

Determinación de zonas de conservación de suelos. Cuenca alta río Uribante, estados Mérida y Táchira-Venezuela

Determination of soil conservation areas.

High Uribante river basin, Mérida and Táchira States-Venezuela

Márquez B. Kretheis¹, Delgado E. Fernando¹, Pérez R. José¹ y López F. Roberto¹

Recibido: febrero 2012 / Aceptado: octubre 2012

Resumen

Este estudio corresponde a un proyecto ingenieril que plantea las bases para el manejo sostenible de suelos y aguas en la cuenca alta del río Uribante, estados Mérida y Táchira (Venezuela), a través de un Programa de Compensación por Servicios Ambientales, mediante la definición de áreas prioritarias de tratamiento conservacionista dirigido a controlar los escurrimientos en laderas, a fin de minimizar la tasa de sedimento que entra al embalse Uribante, ubicado aguas abajo. Para la determinación de la zona a intervenir por el programa, se estimaron tasas de degradación del suelo por erosión hídrica en la cuenca, aplicando la metodología FAO-PNUMA-UNESCO, publicada en español en 1980. Mientras que para el diseño de las prácticas se contemplaron las limitaciones y características de la zona, considerando: costo de los insumos, factibilidad técnica, facilidades de instalación y mantenimiento, requerimientos de asistencia institucional, así como la obtención de beneficios a corto plazo.

Palabras clave: Manejo sostenible de suelos; degradación de suelos; riesgo de erosión hídrica; erosión hídrica; programas de compensación por servicios ambientales; Andes venezolanos.

Abstract

This study corresponds to an engineering project that raises the foundations for soil and water sustainable management in the upper Uribante river basin, located in Mérida and Táchira states (Venezuela), through a Compensation Program for Environmental Services, by identifying priority areas for subsequent treatment with pre-design conservation practices to control runoff on slopes, to minimize the rate of sediment entering the Uribante reservoir, located downstream. For the determination of the area in the watershed to be intervened for the program, soil degradation rates by water erosion were estimated by using the FAO-

¹ Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT), Vicerectorado Académico, Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. Correo electrónico: kretheis@ula.ve; delgado@ula.ve; prjose@ula.ve; rlopez@ula.ve

PNUMA-UNESCO methodology, Spanish version published in 1980. While for the design of conservation practices, the constraints and characteristics of the area were taken into account by considering: input cost, technical feasibility, ease of installation and maintenance requirements for institutional care, and obtaining of short-term benefits.

Key words: Sustainable land management; land degradation; water erosion risk; water erosion rates; compensation programs for environmental services; Venezuelan Andes.

1. Introducción

En Venezuela, las actividades agrícolas y pecuarias representan un papel esencial en el desarrollo de la nación, pues contribuyen a mantener la economía rural y proveer la seguridad alimentaria del país; sin embargo, un porcentaje importante de estas actividades se realiza en las zonas altas con ausencia de las técnicas mínimas apropiadas que eviten, controlen o mitiguen los efectos de tal intervención. Lo señalado se evidencia en la cuenca alta del río Uribante, ya que está siendo sometida a un fuerte y acelerado proceso de intervención (desmontes, ampliación de la frontera agrícola, pastoreo excesivo y no controlado, sobre explotación irracional del bosque), lo que ha generado un marcado impacto sobre los recursos naturales. Esta situación ha favorecido la transformación ecológica de extensas superficies, la desaparición progresiva de la cobertura boscosa, la degradación del suelo y alteración en la calidad de las aguas, propiciando impactos ambientales que comprometen tanto el equilibrio del medio físico-natural como el funcionamiento y vida útil de las infraestructuras urbanas, viales e hidráulicas de la zona, como es el caso del Complejo Hidroeléctrico Uribante-Caparo. Esta obra está siendo comprometida por el alto aporte de sedimentos

generados aguas arriba por los procesos de erosión, los cuales arriesgan la producción del servicio de hidroelectricidad proporcionado por el embalse.

Por lo antes expuesto, se hace necesario crear instrumentos que coadyuven a frenar las altas tasas de erosión que se evidencian en la parte alta de la cuenca del río Uribante. Estas herramientas deben contemplar desde labores de educación y sensibilización ambiental dirigidas a todos los habitantes, hasta planes técnico-ingenieriles de manejo de cuencas, que ataquen los procesos de degradación ambiental producidos por la intensa actividad antrópica que allí se desarrolla.

Respondiendo a la necesidad planteada anteriormente, la siguiente propuesta está enmarcada en el Programa de Promoción de Servicios Ambientales de la cuenca alta del río Uribante, formulado por el Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial de la Universidad de Los Andes (Cidiat-ULA); corresponde a un proyecto ingenieril que busca plantear las bases para la formulación de un Programa de Compensación o Pago por Servicios Ambientales, a través de la determinación de las áreas prioritarias de tratamiento conservacionista, y el posterior pre-diseño de prácticas de conservación de suelos y aguas, que corresponderán al instrumen-

to por el cual consumidores (beneficiarios) pagarán para obtener la protección del recurso hídrico.

2. Características generales del área de estudio

Geográficamente, la cuenca alta del río Uribante se encuentra ubicada entre las coordenadas $07^{\circ} 54' 00''$ y $08^{\circ} 18' 36''$ de latitud Norte y $71^{\circ} 27' 36''$ y $71^{\circ} 56' 24''$ de longitud Oeste. En coordenadas UTM se sitúa entre los 875.000 y 919.000 metros Norte y 176.400 y 227.000 metros Este (Figura 1). Políticamente, la cuenca se localiza en territorio de los municipios

Guaraque y Arzobispo Chacón del estado Mérida, y Uribante del estado Táchira. Hidrográficamente pertenece a la región Alto Apure de la hoya hidrográfica del río Orinoco. Mediante proceso de digitalización de la información cartográfica, se estimó que esta cuenca ocupa una superficie aproximada de 136.014 hectáreas, y comprende las subcuencas de Negro, Puya y nacientes del Uribante. El régimen de precipitación es unimodal; la época lluviosa y fresca se extiende continuamente desde abril a noviembre, con una marcada época seca y fría desde diciembre hasta marzo, siendo noviembre un mes de transición entre ambas estaciones, tal como se muestra en la figura 2.

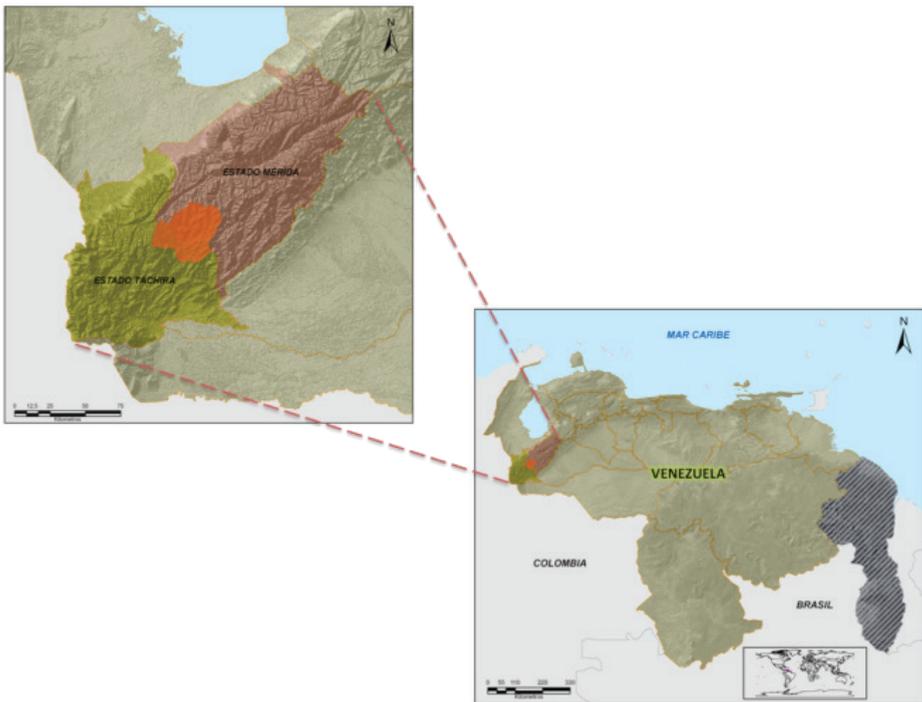


Figura 1. Ubicación relativa de la cuenca alta del río Uribante

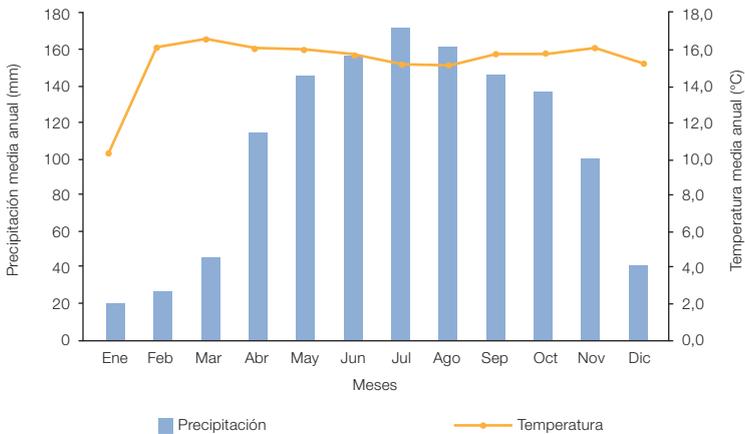


Figura 2. Clima diagrama de la cuenca alta del río Uribante. Fuente: información de la Dirección de Hidrología y Meteorología del MARNR (1951-2008)

Según la clasificación de Holdridge (Ewel *et al.*, 1976), la cuenca presenta cuatro zonas de vida (Cidiat, 1982) que varían a medida que aumenta la altitud, a saber: Bosque muy húmedo premontano (BmhP), Bosque muy húmedo montano bajo (BhMB), Bosque muy húmedo montano (BmhM) y Páramo pluvial sub-alpino (PPSA). Presenta un relieve accidentado típico de montaña, característico de la cordillera de los Andes venezolanos; la pendiente media es pronunciada y varía entre 35-60%, presentándose sectores muy escarpados (con pendientes >100%). Así mismo, la variación altitudinal va desde los 1.000 hasta los 3.800 msnm. Castillo *et al.* (1968) expresan que afloran varios tipos de rocas, de períodos geológicos diferentes, de composición petrográfica diversa y de coherencia desigual, según su grado de meteorización. Todas esas variables determinan en las

rocas comportamientos geomorfológicos diferentes.

Los suelos de la cuenca alta del río Uribante se caracterizan por ser profundos a muy profundos (> 50 cm), moderadamente profundos (25-50 cm) y superficiales (< 25 cm), con pedregosidad y rocosidad que varía de ligera a fuerte, mostrando en la mayoría de los casos erosión laminar y/o en surcos moderada, aunque también se encuentran sectores fuertemente afectados con cárcavas. Predominan texturas medias a finas, con un contenido de materia orgánica que varía de bajo a alto (Cidiat, 1982). Se manifiestan cuatro tipos de cobertura vegetal (Cidiat, 1982; Biocentro, 1999): bosque, pastizales, matorral y cultivos, mientras que los usos predominantes pueden clasificarse en agrícola, pecuario y otros (sin uso aparente y la superficie cubierta por el embalse de la presa la Honda).

3. Materiales y métodos

3.1 Fase de recopilación, generación, organización y análisis de la información temática básica de la cuenca alta del río Uribante

En esta fase se procedió a:

- Recopilación, organización y análisis de las investigaciones realizadas sobre la cuenca del río Uribante, con el objeto de obtener una reseña sobre los componentes físico-naturales de la parte alta de la cuenca.
- Elaboración de mapas temáticos a fin de generar el mapa topográfico, sectorizar el área en sub y microcuencas, a través de la interpretación de las hojas cartográficas números 5.840, 5.839 y 5.940, publicadas por la Dirección de Cartografía Nacional del Ministerio de Obras Públicas (MOP, 1976, 1976a, 1976b), digitalizar las curvas de nivel con equidistancia de 40 metros, para obtener los mapas de elevación y pendiente y digitalizar los mapas de: unidades de textura superficial del suelo, cobertura y uso de la tierra, realizados por Cidiat, 1982 y Biocentro, 1999 respectivamente.
- Una vez elaborado el mapa base, se derivaron los datos necesarios para determinar las variables morfométricas: perímetro, longitud de los cauces principales, longitud axial, ancho medio, forma, densidad de drenaje, pendiente media y de los cauces, coeficiente de relieve. Así mismo, se procedió a la definición de las unidades ecológicas de la cuenca a través

de la 'Clasificación de las Unidades Ecológicas de los Andes Venezolanos' (CUEAV), desarrollada por Ataroff y Sarmiento (2003); esta metodología se distingue por diferenciar unidades ecológicas, las cuales están definidas por la confluencia de un conjunto de características ambientales como: temperatura, precipitación, sustrato, topografía y vegetación. De igual manera, se generó un mapa de rangos de precipitación media anual (en formato raster); para ello se procesó la información obtenida a partir de los registros de la Dirección de Hidrología y Meteorología del MARNR, en el período 1951-2008, correspondientes a la precipitación media anual de doce estaciones climatológicas ubicadas dentro o en las cercanías del área de estudio, utilizando la herramienta de interpolación *Kriging* del software *Surfer* y exportando la cuadrícula resultante a *ArcGIS* para su posterior corte con respecto a la cuenca.

3.2 Fase de determinación de los componentes y características del Programa de Compensación por Servicios Ambientales en la cuenca alta del río Uribante (PCSA)

Para la determinación de los componentes y características del PCSA, se estableció el procedimiento mostrado en la figura 3, partiendo de que el servicio ambiental a preservar es la protección del recurso hídrico, a fin de conservar la vida útil del embalse Uribante y garantizar la sostenibilidad de la cuenca como productora de hidroelectricidad.

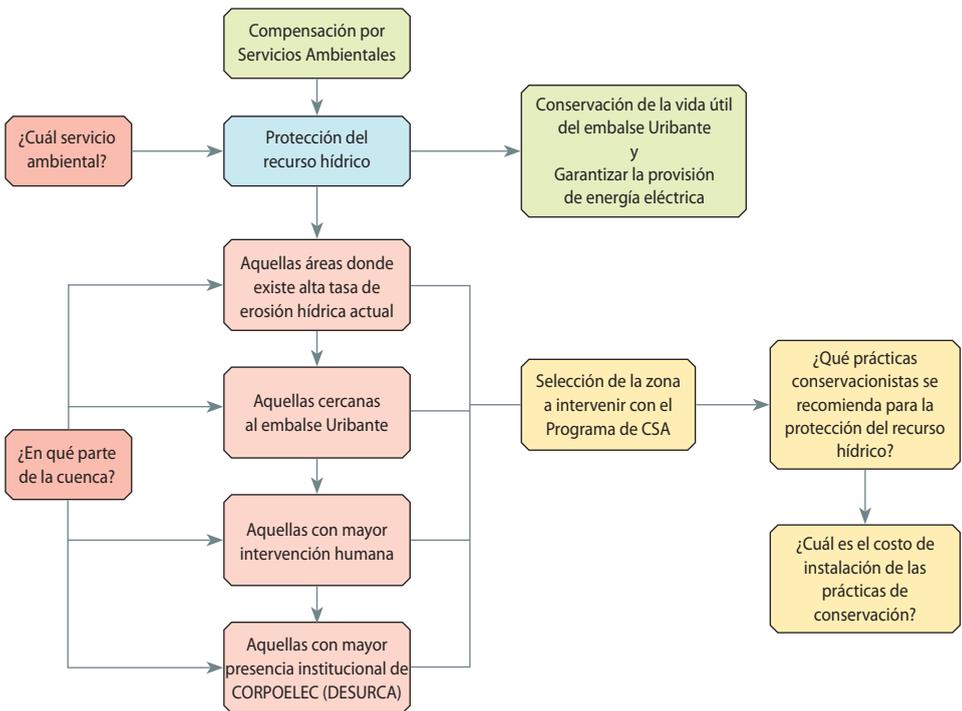


Figura 3. Procedimiento para la selección de los componentes y características del PCSA en la cuenca alta del río Uribante

3.2.1 Selección de la zona a intervenir con el PCSA

Para la determinación de esta zona se establecieron tres (3) criterios (y un cuarto opcional):

- i. *Poseer una tasa significativa de degradación del suelo por erosión hídrica (alta a muy alta)*

Para estimar el riesgo de degradación del suelo por erosión hídrica (erosión potencial) y por erosión hídrica actual (o presente), se aplicó la metodología FAO-PNUMA-UNESCO (1980), que consiste en un modelo paramétrico que relaciona

los siguientes factores: agresividad climática, suelo, topografía, vegetación natural, uso y explotación de la tierra. Los valores de los factores anteriores se eligen de tal manera que la resolución de la ecuación da una indicación numérica de la velocidad de degradación. La expresión del modelo paramétrico se expresa como:

$$D = f(C, S, T, V, L, M) \quad (1)$$

Donde:

- D: degradación del suelo
- C: factor agresividad climática
- S: factor suelo

- T: factor topografía
 V: factor vegetación natural
 L: factor uso de la tierra
 M: factor explotación

Los factores antes descritos se deben determinar o valorizar por separado. A continuación se expresa la manera cómo se estimaron cada uno de ellos para efectos de este trabajo:

- factor climático (C): se procedió de manera similar a la aplicada para la obtención del mapa de rangos de precipitación media anual, pero en este caso los valores procesados no correspondieron a los valores anuales de precipitación, sino a los obtenidos una vez calculado el índice de erosividad de la lluvia (modificación del índice de Fournier) para cada estación, generando así el mapa del factor climático en formato raster.
- factor suelo (S): se procesó la información de las clases texturales presentes en la cuenca, así como la correspondiente a la susceptibilidad del suelo a la erosión, la cual está definida por las propiedades de las formaciones existentes. Los resultados correspondientes a los factores edáficos fueron generados en formato vectorial.
- factor topográfico (T): el mapa de pendiente (en formato raster) se agrupó en los rangos definidos por la metodología y, posteriormente, se procedió a asignarle el valor correspondiente para cada clase, usando las herramientas *Reclassify* y *Raster Calculator* del *ArcGIS*.
- factor humano: se tomó en cuenta la

información del mapa de cobertura y se procedió a asignarle el valor propuesto por la metodología tanto para la vegetación natural como para las tierras de cultivo. Luego, estos valores se relacionaron con el porcentaje de superficie ocupada por cada cobertura (vegetación natural o tierras de cultivo) con respecto al área total, obteniéndose así la valoración correspondiente, con la cual se realizó el mapa de factores humanos (en formato vectorial). Para zonas desprovistas de vegetación, el valor asignado a este factor fue igual a 1.

Una vez determinados cada uno de los factores, a través de la herramienta *Spatial Analyst* de *ArcGIS*, se unificó el formato de los mapas correspondientes, transformando así de formato vectorial a formato raster. Seguidamente, utilizando el *MapAlgebra* del *ArcToolsBox* de *ArcGIS*, se procedió a la superposición (multiplicación) de los mapas raster generados (Figura 4), para la obtención del riesgo de erosión hídrica y, posteriormente, la determinación de la erosión hídrica actual de la cuenca alta del río Uribante.

ii. *Estar ubicada en las cercanías del embalse*

Para la evaluación del grado de cercanía de los sectores de la cuenca alta del río Uribante al embalse, se dividió la cuenca alta en tres (3) sectores: i) alta, ii) media y, iii) baja, tomando en consideración la variación altitudinal de la cuenca, la cual va desde los 1.000 hasta los 3.800 msnm (Cuadro 1).

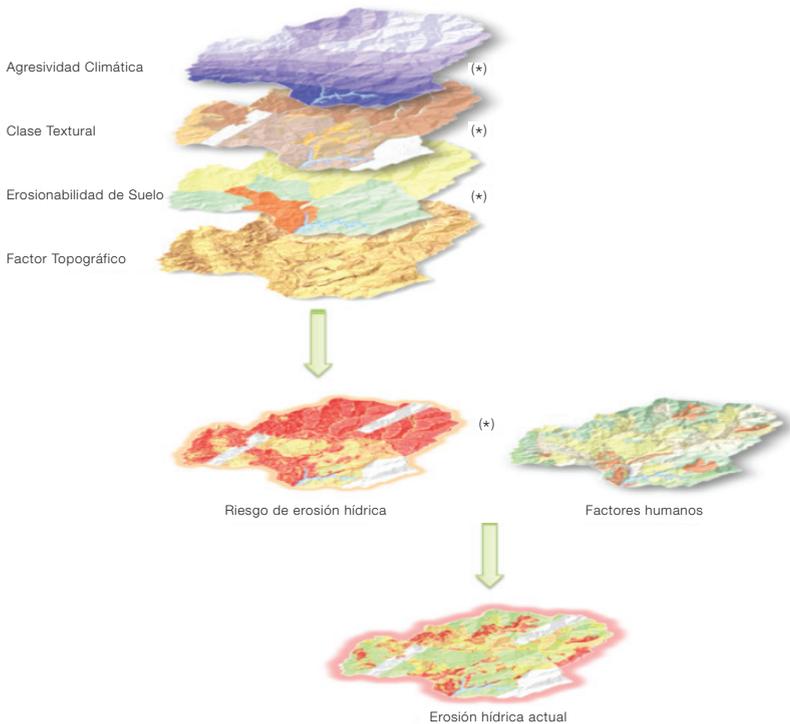


Figura 4. Modelado cartográfico para la generación de los mapas de riesgo de degradación del suelo por erosión hídrica y degradación del suelo por erosión hídrica de la cuenca alta del río Urubante

Cuadro 1. División de la cuenca con base en la cercanía de los sectores al embalse

Localización altitudinal de los sectores (msnm)	Sectorización
1.000 – 1.800	Alta
1.800 – 2.600	Media
> 2.600	Baja

iii. Tener un grado de intervención antrópica de moderado a alto

Para esto los sectores ya urbanizados de la cuenca alta no fueron tomados en cuenta; sólo se consideró el uso de la tierra predominante en los distintos sectores. Así, la presencia de cultivos permanentes o de ciclo corto se considera indicativo de

una moderada intervención humana; las actividades pecuarias y de horticultura se consideraron de un alto grado de intervención, mientras que la cobertura vegetal natural y la agricultura de subsistencia con tracción humana se catalogaron con bajo grado de intervención.

iv. Presencia institucional

Este criterio sólo sería evaluado si dos o más sectores presentaban características suficientes para ser calificado como zona a intervenir por el PCSA; de ser así, el sector a considerar sería aquel en donde se hayan ejecutado anteriormente labores de asesoría y extensión rural por parte de la Empresa (en este caso Corpoelec, Desurca).

3.2.2 Selección y pre-diseño de las prácticas conservacionistas a establecer en la zona a intervenir con el PCSA

Para la elección de las medidas de conservación que integraran el PCSA, se debía conocer el o los sistemas de cultivos existentes en el área a intervenir, a fin de determinar qué prácticas serían compatibles con los distintos sistemas de producción; para esto se efectuaron visitas al área de trabajo para:

- Generar un mapa a mayor detalle, correspondiente al área prioritaria de tratamiento conservacionista definida en la fase anterior, referente al uso y cobertura de la tierra.
- Definir y caracterizar los sistemas de producción existentes en la zona prioritaria, para lo cual se realizó una entrevista semi-estructurada (ver anexo) a los propietarios de las fincas existentes en la zona a intervenir.
- Posterior a la ampliación de la escala de trabajo e identificación de los atributos de los sistemas de producción, se procedió a seleccionar y pre-diseñar las prácticas agro-conservacio-

nistas. Para esta selección se contemplaron los procesos de degradación y los atributos de las unidades de tratamiento así como se estableció que las mismas tendrían que ser socialmente aceptables y factibles, por lo que debían cumplir las condiciones planteadas por Bechstedt (1997, citado por Delgado, 2004):

- Utilizar insumos de bajo costo
- Ser técnicamente factibles
- Ser simples de instalar y mantener
- Deben depender lo menos posible de asistencia institucional
- Ofrecer beneficios a corto plazo

Para el pre-diseño de las prácticas, se siguieron los criterios técnicos establecidos para cada una de ellas; posterior al diseño se estimaron los costos de establecimiento y mantenimiento de las obras.

3.2.3 Determinación del costo de instalación de las prácticas de conservación a establecer en el PCSA

La estimación de los costos para cada una de las prácticas de conservación propuestas se realizó en función de la mano de obra requerida, materiales y equipos de construcción así como del material vegetal necesario para la obtención de resultados óptimos. Los costos fueron calculados tanto por hectárea a intervenir con la práctica, como por superficie total donde se establecería la práctica. Asimismo, se presentaron en moneda nacional (BsF.) y extranjera (US\$) de manera tal que, en un futuro, se puedan tener costos reales para la fecha.

4. Resultados y discusión

4.1 Características generales de la cuenca alta del río Uribante

El análisis de las hojas cartográficas números 5.840, 5.839 y 5.940 (publicadas por la Dirección de Cartografía Nacional del MOP, 1976, 1976a, 1976b) permitió sectorizar la cuenca en tres (3) subcuencas y diecisiete (17) microcuencas (Figuras 5 y 6). El área estimada de cada microcuenca se muestra en el cuadro 2.

Una vez elaborado el mapa base se derivaron los datos necesarios para determinar las variables morfométricas de la

cuenca: elevación media, pendiente media (Figuras 7 y 8), perímetro, longitud de los cauces principales, longitud axial, ancho medio, forma, densidad de drenaje, pendiente media y de los cauces, coeficiente de relieve (Cuadro 3). Siendo la tasa de precipitación media anual de la cuenca de 1.228 mm, variando entre los 889 y los 1.762, como se observa en la figura 9.

La aplicación de la metodología desarrollada por Ataroff y Sarmiento (2003) para la clasificación de las unidades ecológicas de los Andes Venezolanos, permite señalar que la cuenca presenta siete unidades ecológicas principales (Figuras 10 y 11), definidas por la combinación de

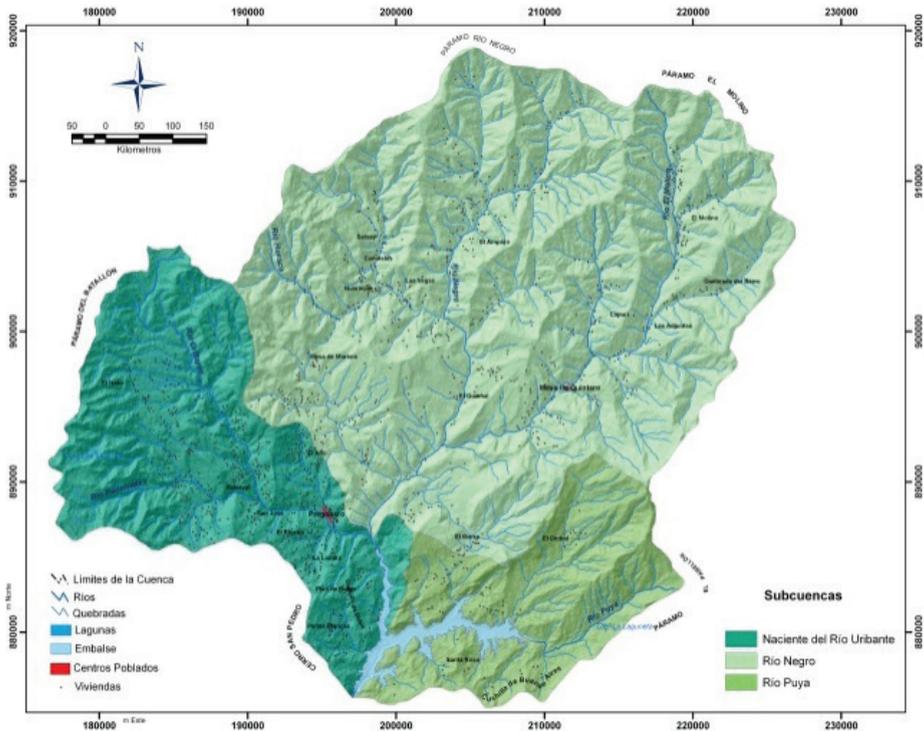


Figura 5. Sectorización por subcuencas

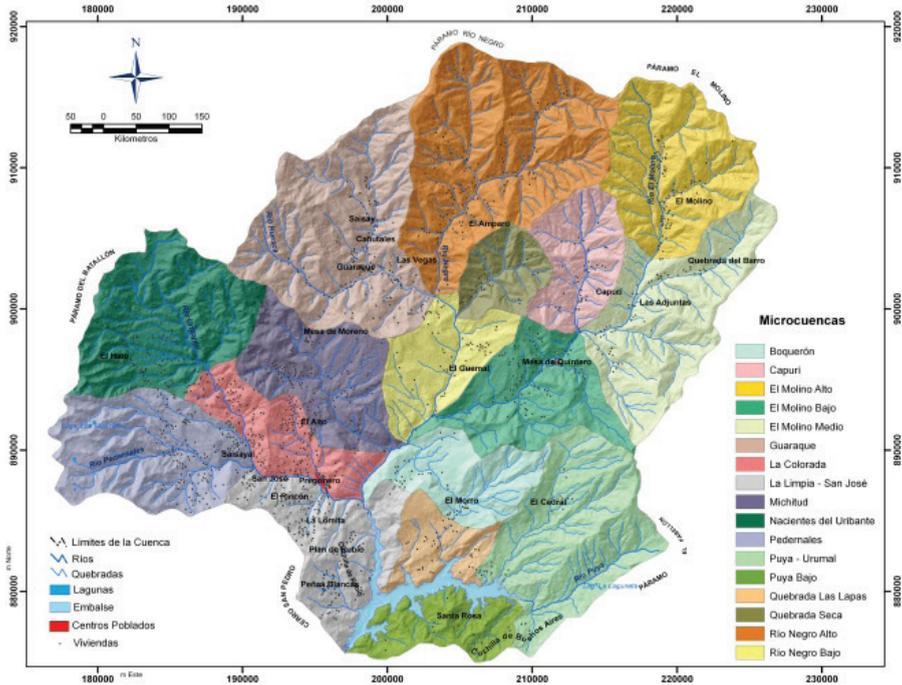


Figura 6. Sectorización por microcuencas

Cuadro 2. Sectorización y extensión de la cuenca alta del río Urubante

Subcuenca	Microcuenca	Superficie (ha)
Río Negro	Guaraque	14.294
	El Molino Alto	9.510
	El Molino Medio	10.585
	El Molino Bajo	7.484
	Michitud	7.344
	Boquerón	5.194
	Capurí	4.960
	Quebrada Seca	3.129
	Río Negro Alto	16.506
Río Negro Bajo	5.214	
		84.220
Río Puya	Puya – Urumal	11.098
	Quebrada Las Lapas	2.992
	Río Puya Bajo	3.804
		17.894
Naciente del río Urubante	La Limpia – San José	7.182
	La Colorada	5.164
	Pedernales	9.344
	Nacientes del Urubante	10.457
		32.147
Embalse		1.753

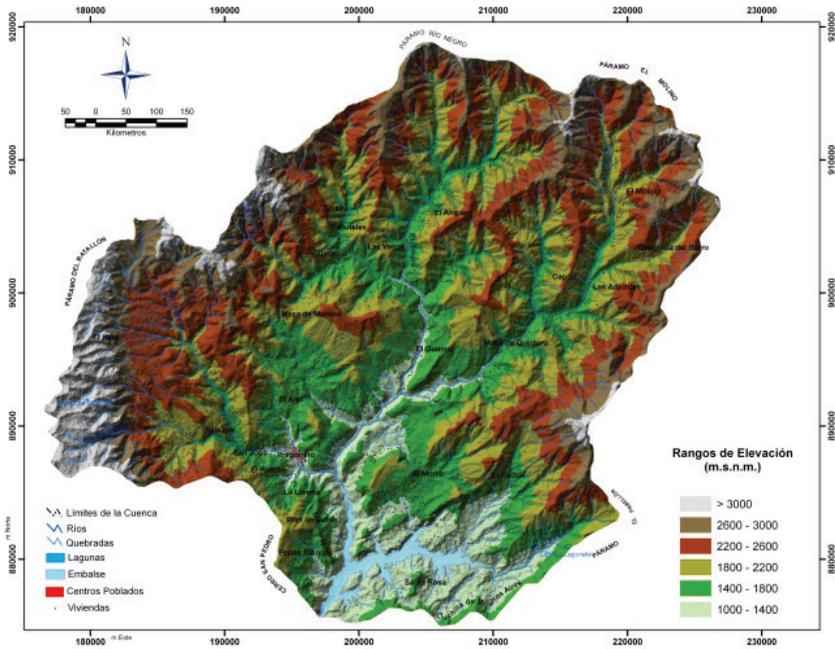


Figura 7. Rangos de elevación

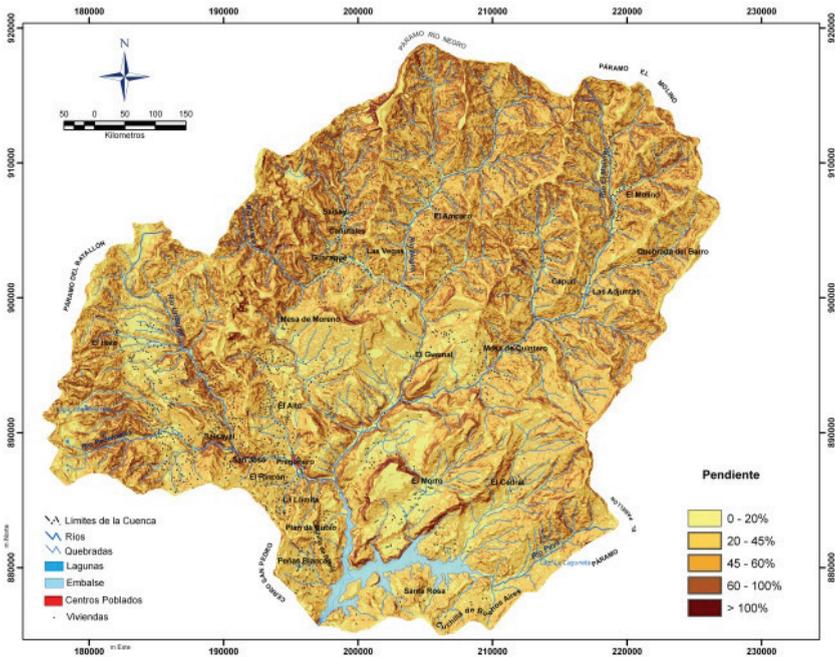


Figura 8. Rangos de pendiente

Cuadro 3. Variables morfométricas de la cuenca alta del río Uribante

Variable	Valor estimado
Área	136.014 ha
Elevación media	2.079 msnm
Perímetro	127.739 km
Ancho medio	28.995 km
Longitud axial	46.909 km
Pendiente media	46,34%
Factor forma de Horton	0,61
Índice de compacidad	1,31
Densidad de drenaje	8.838 km km ⁻²
Coefficiente de relieve	0,0614
Producción media anual de sedimentos	1.322 m ³ km ⁻² año

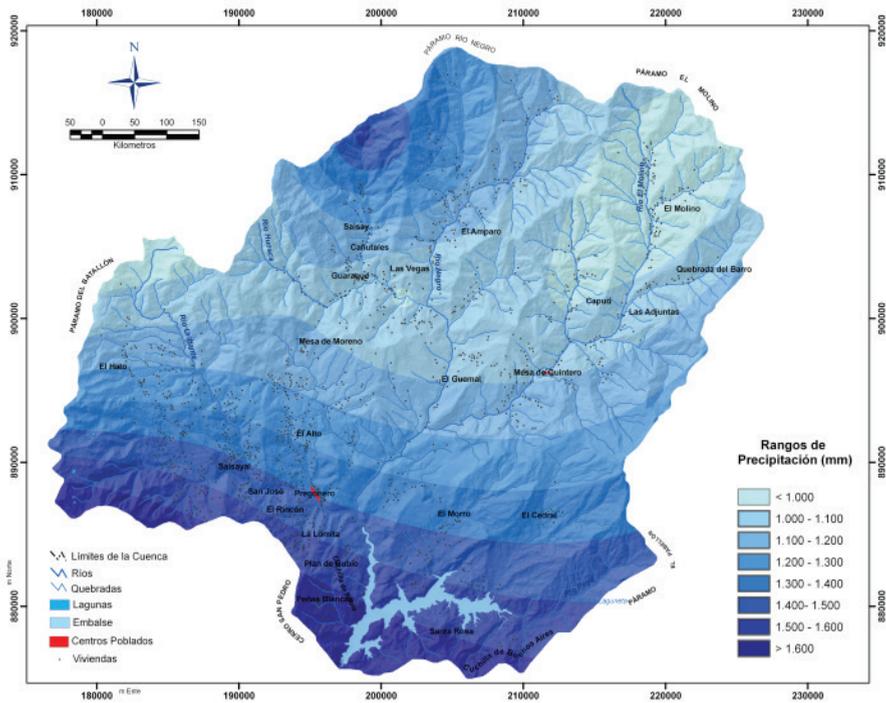


Figura 9. Precipitación media anual (en mm), cuenca alta del río Uribante

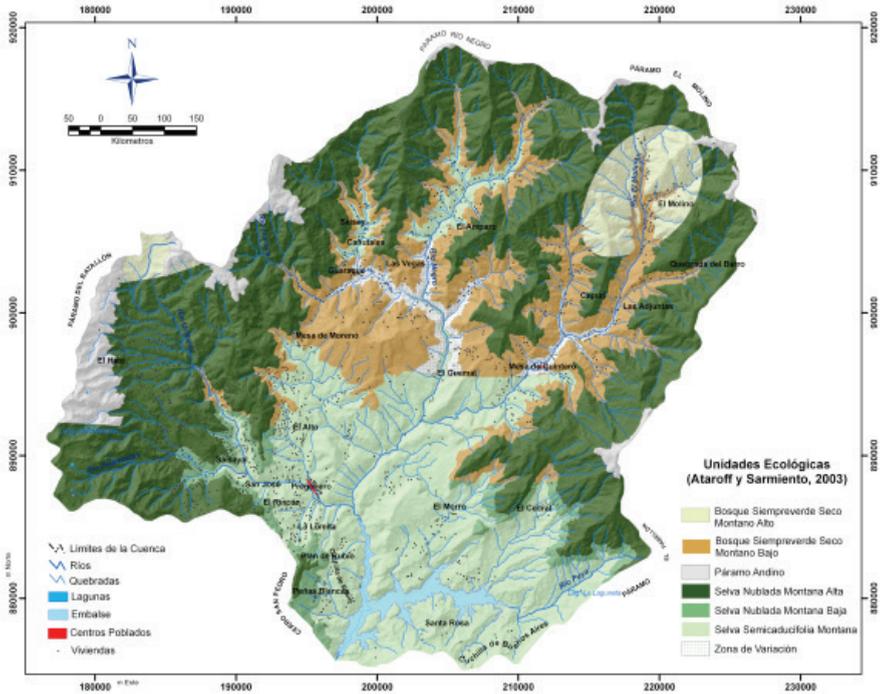


Figura 10. Unidades ecológicas

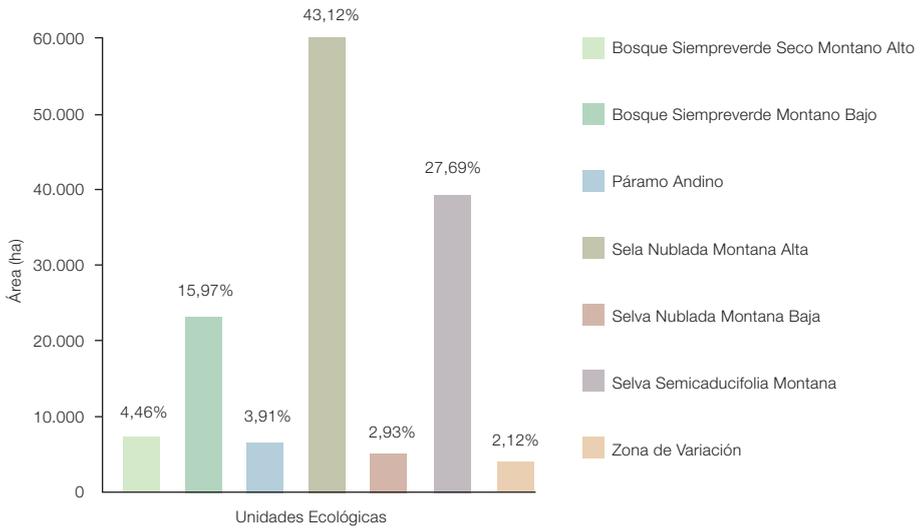


Figura 11. Distribución de las unidades ecológicas

un conjunto de características ambientales determinantes para la existencia de un ecosistema en particular.

4.2 El riesgo de degradación por erosión hídrica

4.2.1 El factor clima (C)

La agresividad climática en la cuenca alta del río Uribante es considerada como moderada; esta clasificación se realizó de acuerdo a los diferentes valores del índice modificado de Fournier obtenidos para toda la cuenca; éste presenta valores mínimos de 84 y máximos de 211, mientras que su media es de 135 (Figuras 12 y 13).

4.2.2 Los factores edáficos (S)

Predominan suelos con texturas medias que cubren el 51,72% de su superficie, seguida por las finas con un 18,86% y las gruesas con 9,32%, existiendo una superficie de 4,18% de afloramientos rocosos. Estos resultados no son definitivos, pues en el área existen 19.899 ha que no tienen los estudios de suelos respectivos; sin embargo, la localización de los polígonos sin información no afectó el procesamiento de la data para determinación del riesgo de degradación del suelo por erosión hídrica. Las figuras 14 y 15 presentan la distribución espacial y porcentual de las clases texturales en el área, respectivamente.

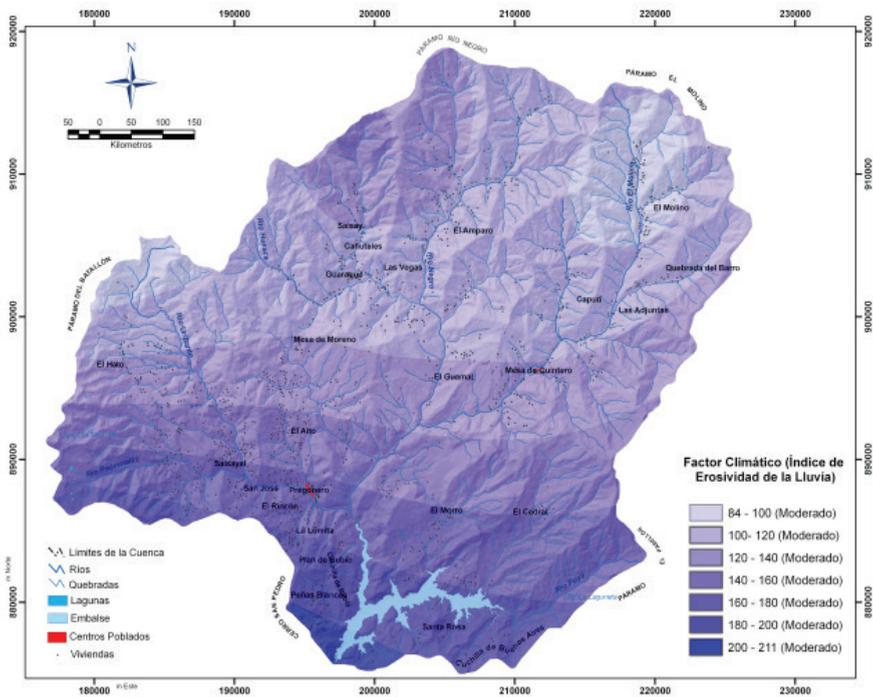


Figura 12. Índice de erosividad de la lluvia

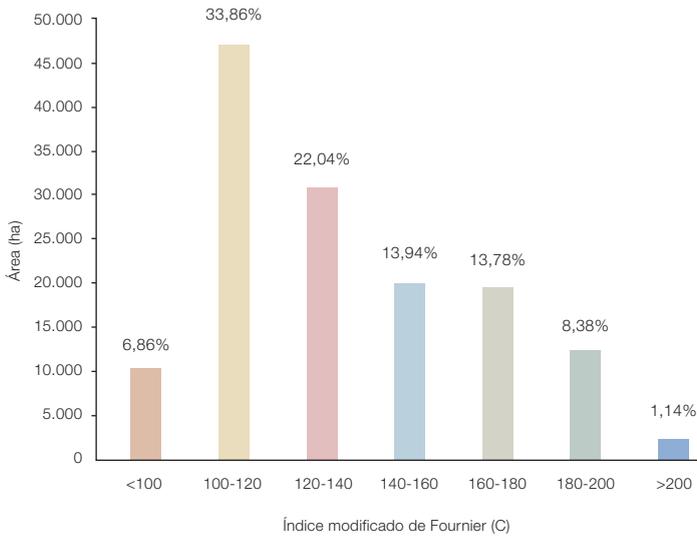


Figura 13. Distribución por áreas de la agresividad climática, considerando la superficie total

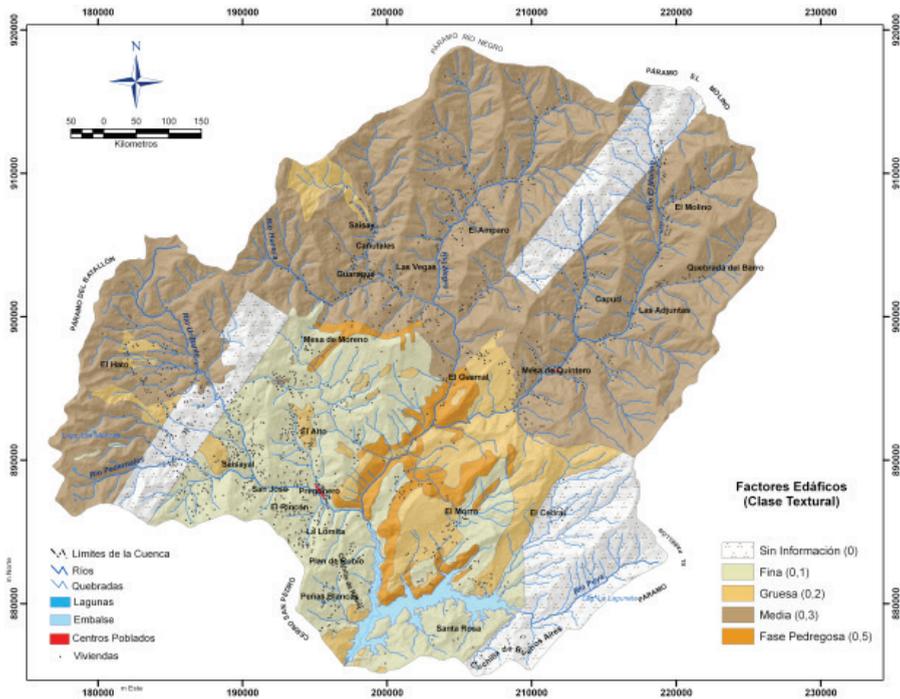


Figura 14. Clasificación y valoración de la clase textural

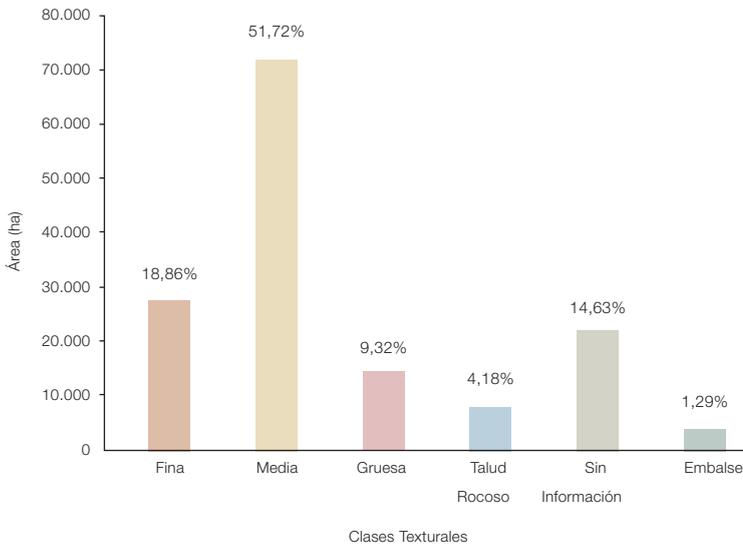


Figura 15. Distribución por área de las clases texturales del suelo, considerando la superficie total

La susceptibilidad del suelo a la erosión, en parte, viene dada por las características de los materiales litológicos y de las formaciones presentes (del Precámbrico: Grupo Iglesias, del Carbonífero: Mucuchachí, del Jurásico Triásico: La Quinta, y del Cretáceo: Uribante), siendo La Quinta la formación cuyos materiales son más propensos a permitir la evolución de los procesos de la erosión hídrica (Figuras 16 y 17).

4.2.3 El factor topográfico (T)

La digitalización del material cartográfico permitió definir detalladamente los rangos de pendiente en la cuenta alta del río Uribante, obteniéndose valores máximos mayores al 100% en las zonas de relieve más escarpado y un valor medio de 42,04%; sin embargo, las pendientes dominantes en el paisaje son las pronun-

ciadas (30 - 50%), cubriendo un 40,93% de la superficie total de la cuenca (Figuras 18 y 19).

4.2.4 Distribución de los riesgos de degradación del suelo por erosión hídrica en la cuenca alta del río Uribante (REH)

La cuenca posee una tasa media de pérdida de suelo igual a $193,39 \text{ Mg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ (Figuras 20 y 21), clasificándose así como alta, siendo la erosionabilidad del suelo el factor de mayor influencia en el resultado, seguido por el factor climático.

4.3 La degradación del suelo por erosión hídrica

4.3.1 Los factores humanos

Los resultados de este factor se obtuvieron relacionando la vegetación natural y

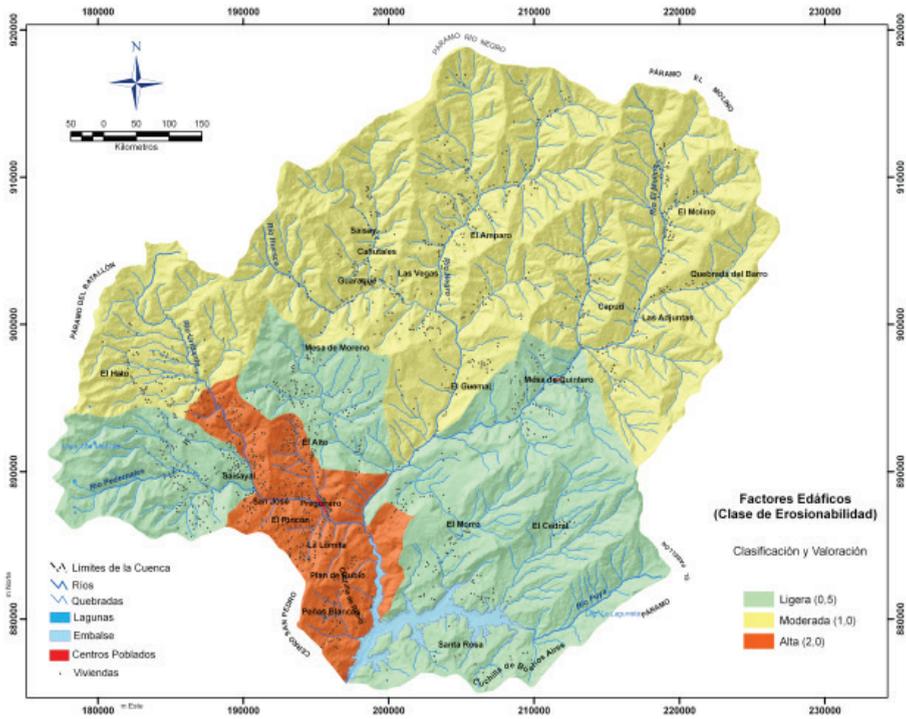


Figura 16. Clasificación y valoración de la clase de erosionabilidad

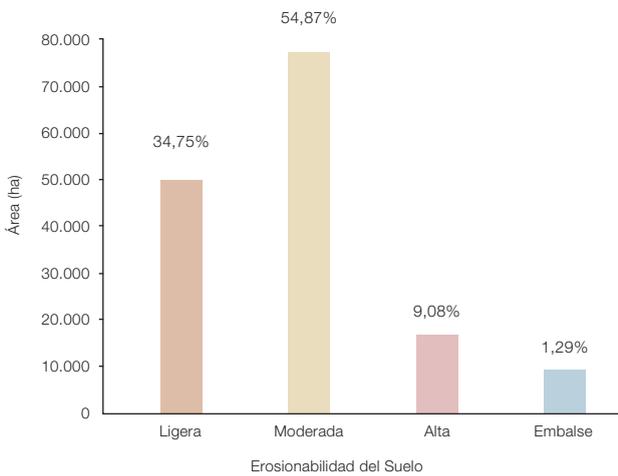


Figura 17. Distribución por área de los tipos de erosionabilidad del suelo, considerando la superficie total

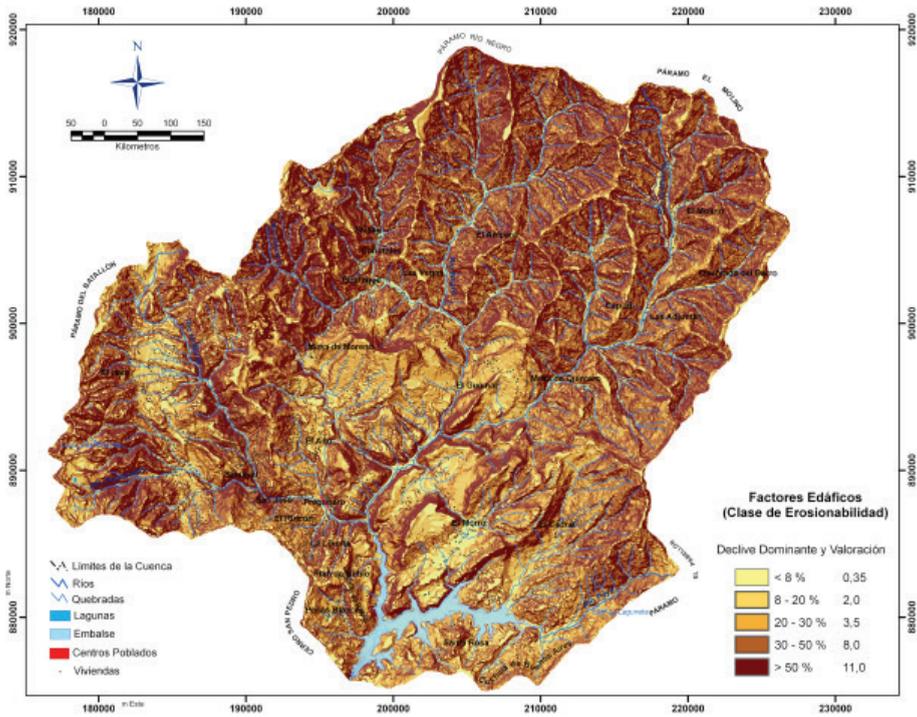


Figura 18. Declive dominante y valoración

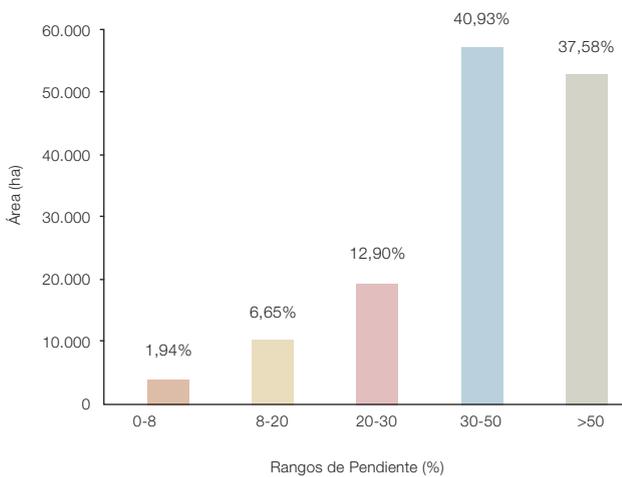


Figura 19. Distribución por área de los rangos de pendiente, considerando la superficie la superficie total

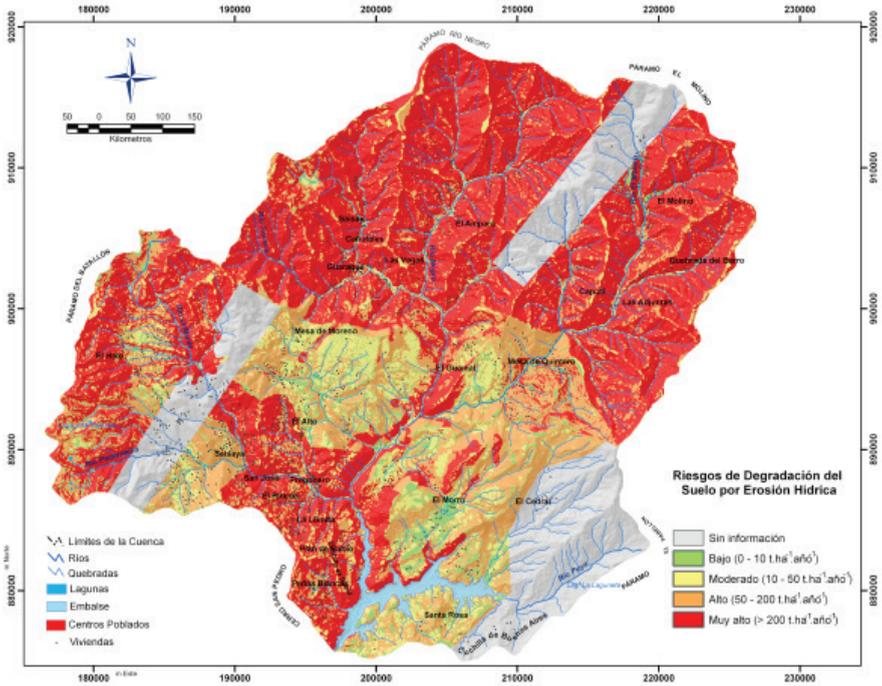


Figura 20. Distribución espacial de los riesgos de degradación de suelos por erosión hídrica

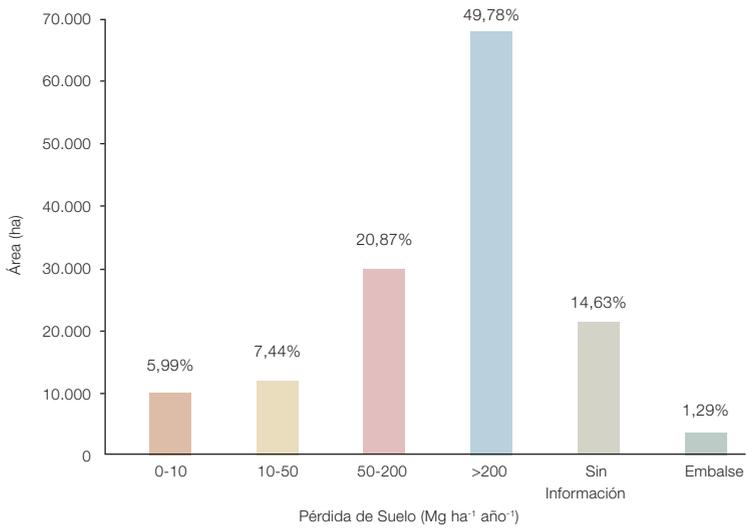


Figura 21. Distribución porcentual de los riesgos de degradación de suelos por erosión hídrica, considerando la superficie total

las tierras de cultivos con el porcentaje de superficie ocupada por cada cobertura (Cuadro 4 y Figura 22).

4.3.2 Distribución de la degradación del suelo por erosión hídrica en la cuenca alta del río Uribante (EHA)

Una vez estimado el riesgo de degradación del suelo por erosión hídrica y evaluados los factores humanos, se obtuvo que un 26,09 % de la superficie total de la cuenca se encuentra afectada por una erosión hídrica baja o ligera (< 10 Mg ha⁻¹año⁻¹) (Figuras 23 y 24).

4.4 Determinación de la zona a intervenir con el PCSA

Aplicando el esquema propuesto para la determinación de la zona a intervenir con el Programa de Compensación por Servicios Ambientales, se procedió a listar las características de los sectores de la cuen-

ca, tal como se presenta en la cuadro 5. De esta forma, sólo dos aldeas cumplen con los criterios establecidos:

- a) Poseen una tasa significativa de erosión hídrica (alta a muy alta)
- b) Están ubicados en las cercanías del embalse
- c) Poseen un grado de erosión antrópica moderado a alto

Estas zonas son: Cuchilla de Rubio y Peñas Blancas, por lo que se debió considerar el cuarto criterio para la determinación de la unidad prioritaria:

- a) Interés Institucional, puntualmente de la empresa Desurca. En este caso, se consideró que es en Peñas Blancas donde la empresa cuenta con un alto grado de receptividad por parte de los habitantes del sitio, debido a que desde la década de los años 80' la empresa ha desarrollado y dictado en

Cuadro 4. Valoración de los factores humanos

Principal	Cobertura		Valoración (i)	Porcentaje de Superficie ocupada por la cobertura principal (ii)	Valoración final (ii) x (i)
	Tipo				
Vegetación Natural	Bosque claro con substrato herbáceo denso		0,2	87,53	0,18
	Bosque denso		0,01		0,01
	Matorral denso		0,02		0,02
	Pastizales densos		0,07		0,06
	Pastizales medios		0,12		0,11
	Pastizales raros		0,45		0,39
Cultivos	Cultivos anuales (con terrazas)		0,8	10,85	0,09
	Cultivos anuales (sin terrazas)		0,8		0,09

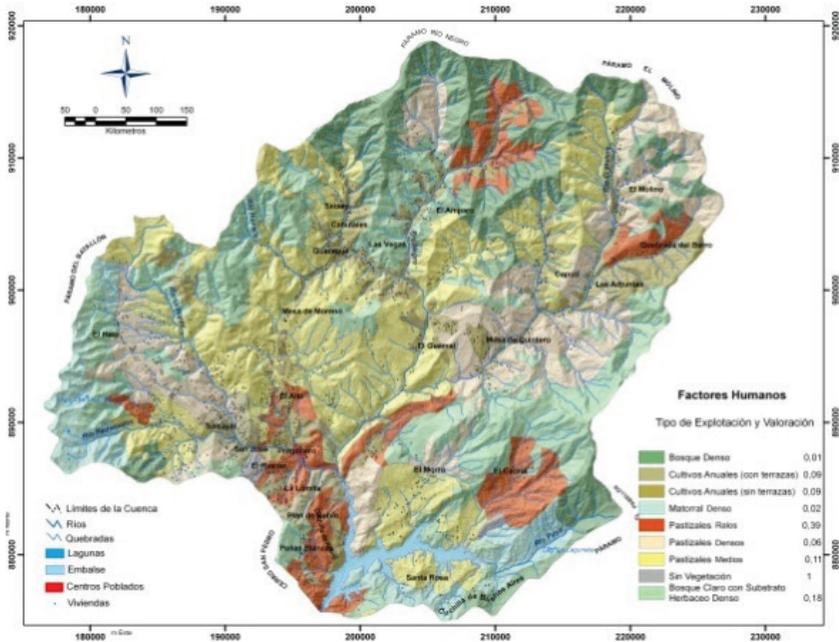


Figura 22. Tipo de explotación y valoración

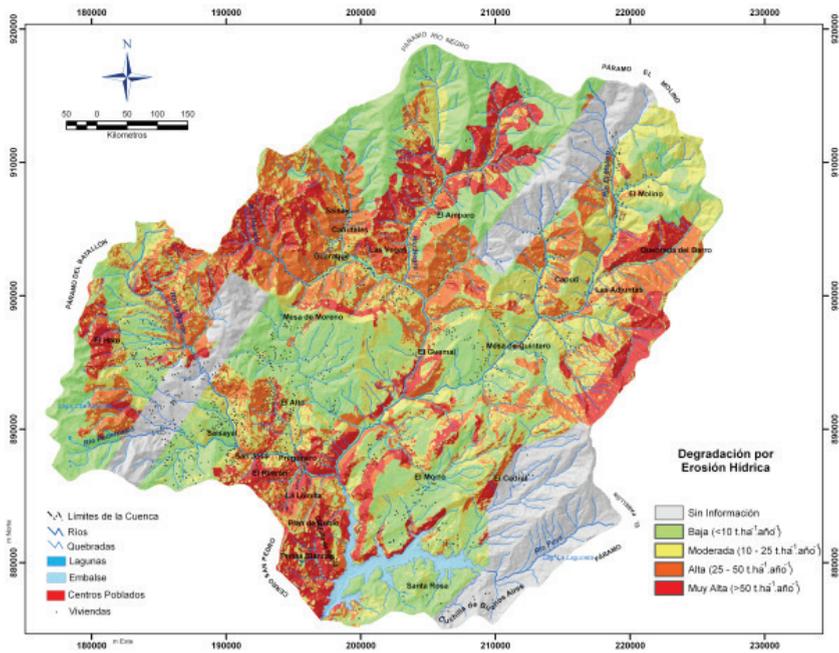


Figura 23. Distribución espacial de la degradación del suelo por erosión hídrica

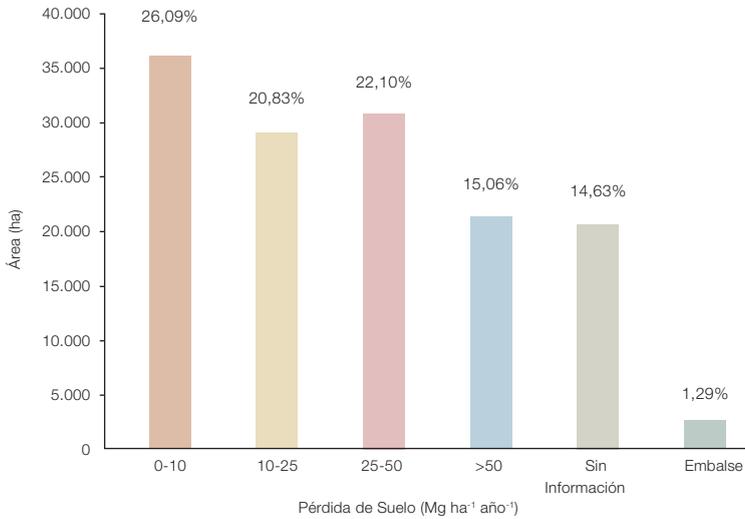


Figura 24. Distribución porcentual de la degradación del suelo por erosión hídrica actual, considerando la superficie total

Cuadro 5. Características de las zonas más afectadas por erosión hídrica

Sector	Degradación del suelo por erosión hídrica		Sectorización de la cuenca por cercanía al embalse	Grado de intervención antrópica
	Clasificación	Valor (Mg ha ⁻¹ año ⁻¹)		
El Hato	Muy Alta	74,84	Baja	Moderado – Alto
El Rincón	Muy Alta	122,5	Baja	Moderado – Alto
Guaraque	Alta	41,38	Baja	Moderado – Alto
Cañutales	Alta	30,62	Baja	Moderado – Alto
Saisay	Alta	43,56	Baja	Moderado – Alto
Las Vegas	Muy Alta	67,12	Baja	Moderado – Alto
Río Negro	Muy Alta	150,58	Baja	Moderado – Alto
Capurí	Alta	39,67	Baja	Moderado – Alto
Quebrada del Barro	Muy Alta	145,43	Baja	Moderado – Alto
Cerro La Escalena	Muy Alta	178,04	Media	Moderado – Alto
Cerro El Morro	Muy Alta	110,88	Media	Bajo
Alrededores de Pregonero	Muy Alta	146,72	Media	Moderado – Alto
La Lomita	Muy Alta	154,44	Media	Moderado – Alto
San José	Alta	33,86	Media	Moderado – Alto
Cuchilla de Rubio	Muy Alta	163,02	Alta	Moderado – Alto
Peñas Blancas	Muy Alta	136,58	Alta	Moderado – Alto

esta aldea diversas actividades y cursos en cuanto a técnicas de manejo de pastos, forrajes y cafetales, así como charlas de educación ambiental.

Con lo antes expuesto se determinó que el área prioritaria es la aldea Peñas Blancas, ubicada en la margen derecha del embalse (Figura 25), con una superficie aproximada de 1.151 ha, distribuidas entre los caseríos de El Uramal, La Loma, La Olla, El Remolino y Quebrada Seca. De acuerdo a las características de las fincas establecidas en el área, se determinó que la zona se encuentra integrada por cuatro (4) sistemas de producción

agrícola: a) caficultura y ganadería extensiva a pequeña escala; b) horticultura y ganadería extensiva a pequeña escala; c) caficultura y ganadería semi-intensiva a mediana escala y, d) agricultura diversificada y ganadería extensiva a gran escala.

4.5. Selección y pre-diseño de las prácticas agroconservacionistas en la zona a intervenir con el PCSA

Con el objeto de garantizar la protección del recurso hídrico y con esto la vida útil del embalse, se formularon las prácticas de conservación de suelos y aguas a implementar en la zona a intervenir con el

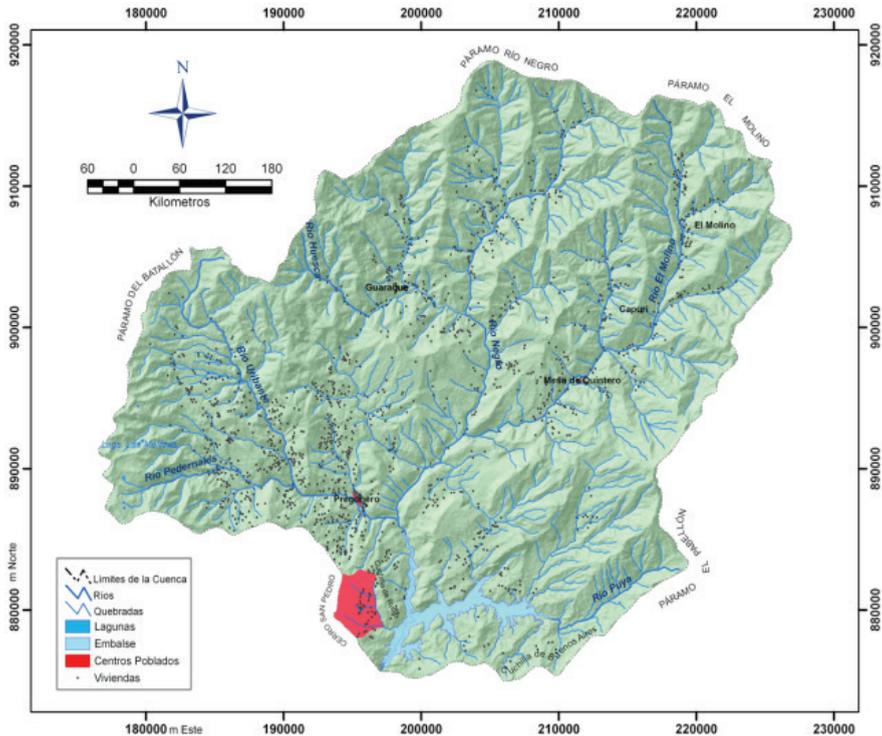


Figura 25. Ubicación de la zona a intervenir con el Programa de Compensación por Servicios Ambientales

Programa de Compensación por Servicios Ambientales. Dichas obras fueron formuladas analizando las limitaciones y características actuales de los sistemas de producción presentes en Peñas Blancas, por lo que las veinticinco (25) fincas existentes allí fueron evaluadas y caracterizadas mediante visitas y a través de la aplicación a cada uno de los propietarios de los predios de una entrevista semi-estructurada, obteniéndose cuatro (4) sistemas de producción, tal como se muestra en la figura 26.

Para la formulación de soluciones técnicas viables, orientadas a garantizar la productividad agrícola de la zona, sin comprometer la vida útil del embalse, las opciones planteadas, obedecen a un conjunto de prácticas que fueron formuladas analizando las limitaciones y características de la zona a intervenir (condiciones climáticas, topográficas y antrópicas), considerando el costo de los insumos,

la factibilidad técnica, las facilidades de instalación y mantenimiento, los bajos requerimientos de asistencia institucional, así como la obtención de beneficios a corto plazo; sin embargo, su éxito o fracaso una vez sean implantadas dependerá del grado de participación del agricultor.

Entonces, tomando en cuenta los fundamentos planteados, se estableció que:

- i. Debido a las condiciones climáticas y topográficas (tasa media anual de precipitación igual a 1.646 mm y pendiente media 35,47 %), el grupo de prácticas a elegir deberá estar dirigido a controlar los escurrimientos en laderas, a fin de reducir los impactos de los flujos de agua sobre el terreno.
- ii. Para la selección específica de la medida de conservación, se analizó la intervención antrópica contemplando las características particulares de cada sistema de producción, como se muestra a continuación:

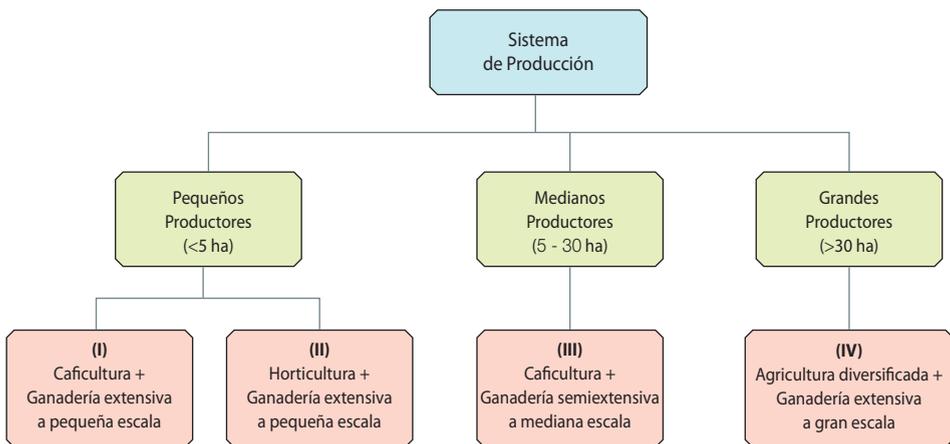


Figura 26. Sistemas de producción presentes en la zona a intervenir con el Programa de Compensación por Servicios Ambientales

- Sistema de producción I. Esta unidad se caracteriza por el establecimiento en superficies pequeñas de café con cultivos asociados que proporcionan buen cubrimiento al suelo. A fin de aprovechar los rastrojos de la poda del cultivo principal, la práctica propuesta se corresponde a fajinas de ramas con protección de barrera viva; el establecimiento de las mismas permitirá reducir la longitud de la pendiente así como amortiguar el escurrimiento en la ladera.

- Sistema de producción II. En este sistema se lleva a cabo un intenso aprovechamiento hortícola en suelos completamente desnudos, lo cual favorece el efecto erosivo de la lluvia y el arrastre de los agregados del suelo; por lo que se propone el establecimiento de una barrera dirigida a amortiguar el escurrimiento en la ladera que contribuya a la conformación de terrazas naturales a largo plazo.

- Sistema de producción III. Este sistema se caracteriza por una explotación ganadera semi-intensiva que ha incidido en la compactación del suelo, como consecuencia directa del 'pie de vaca'; este sellado en la superficie del recurso genera el escurrimiento significativo del agua en la ladera. Debido a esta situación se contempla la captación del escurrimiento a través del establecimiento de acequias de ladera protegidas con barreras vivas.

- Sistema de producción IV. En esta unidad la actividad predominante es la explotación ganadera a gran esca-

la, por lo que se plantea el manejo de potreros a través del establecimiento de franjas de pasto denso, que actúen a la vez como mecanismo de división de potreros y amortiguador del escurrimiento en la ladera.

iii. Se hace necesaria la recuperación de los bosques ribereños, a fin de establecer una faja amortiguadora que intercepte el transporte de sedimentos hasta los cursos de agua.

Considerando lo anterior se obtuvo que las prácticas agro-conservacionistas seleccionadas y prediseñadas son:

- Fajinas de ramas + barreras vivas (Figura 27) para el sistema de producción I.
- Barreras vivas dobles permanentes (Figura 28) para el sistema de producción II.
- Acequias de ladera + barreras vivas (Figuras 29, 30 y 31) para el sistema de producción III.
- Franja de pasto denso para el sistema de producción IV.
- Programa de reforestación para las márgenes de los cursos de agua.

El establecimiento de las prácticas de manejo y conservación anteriormente señaladas, al momento de la ejecución del presente trabajo, tendrá un costo aproximado de Bs. 9.995.757,00, lo que equivale a US\$ 4.649.192,59, y comprenderán el instrumento por el cual los consumidores (beneficiarios) pagarán para obtener la protección del recurso hídrico y constituirán una nueva forma de ingreso y be-

neficio para los proveedores del servicio (en este caso los agricultores de la zona), lo que se traducirá en una mejora en el nivel de calidad de vida de los mismos. En las citadas figuras 27, 28, 29, 30 y 31 se observa el diseño preliminar de cada una de las prácticas de manejo y conservación de suelos y aguas ya mencionadas.

5. Conclusiones

A través de la utilización organizada de distintos conjuntos de datos con su respectiva connotación espacial, el presente estudio permitió formular una metodología para establecer las bases de un Programa de Compensación por Servi-

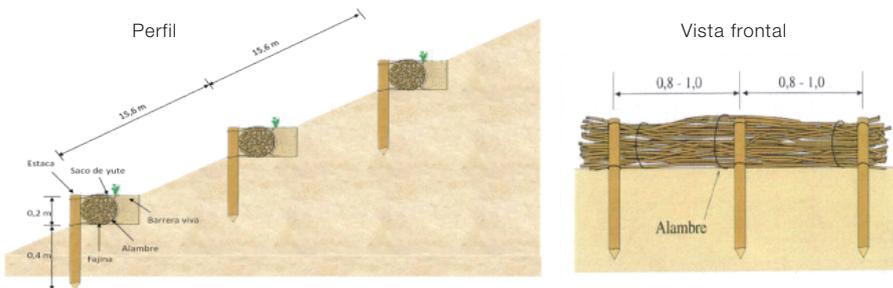


Figura 27. Prediseño de las fajinas con barreras vivas. Elaboración propia, con base en Francke *et al.* (1998)

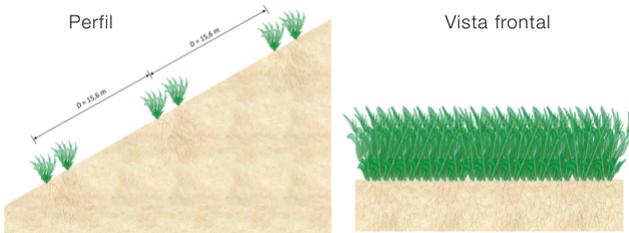


Figura 28. Prediseño de las barreras vivas permanentes de pasto vetiver (*Vetiveria zizanioides*)

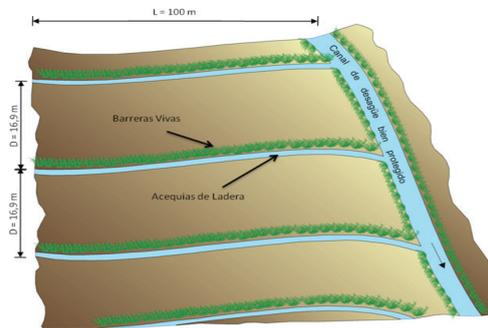


Figura 29. Prediseño de las acequias de ladera con barreras vivas permanentes de pasto vetiver (*Vetiveria zizanioides*) y canal colector

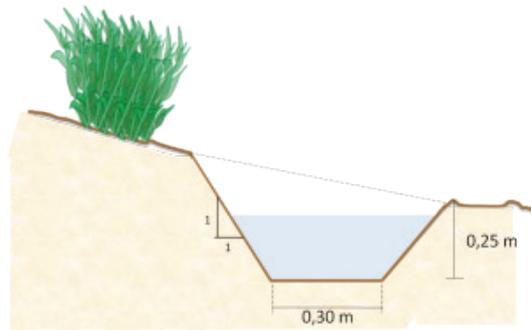


Figura 30. Sección transversal de la acequia de ladera con barrera viva

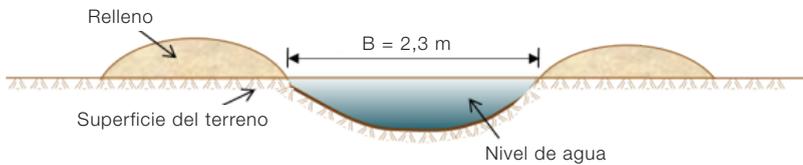


Figura 31. Sección transversal del canal colector

cios Ambientales (PCSA), a través de la identificación de zonas prioritarias de tratamiento conservacionista, la formulación de opciones técnicas pertinentes de conservación de suelo y aguas, que admita la explotación de estos recursos sin comprometer la calidad ambiental y la estimación del costo de establecimiento de dicho programa. A continuación se presentan los resultados más relevantes del presente estudio:

- De la digitalización del material cartográfico se determinó que la cuenca tiene una forma alargada con una superficie aproximada de 136.014 ha, variación altitudinal que va desde los 1.000 hasta los 3.800 msnm, pendiente media de 42,04% y una producción media anual de sedimentos de 1.322 m³/km²/año.
- Asimismo, del trabajo de campo se determinó que la erosión difusa representa el tipo de erosión de mayor proporción en la cuenca, afectando las áreas sometidas a explotación en zonas de alta pendiente y de vegetación rala o escasa.
- La aplicación de la metodología para la evaluación de la degradación de los suelos (FAO-PNUMA-UNESCO, 1980) indica que la tasa media de degradación por erosión hídrica en la cuenca es moderada igual a 22,76 Mg ha⁻¹ año⁻¹. Un 26,09% de la superficie total de la cuenca se encuentra afectada por una erosión hídrica baja o ligera (< 10 Mg ha⁻¹ año⁻¹), mientras que la erosión alta afecta aproximadamente el 22,10 %, y el 15,06% de la superficie presentan una tasa de

erosión muy alta, siendo El Hato, Río Negro, Quebrada del Barro, Cerro la Escalena, Cerro el Morro, La Lomita, San José, Peñas Blancas, Cuchilla de Rubio y los alrededores de Pregonero, las zonas más afectadas.

- De los sectores más degradados por erosión hídrica, se determinó que el área prioritaria de tratamiento conservacionista, es decir, la zona a intervenir con el PCSA es Peñas Blancas; posee una superficie aproximada de 1.151 ha y una pendiente media de 35,47%, siendo su tasa media de erosión hídrica actual estimada de 48,78 Mg ha⁻¹ año⁻¹.
- El éxito o fracaso una vez sean implantadas las medidas de conservación, dependerá del grado de participación del agricultor y del monitoreo institucional consecuente de las mismas.

6. Referencias citadas

- ATAROFF, M. y L. SARMIENTO. 2003. *Diversidad en Los Andes de Venezuela. Mapa de Unidades Ecológicas del estado Mérida*. Ediciones del Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (ICAE). CD-ROM. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela.
- CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO e INVESTIGACIÓN AMBIENTAL y TERRITORIAL (CIDIAT). 1982. *Plan de manejo de la cuenca alta del río Uribante*. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela.
- CASTILLO, J.; VENTURINI, O. y L. VIVAS. 1968. *Cuenca montañosa del Uribante, geomorfología, suelos y uso de la tierra*. Convenio ULA-Corpoandes. Mérida-Venezuela.
- BIOCENRO. 1999. *Programa de manejo y conservación de la cuenca del río Uribante, estados Táchira y Mérida*. Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales, Ezequiel Zamora. Guanare-Venezuela.
- DELGADO, F. 2004. **Agricultura sostenible y mejoramiento de suelos de ladera**. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT). Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela.
- EWEL, J. J.; MADRIZ, A. y J. A. TOSI. 1976. **Zonas de vida de Venezuela**. Ministerio de Agricultura y Cría. Caracas-Venezuela.
- FAO-PNUMA-UNESCO. 1980. **Metodología provisional para evaluación de la degradación de los suelos**. Food and Agriculture Organization. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Roma-Italia.
- FRANCKE S., MAKITA M., TOKUGAWA K. y VARGAS R. 1998. **Manual de control de erosión**. Ministerio de Agricultura. Corporación Nacional Forestal. Santiago de Chile. Chile.
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP). 1976. *Hoja Cartográfica San José de Bolívar N° 5.839 [Escala 1:100.000]*. Dirección de Cartografía Nacional Ministerio de Obras Públicas. Caracas-Venezuela.
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP). 1976a. *Hoja Cartográfica La Grita N° 5.840 [Escala 1:100.000]*. Ministerio de Obras Públicas. Caracas-Venezuela.
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP). 1976b. *Hoja Cartográfica Libertad N°*

5.940 [Escala 1:100.000]. Dirección de Cartografía Nacional Dirección de Cartografía Nacional Ministerio de Obras Públicas. Caracas-Venezuela.

7. Anexo

Entrevista semi-estructurada, aplicada a los propietarios de fincas ubicadas dentro de la zona a intervenir con el Programa de Compensación por Servicios Ambientales

Nombre del Productor:				
Ubicación de la finca	Metros Este: _____			
	Metros Norte: _____			
	Altitud (msnm): _____			
Características de la finca	Extensión (ha): _____			
	Tenencia de la Tierra: _____			
Características del sistema productivo	Agricultura:			
		Cultivo	Superficie (ha)	Producción

	Ganadería:			
	Tipo de Ganado	N° de Cabezas	Propósito	Superficie aprox.
	Producción			
	Vacuno			
	Porcino			
	Ovino			
	Equino			
	Ave			
	Otro			