferentes años evaluados.

Usos	Años							
	1954		1968		1981		1987	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Bosque	1029.20	16.27	1371.16	21.67	752.92	11.90	726.48	11.48
Bosque Secundario	575.60	9.10	259.92	4.11	1001.16	15.82	101.84	1.61
Cultivos	30.00	0.47	174.40	2.76	314.80	4.98	312.56	4.94
Area Urbana	15.40	0.24	37.76	0.60	66.16	1.05	74.04	1.17
Potreros	4676.32	73.92	3896.32	61.59	4191.52	66.25	5111.64	80.80
Sin Fotografía			587.00	9.28				
TOTAL	6326.50	100.00	6326.50	100.00	6326.50	100.00	6326.50	100.00

Por otra parte, la recuperación de las áreas de potreros entre 1968-1981 pudo haber estado favorecida por el inicio de operaciones en la zona de la empresa transnacional NESTLE-PROLACSA, destinada a la venta de leche en polvo al mercado centroamericano. Un indicador del impacto que tuvo la empresa sobre la producción de leche está dado por las siguientes cifras: en 1970 PROLACSA acopiaba 2.4 millones de

galones de leche, en 1976, acopió 6.8 millones de galones. El modelo de desarrollo de la época de los setenta no aportó capital fijo en términos de pasto o raza ganadera mejorada, sino que fue un modelo altamente depredador de los recursos naturales, extractivo y extensivo (CIERA 1985).

En el período entre 1981-1987 el continuo aumento de las áreas de potreros pudo haber estado influenciado por el proceso de reforma agraria, organización de los productores ganaderos en cooperativas y asignación de crédito, acciones desarrolladas por el gobierno de la época (CIERA 1985).

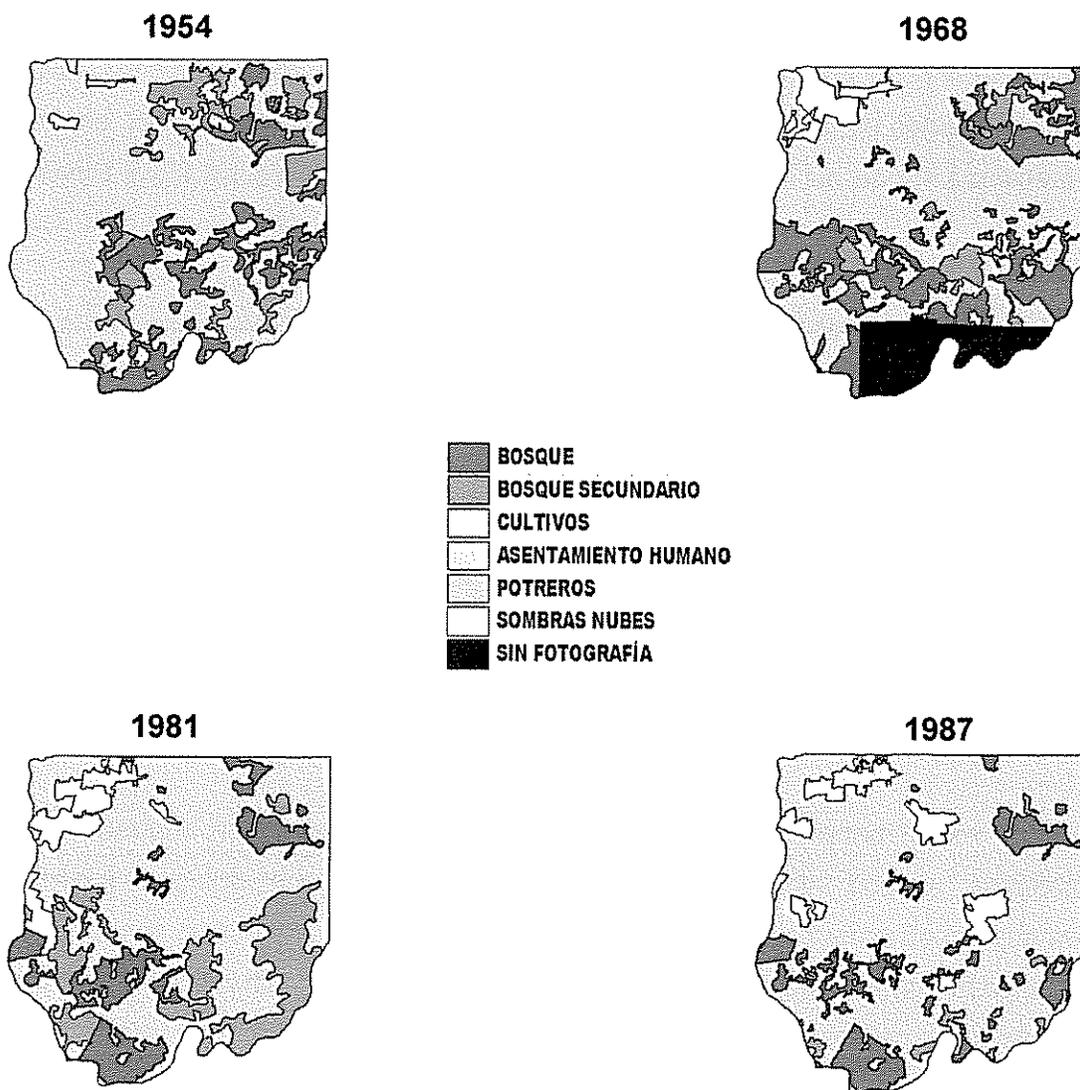


Figura 3. Patrones del uso de la tierra en la parte baja de la Cuenca del Río Bulbul interpretados de las fotografías aéreas para los años 1954, 1968, 1981 y 1987, Matiguás, Nicaragua.

4.2 Dinámica del uso de la tierra en la parte baja de la Cuenca del Río Bulbul para los periodos evaluados.

La estabilidad de las categorías de uso del suelo es presentada en la diagonal de la matriz de probabilidades, donde los valores cercanos a uno representan mayor estabilidad. Los valores fuera de la diagonal indican la dinámica de cambio, valores cercanos a uno representan mayor dinamismo.

En el período 1954-1968, las categorías de uso del suelo con mayor estabilidad fueron área urbana y cultivos, seguidas por potreros, siendo la más inestable bosque secundario. Las transiciones encontradas con mayor probabilidad de cambio fueron de bosque secundario hacia potreros. Las demás transiciones presentan bajas probabilidades o nulas. Un aspecto de hacer notar corresponde a la transición de bosque secundario a bosque, indicando una contribución importante hacia este tipo de cobertura. De la misma manera en la transición de potreros a bosque se observa un aporte considerable hacia esta última (cuadro 9).

En el período 1968-1981, las categorías con mayor estabilidad están representadas por área urbana y potreros, seguida por cultivos, bosque y bosque secundario. La conversión de categorías se observó mayormente acentuada de bosque secundario hacia potreros, seguida por el aporte de áreas de cultivos a potreros y de bosque a potreros. Estos cambios pudieron haber estado influenciados por el sistema de producción utilizado en esa época, tal como el de tumba, roza y quema de los bosques secundarios, para el establecimiento de cultivos y posteriormente la siembra de pastos. Los cambios intermedios son observados de la categoría bosque hacia bosque secundario. Las demás transiciones presentan bajas probabilidades (cuadro 10).

En el período 1981-1987, las categorías con mayor estabilidad fueron área urbana y potreros seguida por bosque, siendo la más inestable bosque secundario. Las transiciones encontradas con mayor probabilidad de cambio fueron de bosque secundario a potreros y de cultivos a potreros. El cambio de bosque a potreros puede considerarse de probabilidad de transición media. Las demás transiciones presentan probabilidades bajas o nulas (cuadro 11).

Cuadro 9. Matriz de probabilidades markovianas para el período 1954-1968.

		1968					Pi+	
		BO	BOSEC	CUL	URBA	POT		SI*
1954	t _n BO	0.361	0.114	0.000	0.000	0.296	0.229	1.000
	BOSEC	0.281	0.080	0.000	0.000	0.588	0.050	1.000
	CUL	0.000	0.000	0.833	0.000	0.167	0.000	1.000
	URBA	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	1.000
	POT	0.184	0.029	0.023	0.006	0.682	0.076	1.000

* SI: sin información debido a la falta de fotografías aéreas.

Cuadro 10. Matriz de probabilidades markovianas para el período 1968-1981.

		1981					Pi+
		BO	BOSEC	CUL	URBA	POT	
1968	t _n BO	0.314	0.244	0.018	0.000	0.424	1.000
	BOSEC	0.134	0.247	0.000	0.000	0.619	1.000
	CUL	0.000	0.000	0.487	0.026	0.487	1.000
	URBA	0.000	0.000	0.000	0.909	0.091	1.000
	POT	0.037	0.120	0.041	0.008	0.793	1.000
	SI*	0.332	0.281	0.000	0.000	0.387	1.000

* SI: sin información debido a la falta de fotografías aéreas.

Cuadro 11. Matriz de probabilidades markovianas para el período 1981-1987.

		1987					Pi+
		BO	BOSEC	CUL	URBA	POT	
1981	t _n BO	0.663	0.015	0.000	0.000	0.322	1.000
	BOSEC	0.132	0.051	0.027	0.000	0.790	1.000
	CUL	0.000	0.000	0.429	0.000	0.571	1.000
	URBA	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	1.000
	POT	0.018	0.013	0.044	0.001	0.924	1.000

De los tres períodos analizados el que presentó mayor estabilidad fue el período comprendido entre 1981 a 1987, lo cual puede ser observado por los valores de probabilidad en la diagonal más cercanos a uno, a excepción de las categorías bosque secundario que fue muy activa y cultivos que presentó un probabilidad intermedia, indicando por lo tanto, una tendencia hacia el equilibrio del ecosistema. Similares resultados fueron obtenidos por Baritto (2000) y Bermudez (2001) en estudios de la dinámica del uso del suelo en la costa norte de Venezuela entre los años 1958 a 1994 y en Costa Rica entre 1978 a 1998, respectivamente.

A fin de representar el proceso de ocupación del uso del suelo de manera condensada fue establecida la matriz de probabilidades markovianas para el período 1954-1987 la cual puede ser vista en el cuadro 12.

Las categorías de uso del suelo más estable correspondieron a área urbana y potreros, y las de mayor inestabilidad fueron bosque secundario y bosque. Las transiciones con mayor probabilidad de cambio fueron de bosque secundario a potreros, cultivos a potreros y bosque a potreros. Las demás transiciones presentan probabilidades bajas o nulas.

El proceso de ocupación durante los años 1954 al 1987 muestra una clara tendencia hacia la conversión de potreros y su persistencia en el tiempo, lo cual según Kaimowitz (1996) en América Central ha sido estimulado por mercados favorables para productos animales, subsidios gubernamentales para crédito ganadero y construcción de caminos, políticas de tenencia de la tierra que promueven la deforestación para establecer derechos de propiedad, cambio tecnológico bajo en el manejo de los sistemas de producción bovina que favorece los sistemas de producción extensivos, políticas que disminuyen el valor de la madera y convierten al manejo forestal en no rentable, disminución de la violencia en el campo, lo cual ha disminuido el riesgo de los ganaderos en áreas aisladas, y características del ganado tales como: requerimientos bajos de supervisión y trabajo, posibilidad de ser transportado, riesgo limitado, prestigio, uso limitado de insumos y flexibilidad biológica y económica.

Cuadro 12. Matriz de probabilidades markovianas para el período 1954-1987.

$t_n \backslash t_{n+1}$		1987					Pi+
		BO	BOSEC	CUL	URBA	POT	
1954	BO	0.293	0.021	0.035	0.000	0.651	1.000
	BOSEC	0.106	0.000	0.050	0.000	0.844	1.000
	CUL	0.000	0.000	0.333	0.000	0.667	1.000
	URBA	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	1.000
	POT	0.084	0.021	0.052	0.013	0.830	1.000

4.3 Modelos de transición del uso de la tierra en función de las variables explicativas.

Los cuatro modelos de transición desarrollados para el presente estudio (1954 a 1968, 1968 a 1981, 1981 a 1987 y 1954 a 1987) fueron significativos ($p < 0.01$). La precisión de los modelos multinomiales logísticos fue 73.8%, 77.0%, 90.8% y 86.5% para los períodos antes mencionados, respectivamente (cuadro 13, 14, 15 y 16). Los valores fueron obtenidos por la relación (esperados/observados)* 100.

Los modelos predicen bien las transiciones a potreros ($Y=2$) y las transiciones a cobertura boscosa ($Y=1$) para los diferentes períodos considerados, el caso contrario es para las transiciones a Area urbana ($Y=0$) con precisiones de 0% a excepción del período de 1981 a 1987 que presentó una precisión alta (cuadro 13, 14, 15 y 16).

Cuadro 13. Precisión del modelo de regresión logística para la predicción de transiciones para el período 1954-1968.

Estimado Observado	Transición a Area urbana ($Y=0$)	Transición a Cobertura Boscosa ($Y=1$)	Transición a Potreros ($Y=2$)	Total
Transición a Area urbana ($Y=0$)	0 (0%)*	3	8	11
Transición a Cobertura Boscosa ($Y=1$)	0	187 (34.4%)	356	543
Transición a Potreros ($Y=2$)	0	105	1142 (91.6%)	1247
Total	0	295	1506	1801 (73.8%)

* Valores entre paréntesis representan la precisión del modelo en valor porcentual.

Cuadro 14. Precisión del modelo de regresión logística para la predicción de transiciones para el período 1968-1981.

Estimado Observado	Transición a Área urbana (Y=0)	Transición a Cobertura Boscosa (Y=1)	Transición a Potreros (Y=2)	Total
Transición a Área urbana (Y=0)	0 (0%)*	10	11	21
Transición a Cobertura Boscosa (Y=1)	0	189 (39.7%)	287	476
Transición a Potreros (Y=2)	4	103	1197 (91.8%)	1304
Total	4	302	1495	1801 (77.0%)

* Valores entre paréntesis representan la precisión del modelo en valor porcentual.

Cuadro 15. Precisión del modelo de regresión logística para la predicción de transiciones para el período 1981-1987.

Estimado Observado	Transición a Área urbana (Y=0)	Transición a Cobertura Boscosa (Y=1)	Transición a Potreros (Y=2)	Total
Transición a Área urbana (Y=0)	21 (95.5%)*	0	1	22
Transición a Cobertura Boscosa (Y=1)	1	149 (53.0%)	131	281
Transición a Potreros (Y=2)	0	51	1646 (97.0%)	1697
Total	22	200	1778	2000 (90.8%)

* Valores entre paréntesis representan la precisión del modelo en valor porcentual.

Cuadro 16. Precisión del modelo de regresión logística para la predicción de transiciones para el período 1954-1987.

Estimado Observado	Transición a Área urbana (Y=0)	Transición a Cobertura Boscosa (Y=1)	Transición a Potreros (Y=2)	Total
Transición a Área urbana (Y=0)	0 (0%)*	0	22	22
Transición a Cobertura Boscosa (Y=1)	0	68 (24.2%)	213	281
Transición a Potreros (Y=2)	0	36	1661 (97.9%)	1697
Total	0	104	1896	2000 (86.5%)

* Valores entre paréntesis representan la precisión del modelo en valor porcentual.

4.4 Efecto de las variables consideradas sobre los cambios en el uso de la tierra para los cuatro períodos en estudio.

En los cuadros 17, 18, 19 y 20 son presentados los parámetros estimados por el método de máxima verosimilitud para los modelos de transición para los períodos considerados.

Como se indica en el cuadro 17 las variables que resultaron significativas para las transiciones a cobertura boscosa (Y=1) entre 1954 a 1968 fueron incluyendo el intercepto, pendiente, altitud y distancia a ríos. Para las transiciones a potreros (Y=2) solo las variables uso potencial y distancia a caminos resultaron no significativas.

Para el período comprendido entre 1968 a 1981 los parámetros que resultaron significativos son los mismos que en el modelo del período anterior tanto para las transiciones a cobertura boscosa (Y=1) como para las transiciones a potreros (Y=2).

Cuadro 17. Parámetros estimados del modelo de regresión logística para las transiciones comprendidas en el período 1954-1968.

		Transición a Cobertura Boscosa (Y=1)		Transición a Potreros (Y=2)	
		Coefficiente	Error estándar	Coefficiente	Error estándar
Intercepto	β_0	18.26518 **	3.80167	12.85432 **	3.75808
Uso 54	β_1	-0.10040 ns	0.23865	0.46676 **	0.23744
Uso potencial	β_2	-0.38660 ns	0.37439	-0.08696 ns	0.37179
Pendiente	β_3	0.24252 **	0.10503	0.22128 **	0.10488
Altitud	β_4	-0.05037 **	0.01171	-0.03652 **	0.01156
Distancia a ríos	β_5	0.00448 **	0.00170	0.00291 *	0.00170
Distancia a caminos	β_6	-0.00017 ns	0.00176	0.00063 ns	0.00175

** = significativo al (P < 0.05), * = significativo al (P < 0.10), ns = no significativo.

Cuadro 18. Parámetros estimados del modelo de regresión logística para las transiciones comprendidas en el período 1968-1981.

		Transición a Cobertura Boscosa (Y=1)		Transición a Potreros (Y=2)	
		Coefficiente	Error estándar	Coefficiente	Error estándar
Intercepto	β_0	14.81638 **	2.76203	11.87975 **	2.71127
Uso 68	β_1	0.10576 ns	0.16054	0.71898 **	0.15879
Uso potencial	β_2	-0.07925 ns	0.27043	-0.33457 ns	0.26760
Pendiente	β_3	0.20414 **	0.06620	0.18061 **	0.06597
Altitud	β_4	-0.04701 **	0.00854	-0.03454 **	0.00835
Distancia a ríos	β_5	0.00417 **	0.00119	0.00296 **	0.00119
Distancia a caminos	β_6	0.00118 ns	0.00142	0.00077 ns	0.00140

** = significativo al (P < 0.05), * = significativo al (P < 0.10), ns = no significativo.

Para el período entre 1981 a 1987 todos los parámetros resultaron significativos a excepción de uso potencial para las transiciones a cobertura boscosa (Y=1) y transiciones a potreros (Y=2).

Cuadro 19. Parámetros estimados del modelo de regresión logística para las transiciones comprendidas en el período 1981-1987.

		Transición a Cobertura Boscosa (Y=1)		Transición a Potreros (Y=2)	
		Coefficiente	Error estándar	Coefficiente	Error estándar
Intercepto	β_0	13.08720 *	7.22260	13.04980 *	7.21495
Uso 81	β_1	3.62369 **	0.75995	4.92658 **	0.76450
Uso potencial	β_2	-0.08181 ns	0.60087	0.02050 ns	0.60031
Pendiente	β_3	0.27742 *	0.14836	0.29491 **	0.14835
Altitud	β_4	-0.05940 **	0.02459	-0.06269 **	0.02457
Distancia a ríos	β_5	0.00630 **	0.00257	0.00461 *	0.00257
Distancia a caminos	β_6	0.00603 **	0.00273	0.00540 **	0.00274

** = significativo al (P < 0.05), * = significativo al (P < 0.10), ns = no significativo

En el caso del período comprendido entre 1954 a 1987 solo uso potencial resultó no significativo para las transiciones a cobertura boscosa (Y=1). La mayoría de los parámetros para las transiciones a potreros resultaron significativos con excepción de uso 54 y uso potencial.

Como mencionan Turner *et al.* (1996) con los modelos multinomiales logísticos los parámetros estimados y sus varianzas no necesariamente corresponden al signo, magnitud relativa o significancia de las probabilidades de transición. Por lo antes expuesto, para determinar la influencia de las variables en las transiciones, se utilizó los efectos marginales estimados a partir de la función de distribución acumulada para la interpretación de los parámetros.

Cuadro 20. Parámetros estimados del modelo de regresión logística para las transiciones comprendidas en el período 1954-1987.

		Transición a Cobertura Boscosa (Y=1)		Transición a Potreros (Y=2)	
		Coefficiente	Error estándar	Coefficiente	Error estándar
Intercepto	β_0	12.16170 **	2.62827	13.44675 **	2.52103
Uso 54	β_1	-0.55670 **	0.21402	-0.12185 ns	0.20841
Uso potencial	β_2	-0.19589 ns	0.24174	-0.25172 ns	0.23261
Pendiente	β_3	0.19205 **	0.06843	0.19058 **	0.06772
Altitud	β_4	-0.03626 **	0.00793	-0.03296 **	0.00757
Distancia a ríos	β_5	0.00616 **	0.00133	0.00349 **	0.00132
Distancia a caminos	β_6	0.00312 **	0.00117	0.00195 *	0.00114

** = significativo al (P < 0.05), * = significativo al (P < 0.10), ns = no significativo.

4.5 Efectos marginales para las transiciones evaluadas

En los cuadros 21, 22, 23 y 24 son presentados los parámetros estimados a través de los efectos marginales para las transiciones evaluadas en todos los períodos. El cuadro 25 muestra la dirección de los efectos esperados y observados de cada una de las variables explicativas.

En general, en todos los períodos y transiciones evaluadas la magnitud relativa de las variables que resultaron significativas, fue pequeña, lo cual coincide con los resultados obtenidos por Bermúdez (2001). Magnitudes relativas mayores son reportadas por Baritto (2000).

4.5.1 Transiciones a área urbana (Y=0)

En los períodos 1954-1968, de acuerdo a lo esperado, la pendiente ejerció un efecto negativo sobre las probabilidades de transición a área urbana, esto indica que conforme disminuye la pendiente del terreno, aumentan los cambios hacia este tipo de ocupación. Por el contrario la altitud fue significativamente positiva, es decir que ésta no constituye una limitante con respecto a la transición a área urbana.

Para el período entre 1968 a 1981, parámetros adicionales resultaron significativos comparado con el período anterior, presentando una relación negativa la pendiente y distancia a ríos. Contrario a lo esperado la altitud afectó de manera positiva las transiciones a este tipo de ocupación.

En el período comprendido entre 1981 a 1987 no fueron encontradas relaciones significativas entre los efectos marginales de las variables en estudio y las transiciones antes mencionadas. Esto probablemente sea debido a la existencia de variables de carácter temporal que influenciaron estos resultados, tal como señala Baritto (2000), quien sugiere la existencia de un crecimiento urbano autónomo que puede ocurrir en amplio rango de condiciones.

Con respecto al período 1954 a 1987, como se esperaba la pendiente, distancia a ríos y distancia a caminos ejercieron efectos negativos en las transiciones, sin embargo, la altitud presentó una relación positiva, contrario a lo esperado.

En resumen, la altitud en los períodos evaluados, exceptuando el comprendido entre 1981 a 1987, presenta un efecto contrario a lo esperado, lo que significa que conforme aumenta la altitud aumenta las transiciones a área urbana, es decir, que esta variable no es un factor limitante en el crecimiento urbanístico en la zona de estudio. Lo anterior

probablemente sea debido a que las transiciones hacia área urbana están más influenciadas por factores socioculturales, que por aspectos físicos del medio.

4.5.2 Transiciones a cobertura boscosa (Y=1)

Todos los parámetros fueron significativos en el período 1954-1968, de acuerdo a lo esperado, las transiciones a cobertura boscosa aumentan, a medida que aumenta la pendiente. Las variables distancia a ríos, uso potencial, altitud y distancia a caminos, presentaron comportamiento contrario a lo esperado.

En el período 1968-1981 la mayoría de las variables resultaron significativas a excepción de distancia a caminos. De las variables en estudio, uso potencial y pendiente ejercieron su efecto de acuerdo a lo esperado, lo que significa que la vocación de los suelos y la pendiente del terreno son factores que determinan las transiciones hacia este tipo de ocupación.

Los períodos 1981-1987 y 1954-1987 son similares entre sí, presentando relaciones significativas únicamente los parámetros distancia a ríos y distancia a caminos, de las cuales la última presentó el efecto esperado.

En resumen, el hecho que la pendiente se haya mantenido como variable explicativa de las transiciones a cobertura boscosa, corrobora el efecto esperado en los dos primeros períodos, sin embargo, su efecto es sustituido por el de la variable distancia a caminos en los períodos 1981-1987 y 1954-1987. Ambas variables pueden considerarse como un costo de acceso a las transiciones a cobertura boscosa. Resultados similares fueron reportados por Bermúdez (2001).

4.5.3 Transiciones a potreros (Y=2)

Para el período 1954-1968 todos los parámetros evaluados fueron significativos sobre las transiciones a potreros, ejerciendo un efecto positivo las variables uso potencial (esperado), altitud y distancia a caminos; las relaciones negativas fueron ejercidas por pendiente (esperado) y distancia a ríos.

En el período 1968-1981 sólo la variable distancia a caminos resultó no significativa. El efecto positivo fue ejercido por altitud y los negativos por uso potencial, pendiente (esperado) y distancia a ríos.

Los períodos 1981-1987 y 1954-1987 presentaron similar significancia y dirección en los efectos marginales. Así, distancia a ríos y distancia a caminos presentaron relaciones negativas, mostrando ésta última el efecto esperado.

En síntesis, de acuerdo a lo esperado, la pendiente funciona como variable explicativa de las transiciones a potreros en los dos primeros períodos, sin embargo, su efecto es sustituido por el de la variable distancia a caminos en los períodos 1981-1987 y 1954-1987.

Cuadro 21. Parámetros estimados por medio de los efectos marginales para el período 1954 a 1968.

		Transición a Área urbana (Y=0)		Transición a Cobertura boscosa (Y=1)		Transición a Potreros (Y=2)	
		Coefficiente	Error estándar	Coefficiente	Error estándar	Coefficiente	Error estándar
Intercepto	β_0	-3.11E-02 *	1.65E-02	1.10073 **	0.15478	-1.06965 **	0.15510
Uso 54	β_1	-6.64E-04 ns	5.99E-04	-0.11427 **	9.20E-03	0.11494 **	9.22E-03
Uso potencial	β_2	3.70E-04 ns	8.19E-04	-6.06E-02 **	1.32E-02	6.02E-02 **	1.32E-02
Pendiente	β_3	-4.91E-04 **	2.11E-04	4.42E-03 **	1.61E-03	-3.93E-03 **	1.62E-03
Altitud	β_4	8.73E-05 *	4.47E-05	-2.82E-03 **	4.88E-04	2.73E-03 **	4.88E-04
Distancia a ríos	β_5	-7.24E-06 ns	4.53E-06	3.18E-04 **	3.92E-05	-3.11E-04 **	3.94E-05
Distancia a caminos	β_6	-8.74E-07 ns	3.82E-06	-1.60E-04 **	5.68E-05	1.61E-04 **	5.68E-05

** = significativo al (P < 0.05), * = significativo al (P < 0.10), ns = no significativo.

Cuadro 22. Parámetros estimados por medio de los efectos marginales para el período 1968 a 1981.

		Transición a Área urbana (Y=0)		Transición a Cobertura boscosa (Y=1)		Transición a Potreros (Y=2)	
		Coefficiente	Error estándar	Coefficiente	Error estándar	Coefficiente	Error estándar
Intercepto	β_0	-5.20E-02 **	1.96E-02	0.53704 **	0.13881	-0.48505 **	0.13953
Uso 68	β_1	-2.38E-03 **	9.90E-04	-0.10904 **	7.53E-03	0.11142 **	7.59E-03
Uso potencial	β_2	1.14E-03 ns	1.16E-03	4.54E-02 **	1.22E-02	-4.65E-02 **	1.23E-02
Pendiente	β_3	-7.70E-04 **	2.72E-04	4.39E-03 **	1.51E-03	-3.62E-03 **	1.52E-03
Altitud	β_4	1.55E-04 **	5.59E-05	-2.26E-03 **	4.54E-04	2.11E-03 **	4.56E-04
Distancia a ríos	β_5	-1.34E-05 **	5.93E-06	2.20E-04 **	3.74E-05	-2.07E-04 **	3.77E-05
Distancia a caminos	β_6	-3.59E-06 ns	5.82E-06	7.40E-05 ns	5.34E-05	-7.04E-05 ns	5.37E-05

** = significativo al (P < 0.05), * = significativo al (P < 0.10), ns = no significativo.

Cuadro 23. Parámetros estimados por medio de los efectos marginales para el período 1981 a 1987.

		Transición a Área urbana (Y=0)		Transición a Cobertura boscosa (Y=1)		Transición a Potreros (Y=2)	
		Coefficiente	Error estándar	Coefficiente	Error estándar	Coefficiente	Error estándar
Intercepto	β_0	-3.00E-06 ns	6.52E-06	2.13E-03 ns	5.22E-02	-2.13E-03 ns	5.22E-02
Uso 81	β_1	-1.11E-06 ns	2.35E-06	-7.44E-02 **	5.77E-03	7.44E-02 **	5.77E-03
Uso potencial	β_2	-3.28E-09 ns	1.38E-07	-5.84E-03 ns	4.61E-03	5.84E-03 ns	4.61E-03
Pendiente	β_3	-6.75E-08 ns	1.43E-07	-9.98E-04 ns	7.17E-04	9.98E-04 ns	7.17E-04
Altitud	β_4	1.44E-08 ns	3.07E-08	1.88E-04 ns	1.71E-04	-1.88E-04 ns	1.71E-04
Distancia a ríos	β_5	-1.08E-09 ns	2.34E-09	9.64E-05 **	1.68E-05	-9.64E-05 **	1.68E-05
Distancia a caminos	β_6	-1.25E-09 ns	2.67E-09	3.57E-05 *	1.93E-05	-3.57E-05 *	1.93E-05

** = significativo al (P < 0.05), * = significativo al (P < 0.10), ns = no significativo.

Cuadro 24. Parámetros estimados por medio de los efectos marginales para el período 1954 a 1987.

		Transición a Area urbana (Y=0)		Transición a Cobertura boscosa (Y=1)		Transición a Potreros (Y=2)	
		Coficiente	Error estándar	Coficiente	Error estándar	Coficiente	Error estándar
Intercepto	β_0	-5.18E-02 **	1.95E-02	-0.11210 ns	7.46E-02	0.16394 **	7.66E-02
Uso 54	β_1	6.47E-04 ns	8.24E-04	-3.98E-02 **	4.88E-03	3.91E-02 **	4.94E-03
Uso potencial	β_2	9.58E-04 ns	9.52E-04	5.00E-03 ns	6.62E-03	-5.96E-03 ns	6.67E-03
Pendiente	β_3	-7.43E-04 **	2.62E-04	2.10E-04 ns	9.79E-04	5.32E-04 ns	1.01E-03
Altitud	β_4	1.30E-04 **	4.76E-05	-3.15E-04 ns	2.39E-04	1.85E-04 ns	2.43E-04
Distancia a ríos	β_5	-1.47E-05 **	5.83E-06	2.46E-04 **	2.04E-05	-2.31E-04 **	2.11E-05
Distancia a caminos	β_6	-8.07E-06 *	4.82E-06	1.07E-04 **	2.53E-05	-9.93E-05 **	2.57E-05

** = significativo al (P < 0.05), * = significativo al (P < 0.10), ns = no significativo.

Cuadro 25. Dirección de los efectos marginales esperados y observados de las variables explicativas en todos los períodos analizados.

Variables	Transición a Area urbana (Y=0)		Transición a cobertura boscosa (Y=1)		Transición a potreros (Y=2)	
	Esperado	Observado	Esperado	Observado	Esperado	Observado
1954-1968						
Uso potencial	+	ns	+	-	+	+
Pendiente	-	-	+	+	-	-
Altitud	-	+	+	-	-	+
Distancia a ríos	-	ns	-	+	+	-
Distancia a caminos	-	ns	+	-	-	+
1968-1981						
Uso potencial	+	ns	+	+	+	-
Pendiente	-	-	+	+	-	-
Altitud	-	+	+	-	-	+
Distancia a ríos	-	-	-	+	+	-
Distancia a caminos	-	ns	+	ns	-	ns
1981-1987						
Uso potencial	+	ns	+	ns	+	ns
Pendiente	-	ns	+	ns	-	ns
Altitud	-	ns	+	ns	-	ns
Distancia a ríos	-	ns	-	+	+	-
Distancia a caminos	-	ns	+	+	-	-
1954-1987						
Uso potencial	+	ns	+	ns	+	ns
Pendiente	-	-	+	ns	-	ns
Altitud	-	+	+	ns	-	ns
Distancia a ríos	-	-	-	+	+	-
Distancia a caminos	-	-	+	+	-	-

* + = Efecto positivo, - = Efecto negativo, ns = No significativo.

4.6 Dinámica del cambio de cobertura de árboles en potreros

Debido a que la mayoría de las transiciones resultaron dirigidas hacia potreros, se consideró importante conocer la dinámica arbórea dentro de este ecosistema. En el cuadro 26 se presenta las estadísticas descriptivas del porcentaje de cobertura de árboles en potreros para los diferentes años, observándose que éste ha oscilado entre 0 y 57%. A este respecto en un estudio realizado en Cañas, Costa Rica por Restrepo (2002), se reporta que el 97% de las fincas encuestadas tienen una cobertura arbórea menor al 30%, resultado similar al encontrado en el presente estudio para el año 2002.

Cuadro 26. Estadísticas descriptivas del porcentaje de cobertura de árboles en potreros para los años 1954, 1968, 1981, 1987 y 2002.

Parámetros	Años				
	1954	1968	1981	1987	2002
Promedio	9.16	12.70	14.86	13.36	12.79
Desv. Est.	12.55	15.86	12.10	12.62	9.73
Mínimo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26
Máximo	49.65	56.80	40.90	44.00	32.78

Al realizar el análisis de varianza se encontró diferencia significativa ($p < 0.01$) entre los diferentes años considerados (anexo 9), indicando una clara dinámica del porcentaje de cobertura de árboles en potreros. En la figura 4 se observa claramente el crecimiento de la curva a partir del año 1954 hasta 1981, en donde existe un punto de inflexión y posteriormente cae ligeramente en el año 1987, manteniéndose relativamente constante hasta el 2002, lo que podría indicar una estabilización del sistema.

La dinámica de la cobertura en potreros puede estar influenciada por la compleja historia agraria del municipio, como se reseñó anteriormente. Aunque el comportamiento no ha sido lineal, se observa un claro aumento de 1954 a 1981, lo cual probablemente se deba al alto nivel de conciencia que los productores tienen de la importancia de los árboles para las pasturas y para el ambiente, según lo afirma Dumazert (2001). De 1981 a 2002 se observa una disminución de la cobertura de árboles, lo que puede estar relacionado con una mayor tasa de extracción de madera de las fincas para generar mayores ingresos.

Al parecer el uso de estos tipos de sistemas silvopastoriles ha sido una práctica tradicional en la zona desde hace muchos años. Además de los efectos de protección y

producción que los árboles ejercen sobre los animales, la presencia de estos en pasturas en la Cuenca del Río Bulbul puede estar contribuyendo a disminuir los efectos del sobrepastoreo, que como menciona Jiménez (2001), es una de las principales causas de deterioro de las cuencas.

Estos árboles aislados en potreros podrían jugar una función importante en la disminución de degradación de la cuenca, en la conservación de agua y según Harvey (2001) en la conservación de la biodiversidad al servir como fuente de alimento y hábitats, además de promover la conectividad del paisaje para diversas especies. Sin embargo, la cobertura de árboles encontrada se considera baja y se debería incrementar con las prácticas silviculturales adecuadas, que permitan a los ganaderos continuar con la producción animal pero en forma más sostenible.

A partir del año 2002 en la Cuenca del Río Bulbul, el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) en conjunto con instituciones nicaragüenses está desarrollando proyectos, los cuales utilizarán el pago por servicios ambientales basado en el cambio de uso de la tierra, como una estrategia para la protección y conservación del recurso arbóreo. En este contexto cualquier medida para promover la mayor introducción de árboles en las fincas debe evaluar el conocimiento local y percepción de los productores y utilizar métodos participativos para promover la arborización de la cuenca.

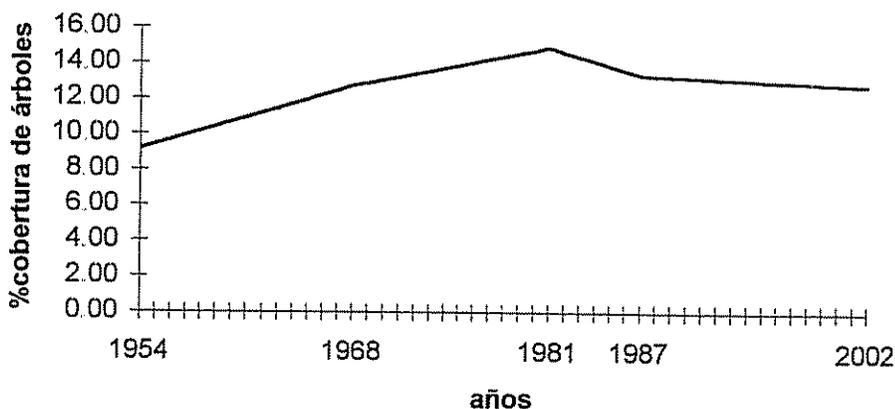


Figura 4. Porcentaje promedio de cobertura de árboles en potreros para el período entre 1954 a 2002.

4.7 Dinámica del cambio de cobertura de bosque de galería

En el cuadro 27 se presenta las estadísticas descriptivas del porcentaje de cobertura de bosque de galería.

Cuadro 27. Estadísticas descriptivas del porcentaje de cobertura de bosque de galería para los años 1954, 1968, 1981 y 1987.

Parámetros	Años			
	1954	1968	1981	1987
Promedio	32.09	38.89	19.70	22.17
Desv. Est.	35.43	22.42	15.80	12.15
Mínimo	4.74	13.55	6.54	11.52
Máximo	98.69	67.68	48.76	39.07

Aunque la dinámica de los bosques de galería ha sido tal y como se presenta en las figuras 5 y 6, observándose una alta presión sobre este ecosistema en el período comprendido entre 1968 y 1981, manifestada en la disminución del porcentaje de la cobertura, al realizar el análisis de varianza no se encontró diferencia significativa ($p > 0.1390$) entre los diferentes años considerados (anexo 10). Este mantenimiento de la cobertura en los bosques de galería en el área de estudio, podría estar influenciado por la conciencia que los productores de la zona, tienen de la importancia de preservar la vegetación asociada a ríos.

La presencia de estos ecosistemas es de fundamental importancia en el manejo adecuado de cuencas, debido a su función en el mantenimiento del ciclo hidrológico, protección y conservación de las fuentes de agua y conservación de la biodiversidad. En áreas de agricultura intensiva los bosques de galería pueden proveer importantes hábitats para la vida silvestre, de manera que la pérdida de este tipo de vegetación puede resultar en una pérdida de hábitats para muchas especies de animales, tanto terrestres como acuáticos (Klapproth y Johnson 2000).

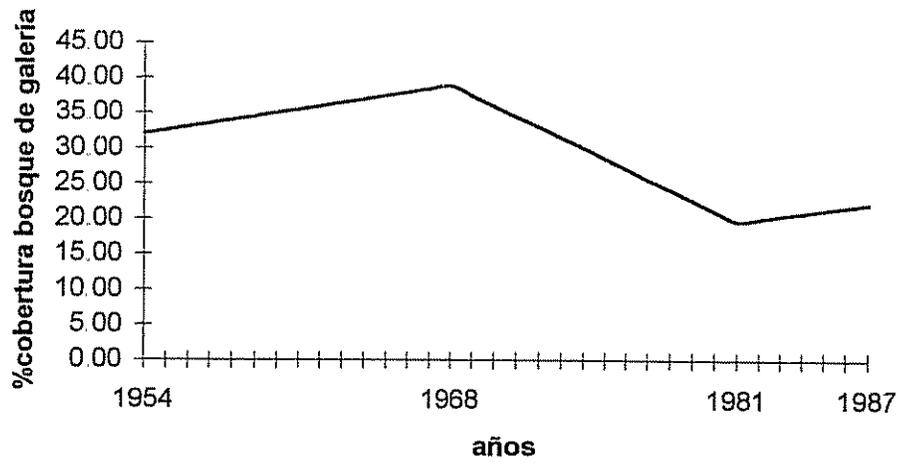


Figura 5. Porcentaje de cobertura de bosque de galería para el período entre 1954 a 1987.

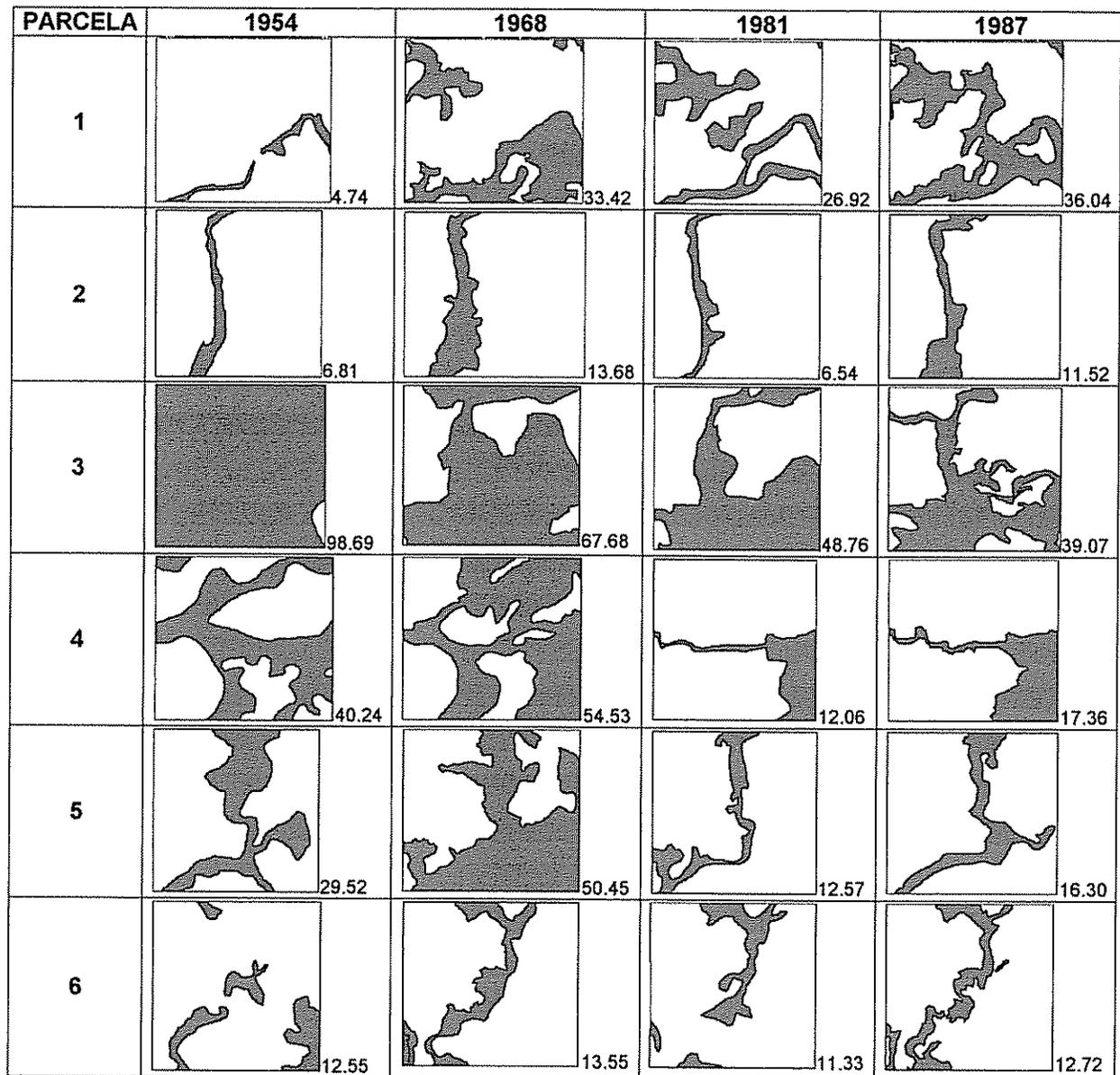


Figura 6. Parcelas en bosques de galería para el período entre 1954 a 1987.

4.8 Relaciones entre variables biofísicas y socioeconómicas

En los anexos 11, 12 y 13 son presentadas las matrices de correlación entre las variables biofísicas, entre las variables socioeconómicas y entre las variables biofísicas y socioeconómicas, respectivamente. De allí se desprende que existe una correlación moderada entre las variables biofísicas y socioeconómicas presentando el mayor valor (0.5148) la correlación entre disponibilidad de pasto y capital fijo por unidad de área productiva. Dentro el grupo de variables biofísicas la mayor correlación fue presentada

entre las variables forraje disponible y disponibilidad de pasto (0.5632). El mayor valor encontrado entre el grupo de variables socioeconómicas corresponde a la correlación entre las variables registros contables y registros de manejo (0.6684). A continuación se presenta el análisis de las relaciones múltiples entre grupos de variables.

El conjunto de variables biofísicas representado por el vector canónico "V" corresponde a pasto, cobertura de árboles, resistencia a la penetración, densidad aparente del suelo, materia orgánica del suelo, carga animal, pendiente del terreno y forraje disponible. El conjunto de variables socioeconómicas representado por el vector canónico "W" corresponde a capital fijo por unidad de área productiva, mano de obra, transhumancia, registros de manejo, registros contables, toma de decisiones, asistencia técnica, suplementación, control de malezas.

Del análisis de los resultados se deriva que la primera correlación canónica (0.8985) asociada a la máxima raíz característica es estadísticamente significativa con un nivel de significancia de 0.01. Esto indica una alta correlación entre las variables biofísicas y socioeconómicas.

Los coeficientes de las variables biofísicas representados por el vector canónico "V" asociado a la máxima raíz característica son presentados a continuación:

$$V = - 0.6236 X_1 - 0.2628 X_2 - 0.1367 X_3 - 0.2261 X_4 + 0.1064 X_5 + 0.7017 X_6 + 0.3226 X_7 + 0.3437 X_8$$

Donde:

V= Vector canónico de las variables biofísicas asociado a la máxima raíz característica

X₁= Disponibilidad de pasto

X₅= Materia orgánica del suelo

X₂= % cobertura de árboles en potreros

X₆= Carga animal

X₃= Resistencia a la penetración

X₇= Pendiente

X₄= Densidad aparente del suelo

X₈= Forraje disponible

Los coeficientes de las variables socioeconómicas representados por el vector canónico "W" asociado a la máxima raíz característica son presentados a continuación:

$$W = -0.7110 X_1 + 0.3761 X_2 - 0.2937 X_3 + 0.3995 X_4 - 0.5837 X_5 + 0.4095 X_6 - 0.3679 X_7 + 0.1828 X_8 + 0.5608 X_9$$

Donde:

W = Vector canónico de las variables socioeconómicas asociado a la máxima raíz característica

X_1 = Capital fijo por unidad de área productiva

X_2 = Mano de obra

X_3 = Transhumancia

X_4 = Registros de manejo

X_5 = Registros contables

X_6 = Toma de decisiones

X_7 = Asistencia técnica

X_8 = Suplementación

X_9 = Control de malezas

Los coeficientes de estas ecuaciones son calificaciones o pesos de las variables que conforman el vector. De esta manera, las variables biofísicas que influyen más en la correlación (con mayor calificación en "V") son carga animal y disponibilidad de pasto. Así mismo, las variables socioeconómicas que influyen más en la correlación (con mayor calificación en "W") son capital fijo por unidad de área productiva, registros contables y control de malezas.

4.9 Identificación y estimación del grado de degradación en potreros.

La relación existente entre las variables biofísicas y socioeconómicas analizadas en el acápite anterior, la dinámica del cambio de uso del suelo, en la cual ha predominado el establecimiento de pasturas con un manejo basado en la fertilidad natural del suelo, constituyeron la base para identificar y estimar el estado o condición de las pasturas en términos de degradación.

Como lo muestran las figuras 7 y 8, basado en la distribución de scores compuestos tanto de variables biofísicas como socioeconómicas, fue posible establecer tres grupos de categorías de degradación, caracterizándolas con base en los coeficientes del primer vector canónico que obtuvieron las mayores calificaciones o pesos, tales como carga animal, disponibilidad de pasto, capital fijo por unidad de área productiva, registros contables y control de malezas. En los anexos 14 y 15 se muestran las variables

estandarizadas, y en los anexos 16 y 17 se presentan los scores compuestos (SC) individuales para las variables biofísicas y socioeconómicas. Las categorías de degradación resultantes se presentan a continuación:

Categoría 1 o degradación menor: comprende aquellos valores de scores compuestos menores de -1.00. Está caracterizada con respecto a variables biofísicas por presentar los menores valores de carga animal y los mayores de disponibilidad de pasto, y con respecto a variables socioeconómicas por presentar los mayores valores de capital fijo y registros contables, y los menores de control malezas.

Categoría 2 o degradación media: comprende aquellos valores de scores compuestos entre -1.00 y 1.00. Está caracterizada con respecto a variables biofísicas por presentar los valores intermedios de cargas animales y disponibilidad de pasto, y con respecto a variables socioeconómicas por presentar valores intermedios de capital fijo, registros contables y control malezas.

Categoría 3 o degradación mayor: comprende aquellos valores de scores compuestos mayores de 1.00. Está caracterizada con respecto a variables biofísicas por presentar los mayores valores de carga animal y los menores de disponibilidad de pasto, y con respecto a variables socioeconómicas por presentar los menores valores de capital fijo y registros contables, y los mayores de control malezas.

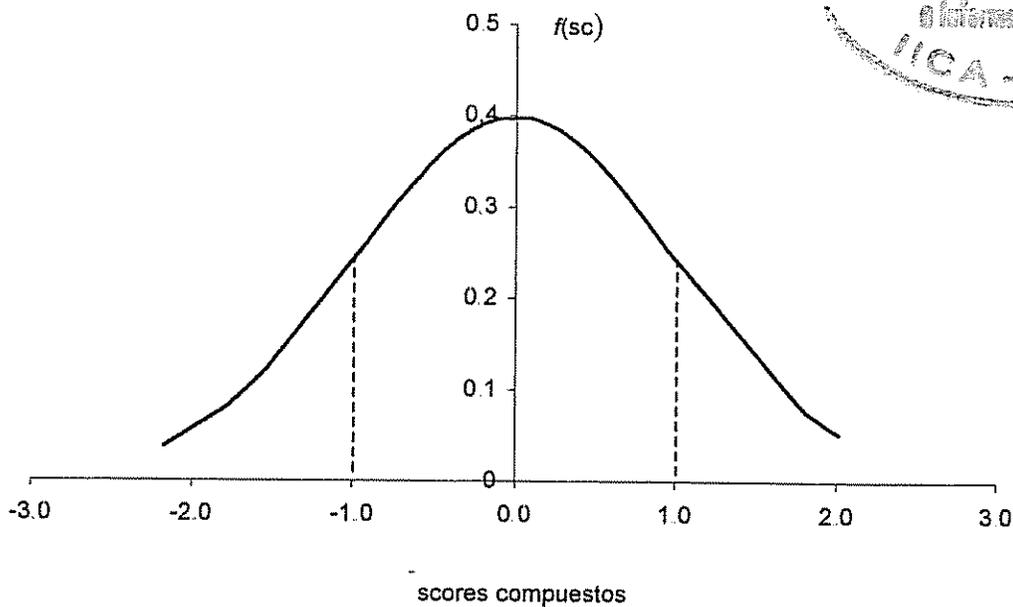


Figura 7. Distribución de los scores compuestos para las variables biofísicas.

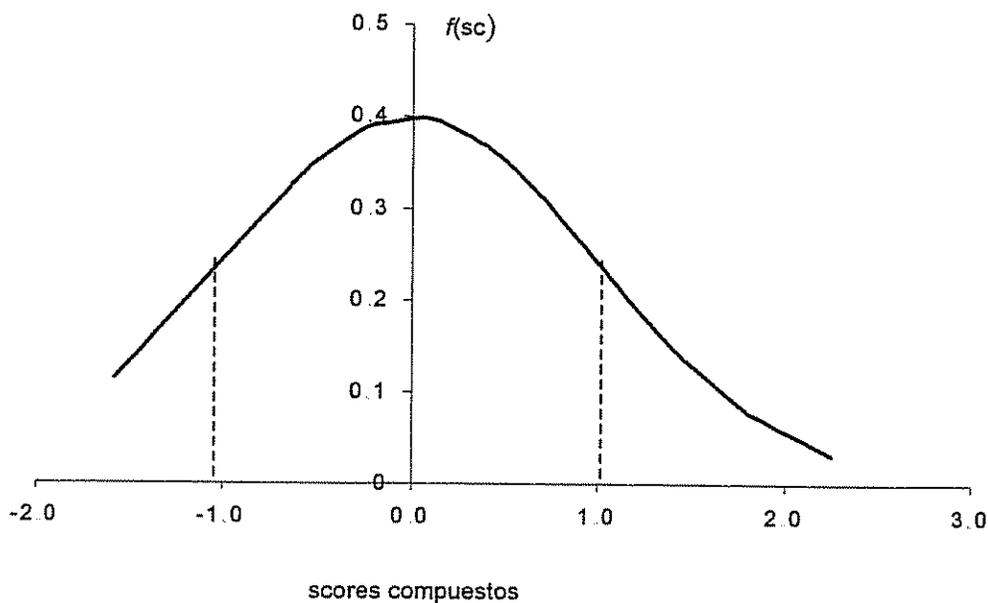


Figura 8. Distribución de los scores compuestos para las variables socioeconómicas.

El estado de degradación de las pasturas en este estudio, reflejado por el valor de las variables con mayor influencia, resultó relacionado con aspectos de manejo inadecuado y escasos de recursos económicos de los productores. Los resultados indican que la mayoría de las parcelas presentan una condición de degradación media. Resultados

similares fueron encontrados en un estudio piloto realizado en Muy Muy, municipio vecino a Matiguás, reportándose que un alto porcentaje de las pasturas presentan degradación moderada y que la degradación de pasturas es menor en fincas con mayor capital (CATIE 2001).

Del total de las 52 parcelas muestreadas el 13.5% corresponden al grupo 1, el 76.9% al grupo 2 y el 9.6% al grupo 3, en relación a las variables biofísicas. Con respecto a las variables socioeconómicas, el 17.3% corresponde al grupo 1, el 67.3% al grupo 2 y el 15.4% al grupo 3 (cuadro 28).

La alta fertilidad de los suelos en la mayoría de las parcelas estudiadas (evaluada con base a los altos valores de materia orgánica expuestos en el anexo 18 y MAGFOR 1998, corroborado por INTA-FAO 2001), se constituye en una ventaja para la recuperación de estas áreas a través de programas de crédito y planes de asistencia técnica sobre prácticas de manejo adecuadas de sistemas silvopastoriles.

No todas las parcelas clasificadas en las diferentes categorías de degradación con respecto a las variables biofísicas, se corresponden con la misma categoría para las variables socioeconómicas. Sin embargo, el porcentaje de concordancia (aquel en que la parcela que se encuentra clasificada en una de las categorías para las variables biofísicas, continúe clasificándose en la misma categoría para las variables socioeconómicas) encontrado entre las parcelas evaluadas es alto (85.7%, 85% y el 100%, categorías 1, 2 y 3, respectivamente). Este hecho puede ser explicado por el alto valor de la correlación canónica encontrada entre los conjuntos de variables. La no concordancia de algunas de las parcelas puede ser atribuida a la variabilidad inherente del proceso de degradación, ya que como menciona Szott *et al.* (2000) los niveles de degradación no son homogéneos dentro de una región, finca o aún dentro de cualquier pastura.

Conocer el estado de degradación de pasturas es un aspecto de importancia para el manejo adecuado de cuencas. En la Cuenca del Río Bulbul la problemática de alimentación durante la época seca, puede traer como resultado el sobrepastoreo, el cual, según Szott *et al.* (2000), es una de las principales causas del deterioro de las pasturas y como consecuencia, como menciona Jiménez (2001), del deterioro de las cuencas. En el

estudio de Muy Muy (CATIE 2001), se estimó que la tasa de recuperación de las pasturas es más lenta que la tasa de degradación resultando en una acumulación del área de pasturas degradadas.

Cuadro 28. Scores compuestos de las variables biofísicas y socioeconómicas.

Categorías de Degradación	Parcela	Score compuesto Biofísicas	Categorías de Degradación	Parcela	Score compuesto Socioeconómicas
1	21	-2.17470	1	17	-1.58053
	22	-1.81571		18	-1.58053
	23	-1.78339		19	-1.58053
	18	-1.69495		20	-1.58053
	19	-1.65085		21	-1.58053
	24	-1.54504		22	-1.58053
2	1	-1.00311	2	23	-1.58053
	20	-0.97118		24	-1.58053
	36	-0.83844		25	-1.58053
	17	-0.76442		36	-0.88418
	15	-0.75543		37	-0.88418
	51	-0.74109		1	-0.59159
	25	-0.53214		2	-0.59159
	52	-0.49504		3	-0.59159
	7	-0.45657		14	-0.51982
	30	-0.41977		15	-0.51982
	39	-0.37853		16	-0.51982
	8	-0.37816		26	-0.29863
	26	-0.37274		27	-0.29863
	12	-0.34255		28	-0.29863
	37	-0.26075		29	-0.29863
	29	-0.23329		30	-0.29863
	28	-0.20452		12	-0.29239
	6	-0.11160		45	-0.22933
	41	-0.10534		51	-0.19748
	27	0.08696		52	-0.19748
	13	0.09660		8	0.05021
	14	0.09730		9	0.05021
	16	0.11900		38	0.11417
	45	0.12438		39	0.11417
	4	0.14831		40	0.11417
	3	0.14861		41	0.11417
	2	0.26807		47	0.17264
	38	0.34089		4	0.39833
	40	0.38319		5	0.39833
	35	0.39581		6	0.39833
	9	0.41962		7	0.39833
	32	0.43717		13	0.49298
31	0.49530	11	0.50714		
34	0.53170	31	0.70380		
11	0.69757	32	0.70380		
5	0.90503	33	0.70380		
47	0.90898	34	0.70380		
49	0.92334	35	0.70380		
42	0.95130	49	1.01144		
10	0.95249	10	1.20176		
33	0.96295	46	1.35562		
3	43	1.78079	3	50	1.48185
	46	1.88295		42	1.80593
	44	1.96579		43	1.80593
	50	1.99155		44	1.80593
	48	2.01360		48	2.24953

4.10 Pautas y acciones para el manejo integrado de la Cuenca del Río Bulbul, Matiguás

4.10.1 Principios del manejo

Con base en las características de la cuenca, características socioeconómicas y biofísicas de las fincas ganaderas en la Cuenca del Río Bulbul, se presetan las líneas de acción, de acuerdo a los criterios de agrupación propuesto por Faustino (2001): espaciales, institucionales y operativas. Estas acciones deben ser validadas y concretadas en el proceso de formulación de un plan de manejo integrado de la cuenca, tomando en consideración la continua conversión de los ecosistemas existentes hacia áreas de pasturas y los efectos negativos que este proceso conlleva, si no se implementan estrategias de manejo ambiental adecuado, con el fin de lograr un proceso de desarrollo sostenible. Los principales aspectos y consideraciones se fundamentan en que:

- El objetivo final del manejo integrado de los recursos naturales de la cuenca, es el desarrollo humano.

- Cada entidad de cuencas tiene una cobertura geográfica o temática y una capacidad de acción limitada, en comparación con la magnitud y integralidad de las tareas a abordar. Además varias entidades trabajan dentro de una cuenca con objetivos diferentes y a veces contrapuestos, cuando lo indicado es trabajar en forma armonizada y complementaria.

- La ejecución exitosa de un plan de manejo de cuencas degradadas es compleja, porque deben ejecutarse actividades de recuperación concomitantemente con la operación de los sistemas de producción (reemplazando o modificando algunos de los actuales). Por esta razón, el manejo integrado de las cuencas deben imperativamente involucrar a varias entidades estatales, públicas y ONG's. Obviamente, se ha de contar con la participación decidida, volitiva y activa de las comunidades que se asientan en la cuenca, en particular, de todos los grupos organizados de productores. Todo este enfoque y accionar requiere de una coordinación inteligente, eficiente y dinámica que cuente con un sólido respaldo institucional, técnico y humano, así como una fuerte voluntad política que permitan en un tiempo definido alcanzar las metas y objetivos propuestos. Sobre todo esa coordinación debe abogar por establecer lazos operativos inter e intra institucionales,

que permitan ejecutar acciones puntuales, tomar decisiones evitando en lo posible las presiones políticas, así como las maniobras o presiones de algunos grupos poderosos.

➤ El enfoque de cuencas varía de acuerdo a la concepción que diversas instituciones atribuyen al tema. Así para instituciones gubernamentales y alcaldía, el tema es relacionado a planificación, legislación o regulación, como es el caso de entidades del estado en el ámbito nacional o local; por ejemplo, la ley general del medio ambiente, la ley de municipios, etc. Para otras, como las asociaciones de productores, es un aspecto a considerar dentro de los sistemas de producción que manejan. Finalmente, para las ONG's es parte de una tarea que puede abarcar el desarrollo de un área geográfica o un grupo humano específico.

4.10.2 Líneas de acción

a) Ámbito espacial

Como menciona Faustino (2001), existen dos niveles de escala predominantes en la planificación de cuencas, uno de ellos corresponde a cuencas pequeñas, generalmente asociada con el interés local, de municipios, proyectos u organizaciones comunitarias. Lo que coincide con las escalas utilizadas en la presente investigación: escala de cuenca y parcela, ya que permite analizar los problemas relacionados al uso de la tierra, recabar información sobre el pasado reciente productivo y sobre la situación que condujo a la cuenca a su estado presente. En la parte baja de la cuenca, los planes de manejo y líneas de acción, deben tener un marco integral de la planificación a nivel de microcuenca y de intervención en el ámbito de finca, para lograr el desarrollo global de la cuenca en su conjunto.

El manejo de cuencas así concebido, es una alternativa viable para el ordenamiento territorial y ambiental, ya que posibilita la relación e interacción espacial y los diferentes escenarios en todos los estratos de la cuenca (relaciones entre la parte alta, media y baja), asociados a las capacidades y vocación de la misma.

Se puede por tanto, en forma conjunta entre los diferentes actores, establecer objetivos y prioridades problemáticas y temáticas de mutuo interés, los cuales se pueden traducir en

proyectos, o bien en opciones investigativas para todos los niveles de la cuenca. Este proceder facilitaría la formulación y el diseño de acciones intra e institucionalmente orientadas. Es decir, que no sólo se ha de contar con el bagaje agrotecnológico para dicha acción, sino disponer de los servicios de apoyo (extensión, financiamiento y mercadeo). En la medida que se cuente con grupos organizados de campesinos, dicha labor será más expedita y se podrá augurar una mayor eficiencia en la ejecución de las diferentes acciones.

Es decir, que los productores de la zona han de tener la visión de cuenca (vía capacitación, talleres, grupos focales u otras técnicas), la auto confianza anímica necesaria para asumir como suya toda la responsabilidad de solucionar sus propios problemas, así como también entronizar como suya toda la autosuficiencia técnica del caso para empezar con la modernización tecnológica que precisa la cuenca como un todo, y en forma particular para sus intereses. También debe tener la capacidad gerencial para hacer el mejor uso racional de los recursos que posee en la cuenca, así como para hacer la correcta adopción tecnológica que le ofrezca el servicio de extensión de manera compatible con su modus operandi.

b) Ámbito institucional

Se determina de acuerdo a las interacciones de los problemas y soluciones en el cual se relacionen la comunidad, organizaciones locales y las instituciones que tienen interés o responsabilidad en la cuenca. Estas estrategias facilitan el desarrollo de las operaciones.

- Cualquier acción que se plantee deberá enmarcarse en el plan y políticas ambientales de Nicaragua.
- Que la Municipalidad garantice la aplicación y cumplimiento de las disposiciones relativas al manejo sostenible del recurso hídrico, bosques y suelo.
- Se requiere de un ente de manejo de cuencas, coordinado por la Municipalidad como una instancia específica de concertación, por su carácter de autoridad de gobierno local, y compuesto por instituciones gubernamentales tales como el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARENA), Ministerio Agropecuario y Forestal

(MAGFOR), Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA), Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal (INIFOM), Ministerio de Salud (MINSAL), Instituto de Desarrollo Rural (IDR), Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA), Instituto Nicaragüense de Electricidad (INE); asociaciones de productores tales como la Asociación de Ganaderos de Matiguás (ASOGAMATI); y asociaciones de la sociedad civil como el Fondo de Desarrollo Local (FDL) de Nitalpan, Asociaciones religiosas.

- Deben existir mecanismos de participación que permitan resolver los conflictos de uso de los recursos naturales entre los diferentes actores (sociales e institucionales), los cuales deben interactuar desde el principio, por medio de grupos organizados para lograr la identificación y la comprensión de las principales características, procedimientos y metodologías que tienen necesidad de emplear, tomando en consideración el conocimiento vernáculo, para encontrarle soluciones viables, sencillas y prácticas a los problemas.
- Desarrollo de proyectos que ejecuten acciones de protección del ambiente, a través del establecimiento de incentivos adecuados, tales como el pago por servicios ambientales.
- Que el INTA garantice los servicios de asistencia técnica y extensión a los productores de la cuenca, dándole prioridad a aquellos localizados en los escenarios de degradación de pasturas, indentificados en el presente estudio.
- Estimular la autogestión y fortalecer la gestión a nivel local, como mecanismo dinamizador de los procesos de desarrollo, considerando especialmente el rol central de los gobiernos locales y las organizaciones de la sociedad civil.

c) Ámbito operativo

Son las que permiten implementar las iniciativas junto con los pobladores de la zona y la integración con las estrategias de los ámbitos institucional y espacial.

- Rehabilitación de pasturas degradadas (componentes principales presentados en la figura 9), y del proceso de deforestación para mejorar la productividad.

- Introducción de cultivos forrajeros y manejo adecuado de la alimentación de rumiantes.
- Introducción de especies leguminosas para la suplementación proteica de rumiantes en la época seca.
- Desarrollo de prácticas silvopastoriles y manejo de bosquetes en las fincas. Aumento de la población de árboles en los potreros (dispersos y en cercas vivas), e introducción de bancos de proteína.
- Aplicación de prácticas de conservación de agua tales como reservorios en potreros.
- Analizar la calidad del agua superficial para conocer el nivel de contaminación por vertidos sólidos y líquidos; y desarrollar investigaciones sobre conocimiento local.
- Restablecer la cobertura de bosques de galería y proteger los bosques naturales, para conservar la biodiversidad, disminuir los efectos negativos de la erosión de los suelos y su sedimentación en los ríos, lo que afecta la calidad del agua necesaria tanto para el uso doméstico como productivo de la zona.
- Desarrollar programas de asistencia técnica para la recuperación de pasturas degradadas, dirigidas hacia el manejo adecuado de las cargas animales, manejo de pastos, manejo de las especies arbóreas en pastura y administración de fincas. Estos programas deben garantizar que los productores adquieran los conocimientos tecnológicos adecuados para incrementar la productividad de su pequeña empresa, y la capacitación y motivación para lograr una mejor asignación de sus recursos escasos; así mismo que logre la organización de los productores de modo que se facilite la comunicación horizontal dentro de los grupos y entre grupos, para identificar problemas, proponer soluciones y hacer trabajos conjuntos, así como para intercambiar ideas, información y conocimientos.
- Desarrollar programas de crédito que estén ligados a la asistencia técnica, para asegurar un empleo más eficiente de los nuevos recursos disponibles para el empleo de la tecnología a la que se tenga acceso. El Fondo de Desarrollo Local de Nittlapan puede

ser la instancia que de apoyo a esta iniciativa, por su amplia experiencia y presencia en la zona.



Figura 9 . Componentes principales para la recuperación de pasturas degradadas.

5. CONCLUSIONES

1. La dinámica del uso del suelo en la parte baja de la Cuenca del Río Bulbul se encuentra regulada en términos generales por las variables espaciales uso potencial, pendiente, altitud, distancia a ríos y distancia a caminos, sin embargo, éstas no son constantes en el tiempo.
2. Los modelos de regresión logísticos estimados, explican razonablemente bien las transiciones del uso del suelo estudiadas en los diferentes períodos.
3. La cobertura de árboles en potreros ha sido dinámica en el tiempo, presentando una ligera estabilidad en el período comprendido entre 1987 y 2002.
4. Los bosques de galería han experimentado cambios a través del tiempo, aunque éstos no han sido significativos.
5. Las variables más relacionadas al proceso de degradación de los sistemas de pasturas son: carga animal, disponibilidad de pasto, forraje disponible, capital fijo por unidad de área productiva, registros contables, control de malezas y toma de decisiones.
6. Las parcelas con degradación mayor están caracterizadas por presentar altas cargas animales, bajas disponibilidades de pasto, bajo capital fijo, ausencia de registros contables y frecuencia alta en el control de malezas.
7. Un alto porcentaje de las áreas evaluadas en la parte baja de la Cuenca del Río Bulbul presentan degradación media.
8. Los resultados de la presente investigación constituyen información básica necesaria para una planificación y manejo adecuado de la Cuenca del Río Bulbul, que armonice, bajo un efecto sinérgico los procesos biológicos, económicos, sociales, culturales y políticos que ocurren en el territorio.

6. RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios que incluyan en los modelos de transición otro tipo de variables tales como: políticas ambientales, dinámica de población y niveles de pobreza.
2. A partir del presente estudio, continuar con el seguimiento y monitoreo del estado de degradación de las pasturas, considerando variables biofísicas y socioeconómicas, y utilizando Sistemas de Información Geográfica.
3. Diseñar y ejecutar proyectos de manejo integrado de la Cuenca del Río Bulbul que involucren los diferentes actores sociales y que consideren a los productores rurales dentro de su ambiente social, económico, cultural y tecnológico, con muchas carencias, pero también con potencial para mejorar su situación, la de su familia y su comunidad. La mejora global en su sistema productivo es lo que le dará capacidad para lograr remuneraciones adecuadas al momento de vender sus productos.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Agresti, A. 1990. Categorical data analysis. New York, USA. John Wiley & Sons, Inc. 558 p.
- Baritto, F. 2000. Dinámica de factores asociados al uso de la tierra e implicaciones sobre el colapso ambiental de 1999 en la costa norte de Venezuela. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 104 p.
- Basso, F; Belli, A; Bove, E; Faretta, S; Ferrara, A; Mancino, G; Pisante, M; Quaranta, G; Taberner, M. 1998. Degradation processes in the Agri Basin: evaluating environmental sensitivity to desertification at basin scale (en línea). Italy. Consultado 5 dic. 2001. Disponible en <http://www.desertification.it/doc/ASINARA%20WEB/15basso.htm>
- Bermúdez, T. 2001. Probabilidad de cambio y factores asociados a los patrones de uso de la tierra en la franja comprendida entre los parques nacionales volcán Irazú y volcán Turrialba. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 66 p.
- Browder, J. 1988. The social costs of rain forest destruction: A critique and Economic Analysis of the "Hamburger Debate". *Interciencia* 13 (3): 115-120.
- Carnarda, I. 1998. Indicators of degradation in agro-ecosystems (en línea). Italy. Consultado 5 dic. 2001. Disponible en <http://www.desertification.it/doc/ASINARA%20WEB/17camarda.htm>
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CR). 2001. Ayuda memoria del primer taller regional para el estudio de línea base de pasturas degradadas, realizado en CATIE, Turrialba, Costa Rica entre el 7 y el 9 de mayo del 2001. Ed. Guillermo Detlefsen. Disponible en http://lead.virtualcentre.org/es/enl/taller/memo_taller1.htm.
- _____. 2001. Regional Integrated Silvopastoral Approaches to Ecosystem Management Project. CATIE, Turrialba CR. 120 p.

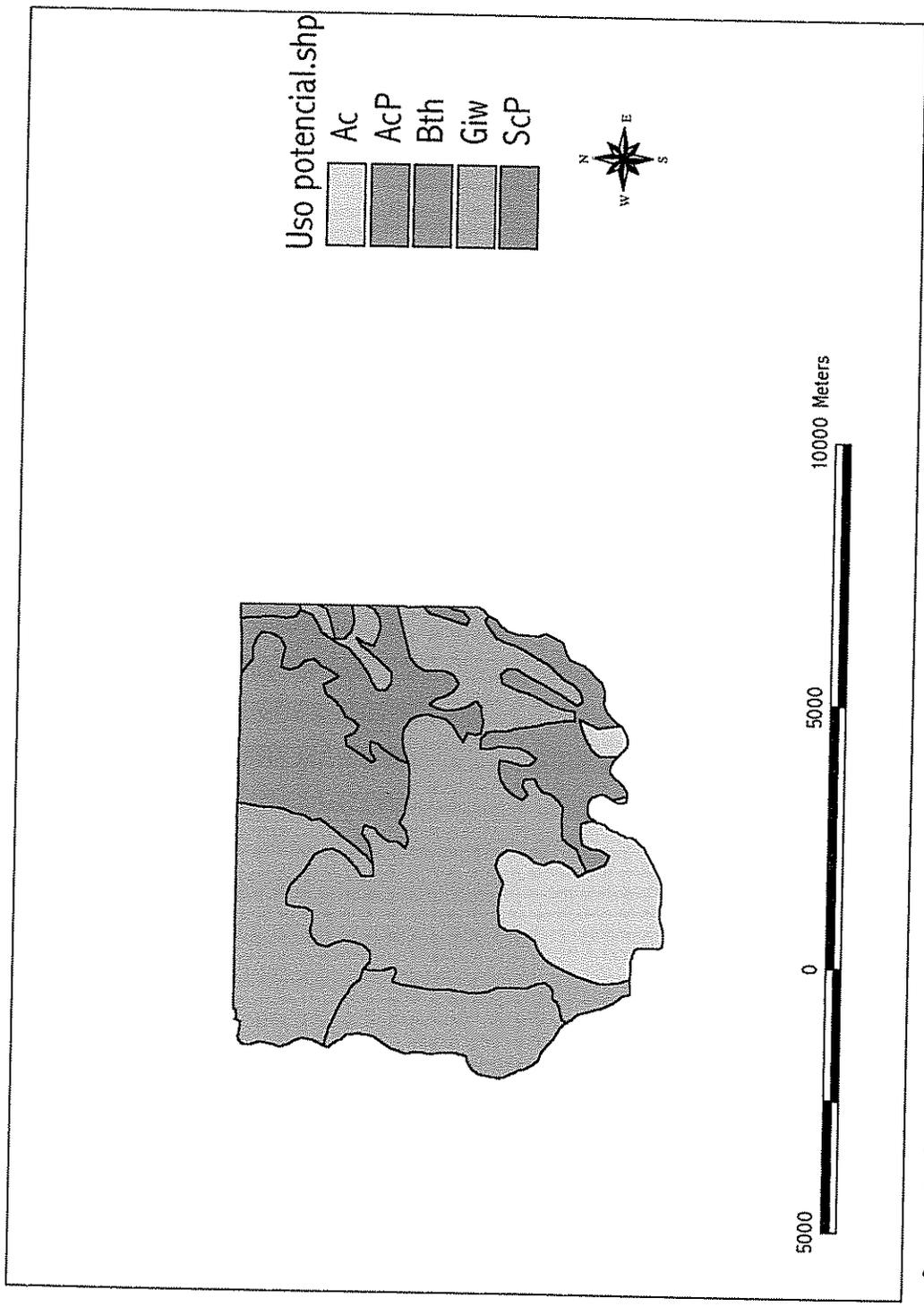
- _____. 2001. Baseline study on cattle production systems and degraded pasture lands in Peten, Guatemala, Central Nicaragua and Northern Honduras. CATIE, Turrialba CR. 122 p.
- CIERA (Centro de Investigaciones y Estudios para la Reforma Agraria). 1985. El movimiento campesino de Matiguás, formas organizativas y la línea de masas en la RPS. Managua, Nic. 207 p.
- Clark Labs. 1999. CartaLinx: the spatial data builder. Version 1.2.
- Dumazert, P. 2001. Regional project on integrated silvopastoral approaches to ecosystem management: Social Assessment. CATIE, Turrialba CR. 75 p.
- Faustino, J. 2001. Enfoques del manejo integral de cuencas. Foro Nacional del Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. Managua, Ni. 16 p.
- Greene, WH. 1998. LIMDEP. Version 7.0. User's Manual. Revised Edition. Econometric Software, Inc. New York.
- Gobbi, JA. 2001. Integrated Silvo-Pastoral Ecosystem Management Project: Cost-Effectiveness Analysis. CATIE, Turrialba CR. 121 p.
- Guerrero, J; Soriano, L. 1967. Monografía de Matagalpa. Managua, Nic. 290 p.
- Harvey, C. 2001. The conservation of biodiversity in silvopastoral systems. *In* Ibrahim, M. comp. International Symposium on Silvopastoral Systems. Second Congress on Agroforestry and livestock Production in Latin America (2001, San José, CR). p. 80-87.
- Hagos, F; Pender, J; Gebreselassie, N. 1999. Land Degradation in the Highlands of Tigray and Strategies for Sustainable Land Management. Eds. M, Jabbar; S. Ehui; S. Staal. Socioeconomic and Policy Research Working Paper No. 25. Livestock Policy Analysis Project. International Livestock Research Institute. Addis Ababa, Ethiopia. 78 p.
- INIFOM (Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal). 2001. Caracterización del municipio de Matiguás. Secretaría Técnica de la Comisión Sectorial para la Descentralización (STCSD). Managua, Nic. 33 p.

- INIFOM-AMUNIC (Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal y Asociación de Municipios de Nicaragua). 2001. Matiguás. Managua, Nic. 17 p.
- INTA (Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria). 1998. Zonificación Agrosocioeconómica Agencia Matiguás. 71 p.
- INTA-FAO (Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, NI). 2001. Manual del extensionista: Manejo integrado de la fertilidad de los suelos en Nicaragua. Proyecto sistemas integrados de manejo de la fertilidad de los suelos. GCP/NIC/025/NOR. Nicaragua-Noruega. 130 p.
- Jiménez, F. 2001. Agroforestería en el manejo de cuencas hidrográficas. *In* Francisco Jiménez, Reinhold Muschler, Edgar Köpsell, eds. Funciones y aplicaciones de sistemas agroforestales. CATIE, Turrialba CR. Módulo de Enseñanza Agroforestal No. 6. 187 p.
- Kaimowitz, D. 1996. Livestock and Deforestation. Central America in the 1980s and 1990s: A Policy Perspective. CIFOR Special Publication. Center for International Forestry Research, Bangor, Indonesia.
- Klapproth, J.; Johnson, E. 2000. Understanding the Science Behind Riparian Forest Buffers: Effects on Plant and Animal Communities. Virginia Cooperative Extension, USA. 14 p.
- López-Bermudez, F; Barberá, GG. 1998. Indicators of degradation in semiarid mediterranean agroecosystem of southeastern Spain (en línea). Italy. Consultado 5 dic. 2001. Disponible en <http://www.desertification.it/doc/ASINARA%20WEB/18lopez.htm>
- Lindeman, RH; Merenda, PF; Gold, RZ. 1980. Introduction to Bivariate and Multivariate Analysis. USA. 444 p.
- MAGFOR (Ministerio Agropecuario y Forestal, NI). 1998. Mapas digitales del Departamento de Matagalpa. Managua, Nic.
- MARENA (Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, NI). 2001. Informe del estado ambiental en Nicaragua, 2001. Managua, Nicaragua. 147 p.

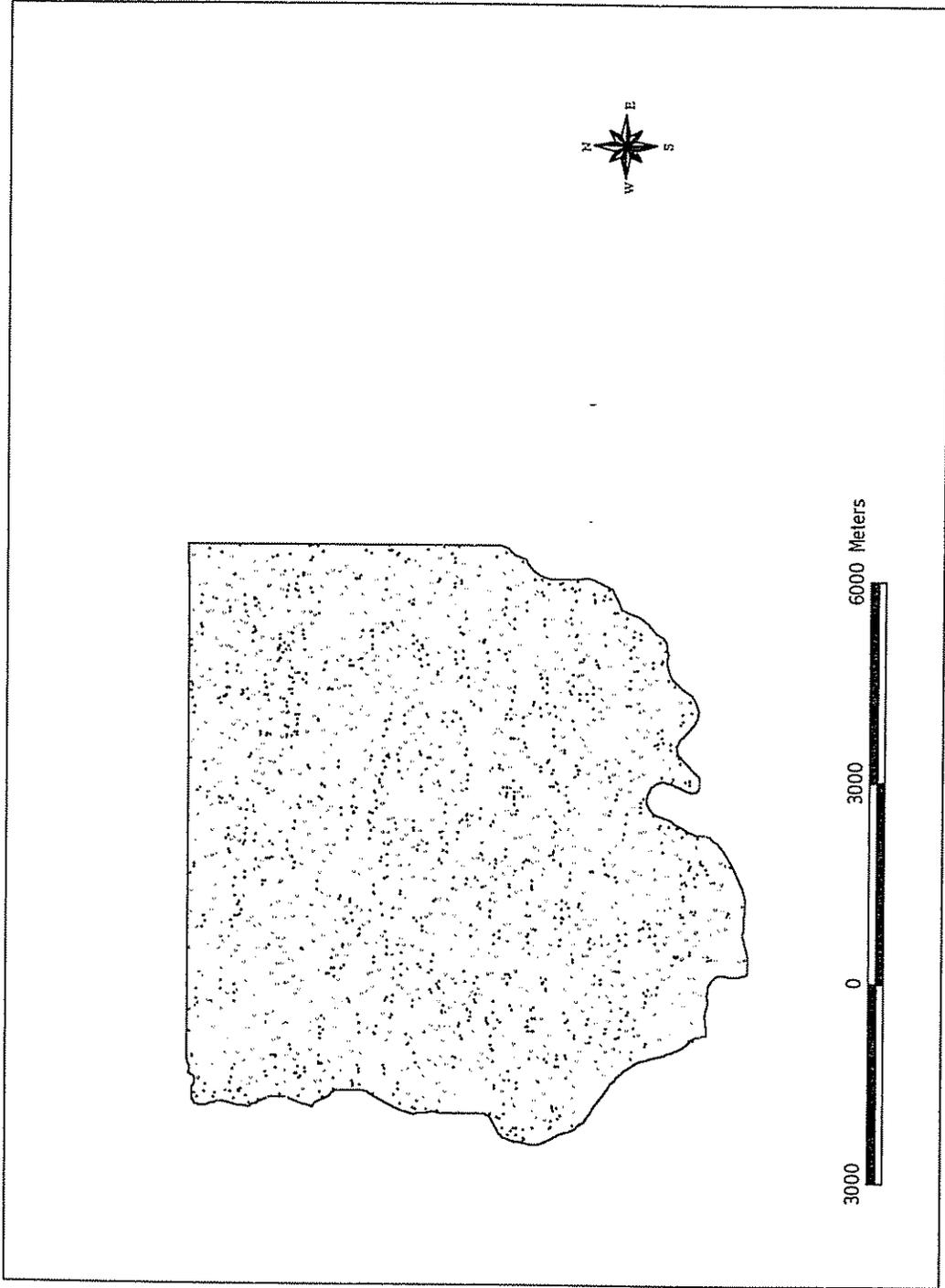
- Papanastasis, VP. 1998. Grazing intensity as an index of degradation in semi-natural ecosystems: the case of Psilorites mountain in Crete (en línea). Italy. Consultado 5 dic. 2001. Disponible en <http://www.desertification.it/doc/ASINARA%20WEB/16papanastasis.htm>
- Pérez, E. 2000. La situación de la ganadería en Centroamérica. In Pomareda, C; Steinfeld, H. eds. Intensificación de la ganadería en Centroamérica: Beneficios económicos y ambientales. CATIE-FAO-SIDE. San José, CR. 334 p.
- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2001. Nicaragua el mapa de pobreza municipal (en línea). Consultado 10 Nov. 2002. Disponible en http://www.sdn.org/mirrors/lc/nic/documentos/mapa_pobreza
- Pulina, G; d'Angelo, M; Madrau, S; Zucca, C; Enne, G. 1998. Indicators of land use intensity in agropastoral ecosystems (en línea). Italy. Consultado 5 dic. 2001. Disponible en <http://www.desertification.it/doc/ASINARA%20WEB/19pulina.htm>
- Ramakrishna, B. 1997. Estrategias de extensión para el manejo integrado de cuencas hidrográficas. Conceptos y experiencias. Proyecto IICA/GTZ. San José, Costa Rica. 319 p.
- Restrepo, C. 2002. Relaciones entre la cobertura arbórea en potreros y la producción bovina en fincas ganaderas en el trópico seco, Cañas, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 102 p.
- Ross, S. 1985. Introduction to probability models. Third edition. Florida, USA. Academic Press, Inc.. 502 p.
- SAS Institute Inc. 1988. SAS/STAT User's Guide, Release 6.03 Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc. 1028 p.
- Seré, C. 1996. Los nexos entre la pobreza y la degradación de los recursos naturales en América Latina (en línea). Encuentro Internacional RIMISP VII (1996, Turrialba, CR). Consultado 27 ago. 2002. Disponible en http://www.idrc.ca/lacro/docs/conferencias/rimisp3.html#Los_nexos

- Steinfeld, H. 2000. Producción animal y el medio ambiente en Centroamérica. *In* Pomareda, C; Steinfeld, H. eds. Intensificación de la ganadería en Centroamérica: Beneficios económicos y ambientales. CATIE-FAO-SIDE. San José, CR. 334 p.
- Szott, L; Ibrahim, M; Beer, J. 2000. The hamburger connection hangover: Cattle, pasture land degradation and alternative land use in Central America. Turrialba, CR, CATIE. 71 p.
- ✓ Turcios, M. 2001. Vulnerabilidad a desastres naturales en la cuenca Jones Guatemala, en función de variables biofísicas, socioeconómicas e institucionales. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 104 p.
- Turner, M; Gardner, R; O'Neill, R. 2001. Landscape ecology in theory and practice: Pattern and process. New York, USA. Springer. 401 p.
- Turner, M; Wear, D; Flamm, R. 1996. Land ownership and land-cover change in the southern Appalachian highlands and the Olympic peninsula. *Ecological Applications* 6(4): 1150-1172.
- Veldkamp, A; Fresco, LO. 1997. Reconstructing land use drivers and their spatial scale dependence for Costa Rica (1973 and 1984). *Agricultural Systems* 55(1): 19-43.
- ✓ Wear, D; Turner, M; Flamm, R. 1996. Ecosystem management with multiple owners: Landscape dynamics in a southern appalachian watershed. *Ecological Applications* 6(4): 1173-1188.
- White, D; Holmann, F; Fujisaka, S; Reategui, K; Lascano C. 2001. Will intensifying pasture management in Latin America protect forests-or is it the other way round?. *In* Angelsen, A. and Kaimowitz, D. eds. Agricultural technologies and tropical deforestation. CABI and Center for International Forestry Research. UK. 422 p.
- ✓ Wu, Y; Sklar, F; Rutchey, K. 1997. Analysis and simulations of fragmentation patterns in the everglades. *Ecological Applications*. 7(1): 268-276.

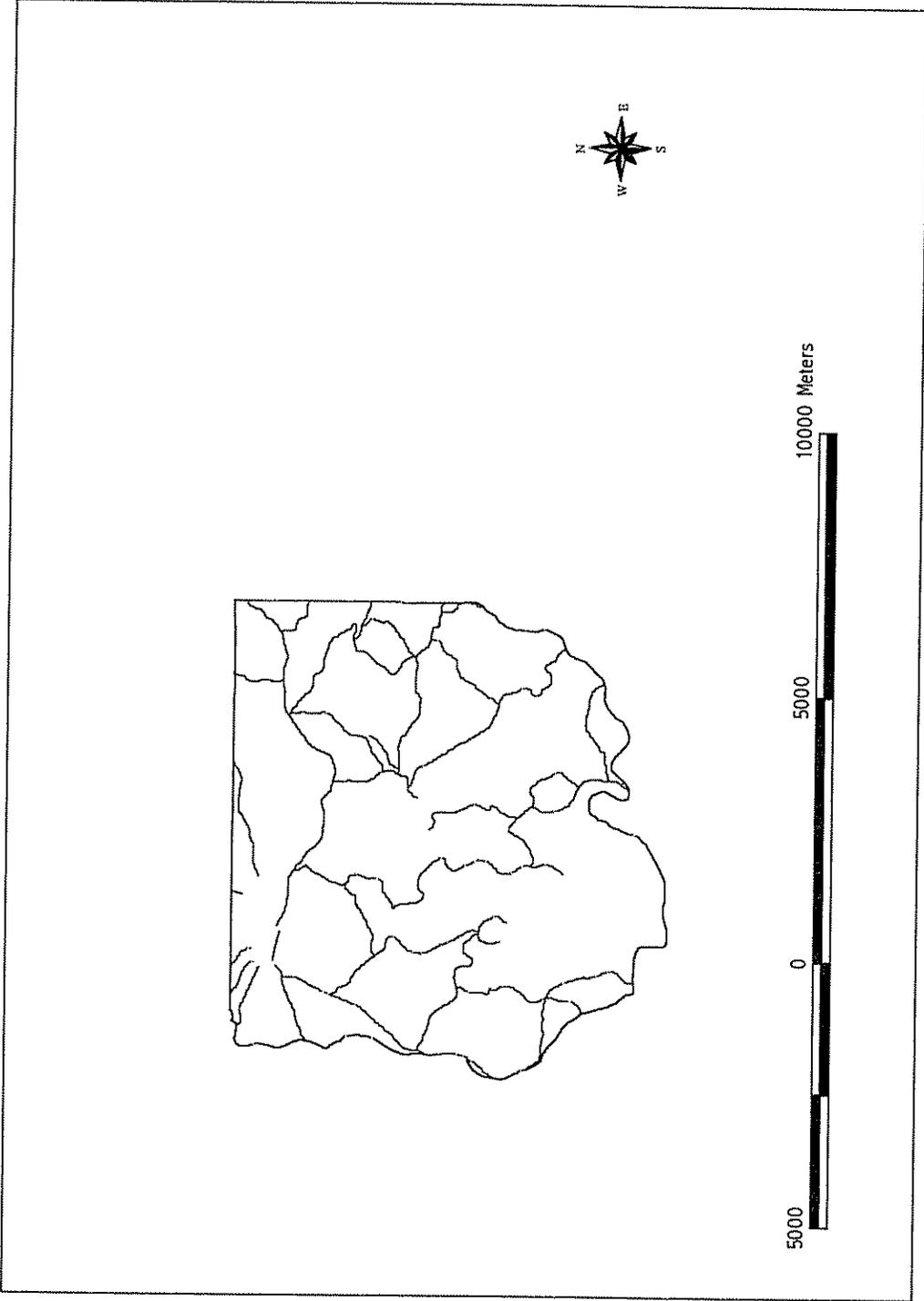
8. ANEXOS



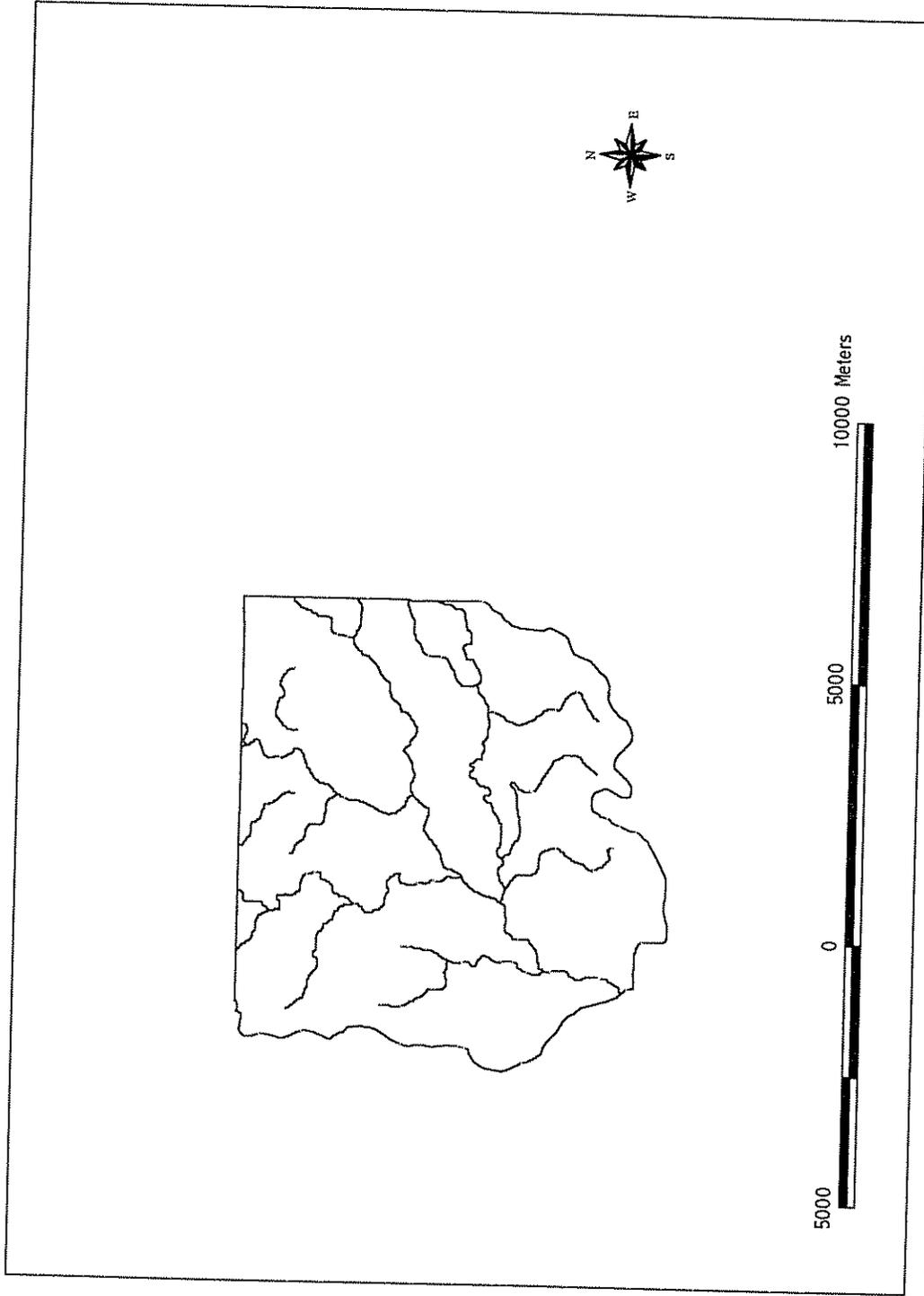
Anexo 1. Uso potencial del suelo en la parte baja de la Cuenca del Río Bulbul.



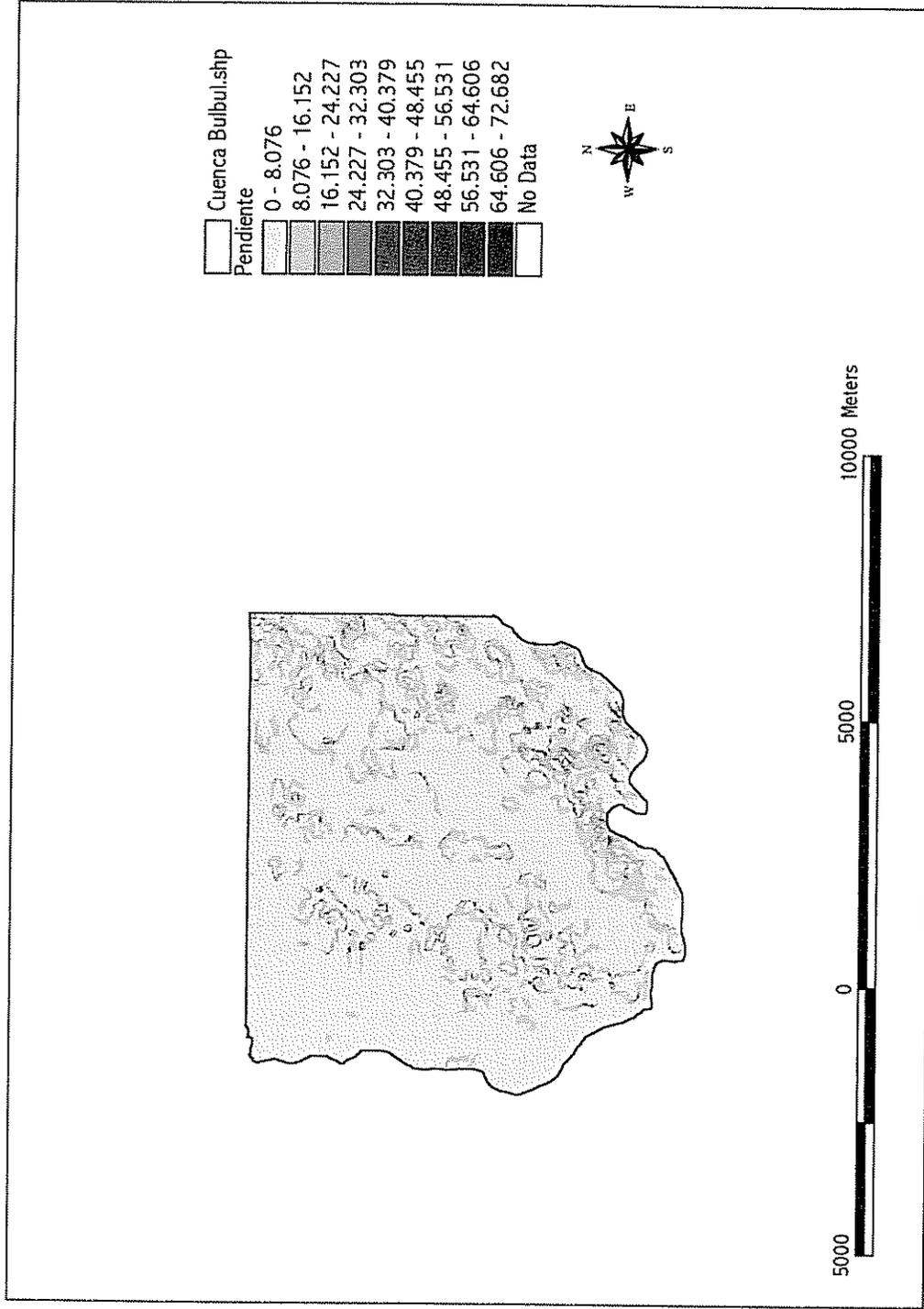
Anexo 2. Distribución de los 2000 puntos de muestreo dentro de la parte baja de la Cuenca del Río Bulbul.



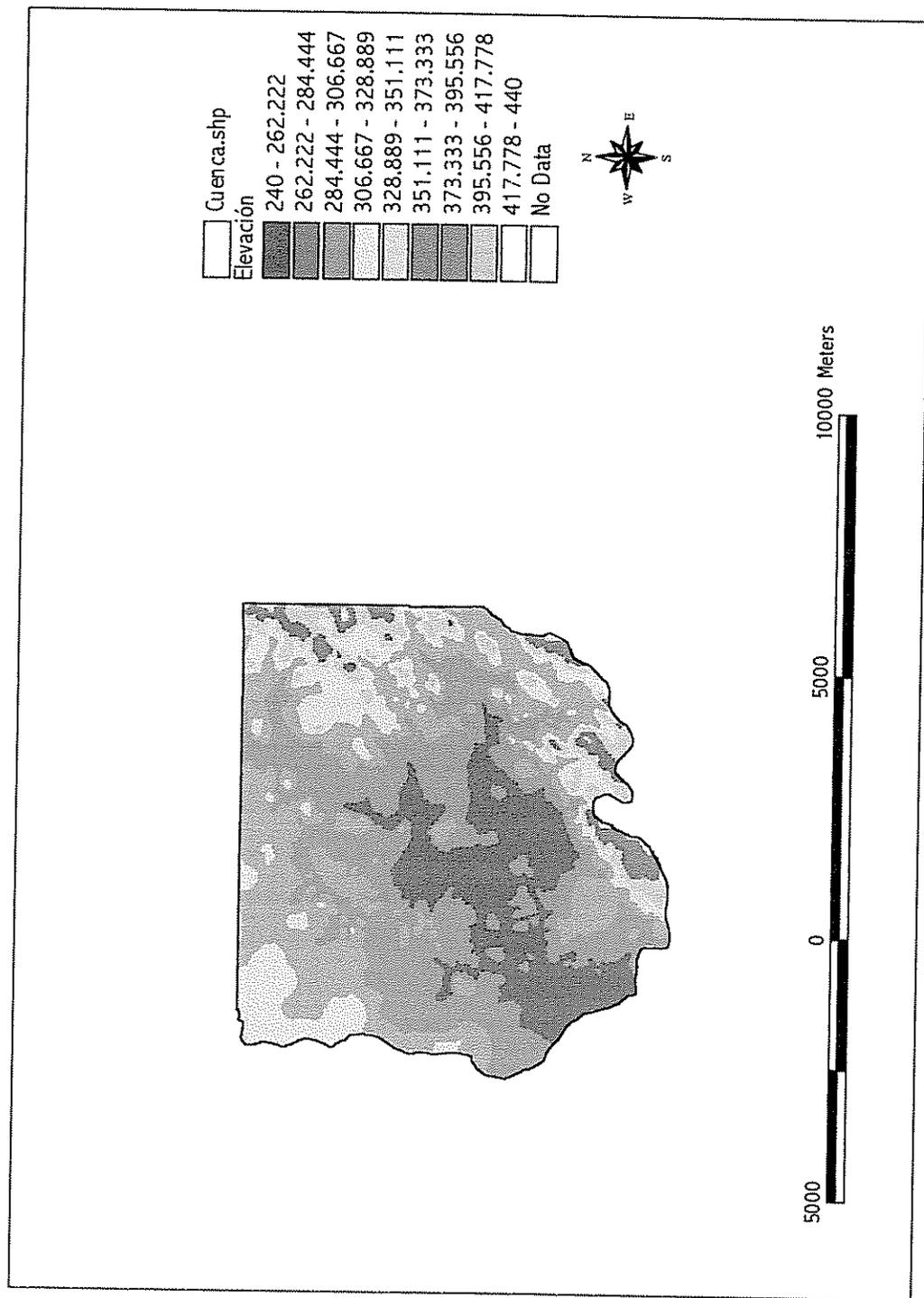
Anexo 3. Vías de acceso en la parte baja de la Cuenca del Río Bulbul.



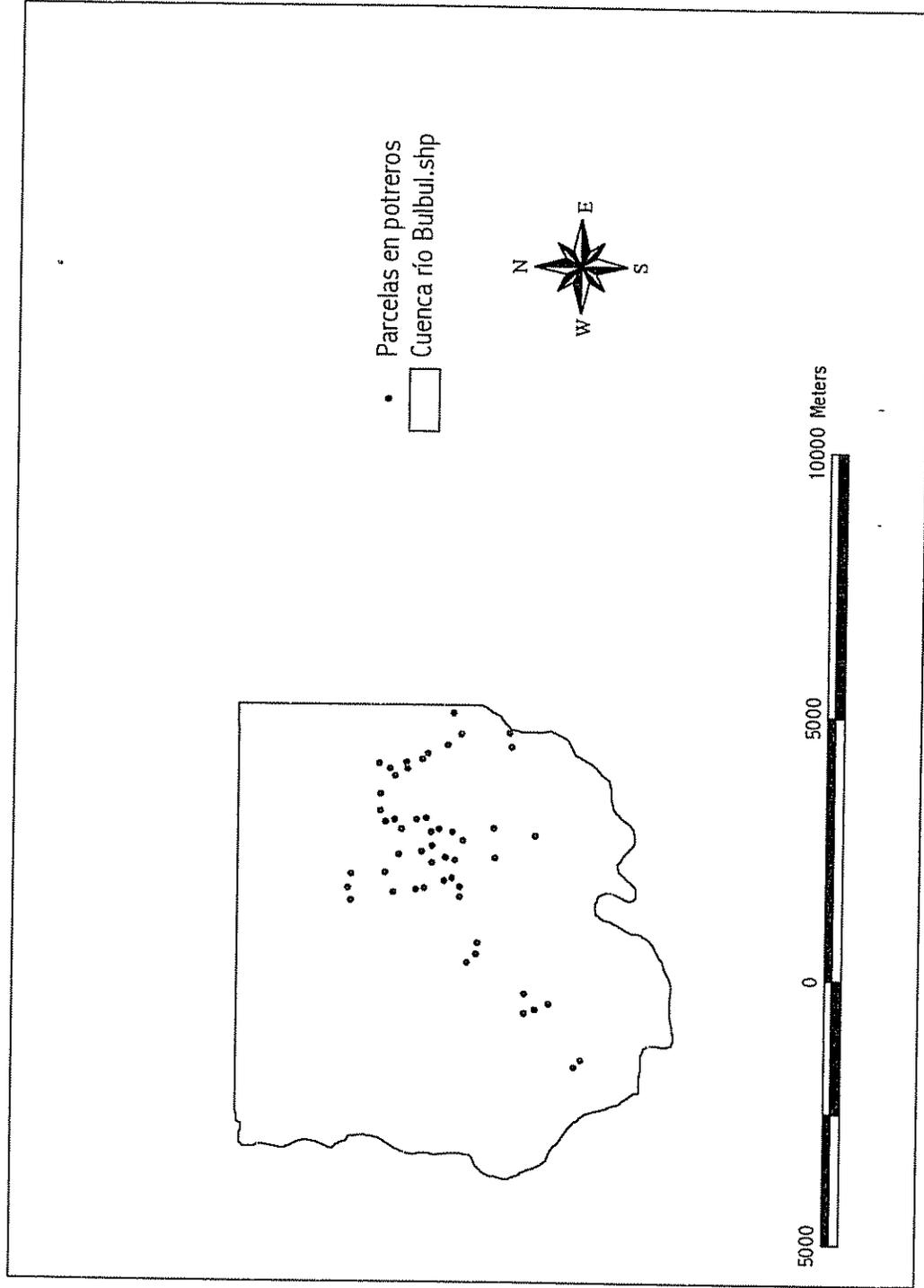
Anexo 4. Red de drenaje en la parte baja de la Cuenca del Río Bulbul.



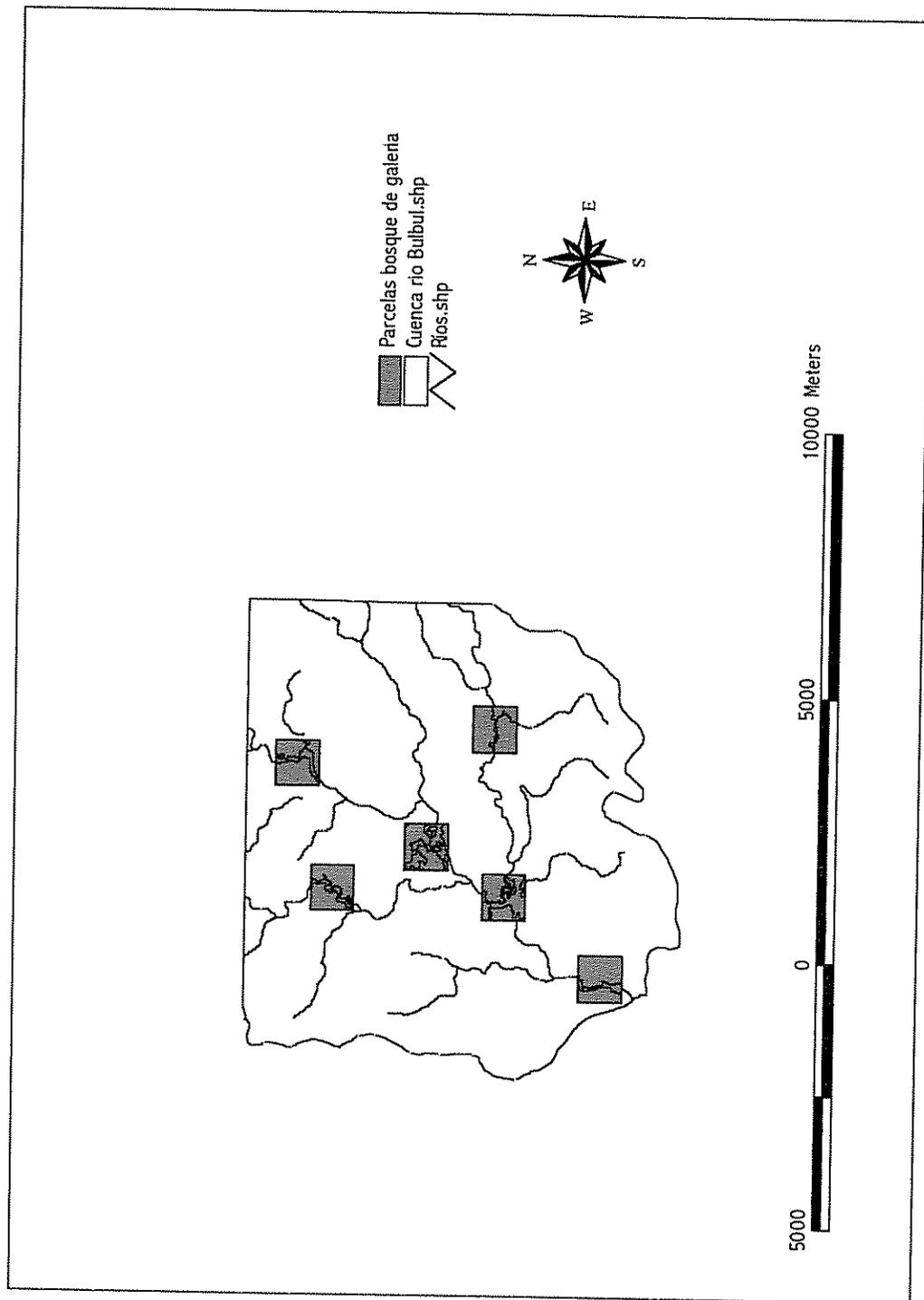
Anexo 5. Grados de pendientes del terreno en la parte baja de la Cuenca del Río Bulbul.



Anexo 6. Altitud del terreno (msnm) en la parte baja de la Cuenca del Río Bulbul.



Anexo 7. Distribución de las parcelas en potreros en la parte baja de la Cuenca del Río Bulbul.



Anexo 8. Distribución de las parcelas de bosque de galería en la parte baja de la Cuenca del Río Bulbul.

Anexo 9. Análisis de varianza para el efecto de los años en el cambio de cobertura de árboles en potreros.

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	Pr > F
Entre parcelas	51	14975.7906	293.6430		
Dentro parcelas	178	22877.3586	128.5245		
Años	4	1738.1522	434.5381	3.58	0.0079
Residual	174	21139.2064	121.4897		

Anexo 10. Análisis de varianza para el efecto de los años en el cambio de cobertura de bosque de galería.

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	Pr > F
Entre parcelas	5	7428.0314	1485.6063		
Dentro parcelas	18	4778.8439	265.4913		
Años	3	1428.2973	476.0991	2.13	0.1390
Residual	15	3350.5466	223.3698		

Anexo 11. Matriz de correlación entre las variables biofísicas.

Variabes	pasto	cober	penetro	dap	mo	carga	pend	fordis
pasto	1.0000	-0.2140	0.3156	-0.0883	-0.1071	-0.1559	-0.1737	0.5632
cober	-0.2140	1.0000	-0.2493	-0.1318	-0.2661	0.1259	-0.0154	0.1142
penetro	0.3156	-0.2493	1.0000	0.2089	0.0436	-0.0723	-0.0612	0.0188
dap	-0.0883	-0.1318	0.2089	1.0000	-0.0565	0.0794	-0.0833	-0.1429
mo	-0.1071	-0.2661	0.0436	-0.0565	1.0000	-0.1033	0.0190	-0.2146
carga	-0.1559	0.1259	-0.0723	0.0794	-0.1033	1.0000	-0.1912	-0.0610
pend	-0.1737	-0.0154	-0.0612	-0.0833	0.0190	-0.1912	1.0000	-0.0155
fordis	0.5632	0.1142	0.0188	-0.1429	-0.2146	-0.0610	-0.0155	1.0000

Anexo 12. Matriz de correlación entre las variables socioeconómicas.

Variabes	kuap	mobra	trans	regman	regcon	dec	atec	suple	maleza
kuap	1.0000	0.5097	-0.0579	-0.2371	0.1044	0.1076	0.3777	0.1755	-0.0188
mobra	0.5097	1.0000	-0.0054	0.0575	0.2880	-0.2804	0.3331	0.3781	0.1418
trans	-0.0579	-0.0054	1.0000	-0.1514	-0.1786	0.2474	-0.2844	0.1207	0.2931
regman	-0.2371	0.0575	-0.1514	1.0000	0.6684	-0.4346	0.3881	0.3237	0.5723
regcon	0.1044	0.2880	-0.1786	0.6684	1.0000	-0.2905	0.4680	0.4067	0.6473
dec	0.1076	-0.2804	0.2474	-0.4346	-0.2905	1.0000	-0.6207	-0.2955	-0.1183
atec	0.3777	0.3331	-0.2844	0.3881	0.4680	-0.6207	1.0000	0.1779	0.3849
suple	0.1755	0.3781	0.1207	0.3237	0.4067	-0.2955	0.1779	1.0000	0.2291
maleza	-0.0188	0.1418	0.2931	0.5723	0.6473	-0.1183	0.3849	0.2291	1.0000

Anexo 13. Matriz de correlación entre las variables biofísicas y socioeconómicas.

Variabes	kuap	mobra	trans	regman	regcon	dec	atec	suple	maleza
pasto	0.5148	0.2748	-0.1637	-0.2806	-0.1336	-0.0949	0.2569	-0.0712	-0.2147
cober	-0.1900	-0.3580	-0.0995	0.0078	0.1246	0.1054	-0.1140	-0.2494	0.0471
penetro	0.4785	0.4284	0.1018	0.0514	0.1919	-0.2242	0.2780	0.3706	0.1609
dap	0.1540	0.3466	-0.3506	0.1467	0.2157	-0.3714	0.3271	0.2443	-0.0010
mo	-0.1540	-0.1841	0.1005	-0.1181	-0.1345	-0.0942	-0.0498	0.1820	0.0779
carga	-0.2522	0.1404	0.0340	0.3561	0.0999	0.0395	-0.1591	0.0331	0.3741
pend	-0.1852	-0.2792	-0.1339	-0.0308	-0.1720	0.2715	-0.2465	0.0009	-0.1147
fordis	-0.0949	0.0842	-0.0630	-0.2544	-0.1488	-0.0548	-0.1657	-0.1398	-0.3323

Anexo 14. Valores estandarizados de las variables biofísicas.

parcela	pasto	cober	penetro	dap	mo	carga	pend	fordis
1	1.33499	2.05476	0.58263	-1.47671	-1.75453	0.36788	-0.76342	0.84364
2	0.47855	0.84093	0.58263	-1.29503	1.24754	0.36788	0.29251	0.25921
3	1.51475	-0.05325	0.58263	-1.47671	0.05890	0.36788	0.70816	0.96630
4	-0.25086	0.32806	-1.01194	-1.47671	-2.33361	-0.53539	0.93263	-0.20663
5	-0.53864	-1.22802	0.58263	-1.90062	1.39993	-0.53539	0.82408	-0.41548
6	-0.03567	-0.50137	0.58263	-1.84006	1.11039	-0.53539	-1.01401	-0.05046
7	0.84411	-1.23316	0.58263	-0.93168	1.08499	-0.53539	-1.01401	0.58801
8	-0.78581	-0.02241	0.58263	0.94565	0.89705	-0.79346	0.05638	-0.40001
9	0.22360	-0.43250	-1.01194	-1.71895	2.31427	-0.79346	-0.68522	1.30926
10	0.80004	0.60351	0.58263	-0.50776	-0.28651	1.36793	0.06973	1.81250
11	1.24338	1.50078	-1.01194	-0.02329	-2.08471	-0.50313	1.12398	5.63284
12	-0.98717	1.99309	-1.01194	-2.50621	-0.92655	-0.76120	-0.78103	-0.74098
13	-0.98717	1.29111	-1.01194	-0.99224	-0.26111	-1.40639	2.25339	-0.74098
14	-0.86964	-0.38831	0.58263	-0.02329	-0.80463	0.04529	-0.60274	-0.65289
15	0.36274	0.12662	0.58263	0.58230	-0.77416	0.04529	-1.01401	0.27079
16	0.41546	-0.88165	0.58263	-0.08385	-1.20085	0.04529	0.60884	0.31030
17	0.86485	-1.15196	0.58263	-0.20497	0.10462	-0.53539	-0.30741	-0.08964
18	3.06084	-1.18691	0.58263	-1.17391	-0.13920	-0.53539	-0.39693	0.68267
19	1.55796	-0.17042	0.58263	0.21895	-1.20085	-0.53539	-0.44781	0.15412
20	-0.39691	-0.07483	0.58263	1.36957	0.34844	-0.53539	-1.01401	-0.53339
21	1.55796	1.43911	0.58263	0.52174	0.21129	-0.53539	-1.01401	0.15412
22	2.51897	-1.12935	0.58263	0.58230	-0.53541	-0.53539	-0.20724	0.49210
23	1.65562	-1.25680	0.58263	1.97516	0.78021	-0.53539	-1.01401	0.18847
24	1.05412	-0.14061	0.58263	0.94565	0.42464	-0.53539	-0.90748	-0.02308
25	-0.72359	-0.92790	0.58263	0.88510	-0.20524	-0.53539	-1.01401	-0.64828
26	-0.62247	1.10199	0.58263	0.27950	-0.20524	0.30336	-1.01401	-0.55974
27	-0.95606	1.17805	0.58263	-0.02329	0.00303	0.30336	-0.27618	-0.72552
28	0.56324	-0.81690	0.58263	1.24845	0.54147	0.30336	0.04132	0.02951
29	-0.14369	-0.56201	0.58263	0.88510	-1.69865	0.30336	-0.34826	-0.32181
30	-0.86878	0.99099	0.58263	0.88510	-0.68272	0.30336	-1.01401	-0.68215
31	0.44916	-1.25782	-1.01194	-0.26553	1.14595	-0.11601	0.64173	-0.00313
32	-0.76248	-0.31945	0.58263	0.70342	0.42464	-0.11601	1.13965	-0.62555
33	0.10088	-1.15607	0.58263	-0.20497	0.48051	-0.11601	2.62924	-0.18204
34	0.20286	-0.68945	0.58263	0.15839	0.09446	-0.11601	2.19587	-0.12965
35	-0.98717	1.52442	0.58263	-0.02329	0.74974	-0.11601	1.58560	-0.74098
36	0.48027	0.25304	0.58263	0.64286	0.06398	-0.40635	-0.63569	0.68650
37	-0.80223	0.86766	0.58263	0.70342	-1.12973	-0.40635	0.94194	-0.56108
38	-0.98717	1.01771	-2.60651	0.09783	1.14595	-0.53539	0.51760	-0.74098
39	-0.06246	-0.23517	-1.01194	0.82454	-0.37287	-0.53539	-0.01035	-0.03635
40	-0.98717	0.00020	-2.60651	1.00621	0.10462	-0.53539	0.79993	-0.74098
41	-0.98717	1.46481	-1.01194	0.88510	-0.37287	-0.53539	1.22698	-0.74098
42	-0.50926	-1.23521	0.58263	1.00621	0.29257	1.52922	-1.01401	-0.46786
43	-0.59136	-0.43353	-2.60651	-1.71895	-0.14936	1.52922	-1.01401	-0.51478
44	-0.63716	-1.06357	0.58263	0.27950	-0.14936	1.52922	1.73761	-0.54095
45	-0.98717	-1.04507	-1.01194	-0.62888	1.39993	-1.66447	0.70456	-0.74098
46	-0.94223	-0.29170	0.58263	1.12733	-0.08841	2.52927	0.02242	-0.63825
47	-0.15406	1.98795	-1.01194	0.21895	1.12055	1.65826	-1.01401	0.84609
48	-0.98717	0.37329	0.58263	0.21895	1.50152	2.56153	-0.23950	-0.74098
49	-0.48852	0.16053	-1.01194	0.27950	-2.03391	1.46470	-1.01401	0.29532
50	-0.98717	0.52437	-2.60651	-0.02329	-0.59637	2.56153	-1.01401	-0.74098
51	-0.50667	-1.28763	0.58263	0.52174	0.16558	-1.53543	-0.80869	0.35746
52	-0.75124	-0.44998	0.58263	0.52174	0.77005	-1.53543	0.55991	-0.20164

Anexo 15. Valores estandarizados de las variables socioeconómicas.

parcela	kuap	mobra	trans	regman	regcon	dec	atec	suple	maleza
1	0.70301	-1.39934	-0.54243	-0.48324	-0.32301	1.11203	-0.69020	-1.33363	-0.33126
2	0.70301	-1.39934	-0.54243	-0.48324	-0.32301	1.11203	-0.69020	-1.33363	-0.33126
3	0.70301	-1.39934	-0.54243	-0.48324	-0.32301	1.11203	-0.69020	-1.33363	-0.33126
4	0.21253	0.11661	1.80810	-0.48324	-0.32301	1.11203	-0.69020	-0.69151	0.81711
5	0.21253	0.11661	1.80810	-0.48324	-0.32301	1.11203	-0.69020	-0.69151	0.81711
6	0.21253	0.11661	1.80810	-0.48324	-0.32301	1.11203	-0.69020	-0.69151	0.81711
7	0.21253	0.11661	1.80810	-0.48324	-0.32301	1.11203	-0.69020	-0.69151	0.81711
8	-1.25774	-0.64136	1.80810	-0.48324	-0.32301	-0.88196	-0.69020	1.23484	-0.33126
9	-1.25774	-0.64136	1.80810	-0.48324	-0.32301	-0.88196	-0.69020	1.23484	-0.33126
10	-1.01738	0.11661	-0.54243	-0.48324	-0.32301	1.11203	-0.69020	-1.33363	-0.33126
11	-1.52859	0.87458	-0.54243	-0.48324	-0.32301	-0.88196	-0.69020	-0.69151	-1.47963
12	-0.92462	-2.15731	1.80810	-0.48324	-0.32301	1.11203	-0.69020	-0.69151	-0.33126
13	-1.54746	-2.91528	-0.54243	2.02959	-0.32301	-0.88196	1.42100	-1.33363	0.81711
14	1.49433	0.87458	1.80810	-0.48324	-0.32301	1.11203	-0.69020	1.23484	-0.33126
15	1.49433	0.87458	1.80810	-0.48324	-0.32301	1.11203	-0.69020	1.23484	-0.33126
16	1.49433	0.87458	1.80810	-0.48324	-0.32301	1.11203	-0.69020	1.23484	-0.33126
17	1.38610	0.87458	-0.54243	-0.48324	-0.32301	-0.88196	1.42100	-0.04939	-0.33126
18	1.38610	0.87458	-0.54243	-0.48324	-0.32301	-0.88196	1.42100	-0.04939	-0.33126
19	1.38610	0.87458	-0.54243	-0.48324	-0.32301	-0.88196	1.42100	-0.04939	-0.33126
20	1.38610	0.87458	-0.54243	-0.48324	-0.32301	-0.88196	1.42100	-0.04939	-0.33126
21	1.38610	0.87458	-0.54243	-0.48324	-0.32301	-0.88196	1.42100	-0.04939	-0.33126
22	1.38610	0.87458	-0.54243	-0.48324	-0.32301	-0.88196	1.42100	-0.04939	-0.33126
23	1.38610	0.87458	-0.54243	-0.48324	-0.32301	-0.88196	1.42100	-0.04939	-0.33126
24	1.38610	0.87458	-0.54243	-0.48324	-0.32301	-0.88196	1.42100	-0.04939	-0.33126
25	1.38610	0.87458	-0.54243	-0.48324	-0.32301	-0.88196	1.42100	-0.04939	-0.33126
26	0.37891	0.87458	-0.54243	2.02959	3.03632	-0.88196	1.42100	1.23484	1.96547
27	0.37891	0.87458	-0.54243	2.02959	3.03632	-0.88196	1.42100	1.23484	1.96547
28	0.37891	0.87458	-0.54243	2.02959	3.03632	-0.88196	1.42100	1.23484	1.96547
29	0.37891	0.87458	-0.54243	2.02959	3.03632	-0.88196	1.42100	1.23484	1.96547
30	0.37891	0.87458	-0.54243	2.02959	3.03632	-0.88196	1.42100	1.23484	1.96547
31	0.34335	0.11661	-0.54243	-0.48324	-0.32301	1.11203	-0.69020	1.23484	-0.33126
32	0.34335	0.11661	-0.54243	-0.48324	-0.32301	1.11203	-0.69020	1.23484	-0.33126
33	0.34335	0.11661	-0.54243	-0.48324	-0.32301	1.11203	-0.69020	1.23484	-0.33126
34	0.34335	0.11661	-0.54243	-0.48324	-0.32301	1.11203	-0.69020	1.23484	-0.33126
35	0.34335	0.11661	-0.54243	-0.48324	-0.32301	1.11203	-0.69020	1.23484	-0.33126
36	0.42826	0.87458	-0.54243	-0.48324	-0.32301	-0.88196	-0.69020	-0.69151	-1.47963
37	0.42826	0.87458	-0.54243	-0.48324	-0.32301	-0.88196	-0.69020	-0.69151	-1.47963
38	-0.28961	-1.39934	-0.54243	-0.48324	-0.32301	1.11203	-0.69020	-1.33363	-0.33126
39	-0.28961	-1.39934	-0.54243	-0.48324	-0.32301	1.11203	-0.69020	-1.33363	-0.33126
40	-0.28961	-1.39934	-0.54243	-0.48324	-0.32301	1.11203	-0.69020	-1.33363	-0.33126
41	-0.28961	-1.39934	-0.54243	-0.48324	-0.32301	1.11203	-0.69020	-1.33363	-0.33126
42	-1.10837	0.11661	-0.54243	2.02959	-0.32301	-0.88196	-0.69020	0.59272	-0.33126
43	-1.10837	0.11661	-0.54243	2.02959	-0.32301	-0.88196	-0.69020	0.59272	-0.33126
44	-1.10837	0.11661	-0.54243	2.02959	-0.32301	-0.88196	-0.69020	0.59272	-0.33126
45	-1.31621	-0.64136	-0.54243	-0.48324	-0.32301	-0.88196	1.42100	-0.04939	-0.33126
46	-1.29290	-0.64136	1.80810	2.02959	-0.32301	-0.88196	1.42100	-0.04939	1.96547
47	-1.26087	-2.15731	-0.54243	-0.48324	-0.32301	-0.88196	-0.69020	1.23484	-0.33126
48	-1.16199	0.87458	1.80810	-0.48324	-0.32301	-0.88196	-0.69020	-0.04939	3.11384
49	-0.74971	0.11661	-0.54243	-0.48324	-0.32301	1.11203	-0.69020	-1.33363	-0.33126
50	-1.17546	0.87458	-0.54243	-0.48324	-0.32301	1.11203	-0.69020	-1.97574	-0.33126
51	-1.17437	-0.64136	-0.54243	-0.48324	-0.32301	-0.88196	-0.69020	-0.04939	-1.47963
52	-1.17437	-0.64136	-0.54243	-0.48324	-0.32301	-0.88196	-0.69020	-0.04939	-1.47963

Anexo 16. Scores compuestos individuales de las variables biofísicas.

parcela	pasto	cober	penetro	dap	mo	carga	pend	fordis	Total
1	-0.83250	-0.53999	-0.07965	0.33388	-0.18668	0.25814	-0.24628	0.28996	-1.00311
2	-0.29842	-0.22100	-0.07965	0.29281	0.13274	0.25814	0.09436	0.08909	0.26807
3	-0.94460	0.01399	-0.07965	0.33388	0.00627	0.25814	0.22845	0.33212	0.14861
4	0.15643	-0.08622	0.13833	0.33388	-0.24830	-0.37568	0.30087	-0.07102	0.14831
5	0.33590	0.32272	-0.07965	0.42973	0.14895	-0.37568	0.26585	-0.14280	0.90503
6	0.02224	0.13176	-0.07965	0.41604	0.11815	-0.37568	-0.32712	-0.01734	-0.11160
7	-0.52639	0.32407	-0.07965	0.21065	0.11544	-0.37568	-0.32712	0.20210	-0.45657
8	0.49003	0.00589	-0.07965	-0.21381	0.09545	-0.55677	0.01819	-0.13748	-0.37816
9	-0.13944	0.11366	0.13833	0.38865	0.24624	-0.55677	-0.22105	0.44999	0.41962
10	-0.49890	-0.15860	-0.07965	0.11481	-0.03048	0.95987	0.02250	0.62296	0.95249
11	-0.77537	-0.39440	0.13833	0.00527	-0.22181	-0.35304	0.36260	1.93601	0.69757
12	0.61560	-0.52378	0.13833	0.56665	-0.09858	-0.53414	-0.25196	-0.25468	-0.34255
13	0.61560	-0.33930	0.13833	0.22434	-0.02778	-0.98687	0.72694	-0.25468	0.09660
14	0.54231	0.10205	-0.07965	0.00527	-0.08561	0.03178	-0.19444	-0.22440	0.09730
15	-0.22620	-0.03327	-0.07965	-0.13166	-0.08237	0.03178	-0.32712	0.09307	-0.75543
16	-0.25908	0.23170	-0.07965	0.01896	-0.12777	0.03178	0.19641	0.10665	0.11900
17	-0.53932	0.30274	-0.07965	0.04634	0.01113	-0.37568	-0.09917	-0.03081	-0.76442
18	-1.90874	0.31192	-0.07965	0.26542	-0.01481	-0.37568	-0.12805	0.23464	-1.69495
19	-0.97154	0.04479	-0.07965	-0.04950	-0.12777	-0.37568	-0.14446	0.05297	-1.65085
20	0.24751	0.01967	-0.07965	-0.30966	0.03707	-0.37568	-0.32712	-0.18333	-0.97118
21	-0.97154	-0.37820	-0.07965	-0.11797	0.02248	-0.37568	-0.32712	0.05297	-2.17470
22	-1.57083	0.29679	-0.07965	-0.13166	-0.05697	-0.37568	-0.06686	0.16914	-1.81571
23	-1.03244	0.33029	-0.07965	-0.44658	0.08301	-0.37568	-0.32712	0.06478	-1.78339
24	-0.65735	0.03695	-0.07965	-0.21381	0.04518	-0.37568	-0.29275	-0.00793	-1.54504
25	0.45123	0.24385	-0.07965	-0.20012	-0.02184	-0.37568	-0.32712	-0.22281	-0.53214
26	0.38817	-0.28960	-0.07965	-0.06320	-0.02184	0.21287	-0.32712	-0.19238	-0.37274
27	0.59620	-0.30959	-0.07965	0.00527	0.00032	0.21287	-0.08909	-0.24936	0.08696
28	-0.35124	0.21468	-0.07965	-0.28227	0.05761	0.21287	0.01333	0.01014	-0.20452
29	0.08961	0.14770	-0.07965	-0.20012	-0.18074	0.21287	-0.11235	-0.11061	-0.23329
30	0.54177	-0.26043	-0.07965	-0.20012	-0.07264	0.21287	-0.32712	-0.23445	-0.41977
31	-0.28010	0.33056	0.13833	0.06004	0.12193	-0.08141	0.20702	-0.00107	0.49530
32	0.47548	0.08395	-0.07965	-0.15904	0.04518	-0.08141	0.36765	-0.21500	0.43717
33	-0.06291	0.30382	-0.07965	0.04634	0.05113	-0.08141	0.84819	-0.06257	0.96295
34	-0.12650	0.18119	-0.07965	-0.03581	0.01005	-0.08141	0.70839	-0.04456	0.53170
35	0.61560	-0.40062	-0.07965	0.00527	0.07977	-0.08141	0.51151	-0.25468	0.39581
36	-0.29950	-0.06650	-0.07965	-0.14535	0.00681	-0.28513	-0.20508	0.23595	-0.83844
37	0.50027	-0.22802	-0.07965	-0.15904	-0.12020	-0.28513	0.30387	-0.19284	-0.26075
38	0.61560	-0.26746	0.35631	-0.02212	0.12193	-0.37568	0.16698	-0.25468	0.34089
39	0.03895	0.06180	0.13833	-0.18643	-0.03967	-0.37568	-0.00334	-0.01249	-0.37853
40	0.61560	-0.00005	0.35631	-0.22750	0.01113	-0.37568	0.25806	-0.25468	0.38319
41	0.61560	-0.38495	0.13833	-0.20012	-0.03967	-0.37568	0.39582	-0.25468	-0.10534
42	0.31757	0.32461	-0.07965	-0.22750	0.03113	1.07306	-0.32712	-0.16080	0.95130
43	0.36877	0.11393	0.35631	0.38865	-0.01589	1.07306	-0.32712	-0.17693	1.78079
44	0.39734	0.27951	-0.07965	-0.06320	-0.01589	1.07306	0.56055	-0.18593	1.96579
45	0.61560	0.27464	0.13833	0.14219	0.14895	-1.16796	0.22729	-0.25468	0.12438
46	0.58758	0.07666	-0.07965	-0.25489	-0.00941	1.77479	0.00723	-0.21937	1.88295
47	0.09607	-0.52243	0.13833	-0.04950	0.11923	1.16360	-0.32712	0.29080	0.90898
48	0.61560	-0.09810	-0.07965	-0.04950	0.15976	1.79742	-0.07726	-0.25468	2.01360
49	0.30464	-0.04219	0.13833	-0.06320	-0.21641	1.02778	-0.32712	0.10150	0.92334
50	0.61560	-0.13781	0.35631	0.00527	-0.06345	1.79742	-0.32712	-0.25468	1.99155
51	0.31596	0.33839	-0.07965	-0.11797	0.01762	-1.07741	-0.26088	0.12286	-0.74109
52	0.46847	0.11825	-0.07965	-0.11797	0.08193	-1.07741	0.18063	-0.06930	-0.49504

Anexo 17. Scores compuestos individuales de las variables socioeconómicas.

parcela	kuap	mobra	trans	regman	regcon	dec	atec	suple	maleza	Total
1	-0.49984	-0.52629	0.15931	-0.19305	0.18854	0.45538	0.25392	-0.24379	-0.18577	-0.59159
2	-0.49984	-0.52629	0.15931	-0.19305	0.18854	0.45538	0.25392	-0.24379	-0.18577	-0.59159
3	-0.49984	-0.52629	0.15931	-0.19305	0.18854	0.45538	0.25392	-0.24379	-0.18577	-0.59159
4	-0.15111	0.04386	-0.53104	-0.19305	0.18854	0.45538	0.25392	-0.12641	0.45823	0.39833
5	-0.15111	0.04386	-0.53104	-0.19305	0.18854	0.45538	0.25392	-0.12641	0.45823	0.39833
6	-0.15111	0.04386	-0.53104	-0.19305	0.18854	0.45538	0.25392	-0.12641	0.45823	0.39833
7	-0.15111	0.04386	-0.53104	-0.19305	0.18854	0.45538	0.25392	-0.12641	0.45823	0.39833
8	0.89426	-0.24122	-0.53104	-0.19305	0.18854	-0.36116	0.25392	0.22573	-0.18577	0.05021
9	0.89426	-0.24122	-0.53104	-0.19305	0.18854	-0.36116	0.25392	0.22573	-0.18577	0.05021
10	0.72336	0.04386	0.15931	-0.19305	0.18854	0.45538	0.25392	-0.24379	-0.18577	1.20176
11	1.08683	0.32893	0.15931	-0.19305	0.18854	-0.36116	0.25392	-0.12641	-0.82977	0.50714
12	0.65740	-0.81136	-0.53104	-0.19305	0.18854	0.45538	0.25392	-0.12641	-0.18577	-0.29239
13	1.10025	-1.09644	0.15931	0.81082	0.18854	-0.36116	-0.52279	-0.24379	0.45823	0.49298
14	-1.06247	0.32893	-0.53104	-0.19305	0.18854	0.45538	0.25392	0.22573	-0.18577	-0.51982
15	-1.06247	0.32893	-0.53104	-0.19305	0.18854	0.45538	0.25392	0.22573	-0.18577	-0.51982
16	-1.06247	0.32893	-0.53104	-0.19305	0.18854	0.45538	0.25392	0.22573	-0.18577	-0.51982
17	-0.98552	0.32893	0.15931	-0.19305	0.18854	-0.36116	-0.52279	-0.00903	-0.18577	-1.58053
18	-0.98552	0.32893	0.15931	-0.19305	0.18854	-0.36116	-0.52279	-0.00903	-0.18577	-1.58053
19	-0.98552	0.32893	0.15931	-0.19305	0.18854	-0.36116	-0.52279	-0.00903	-0.18577	-1.58053
20	-0.98552	0.32893	0.15931	-0.19305	0.18854	-0.36116	-0.52279	-0.00903	-0.18577	-1.58053
21	-0.98552	0.32893	0.15931	-0.19305	0.18854	-0.36116	-0.52279	-0.00903	-0.18577	-1.58053
22	-0.98552	0.32893	0.15931	-0.19305	0.18854	-0.36116	-0.52279	-0.00903	-0.18577	-1.58053
23	-0.98552	0.32893	0.15931	-0.19305	0.18854	-0.36116	-0.52279	-0.00903	-0.18577	-1.58053
24	-0.98552	0.32893	0.15931	-0.19305	0.18854	-0.36116	-0.52279	-0.00903	-0.18577	-1.58053
25	-0.98552	0.32893	0.15931	-0.19305	0.18854	-0.36116	-0.52279	-0.00903	-0.18577	-1.58053
26	-0.26941	0.32893	0.15931	0.81082	-1.77230	-0.36116	-0.52279	0.22573	1.10224	-0.29863
27	-0.26941	0.32893	0.15931	0.81082	-1.77230	-0.36116	-0.52279	0.22573	1.10224	-0.29863
28	-0.26941	0.32893	0.15931	0.81082	-1.77230	-0.36116	-0.52279	0.22573	1.10224	-0.29863
29	-0.26941	0.32893	0.15931	0.81082	-1.77230	-0.36116	-0.52279	0.22573	1.10224	-0.29863
30	-0.26941	0.32893	0.15931	0.81082	-1.77230	-0.36116	-0.52279	0.22573	1.10224	-0.29863
31	-0.24412	0.04386	0.15931	-0.19305	0.18854	0.45538	0.25392	0.22573	-0.18577	0.70380
32	-0.24412	0.04386	0.15931	-0.19305	0.18854	0.45538	0.25392	0.22573	-0.18577	0.70380
33	-0.24412	0.04386	0.15931	-0.19305	0.18854	0.45538	0.25392	0.22573	-0.18577	0.70380
34	-0.24412	0.04386	0.15931	-0.19305	0.18854	0.45538	0.25392	0.22573	-0.18577	0.70380
35	-0.24412	0.04386	0.15931	-0.19305	0.18854	0.45538	0.25392	0.22573	-0.18577	0.70380
36	-0.30450	0.32893	0.15931	-0.19305	0.18854	-0.36116	0.25392	-0.12641	-0.82977	-0.88418
37	-0.30450	0.32893	0.15931	-0.19305	0.18854	-0.36116	0.25392	-0.12641	-0.82977	-0.88418
38	0.20592	-0.52629	0.15931	-0.19305	0.18854	0.45538	0.25392	-0.24379	-0.18577	0.11417
39	0.20592	-0.52629	0.15931	-0.19305	0.18854	0.45538	0.25392	-0.24379	-0.18577	0.11417
40	0.20592	-0.52629	0.15931	-0.19305	0.18854	0.45538	0.25392	-0.24379	-0.18577	0.11417
41	0.20592	-0.52629	0.15931	-0.19305	0.18854	0.45538	0.25392	-0.24379	-0.18577	0.11417
42	0.78805	0.04386	0.15931	0.81082	0.18854	-0.36116	0.25392	0.10835	-0.18577	1.80593
43	0.78805	0.04386	0.15931	0.81082	0.18854	-0.36116	0.25392	0.10835	-0.18577	1.80593
44	0.78805	0.04386	0.15931	0.81082	0.18854	-0.36116	0.25392	0.10835	-0.18577	1.80593
45	0.93583	-0.24122	0.15931	-0.19305	0.18854	-0.36116	-0.52279	-0.00903	-0.18577	-0.22933
46	0.91925	-0.24122	-0.53104	0.81082	0.18854	-0.36116	-0.52279	-0.00903	1.10224	1.35562
47	0.89648	-0.81136	0.15931	-0.19305	0.18854	-0.36116	0.25392	0.22573	-0.18577	0.17264
48	0.82617	0.32893	-0.53104	-0.19305	0.18854	-0.36116	0.25392	-0.00903	1.74624	2.24953
49	0.53304	0.04386	0.15931	-0.19305	0.18854	0.45538	0.25392	-0.24379	-0.18577	1.01144
50	0.83575	0.32893	0.15931	-0.19305	0.18854	0.45538	0.25392	-0.36117	-0.18577	1.48185
51	0.83498	-0.24122	0.15931	-0.19305	0.18854	-0.36116	0.25392	-0.00903	-0.82977	-0.19748
52	0.83498	-0.24122	0.15931	-0.19305	0.18854	-0.36116	0.25392	-0.00903	-0.82977	-0.19748

Anexo 18. Valores originales de las variables biofísicas evaluadas.

parcela	pasto	cober	penetro	dap	mo	carga	pend	fordis
1	2149.6	32.78	2	0.91	4.29	1.03	1.1785	32.08
2	1356.8	20.97	2	0.94	10.20	1.03	6.1445	20.25
3	2316.0	12.27	2	0.91	7.86	1.03	8.0993	34.57
4	681.6	15.98	1	0.91	3.15	0.75	9.1550	10.82
5	415.2	0.84	2	0.84	10.50	0.75	8.6445	6.59
6	880.8	7.91	2	0.85	9.93	0.75	0.0000	13.98
7	1695.2	0.79	2	1.00	9.88	0.75	0.0000	26.91
8	186.4	12.57	2	1.31	9.51	0.67	5.0340	6.90
9	1120.8	8.58	1	0.87	12.30	0.67	1.5463	41.51
10	1654.4	18.66	2	1.07	7.18	1.34	5.0968	51.70
11	2064.8	27.39	1	1.15	3.64	0.76	10.0549	129.05
12	0.0	32.18	1	0.74	5.92	0.68	1.0957	0.00
13	0.0	25.35	1	0.99	7.23	0.48	15.3665	0.00
14	108.8	9.01	2	1.15	6.16	0.93	1.9342	1.78
15	1249.6	14.02	2	1.25	6.22	0.93	0.0000	20.49
16	1298.4	4.21	2	1.14	5.38	0.93	7.6322	21.29
17	1714.4	1.58	2	1.12	7.95	-0.75	3.3231	13.19
18	3747.2	1.24	2	0.96	7.47	0.75	2.9021	28.82
19	2356.0	11.13	2	1.19	5.38	0.75	2.6628	18.12
20	546.4	12.06	2	1.38	8.43	0.75	0.0000	4.20
21	2356.0	26.79	2	1.24	8.16	0.75	0.0000	18.12
22	3245.6	1.80	2	1.25	6.69	0.75	3.7942	24.97
23	2446.4	0.56	2	1.48	9.28	0.75	0.0000	18.82
24	1889.6	11.42	2	1.31	8.58	0.75	0.5010	14.54
25	244.0	3.76	2	1.30	7.34	0.75	0.0000	1.88
26	337.6	23.51	2	1.20	7.34	1.01	0.0000	3.67
27	28.8	24.25	2	1.15	7.75	1.01	3.4700	0.31
28	1435.2	4.84	2	1.36	8.81	1.01	4.9632	15.60
29	780.8	7.32	2	1.30	4.40	1.01	3.1310	8.49
30	109.6	22.43	2	1.30	6.40	1.01	0.0000	1.19
31	1329.6	0.55	1	1.11	10.00	0.88	7.7869	14.94
32	208.0	9.68	2	1.27	8.58	0.88	10.1286	2.34
33	1007.2	1.54	2	1.12	8.69	0.88	17.1341	11.32
34	1101.6	6.08	2	1.18	7.93	0.88	15.0960	12.38
35	0.0	27.62	2	1.15	9.22	0.88	12.2259	0.00
36	1358.4	15.25	2	1.26	7.87	0.79	1.7792	28.90
37	171.2	21.23	2	1.27	5.52	0.79	9.1988	3.64
38	0.0	22.69	0	1.17	10.00	0.75	7.2031	0.00
39	856.0	10.50	1	1.29	7.01	0.75	4.7202	14.27
40	0.0	12.79	0	1.32	7.95	0.75	8.5309	0.00
41	0.0	27.04	1	1.30	7.01	0.75	10.5393	0.00
42	442.4	0.77	2	1.32	8.32	1.39	0.0000	5.53
43	366.4	8.57	0	0.87	7.45	1.39	0.0000	4.58
44	324.0	2.44	2	1.20	7.45	1.39	12.9408	4.05
45	0.0	2.62	1	1.05	10.50	0.40	8.0824	0.00
46	41.6	9.95	2	1.34	7.57	1.70	4.8743	2.08
47	771.2	32.13	1	1.19	9.95	1.43	0.0000	32.13
48	0.0	16.42	2	1.19	10.70	1.71	3.6425	0.00
49	461.6	14.35	1	1.20	3.74	1.37	0.0000	20.98
50	0.0	17.89	0	1.15	6.57	1.71	0.0000	0.00
51	444.8	0.26	2	1.24	8.07	0.44	0.9656	22.24
52	218.4	8.41	2	1.24	9.26	0.44	7.4021	10.92

Anexo 19. Valores originales de las variables socioeconómicas evaluadas.

parcela	kuap	mobra	trans	regman	regcon	dec	atec	suple	maleza
1	703.48	3	0	0	0	1	0	1	2
2	703.48	3	0	0	0	1	0	1	2
3	703.48	3	0	0	0	1	0	1	2
4	595.35	5	1	0	0	1	0	2	3
5	595.35	5	1	0	0	1	0	2	3
6	595.35	5	1	0	0	1	0	2	3
7	595.35	5	1	0	0	1	0	2	3
8	271.22	4	1	0	0	0	0	5	2
9	271.22	4	1	0	0	0	0	5	2
10	324.21	5	0	0	0	1	0	1	2
11	211.51	6	0	0	0	0	0	2	1
12	344.66	2	1	0	0	1	0	2	2
13	207.35	1	0	1	0	0	1	1	3
14	877.93	6	1	0	0	1	0	5	2
15	877.93	6	1	0	0	1	0	5	2
16	877.93	6	1	0	0	1	0	5	2
17	854.07	6	0	0	0	0	1	3	2
18	854.07	6	0	0	0	0	1	3	2
19	854.07	6	0	0	0	0	1	3	2
20	854.07	6	0	0	0	0	1	3	2
21	854.07	6	0	0	0	0	1	3	2
22	854.07	6	0	0	0	0	1	3	2
23	854.07	6	0	0	0	0	1	3	2
24	854.07	6	0	0	0	0	1	3	2
25	854.07	6	0	0	0	0	1	3	2
26	632.03	6	0	1	1	0	1	5	4
27	632.03	6	0	1	1	0	1	5	4
28	632.03	6	0	1	1	0	1	5	4
29	632.03	6	0	1	1	0	1	5	4
30	632.03	6	0	1	1	0	1	5	4
31	624.19	5	0	0	0	1	0	5	2
32	624.19	5	0	0	0	1	0	5	2
33	624.19	5	0	0	0	1	0	5	2
34	624.19	5	0	0	0	1	0	5	2
35	624.19	5	0	0	0	1	0	5	2
36	642.91	6	0	0	0	0	0	2	1
37	642.91	6	0	0	0	0	0	2	1
38	484.65	3	0	0	0	1	0	1	2
39	484.65	3	0	0	0	1	0	1	2
40	484.65	3	0	0	0	1	0	1	2
41	484.65	3	0	0	0	1	0	1	2
42	304.15	5	0	1	0	0	0	4	2
43	304.15	5	0	1	0	0	0	4	2
44	304.15	5	0	1	0	0	0	4	2
45	258.33	4	0	0	0	0	1	3	2
46	263.47	4	1	1	0	0	1	3	4
47	270.53	2	0	0	0	0	0	5	2
48	292.33	6	1	0	0	0	0	3	5
49	383.22	5	0	0	0	1	0	1	2
50	289.36	6	0	0	0	1	0	0	2
51	289.60	4	0	0	0	0	0	3	1
52	289.60	4	0	0	0	0	0	3	1