

CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO CANOABO EN EL ESTADO CARABOBO, VENEZUELA. III. LA EROSIÓN DE LOS SUELOS

CHARACTERIZATION OF THE RIVER BASIN CANOABO IN THE CARABOBO STATE, VENEZUELA. III. THE EROSION OF GROUNDS

Víctor A. Sevilla L.*, Juan A. Comerma G.** y Oscar Silva***

*Investigador. Pequiven. Gerencia Agroambiental. Morón, estado Carabobo. Venezuela. E-mail: victor.sevilla@pequiven.com

** Investigador jubilado. INIA. Email: fliacomermas@cantv.net

*** Profesor. UCV. Facultad de Agronomía. Maracay, estado Aragua. Venezuela. Email: osilva@agr.ucv.ve

RESUMEN

La cuenca del río Canoabo produce agua para un reservorio ubicado aguas abajo, así como de productos agrícolas para la población allí asentada. Debido a la tala, quema y usos de la tierra no conservacionistas sufre procesos de erosión de los suelos que afecta su sostenibilidad. Para el estudio de este proceso de degradación de tierras, se procedió a cartografiar la erosión actual en 50 sitios en campo y la información obtenida se extrapolo al resto del área utilizando un índice de vegetación. Para determinar los riesgos de erosión actual y potencial y su diferencial (Δ delta), se uso la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE, por sus siglas en Inglés), con una serie de adaptaciones basadas en experiencias locales y nacionales. Los resultados muestran que la erosión actual es ligera en un 74%, moderada en un 13% y severa en 11% del área total de la cuenca. Las causas de esta degradación se relacionan principalmente con la ganadería extensiva en laderas, mientras que las áreas bajo bosque son las menos afectadas. En relación a los riesgos de erosión actual, los resultados mostraron que las áreas con alto riesgo corresponden con las que presentan una fuerte erosión en campo; sin embargo, en las zonas cubiertas con helechos, al dar una apariencia de buena cobertura vegetal en la imagen de satélite, enmascaran esta relación, dando valores bajos en el riesgo mas no así en la realidad de campo. En cuanto al riesgo de erosión potencial, al eliminar la vegetación, hay un fuerte riesgo de que aumente la perdida de suelo, pasando la topografía (altas pendientes) a ocupar el rol preponderante. El diferencial, indicador de impacto, muestra que el mayor cambio se presenta en el 30% de áreas boscosas, por lo que serian las zonas más frágiles.

Palabras Clave: Degradación de tierras; riesgos de erosión; cuenca hidrográfica.

SUMMARY

The Canoabo watershed produces water for a reservoir as well as agricultural products for its population. Due to deforestation and no conservationist land uses, erosion is affecting its sustainability. The study of the present erosion included a field evaluation of 50 sites which were extrapolated using a vegetation index. To establish the present and potential risks of erosion including (Δ delta), the USLE equation was used, including local and national adaptations. Results of the area studied showed that present erosion is 74% light, 13% moderate and 11% severe. Degradation is mostly due to inappropriate grazing in side slopes, while areas covered by forest are the less affected. Areas with high present risks of erosion coincide with field erosion, but not in areas with low risks, as the apparent dense cover by ferns seen in the satellite image mask the reality. By eliminating the vegetation the potential risk increases erosion everywhere, then slopes become the controlling factor. The delta, an indicator of impact, shows that the areas under forest suffer the most, indicating its high fragility.

Key Words: Land degradation; Risks of erosion and Watersheds.

RECIBIDO: abril 18, 2008

ACEPTADO: septiembre 17, 2008

INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Canoabo cumple una doble función en la zona norte de Venezuela. Por una parte es reservorio de agua producida para comunidades aguas abajo y por la otra sustenta actividades agrícolas para alrededor de 6 500 personas. Sin embargo, como consecuencia de la tala y quema de bosques y de haberse instalado usos poco sostenibles como ganadería y cítricos en sus laderas, sin prácticas de conservación, ha causado procesos de erosión de suelo que amenaza las dos funciones principales.

El objetivo del trabajo es caracterizar los procesos erosivos actuales, tipo, grado, extensión y ubicación, así como estimar los riesgos de erosión bajo diferentes escenarios de uso y cobertura de la tierra. Esta información, conjuntamente con la caracterización climática y de suelos expuestas en anteriores artículos (Sevilla *et al.*, 2008; Sevilla y Comerma, 2008), permitirá apoyar los estudios posteriores de zonificación agroecológica y diseñar usos de la tierra más sostenibles con el ambiente en los diferentes sectores de la cuenca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para poder aprovechar la información básica, escasa e imprecisa que se tenía de la cuenca, complementarla eficientemente y alcanzar los objetivos planteados, se emplearon metodologías convencionales, modelos de simulación, procesamiento de imágenes satelitales y finalmente se utilizaron modelos de pedotransferencia. La escala de trabajo seleccionada fue 1:50 000, debido a que la mayoría de la información disponible era de una escala igual o de menor detalle y adicionalmente porque esta escala se considera apropiada para fines de planificación del uso y manejo de los recursos naturales a nivel de cuencas hidrográficas de tamaño medio.

Erosión actual

La erosión actual se refiere a la situación actual de afectación de los suelos por este proceso de degradación en el momento del levantamiento de la información y está basado en observaciones de campo. Para lo anterior se realizó una descripción en campo de cincuenta puntos de muestreo, tomando en consideración la variabilidad de los suelos y de la cobertura vegetal actual, previamente levantada (Sevilla y Comerma, 2008).

En cada uno de esos puntos se describió el tipo, magnitud o grado de erosión según las escalas del Manual de Levantamiento de Suelos de USDA (1993),

ligeramente modificadas en EDELCA (2003b) y mostradas en el Cuadro 1. Adicionalmente, en cada punto se describió la pendiente del terreno, la cobertura vegetal y el uso actual de la tierra.

CUADRO 1. Criterios empleados para la clasificación de la erosión actual.

Clases	Descripción
Imperceptible	No existe evidencia de erosión actual.
Ligera	Erosión laminar que decapite el horizonte A hasta no más de su grosor medio, en relación con puntos no erosionados.
Moderada	Erosión laminar que puede truncar hasta más de la mitad del horizonte A y que puede aparecer en el área zonas del horizonte B o C que afloran en no más de 50 % del área.
Fuerte	Erosión laminar que hace aflorar el horizonte B o C éste representa en superficie más de 50% del paisaje, o existe erosión en surcos que requieren prácticas especiales para su corrección.
Severa	Erosión en surcos profundos cubriendo casi todo el terreno o cárcavas que requieren grandes labores de recuperación y control.

Fuente: EDELCA (2003b).

Para establecer la distribución espacial de la erosión actual, primero fue necesario producir un índice normalizado de diferencias de vegetación (Normalizad Difference Vegetation Index, NDVI), según Myneni (1995) a partir de la imagen de satélite LANDSAT 7 Enhanced Thematic Mapper Plus y del programa Erdas Image versión 8.5. De la ecuación (banda 4 - banda 3) / (banda 4 + banda 3) se calculó el índice, que varía entre 1 y -1, reflejando, los valores negativos, ausencia de actividad fotosintética o menor cobertura vegetal. La banda 3 ó rojo visible presenta baja reflectividad para la vegetación y la 4, infrarrojo cercano, alta reflectividad.

La ecuación se aplicó a cada píxel y se obtuvo una imagen de NDVI de números digitales continuos. Sobre la imagen se ubicaron los 50 puntos de muestreo y caracterización de la erosión actual y se identificaron los diferentes grados de reflectancia para cada tipo y

grado de erosión de cada punto. A partir de esto se procedió a establecer los límites de las delineaciones a través del análisis visual apoyado en la imagen y el NDVI. Esta información se extrapoló a las áreas no muestreadas, tomando en cuenta tanto el análisis de reflectancia de la imagen y el NDVI, como los factores pendiente, cobertura vegetal y uso actual de las tierras.

Riesgos de erosión: tiene el objetivo de clasificar las unidades de tierra en función de los riesgos que ellas presenten a sufrir procesos erosivos, bajo dos escenarios. El primero, refleja las condiciones actuales de clima, topografía, suelos y vegetación o cobertura vegetal actual, y es denominado riesgo de erosión actual. El segundo, asume las mismas condiciones, pero considerando una remoción total de la vegetación o cobertura vegetal y es llamado riesgo de erosión potencial. Para lograr la estimación de ambos riesgos se empleó el modelo de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE, por sus siglas en inglés), desarrollado por Wischmeier y Smith (1978). Los métodos y criterios usados para aplicar la ecuación $A = R \times K \times L \times S \times C \times P$, se describen a continuación.

a) Factor (R): para su obtención, el método más adecuado es el de determinar la erosividad a partir de bandas del pluviógrafo. En Canoabo, de las estaciones climáticas existentes, sólo Palmichal llevaba registros de bandas pluviográficas, las que fueron empleados por Hernández y Dega (2004), para realizar el cálculo de erosividad de la lluvia. Basándose en esta situación, se decidió utilizar el modelo EPIC (Williams, 1984) para estimar el factor R en otras localidades de la cuenca a partir de su calibración con los valores de las bandas de Palmichal. Para dicha calibración, se modificó, por tanteo, el valor APM (Peak runoff rate-rainfall energy adjustment factor = factor para el ajuste de la energía de la lluvia), entre 0, 5 y 1,5, hasta ajustar la erosividad de las lluvias con respecto a valores estimados mediante bandas. Las aproximaciones se efectuaron con y sin valores de lluvia máxima mensual en 30 min.

Las opciones usadas fueron: Opción 1: Calculados sin valores de lluvia máxima en 30 minutos para cada mes y un APM = 1; Opción 2: Calculados con valores de lluvia máxima mensual en 30 min para cada mes y un APM = 1; Opción 3: Calculados con valores de lluvia máxima mensual en 30 min para cada mes y un APM = 0,9; Opción 4: Calculados con valores de lluvia máxima mensual en 30 min para cada mes y un APM = 0,8. Una vez calibrado se corrió en las restantes 4 estaciones y así se obtuvo el factor R de cada una de ellas. El modelo

EPIC posee la ventaja que toma en cuenta la distribución diaria de las lluvias y diferenciar valores de erosividad de lugares que, teniendo similares valores mensuales de precipitación, tengan diversos números de días lluviosos por mes (Silva, 2002). Para lograr la distribución espacial del Factor R se considero la vegetación del lugar de cada estación y su precipitación.

b) Factor (K): el factor erosionabilidad expresa la susceptibilidad del suelo a ser separado y transportado por la lluvia y el flujo superficial. Para su determinación se uso el nomograma de erosionabilidad de Foster y Col citado por Pineda *et al.* (2004), usando para ello características del suelo superficial (15 a 20 cm) como: % limo (0,002 - 0,05mm), % de arena muy fina (0,05 - 0,10 mm); % de arena fina, media, gruesa y muy gruesa (0,10 mm - 2 mm), % materia orgánica (MO), estructura del suelo y permeabilidad. La ecuación usada fue:

$$K = (0,001317 * (2,1 * M^{1,14} * 10^{-4} * (12 - A) + (3,25 * (B-2) + (2,5 * (C-3))))/100,$$

Donde:

K: Factor erosionabilidad del suelo, expresado $Mg*ha*h Mj^{-1}ha^{-1}mm^{-1}$; M: (% limo + % arena muy fina * (100 - % arcilla); A: Porcentaje de MO; B: Código de estructura del suelo (1: granular muy fina; 2: granular fina; 3: granular gruesa a media; 4: blocosa, laminar o masiva); C: Código de permeabilidad de suelo (1: muy rápida; 2: rápida; 3: moderada; 4: moderadamente rápida; 5: lenta y 6: muy lenta).

c) Factor (L): el factor longitud de la pendiente (L) expresa el efecto de la longitud del escurrimiento en la determinación de la erosión y se obtuvo mediante la ecuación:

$$L = (1/22,13) m$$

Donde:

- l: Es la longitud de escurrimiento sobre la pendiente (m).
- m: Factor dependiente de la pendiente del terreno (Cuadro 2).

Para la estimación de (1), se utilizó la metodología propuesta por el MARNR (1989), no sin antes realizarle algunas modificaciones basadas fundamentalmente en las diferencias del tipo de relieve y porcentaje de la pendiente, (EDELCA, 2003b), tal como se indica en el Cuadro 3.

CUADRO 2. Valores del factor **m** según el porcentaje de pendiente.

Pendiente (%)	m
< 1	0,2
1 - 3	0,3
3 - 5	0,4
> 5	0,5

Fuente: Jegart y Espinoza (1990).

Finalmente para lograr la espacialización, el procedimiento fue el de apoyarse en la sobreposición de los mapas de geomorfología y pendiente, asignándole a cada unidad geomorfológica, los valores (I), según el Cuadro 3.

CUADRO 3. Valores de (I) según tipo de relieve.

Relieve/Pendiente	Valor I (m)
Valle	100
Piedemonte	100
Falda	150
Ladera	200
Viga	200
Loma con igual o más de 45 % de pendiente	100
Loma con menos de 45 % de pendiente	150

Fuente: EDELCA (2003b), con modificaciones propias.

d) Factor (S): para obtener el factor S se utilizaron dos ecuaciones según sea la pendiente del terreno. Para el caso que sea inferior de 20% se utilizó:

$$S_{(<20)} = 0,065 + 0,045s + 0,0065s^2 \text{ (Wischmeier, 1959)}$$

Donde:

$S_{(<20)}$: Es el gradiente de pendiente y el s: Porcentaje de la pendiente.

Para superficies con pendiente superiores al 20%, se uso la ecuación de Mc Cool *et al.*, citado por López (1991):

$$S_{(>20)} = 16,8 \text{ sen } \Phi - 0,5$$

Donde Φ es el ángulo de inclinación del terreno.

Los valores de pendiente se derivaron del modelo digital de elevación usando el procedimiento SLOPE de Arcgis 9.0, (ESRI, 2005).

e) Factor (C): se refiere a un índice del 0 al 1, que expresa la capacidad que tiene determinado tipo de cobertura vegetal para reducir el riesgo de erosión. Valores cercanos a 1 indican buena cobertura, cero se considera suelo desnudo sin protección. Dichos valores fueron obtenidos haciendo analogía entre los tipos de vegetación encontrados en la cuenca, con valores de Factor C, existente y utilizados en otros estudios como en la cuencas del río Caroní (EDELCA, 2003a) y Guárico (Pineda *et al.*, 2004). Los criterios utilizados en esta comparación, se basó en características como: tipos de cobertura vegetal, grado de cobertura y niveles de intervención.

f) Factor (P): es el factor referido a las prácticas de conservación y a su efecto protector de los suelos. Debido a que en la cuenca no se evidenció la aplicación de prácticas de conservación dentro de las actividades agropecuarias, este factor no se tomó en cuenta para calcular el riesgo de erosión actual de las tierras y por ende se asumió un valor de uno (1).

g) Calificación de los riesgos de erosión: para obtener el riesgo de erosión actual y potencial, se superpusieron los mapas de factores y, usando el álgebra de mapa se aplicó la fórmula USLE. Para su calificación se combinó en una sola la clasificación de la metodología de la FAO (1985), incluyendo la de los riesgos de erosión actual con la clasificación de los valores de pérdidas de suelo potencial López citado por Fernández (1990). Esta nueva clasificación única (Cuadro 4), permite comparar los riesgos de erosión actual y potencial y conocer la magnitud de los cambios al someter las tierras a un manejo extremadamente inadecuado que provoque la remoción total de la vegetación.

h) Diferencial de riesgos de erosión: este diferencial es propuesto como un indicador de la magnitud de los cambios de clases de riesgo de erosión, como consecuencia de la remoción de la vegetación, y contribuye a identificar cuales áreas tienen riesgos de mayor impacto. Para su determinación, se restan los valores de los mapas de riesgo de erosión potencial del actual. Este resultado fue clasificado de acuerdo a la magnitud del cambio, expresado por el número de clases de cambio y según las escalas propuestas en el Cuadro 5.

CUADRO 4. Criterios para la clasificación del riesgo de erosión.

Clases de Riesgo de Erosión	Pérdidas de Suelo (Mg ha ⁻¹ año ⁻¹)
Muy débil (1)	0 - 10
Débil (2)	10 - 50
Moderada (3)	50 - 100
Fuerte (4)	100 - 200
Muy fuerte (5)	200 - 1 000
Severa (6)	1 000 - 2 000
Muy Severa (7)	2 000 - 3 000
Extrema (8)	> 3000

Fuente: López (1964) citado por Fernández (1990) y FAO (1985), con modificaciones propias.

Balance morfodinámico

La metodología seguida está basada fundamentalmente en la descrita por COPLANRH, (1973). En ella, el mapa de balance morfodinámico se obtuvo de la comparación de la erosión actual, el escenario de riesgos de erosión potencial y las áreas que podrían sufrir daños por inundaciones de las aguas del embalse. Las áreas de riesgo de inundación se obtuvieron del modelo digital de elevación, seleccionando las áreas por debajo de la cota 277 m.s.n.m., la cual corresponde con la altura del aliviadero de la represa. Para esto se aplicó el procedimiento CONTOUR de Arcgis 9,0, (ESRI, 2005). Para el análisis del balance morfodinámico se emplearon los Cuadros 6 y 7, adaptados a partir del propuesto por EDELCA, (2003c).

CUADRO 5. Clasificaciones del diferencial de riesgo de erosión según su magnitud.

Magnitud del cambio	Diferencial de Riesgo de Erosión
Sin cambio	0
Bajo	1
Moderado	2 y 3
Alto	> 3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Erosión actual

En los anexos del artículo en la Figura 1, se presenta el mapa de erosión actual. Estos resultados están agrupados en 3 clases, los que presentan una erosión ligera a imperceptible, los cuales ocupan 10 778 ha (74,29%) de la cuenca; los de erosión moderada ocupando cerca de 1 893 ha (13,04%) y finalmente los que presentan una erosión fuerte con unas 1 602 ha (11,04%). Las áreas de ligera erosión corresponden con aquellas zonas que mantienen una mayor cobertura vegetal, independientemente de las pendientes que predominan. Por otra parte, las zonas con erosión moderada y fuerte están asociadas a actividades antrópicas (café, mandarinas, ganadería y concentraciones humanas) que en diversos grados han intervenido la cobertura vegetal y que están concentradas en el piedemonte y lomas, además de algunas áreas en las laderas. Las zonas de erosión fuerte están más cercanas al valle y en general tienen o han tenido actividad ganadera causando terracetos e importantes áreas de pérdida de suelo.

La mejor expresión del grado de erosión es la presencia de grava o gravilla sobre la superficie del suelo, como efecto de la remoción del material más fino, el truncamiento de horizonte A y ocasionalmente de parte del B, el cual aflora en la superficie en los peores casos. Esto quedó reflejado en el mapa de suelos con una clase taxonómica (subgrupo inceptic) que señala la pérdida de espesor de los suelos por la erosión.

En general, en la cuenca no se observan prácticas de conservación, ni a nivel agropecuario ni en las numerosas pequeñas vías rurales que son una de las principales causantes de deslizamientos y sirven de cauce para la fuerte escorrentía en la época de lluvia. Sería recomendable realizar estudios de las especies autóctonas del bosque nublado que pudieran servir para una rápida recuperación y reforestación de áreas degradadas o fragmentadas. Así mismo, determinar las especies más adecuadas de árboles para los sistemas silvopastoriles en zonas apropiadas de la cuenca.

Por otro lado vale la pena destacar que los sedimentos producidos en las áreas afectadas por la erosión son arrastrados acumulándose en los abanicos del piedemonte, posteriormente depositados en los drenajes naturales y en ambos lados del río Canoabo, formando las playas del mismo.

CUADRO 6. Criterios para la obtención del balance morfodinámico.

Erosión Actual					
Riesgo de Erosión Potencial	Clase de riesgo de erosión (Mg(ha*año))	Clasificación del riesgo	Baja (imperceptible o Ligera)	Media (Moderada)	Alta (fuerte o Severa)
	I (0-10)	Bajo riesgo	Estables (1)	Moderadamente estable (5)	Inestables (8)
II (10-50)	Moderado riesgo	Casi estable en equilibrio (2)	Moderadamente estable en alto riesgo (6)	Muy inestables (9)	
III (50-100)					
IV (100-200)	Alto riesgo	Casi estable en equilibrio precario (3)			
V (200-1000)	Muy alto riesgo	Casi estable en alto riesgo (4)	Moderadamente estable en muy alto riesgo (7)	Extremadamente inestables (10)	
VI (1000-2000)					
VII (2000-3000)					
VIII (> 3000)					
Áreas inundables (11)					

Fuente: EDELCA (2003c) y Ospino *et al.* (2004) con modificaciones propias.

CUADRO 7. Definición de las clases de balance morfodinámico.

Actividad	Definición	Clase	Definición
Inactivo	Aquellos medios que actualmente presentan erosión imperceptible o ligera, debido a la ausencia o a la poca eficiencia morfogenética de los procesos dinámicos.	1	Medios con ausencia de procesos morfodinámicos de superficie y permiten así el libre desarrollo de la pedogénesis. Son áreas para posibles usos agrícolas sostenibles.
		2	Medios en los cuales la actividad morfodinámica, de tipo predominantemente laminar, se encuentra en situación de equilibrio con la pedogénesis y posee un moderado riesgo de ser erosionado. Son áreas para posibles usos agrícolas sostenibles.
		3	Medios caracterizados por la precaria y muy débil estabilidad de uno o varios factores físico-naturales relacionados con los procesos erosivos, lo crea una alta potencialidad de rotura del equilibrio existente. Posee un alto riesgo de erosión. Áreas a preservar con su vegetación natural.
		4	Similar al anterior, con el agravante que el riesgo de erosión es muy alto. Estas zonas por sus características deben ser preservadas con su vegetación natural dado el nivel de riesgo presente.
Activos	Aquellos medios en los cuales la actuación de los procesos morfodinámicos generan problemas de erosión y/o acumulación	5	Áreas de baja a moderado riesgo de erosión, que en estos momentos sufren de una erosión moderada, debido principalmente a un mal manejo de las tierras. Áreas donde su recuperación podría lograrse a corto o mediano plazo, incorporando prácticas conservacionistas sencillas y luego destinarlas a usos agrícolas sostenibles.

../... continúa

...continuación CUADRO 7.

Actividad	Definición	Clase	Definición
		6	Áreas de alto riesgo de erosión, que presentan una erosión moderada, debido a un manejo inadecuado de las tierras, sin embargo, aún no han llegado a su estado máximo probable de degradación. Para evitarlo se ameritarían medidas inmediatas como: prácticas de conservación sencillas a moderadas. Debido a lo crítico de algunos de los factores físico-naturales, relacionados con los procesos erosivos, estas áreas luego de su recuperación deben ser preservadas, y utilizadas de manera racional, posiblemente con usos agroforestales, forestal asociado, ecoturismo, etc.
		7	Áreas con muy alto riesgo de erosión, que presentan erosión moderada, debido principalmente a un manejo inadecuado de las tierras, sin embargo, aún no han llegado a su estado máximo probable de degradación, para evitarlo se ameritaría inmediata de la aplicación de prácticas de conservación medianamente complejas, debido a lo crítico de algunos de los factores físico-naturales relacionados con los procesos erosivos. Estas áreas deberían recuperarse y dedicarse a usos conservacionistas como: agroforestal, forestal asociado, ecoturismo, entre otros.
Activos	Aquellos medios en los cuales la actuación de los procesos morfodinámicos generan problemas de erosión y/o acumulación	8	Áreas de baja a moderado riesgo de erosión, que en estos momentos sufren de una fuerte erosión, debido principalmente a la aplicación de sistemas de manejo altamente degradante por períodos extensos de tiempo. Situación ésta que lo hace inestable. Deberían recuperarse e incorporárseles prácticas conservacionistas y, luego de esto podrían ser usadas con usos ecológicamente aceptables.
		9	Áreas muy inestables de alto riesgo de erosión, que presentan una fuerte erosión, debido a manejos altamente degradante como la ganadería en zonas de altas pendientes. Ameritarían medidas inmediatas como: prácticas de conservación compleja y costosa, debido a lo crítico de algunos de los factores físico-naturales. Estas áreas deberían recuperarse y dedicarse a usos conservacionistas como: agroforestal, forestal asociado, ecoturismo, etc.
		10	Áreas extremadamente inestables con muy alto riesgo de erosión, que presentan severa erosión, debido a la aplicación de manejos inadecuado de alta presión sobre el recurso tierra en áreas donde los factores erosivos son críticos. Ameritaría inmediata aplicación de prácticas de conservación complejas y costosas debido a la criticidad de algunos de los factores físico-naturales. Estas áreas deberían recuperarse y dedicarse a usos conservacionistas como: agroforestal, forestal asociado, ecoturismo, entre otros.
		11	Áreas bajo inundación actual o con potencial de ser inundables debido al incremento del nivel de las aguas del embalse. Por lo general son inundaciones plurianuales de largo período.

Fuente: EDELCA, (2003c) y Ospina *et al.* (2004), con modificaciones propias.

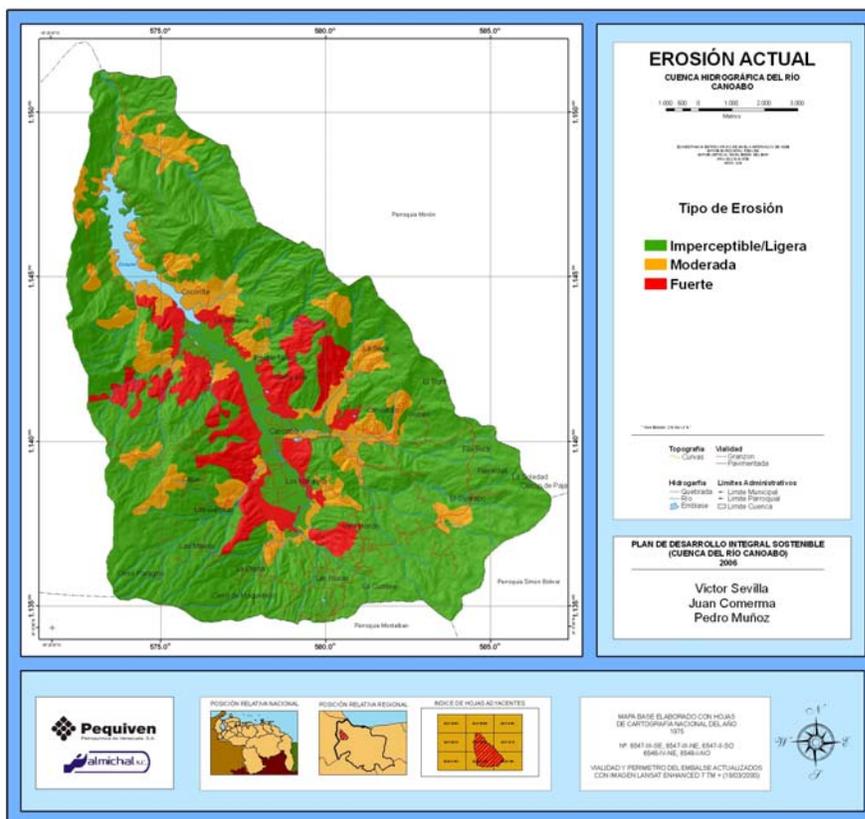


FIGURA 1. Mapa de Erosión actual.

Riesgo de erosión

En este apartado se muestran primero los resultados de los Factores R y K, y finalmente los resultados del cálculo del riesgo de erosión actual.

Erosividad de la lluvia (Factor R): La calibración del modelo EPIC para la estimación del Factor R en la estación Palmichal arrojó que la opción 4, la cual se corrió con datos de lluvia máxima en 30 min y un $APM = 0,8$, tuvo menos diferencia con respecto al promedio de los valores absolutos medidos de Factor R ($1,8 \text{ MJ} \cdot \text{mm} / \text{ha} \cdot \text{h} \cdot \text{año}$), y un porcentaje de variación de cero (0) %, además su coeficiente de determinación fue de 0,74 al comparar los valores anuales de factor R medidos y estimados. Sin embargo, la opción 1, corrida sin valores de lluvia máxima en 30 min y un AMP de 1, es también una buena opción para la simulación del Factor R, ya que demostró leves diferencias con respecto a los valores medidos, especialmente en cuanto a los promedios anuales, y un alto coeficiente de determinación (0,77) tal como se aprecia en la Figura 2.

Erosionabilidad de los suelos (Factor K): la Figura 3, muestra que los valores moderadamente bajos del Factor K ($< 0,015$), se consiguen en 1 153 ha (7,9%) de la superficie, específicamente en las partes más alta de la cuenca, bajo una vegetación boscosa nublada, con abundante MO. Los suelos con Factor K moderados ($0,015 - 0,030$) están ubicados también en zonas medianamente altas, también con vegetación de bosque, pero, menos húmedos y con menor acumulación de MO, pero aun con valores considerables. Estos suelos cubren unas 2 307 ha (15,9%) de la cuenca. La mayoría de los suelos en la cuenca poseen un Factor K moderadamente alto ($0,030 - 0,045$), específicamente una superficie de 7 498 ha (51,68%), correspondiendo a tierras con vegetación de bosque semidecíduos, suelos de texturas medias y contenidos medios a bajos de MO. Los valores altos de Factor K ($0,045 - 0,060$), se ubican en las laderas bajas y el piedemonte, abarcando 3 316 ha (22,8%), en suelos de mayor intervención, especialmente con usos ganaderos, y donde en la actualidad se presentan los mayores grados de erosión.

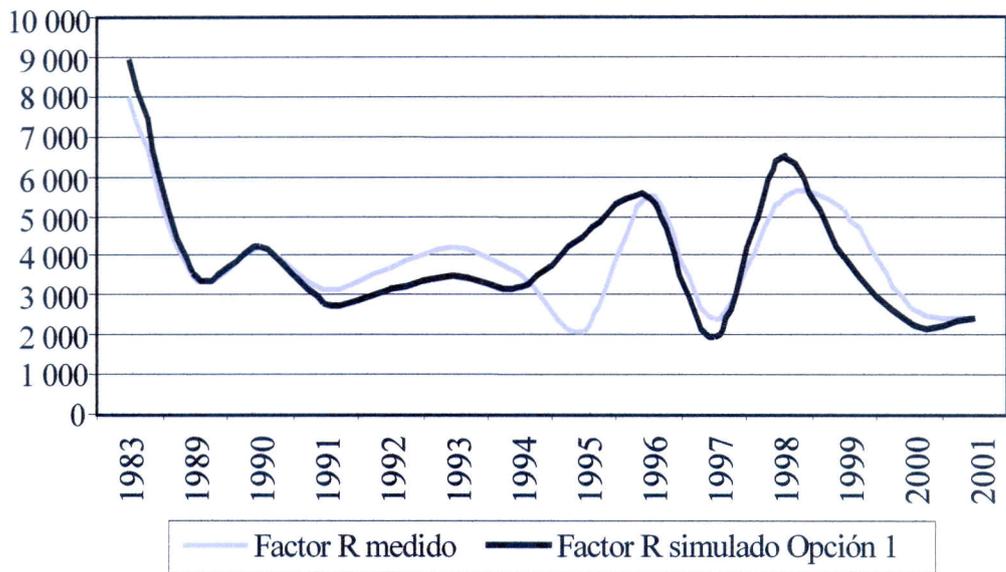


FIGURA 2. Comparación entre Factor R medido y estimado con EPIC.

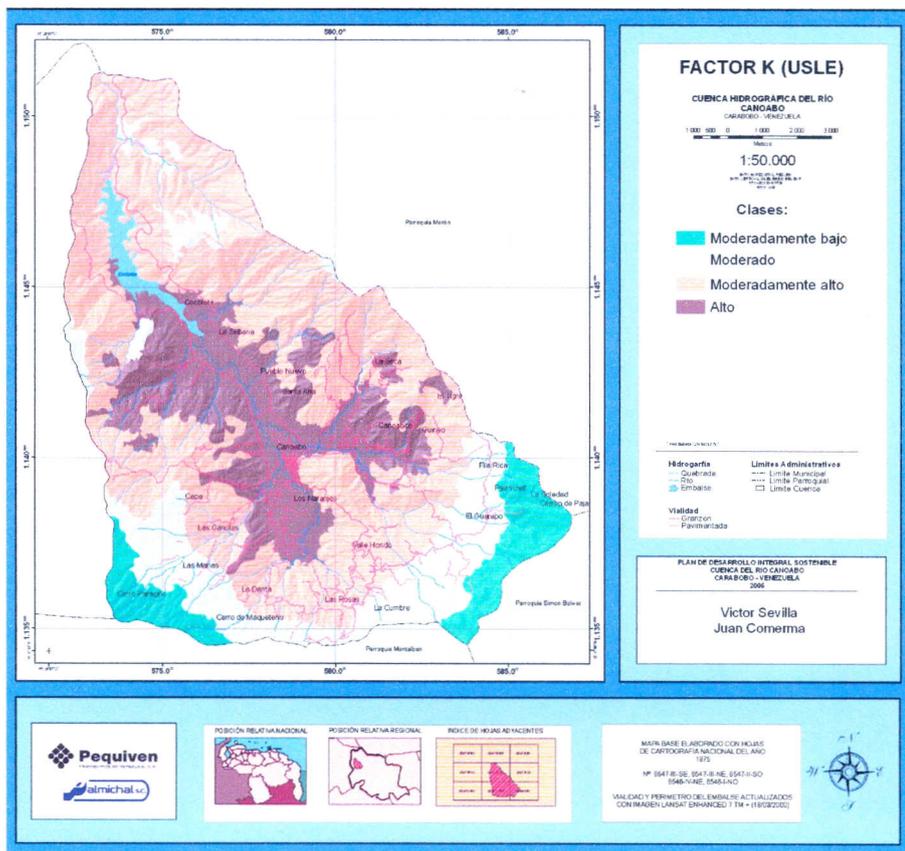


FIGURA 3. Mapa de Factor K.

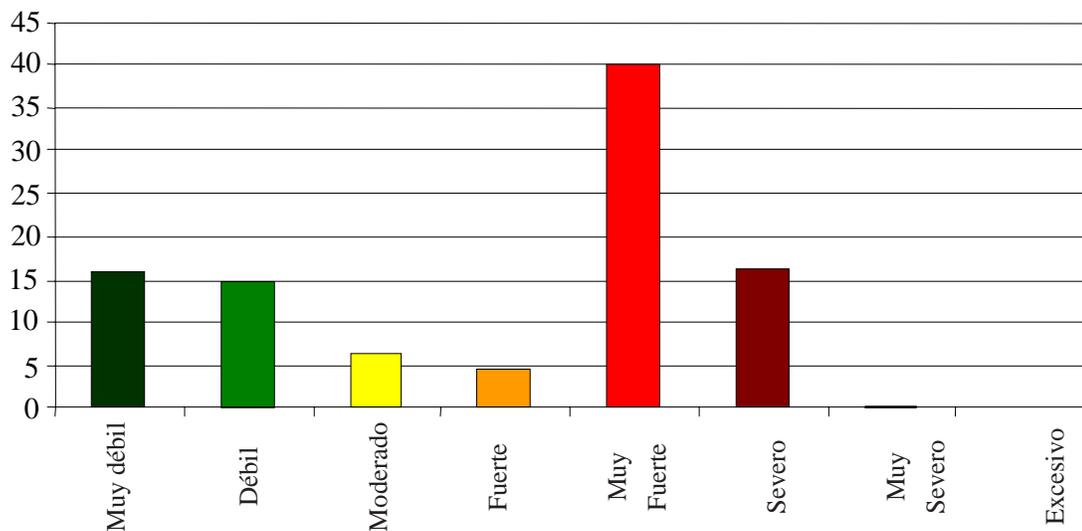
El factor de la ecuación USLE que aportó mayor peso en los resultados, en cuanto a magnitud, fue el Factor R, ya que sus valores oscilaron entre 3 047 y 4 245 $Mj*mm/ha*h*año$. Pero en cuanto a su distribución, el gradiente (S), la longitud (L) de la pendiente y el factor protector de la cobertura vegetal (C) tiene mayor importancia.

Finalmente observando las Figura 4 y el mapa de riesgo de erosión actual mostrado en la Figura 5, se observa que las clases muy fuertes y severas representan más de la mitad de la superficie, 8 303 (57,23%), estando ubicadas en las laderas con pendientes moderadamente empinadas (20 a 45%) y con coberturas con un moderado a fuerte grado de intervención. Las categorías de muy débil y débil abarcan 4 369 ha (30,11%). Las zonas con riesgos muy débiles se circunscriben a los bosques nublados con muy bajo grado de intervención. Lo anterior destaca la función de una densa cobertura en prevenir la erosión y, corresponde muy bien con la erosión actual ligera encontrada en este sitio. La zona con débil riesgo de erosión actual corresponden al valle y a las laderas en ambos márgenes de la cuenca que, independiente de sus pendientes, aun mantiene un grado de cobertura moderada.

Al comparar el riesgo de erosión actual, con la erosión de campo (Cuadro 8), se obtuvieron interesantes situaciones que a continuación se describen:

Unas 10 778 ha, fueron clasificadas con erosión actual ligera o imperceptible, de ellas 41%, coincidieron en poseer un riesgo de erosión actual de moderado a débil, sin embargo, un 45% contrariamente mostraron un alto riesgo. Esto se debió, primero a la escala empleada (1:50 000), y a la irregularidad del relieve, que provoca discontinuidades o falta de homogeneidad en el terreno, donde no pudieron separarse áreas de fuerte erosión, ya que las mismas no poseían la mínima superficie cartografiada (12,5 ha). En segunda instancia, que grandes superficies de laderas sobre los 800 m.s.n.m., han sido deforestadas, para usarlas en ganadería, posteriormente abandonadas y repobladas naturalmente por helechos que no protegen al suelo del impacto de la gota de lluvia, pero que si enmascara en la imagen satelital una erosión laminar, fuerte, continua y acelerada.

Alrededor de 1 602 ha, presentaron fuerte erosión actual, y en ellas la coincidencia fue realmente alta con la aplicación de la ecuación USLE, ya que 75% de sus tierras son de alto a muy alto riesgo de erosión.



Clase de riesgo de erosión actual

FIGURA 4. Porcentajes de clases de riesgo de erosión actual en la cuenca.

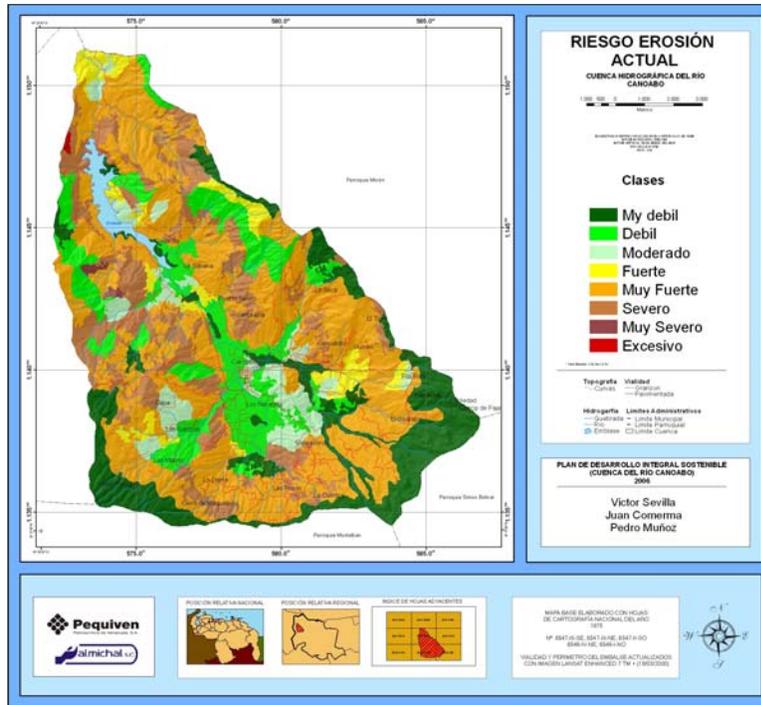


FIGURA 5. Mapa de Riesgo de Erosión Actual.

Resumiendo, es recomendable realizar el estudio de la erosión, con un grado de detalle que considere a aquellas pequeñas áreas que hayan sido intervenidas y que estén en condiciones ecológicas de riesgo. Además realizar una mayor cantidad de chequeo en el campo para

conocer la situación de la erosión real, y poseer una valoración del Factor C, especialmente en coberturas que surgieron a consecuencias de la intervención. Finalmente, estudiar la erosión real actual haciendo énfasis en aquellas áreas donde el resultado del riesgo de erosión fue alto.

CUADRO 8. Comparativo entre la erosión actual y el riesgo de erosión actual (Unidades %).

Riesgo de Erosión Actual		Erosión Actual Real		
		Imperceptible / Ligera	Moderada	Fuerte
Muy débil (1)	Bajo riesgo	35	22	18
Débil (2)				
Moderada (3)	Moderado riesgo	6	9	8
Fuerte (4)	Alto riesgo	45	53	38
Muy fuerte (5)				
Severa (6)	Muy alto riesgo	14	16	36
Muy Severa (7)				
Extrema (8)				

Riesgo de erosión potencial

La Figura 6 presenta el mapa del riesgo potencial. Hay que recordar que se está usando la misma escala de valoración que en el caso del riesgo de erosión actual, por lo tanto, al comparar ambos valores, se refleja el efecto que tiene la completa eliminación de la vegetación en los procesos de erosión. Las categorías muy fuertes, severas y muy severas de riesgo de erosión potencial ocupan 13 400 ha (92,36%) de la cuenca. Esto indica que al eliminar la vegetación, las pendientes asumen el rol principal del proceso erosivo, y dado que en la cuenca dominan las altas pendientes, la mayoría de su superficie incrementa su riesgo. Por lo contrario en las zonas planas del valle, unas 874 ha (6,02%) clasificación como de riesgo débil y moderado. Aquí evidentemente la remoción de vegetación tendría un impacto mucho menor.

Diferencial de riesgos de erosión: los resultados mostrados en la Figura 7 muestran que en unas 8 449 ha (58,23%) de la cuenca los cambios de riesgo son menores a 2 clases, correspondiendo con el valle, el piedemonte y las laderas medias. Esto se debe al débil riesgo de erosión actual y potencial de las zonas planas; pero también existen áreas con mayores pendientes altamente intervenidas que tienen un riesgo de erosión actual muy fuerte, y en caso de eliminar el resto de su vegetación, se mantendría en muy fuerte o sólo se incrementaría a severo. Otros resultados a resaltar corresponden con zonas que cambian en 3, 4 y 5 clases las cuales cubren alrededor de 4 369 ha (30,11%). Ellas están concentradas en las áreas que actualmente tiene la mayor cobertura vegetal, en especial en el bosque nublado, con un riesgo de erosión actual de muy débil a moderado, pero que si ocurriera cualquier alteración de vegetación, si promovería altos cambios en el diferencial de riesgos, llevándolas a un riesgo de erosión potencial muy fuerte, inclusive extremos.

Este indicador resulta útil para establecer, conjuntamente con otros elementos, la fragilidad ambiental de un ecosistema, ya que promueve una mayor estratificación de la superficie de las laderas (en comparación con el riesgo de erosión potencia por sí sólo), ubicando en ellas las áreas con posibilidades de mayores impactos por cambios en la vegetación.

Para ilustrar el significado de las clases, se describen a continuación algunas de ellas:

Diferenciales Altos: ocurren en áreas con riesgo de erosión actual de mediano a bajo, debido a su buena cobertura, pero poseen un alto riesgo potencial

pues al remover la vegetación en zonas de altas pendientes se produciría un gran cambio en las clases de erosión y consecuentemente un gran impacto.

Diferenciales medios: áreas con riesgos de erosión actual y potencial de moderados a altos, con magnitud de cambios por la remoción de la capa vegetal también moderados.

Diferenciales bajos: áreas de baja magnitud de impacto si se elimina la vegetación. En ese caso hay 2 situaciones: a) Zonas planas, donde el riesgo de erosión actual es bajo y sí se remueve toda la cobertura, sus bajas pendientes no provocarían incrementos importantes de los riesgos; b) Zonas de mayores pendientes, con gran intervención y remoción de la vegetación y por consiguiente importantes procesos erosivos. El riesgo de erosión actual es alto, sin embargo, al continuar la eliminación de la baja capacidad protectora de la vegetación no incrementaría en más de una clase su riesgo de erosión potencial.

Balance mordinámico: en la Figura 8, se observa que aproximadamente 8 697 ha (59,94%) de la cuenca es clasificado "Casi estable con alto riesgo", debido a la precaria estabilidad de uno o varios de los factores físicos relacionados con la erosión. Está ubicado en las laderas con pendientes fuertes, cubiertas por bosques y con una erosión actual ligera, sin embargo, este grado de erosión aumentaría en más de 3 hasta 7 clases, si se removiera la vegetación, de allí que estas zonas presenten limitaciones para actividades agrícolas o pecuarias y deberían ser preservadas y/o utilizadas con usos conservacionistas como: producción de agua, captura de CO₂, reserva biológica, entre otros.

Unas 2 174 ha (14,99%) de la cuenca, específicamente en la falda y piedemonte, se encuentran en las más críticas condiciones y deben ser recuperadas por presentar problemas moderados a fuerte de erosión. Ellas clasifican en las denominadas "moderadamente estables con muy alto riesgo y extremadamente inestables". Su posible uso debería ser de preservación con usos conservacionistas, como el forestal, debido a su alto grado actual de intervención.

Al sur de la cuenca, en los Cerros El Marquero y el Cerro de Paja se ubican 1 596 ha (11,0%) de las superficies calificadas "casi estables, pero, en equilibrio precario", debido a su altas pendientes, pero protegidas por el bosque. Su posible destino sería el de preservación con su vegetación natural.

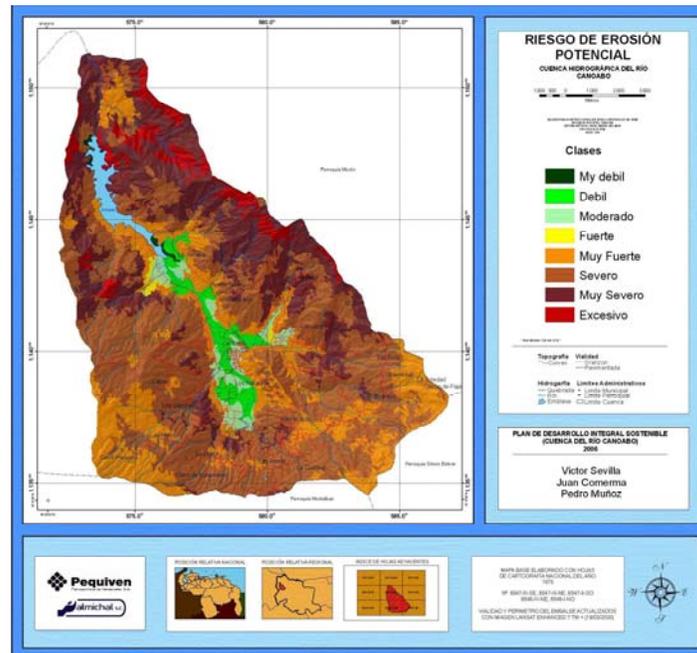


FIGURA 6. Mapa de Riesgo de Erosión Potencial.

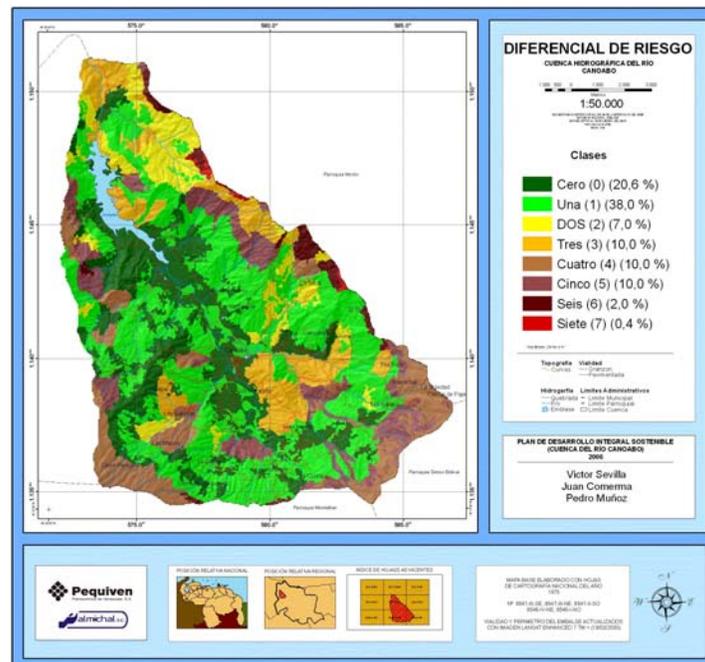


FIGURA 7. Mapa de Diferencial de Riesgo de Erosión.

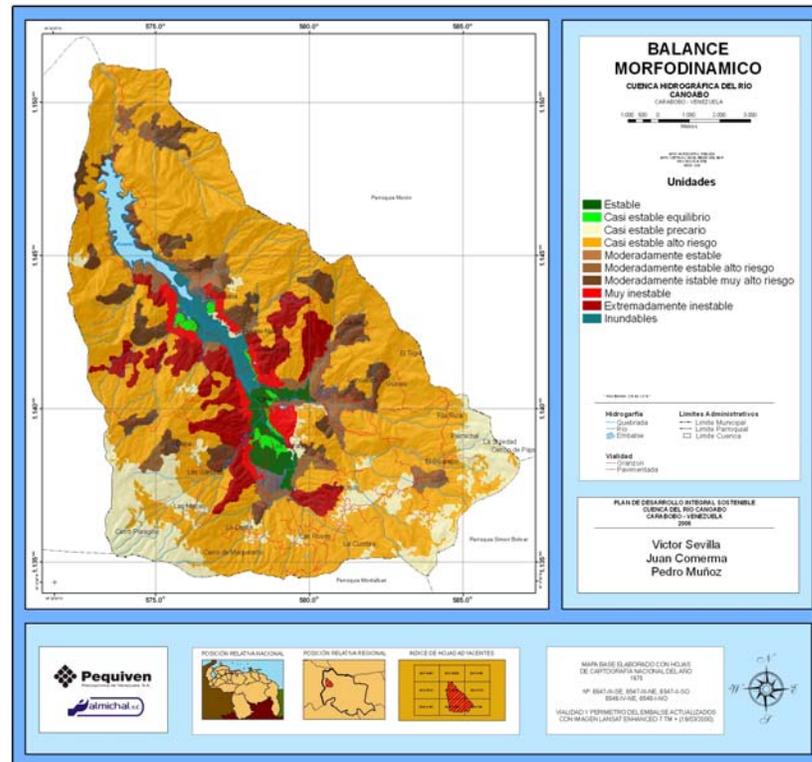


FIGURA 8. Mapa de Balance Morfodinámico.

En el piedemonte, que rodea el valle, en el sector del Guarapo y en las vigas altas, se consiguen 870 ha (5,99%) que requieren ser recuperadas por la erosión laminar progresiva. Ellas clasifican como "moderadamente estable con alto riesgo y muy inestables", según sea su erosión moderada o fuerte. En estas zonas se pueden permitir, luego de la recuperación, usos como el agroforestal y el ecoturismo.

Sólo 435 ha (2,99%) de la cuenca se encuentra en condiciones "Estables o Casi estable en equilibrio", y se ubica en la parte sur del valle. Sin embargo, podrían sumárseles 168 ha (1,15%) con erosión fuerte, si se logrará su recuperación, totalizando un 4% de tierras estables para el uso agrícola sostenible de mayor intensidad.

La parte norte del valle, hasta la cota 277 m.s.n.m., que representa 334 ha (2,30%), sufre de "Inundaciones" o son potencialmente inundables.

Es recomendable estudiar la erosión en los usos presentes en zonas de pendiente (ganadería, plantaciones de frutales, café, conucos, entre otros), y diseñar y aplicar obras de conservación en la vialidad rural ya

que son los medios donde ocurre la mayor escorrentía de las laderas. También es necesario delinear y aplicar prácticas de conservación en los programas de asistencia técnica a los productores de la zona, posiblemente empleando parcelas demostrativas con fines de extensión, capacitación y educación ambiental. Con relación a los fenómenos de inundación de carácter cíclico que se presentan alrededor del embalse y que afectan las mejores tierras agrícolas, es recomendable que Hidrocentro, ejerza un control más estricto en la regulación del nivel de las aguas. Otras medidas aplicables pueden ser la construcción de diques de contención, embalses de regulación y canales de desviación.

Para cuantificar la magnitud del daño que ocurriría si las superficies fuesen intervenidas de manera descontrolada y exagerada, se realizó la comparación entre el balance morfodinámico y el diferencial de erosión. Los resultados se muestran en el Cuadro 9.

Las áreas "Estables" (1) y "Casi estable" (2), coinciden en su totalidad con el diferencial de riesgo, ya que en el caso de ser removida su vegetación, no sufrirían cambios o sólo se eleva una clase su riesgo de ser erosionadas.

Unas 1 596 ha, fueron clasificadas "Casi estable en equilibrio precario", dentro de las cuales un 60% poseen un diferencial de riesgo de por lo menos 4 clases de incremento si son deforestadas. Casi 8 697 ha, resultaron "Casi estables con alto riesgo", la clase más frecuente en la cuenca. De ellas aproximadamente la mitad podrían elevar su clase de riesgo de erosión desde 2 a 7 clases, si son intervenidas. Las aéreas inestables, contrariamente o no experimentan cambios o son muy ligeros. Esto es debido a que su fuerte erosión actual, y a la poca protección de la cobertura, hacen que si fuese removida su vegetación, no aumentaría la diferencia con el estado actual.

CONCLUSIONES

- Emplear metodologías convencionales, como la ecuación USLE, complementadas con técnicas de teledetección (NDVI), modelos de simulación (EPIC) y de pedotransferencia simples, permitieron una adecuada caracterización de la erosión, en un tiempo corto.
- EPIC demostró ser una herramienta eficiente a la hora de estimar la erosividad de las lluvias, en cuenca con escasa información de valores de lluvia máxima en 30 min.
- La cuenca evidencia signos de erosión laminar de moderada a fuerte en un 25% de su superficie, especialmente asociado a la ganadería. El 75% fue calificado de ligera.
- La cuenca posee un gran riesgo de sufrir erosión en las condiciones actuales y si se remueve la vegetación, un 90% de sus tierras pasarían a tener de muy fuerte a muy severo riesgo de erosión potencial.
- Las zonas con mayor magnitud de daño al afectar la vegetación son los bosques en laderas empinadas. La zona más estable es el valle plano del río Canoabo.
- El balance morfodinámico corrobora que la mitad de la cuenca, es casi estables, pero, con un alto riesgo de sufrir procesos erosivos, especialmente las laderas empinadas.
- Se demostró una importante correlación entre los análisis de riesgo de erosión actual, balance morfodinámico y la erosión de campo actual, la cual puede utilizarse para conocer la magnitud relativa del daño de una intervención antropica.
- De manera general la degradación en la cuenca, es consecuencia de los usos pasados y actuales. En las zonas de laderas altas, conucos de ñame y maíz, y plantaciones de cítricas como mandarina, de alta rentabilidad, pero, sin prácticas conservacionistas, han provocado procesos erosivos de moderada magnitud. En el piedemonte, el uso ganadero ha causado la peor situación de erosión. En el valle, se encontraron las mejores tierras de la cuenca, sin embargo, la mitad del mismo se ve afectado por inundaciones.

CUADRO 9. Relación balance morfodinámico y diferencial de riesgo de erosión (%).

Diferencial	Clases de Balance Morfodinámico										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0 Sin Cambio	73	55	27	10	44	50	24	64	64	28	72
1 Bajo Cambio	26	45	6	44	25	27	38	33	25	57	22
2 Moderado Cambio	1	0	6	23	31	21	26	3	11	8	6
3											
4 Alto Cambio	0		61	23		3	11			7	
5											
6											
7											

BIBLIOGRAFÍA

- Comisión para el Plan Nacional de Recursos Hidráulicos (COPLANARH). 1973. Metodologías utilizadas en el Inventario Nacional de Tierras. Caracas Venezuela. 80 p. (Publicación especial, N° 36).
- Empresa de Electrificación del Caroní (EDELCA). 2003a. Estudio Plan Maestro de la Cuenca del río Caroní. Evaluación Ambiental, Agrícola y Forestal de las Tierras (FAO). Caracas Venezuela. 77 p.
- Empresa de Electrificación del Caroní (EDELCA). 2003b. Estudio Plan Maestro de la Cuenca del río Caroní. Clasificación de las tierras de acuerdo a la erosión. Caracas Venezuela. 66 p.
- Empresa de Electrificación del Caroní (EDELCA). 2003c. Estudio Plan Maestro de la Cuenca del río Caroní. Balance Morfodinámico. Caracas Venezuela. 44 p.
- ESRI, 2005. ArcGis 9.0. Redland, California, USA. www.esri.com.
- Fernández, N. 1990. La Cuenca Hidrográfica. **In:** PAEZ, M. L., N. Fernandez y O. Rodríguez. 1990. Manual de Conservación de Suelos y Aguas. Universidad Central de Venezuela. FAGRO. Maracay.
- Food and Agricultural Organization Of The United Nations (FAO). 1985. Directivas: Evaluación de Tierras para la Agricultura de Secano. Boletín de Suelos N° 52. FAO, Roma, Italy.
- Hernández, K y L. Dega. 2004. Estimación de los factores K y R de la USLE, Cuenca Hidrográfica del río Canoabo. Facultad de Ciencias Ambientales y Forestales, Universidad de los Andes. Mérida. 33 p.
- Jegart, H. y C. Espinoza. 1990. Cuantificación de la pérdida superficial de suelos a nivel de cuenca mediante la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE). **In:** Metodología de la Evaluación de la Erosión del Suelo y su Impacto en la Productividad. CIDIAT. Mérida. p. 45-76.
- López, R. 1991. Algunas consideraciones en relación al uso de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE) en Venezuela. **In:** Metodología de la Evaluación de la Erosión del Suelo y su Impacto en la Productividad. CIDIAT. Mérida. p. 85-92.
- Ministerio del Ambiente y de Recursos Naturales Renovables (MARNR). 1989. Plan de Desarrollo Integral Conservacionista para la cuenca alta del río Pao. Dirección Regional San Carlos, Cojedes. 328 p.
- Myneni, R. B., F. G. Hall, P. J. Sellers and A. L. Marshak. 1995. 'The interpretation of spectral vegetation indexes', IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 33:481-486.
- Ospina, A., G. Elizalde, J. Vilorio y J. Ochoa. 2004. Balance Morfodinámico de la Cuenca Alta del río Guárico, Manejo Integral de la Cuenca Alta del río Guárico, Núcleo de Investigación y Excelencia. Proyecto Iniciativa Científica Milenio, 120 p.
- Pineda, C., D. Machado, J. Ochoa y J. Vilorio. 2004. Evaluación Ambiental y Agrícola de Tierras de la Cuenca Alta del río Guárico con Fines de Producción Sostenible de Agua. Manejo Integral de la Cuenca Alta del río Guárico, Núcleo de Investigación y Excelencia. Proyecto Iniciativa Científica Milenio. 240 p.
- Sevilla, V., J. Comerma y O. Silva. 2009. Caracterización de la cuenca del río Canoabo. I Análisis climático y de producción de agua. *Agronomía Trop.* 59(1):33-44.
- Sevilla, V. y J. Comerma. 2009. Caracterización de la cuenca del río Canoabo. II Suelos y Tierras. *Agromía Trop.* 59(2):149-160.
- Silva, O. 2002. Estimación de la erosividad de las lluvias en áreas de la cuenca del río Caroní mediante el modelo EPIC. Informe técnico. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Maracay. 24 p.
- Williams, J., C. Jones y P. Dyke. 1984. A modeling approach to determining the relationship between erosion and productivity. *Trans. ASAVE.* 27(1):129-144.
- Wischmeier, H. H. 1959. A rainfall erosion index for Universal Soil Loss Equation, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 23:246-249.
- Wischmeier, W. H. and Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses- a guide for conservation planning. U.S. Department of Agriculture, *Agriculture Handbook* 537.