

Determinación de los índices de sequía y topográfico, a través de Sistemas de Información Geográfica (SIG), en la microcuenca El Castrero, estado Guárico-Venezuela

Use of Geographical Information Systems (GIS) on drought and topographical index determination of El Castrero micro-watershed, Guárico State-Venezuela

Noemí Cañizales P.*, María E. Benitez T. y Constanza I. Rojas M.***

Recibido: 28-01-08 / Aceptado: 16-05-08

Resumen

Con el propósito de conocer la potencialidad de la microcuenca El Castrero para producir agua y para determinar los riesgos de erosión, se determinaron los índices de sequía y topográfico a través de las características climáticas y físico-naturales de la microcuenca, utilizando sistemas de información geográfica. Para la generación de las capas de este estudio se utilizó la base de datos digitalizada del Sistema de Información Ambiental de la microcuenca alta del río Guárico, SIACARG (Jácome, 2003). De allí se extrajo la información correspondiente a la superficie por encima de los 800 m.s.n.m. de la microcuenca El Castrero. Esto permitirá, a futuro, determinar áreas de intervención en la microcuenca que pudieran servir de orientación para el establecimiento del sistema agroecológico café bajo sombra, con el fin de recuperar la vocación hidrológica de la misma. Los valores determinados del índice de sequía en la microcuenca tienen una distribución de medio hacia alto, cubriendo un 75% de la superficie, mientras que el índice topográfico muestra un riesgo de erosión de moderado a severo. Estos valores indican que hay problemas de producción de agua y arrastre de sedimentos en la microcuenca.

Palabras clave: erosión; índice de sequía; índice topográfico; SIG; sistema agroecológico café bajo sombra.

* Universidad Nacional Experimental Rómulo Gallegos (UNERG). Instituto de Desarrollo Sostenible de Sistemas Agroambientales (IDESSA). Venezuela.

** Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. Viceministerio de Conservación Ambiental. Unidad Operativa Reservas Forestales Ticoporo y Caparo. Barinas, Venezuela.

Abstract

In order to know the water production potential of El Castrero micro-watershed and to determine erosion risks, drought and topographical index were determined, based on climate and physical-natural characteristics of the basin, by using geographical information systems. For generating layers of this study, the digitalized data base of the environmental information system of Guárico river high basin, SIACARG was used (Jácome, 2003). The corresponding information of the surface over 800 m.a.s.l. at El Castrero micro-watershed was selected. This will permit guiding on the search for intervention of areas in the micro-watershed, in order to recover the basin hydrological potential by means of establishing an agroecological shade coffee system. Drought index in the microbasin ranges from mild to high, covering 75% of the surface while topographical index shows erosion risk from moderate to severe. These values indicate water production problems and sediment dragging in the micro-watershed.

Key words: erosion; drought index; topographical index; GIS; agroecological coffee under shade system.

Introducción

La microcuenca El Castrero tiene una vocación hidrológica, ya que en la naciente del río, se encuentra el monumento natural Cerro Platillón, que con su cubierta forestal actúa como una “esponja”, concentrando sobre ella las precipitaciones, reteniendo el agua, recargando los acuíferos y manantiales y manteniendo vivos los cuerpos de agua que emergen de él durante la temporada de sequía. Dentro de esta microcuenca existen bosques y matorrales con diversos grados de degradación, hasta áreas con escasa vegetación. Al respecto, cabe mencionar que gran parte de la microcuenca está sometida a intensos procesos de erosión y degradación del suelo, que afectan la cantidad y calidad del agua producida.

Las actividades agrícolas predominantes en las últimas décadas en la zona han sido la ganadería extensiva, cultivos de ciclo corto, desarrollo de proyectos habitacionales, entre otros, que en su conjunto representan una amenaza al recurso hídrico; principalmente, por la contaminación directa de las fuentes de agua superficial y la erosión.

La situación presente en esta microcuenca motivó la realización de este estudio, que consistió en la determinación del índice de sequía y topográfico, a través de los sistemas de información geográfica, con el objetivo de definir medidas de conservación de suelos y aguas, relacionadas con la problemática de producción de agua y de riesgo de erosión de la microcuenca El Castrero. Posteriormente, permitirá determinar áreas de intervención en la microcuenca, conjuntamente con los productores de la zona, que pudieran servir de modelo orientador para el establecimiento del sistema agroecológico café bajo sombra, con fines de conservación de suelos y aguas.

Materiales y métodos

Para determinar los índices planteados, se utilizó la base de datos digitalizada del SIACARG (Jácome, 2003). De allí se extrajo la información correspondiente a la superficie por encima de los 800 m.s.n.m. de la microcuenca El castrero.

Índice de Sequía (IS)

El índice de sequía consiste en la relación entre la evapotranspiración potencial que proyecta la cobertura vegetal y la precipitación existente en el área a estudiar. El índice puede calcularse para cualquier periodo temporal (día, semana, mes o año).

Para este trabajo, se calculó el índice anual. Para la determinación de éste, se usó la ecuación 1:

$$I_s = \frac{ET_p}{P} \quad (1)$$

Donde:

Is = Índice de sequía

ETp = Evapotranspiración potencial

P = Precipitación

Para el cálculo del índice de sequía y su distribución espacial, fue necesario obtener las capas de la evapotranspiración y precipitación. Inicialmente, se elaboró la capa de isoyetas, siguiendo los siguientes pasos: Se seleccionaron 11 estaciones ubicadas dentro y en zonas aledañas a la microcuenca (tabla 1). El periodo de datos registrados existente es de 20 años. Los datos de la precipitación anual se ajustaron. Con estos datos, se aplicó el método de interpolación, utilizando para ello el programa SURFER, obteniéndose de este modo la capa de isoyetas en formato vectorial, el cual, posteriormente, fue utilizado para extrapolar y crear polígonos en formato raster, siendo esta última capa la que se utilizó para obtener el índice de sequía. En la figura 1, se presenta la distribución espacial de la precipitación para el área de estudio.

Tabla 1. Localización de las estaciones metereológicas y promedios anuales en la microcuenca del río Guárico aguas arriba del embalse Camatagua (datum La Canoa)

Estación	Serial	Este	Norte	Anual (mm)
Tocorón-Caserío	472	655110	1117278	805,46
El Cortijo	9350	673358	1114843	889,89
San Francisco Pao	414	687965	1116514	1.070,78
San Sebastián	2409	699748	1100230	1.050,27
Cartanal	2501	660816	1093801	787,42
La Socorrita	2429	666312	1091060	1.365,79
San Juan de los Morros	2417	679598	1096991	1.034,74
Río Verde	2431	646342	1055953	1.074,40
Faltriquera	2483	705218	1080963	837,68
Ortiz	2448	688398	1061670	1.040,27
Hato Paradero	2427	655997	1080570	933,76

(Fuente: MARN, 2005)

En la determinación de la capa de evapotranspiración potencial (Etp), se utilizaron los registros de la variable evaporación. Se pudo aplicar un método sencillo para determinar Etp, que consiste en generar los valores de evapotranspiración del cultivo (ET_c) de referencia, a partir de datos de evaporación

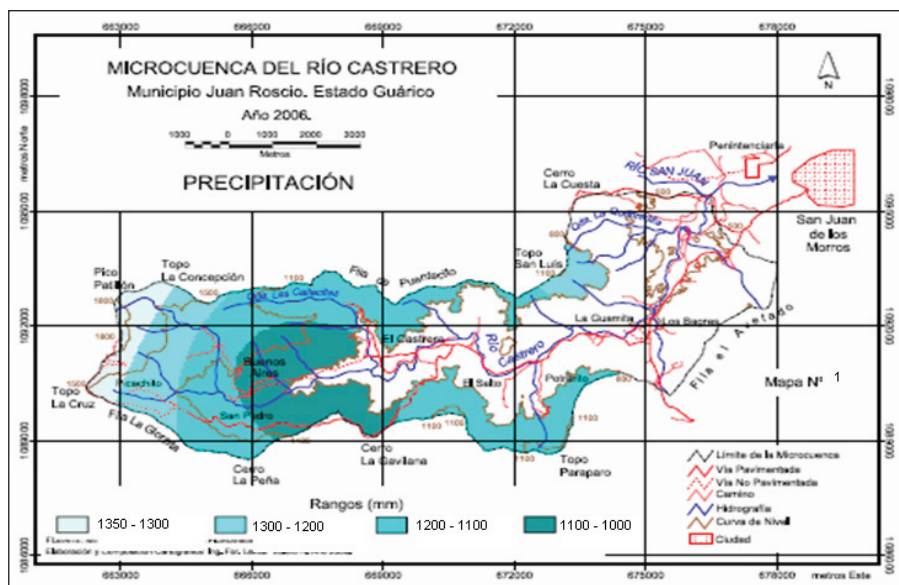


Figura 1. Distribución espacial de la precipitación para el área de estudio.

medidos en tina o tanque estándar “A”; usando la ecuación 2, propuesta por Doorembos y Pruitt (1976) citado por Grassi (1998), basada en datos de evaporación medidos ($K_{tina} = 0,75$). En la tabla 2, se muestra la ubicación de las estaciones que registran datos de evaporación más cercana a la microcuenca.

$$E_{To} = E_v * K_{Tina} \tag{2}$$

Donde:

E_{To} = Evaporación del cultivo de referencia

E_v = Evaporación

K_{Tin} = Coeficiente de tina

Tabla 2. Localización de las estaciones más cercanas a la microcuenca El Castrero con datos de evaporación (datum La Canoa)

Estación	Serial	Este	Norte	Promedio anual (mm)
Pao-Oficina	2349	604233	1066872	1.953,4
Cachinche	2319	594565	1093200	1.725,7
El Rastro	2495	672042	1002358	2.466,4
Ojo de Agua	2491	686844	1004514	2.388,4
Mapurite	2420	677616	1019219	2.325,5
El Sombrero	2469	713539	1037835	2486,5
Río Verde-Tiznados	2428	651623	1054438	2.026,6
El Playón	2552	733633	1055776	2.393,3
Río Verde	2431	646342	1055953	2.719,0
Guanayen	428	741417	1069348	2.268,0
La Espinosa	427	744967	1085969	1.974,0
Embalse de Camatagua	2520	724179	1085836	2329,1
San Juan Los Morros	2417	679597	1096991	2.160,0

(Fuente: MARN, 2005)

Una vez obtenidos los valores de ETo anual y haciendo uso del SIG Arc View, se procedió a elaborar un mapa de ETo anual en formato raster para el área de estudio, el cual se presenta en la figura 2.

Para generar el mapa del coeficiente del cultivo: primero se obtiene el mapa de cobertura vegetal (Figura 3) presente en el área de estudio a partir del mapa digitalizado de vegetación, tomado de SIACARG (Jácome, 2003).

Los valores Kc se encuentran entre 0-1 y dependen de las características anatomo-morfológicas y fisiológicas de la especie (Grassi, 1998). Con dicho mapa de vegetación y utilizando el SIG Arc View, se le asignó a cada tipo de vegetación el valor de Kc correspondiente, resultando, de esta forma, el mapa de valores Kc (Figura 4). Los valores de Kc utilizados en el área de estudio de acuerdo con la vegetación existente se muestran en la tabla 3.

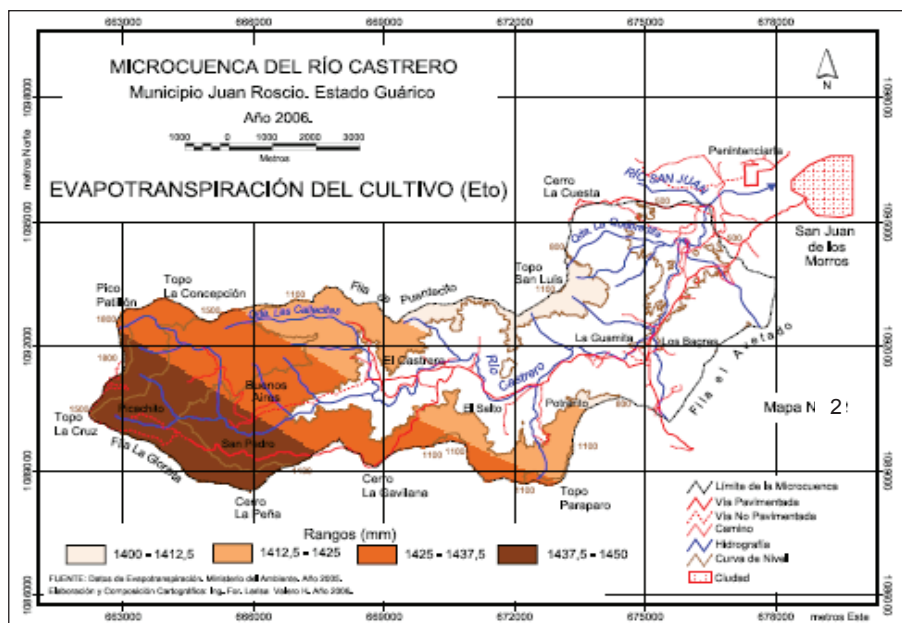


Figura 2. Evapotranspiración del cultivo anual.

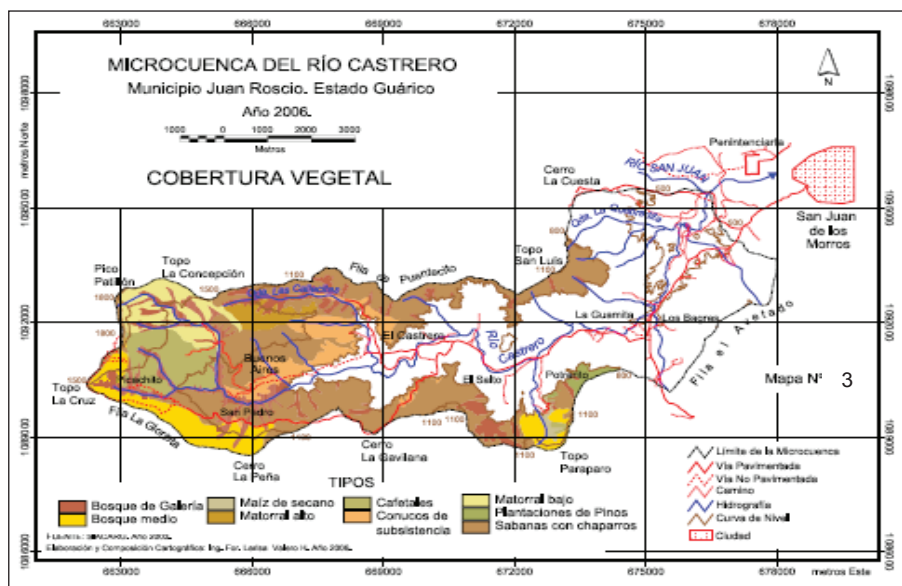


Figura 3. Cobertura vegetal.

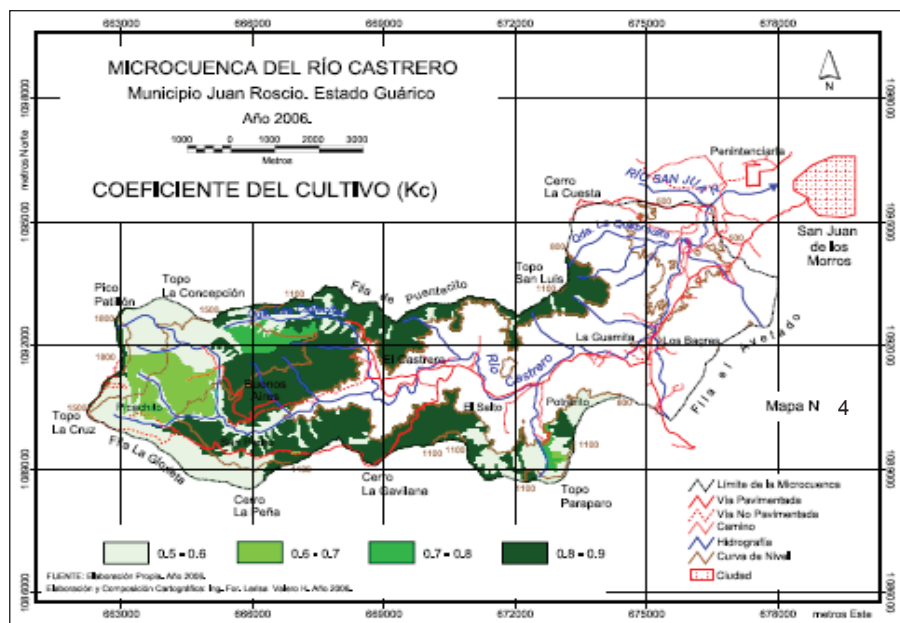


Figura 4. Valores de coeficiente de cultivo (Kc).

Tabla 3. Valores de Kc, para la vegetación existente en el área de estudio.

Unidades	K _c
Bosque	0,60
Café	0,70
Chaparros	0,50
Conucos de Subsistencia	0,90
Maíz de Secano	0,80
Matorral alto	0,80
Matorral Bajo	0,50
Plantaciones de Pino	0,60

Con los mapas de evapotranspiración del cultivo (ET_c) y de K_c, se aplicó álgebra de mapas (superposición), obteniendo, de esta forma, la distribución espacial de la evapotranspiración potencial (ET_p). En la figura 5, se presenta la distribución espacial de los valores de ET_p para el área de estudio.

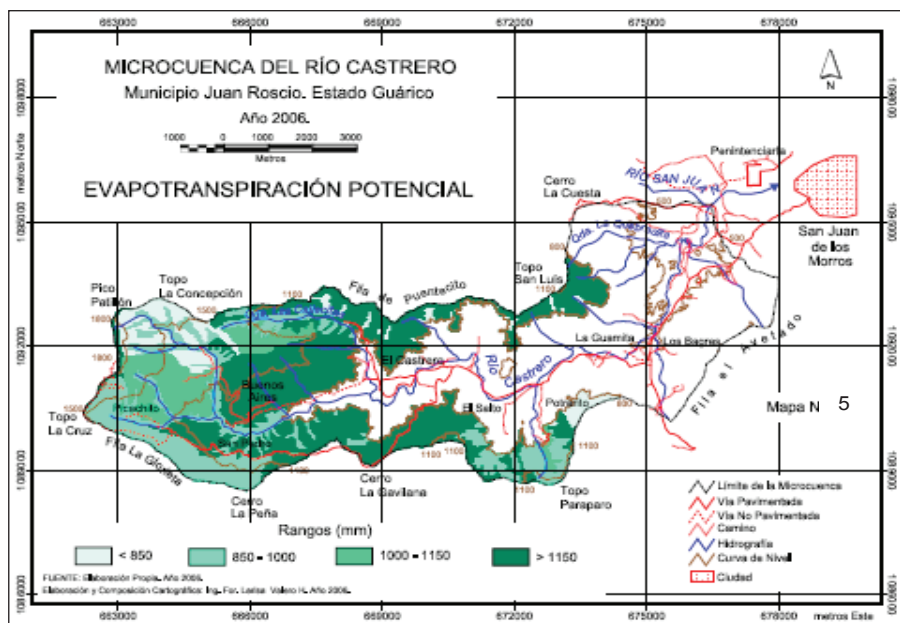


Figura 5. Distribución espacial de la evapotranspiración potencial (ETP)

Índice Topográfico (IT)

Dentro de las múltiples aplicaciones, el índice topográfico es utilizado para identificar las áreas que presentan mayor riesgo de erosión y, por ende, de producción de sedimentos, causados por la saturación del terreno. Este índice se estima a partir de las características físicas de la microcuenca, a través de la ecuación 3, propuesta por (Walter *et al.*, citado por Tognetti *et al.*, 2005).

$$\lambda = Ln \left\{ \frac{A}{Tan \beta * D * K} \right\} \quad (3)$$

Donde:

λ = Índice topográfico

A = área de la microcuenca

β = Pendiente del terreno

D = Profundidad del suelo

K = Permeabilidad del suelo

En un sistema de información geográfica, la microcuenca puede ser representada como una red de celdas y los valores de cada celda pueden representar el índice topográfico calculado a partir de las características morfológicas de cada punto.

Para estimar el IT en el área de estudio, se utilizaron las coberturas digitalizadas del sistema de información de la cuenca alta del río Guárico (Jácome, 2003), obteniéndose de allí las curvas de nivel, profundidad del suelo y área de la microcuenca.

El área de estudio tiene una superficie de 2.950 ha., sobre la misma se calculó el índice topográfico. A partir del mapa digitalizado de suelos de la microcuenca El Castrero, tomado de SIACARG (Jácome, 2003), se generó el mapa de profundidad de suelo, del área de estudio en formato raster, utilizando el SIG Arc View. En la figura 6, se muestra la distribución espacial de la profundidad de los suelos en el área.

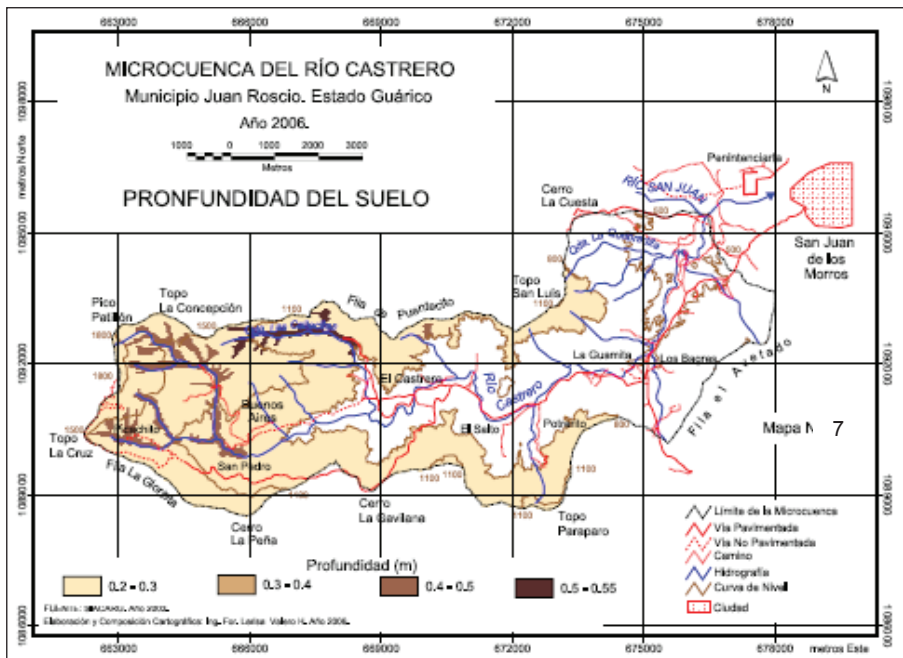


Figura 6. Distribución espacial de la profundidad de los suelos.

Posteriormente, utilizando un modelo de elevación digital construido a partir de curvas de nivel cada 20 metros, tomado de SIACARG (Jácome, 2003), se construyó el mapa de gradiente de la pendiente haciendo uso del SIG Arc View. La distribución espacial de la pendiente del área de estudio se muestra en la figura 7. Una vez que se obtuvieron los mapas de ETP y P, y haciendo uso nuevamente del SIG Arc View, se procedió a realizar álgebra de mapas (aplicando la relación ETP/P), obteniéndose, de esta forma, la distribución espacial del Índice de Sequía (IS). Los valores del índice de sequía se pueden calificar según se presenta en la tabla 4.

Tabla 4. Calificación del índice de sequía.

Valor de IS	Escala	Comentario
0,0 - 0,5	Bajo	Disponibilidad de agua
0,5 - 1	Medio	Normal
> 1	Alto	Escasez de agua

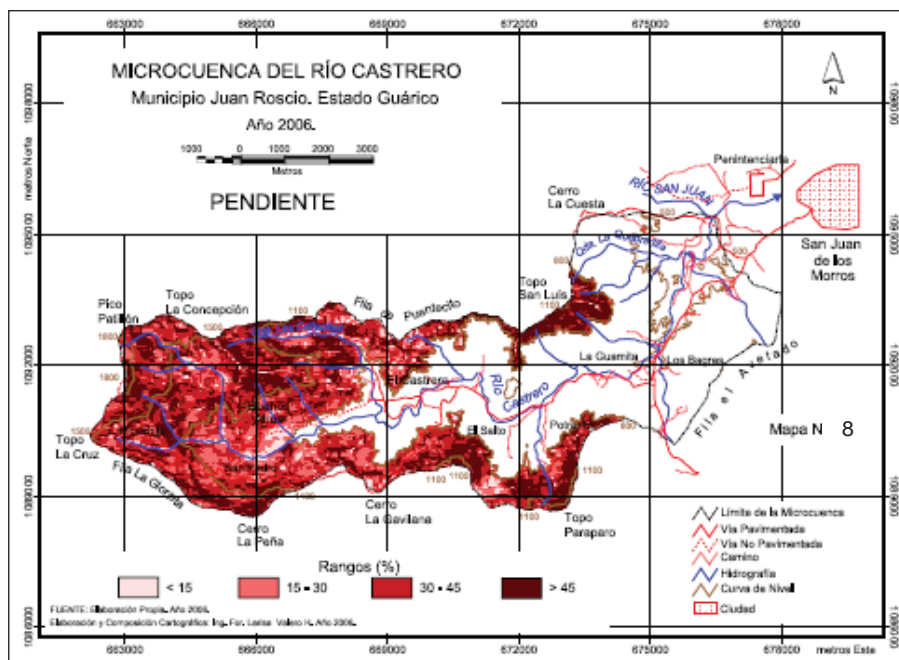


Figura 7. Distribución espacial de la pendiente resultados y discusión

En la figura 8, se muestra la distribución espacial del IS para el área de estudio, cuyos valores están comprendidos entre 0,56 y 1,28, lo que, en primer término, indica que predomina el índice de sequía medio (disponibilidad de agua normal), cubriendo un 75 % de la superficie y un 25 % registra índice de sequía mayor que 1 (escasez de agua). El índice de sequía cuya escala es bajo (alta disponibilidad de agua en la zona), se encuentra ausente en el área de estudio. Estos valores del índice de sequía determinados muestran que la microcuenca presenta problemas para la producción y retención de agua, con el agravante que en el 25% de la superficie se presenta escasez de agua.

Del mismo modo, se procedió a determinar el índice topográfico, una vez que se obtuvieron los mapas profundidad de suelo, pendiente y área de estudio. Se tomó como factor de permeabilidad 0,88 cm/hora que caracteriza a los franco arcillosos (Hansen, 1965) y haciendo uso nuevamente del Arc View se procedió a realizar álgebra de mapas (aplicando la relación $I = A / \tan \beta * D * K$).

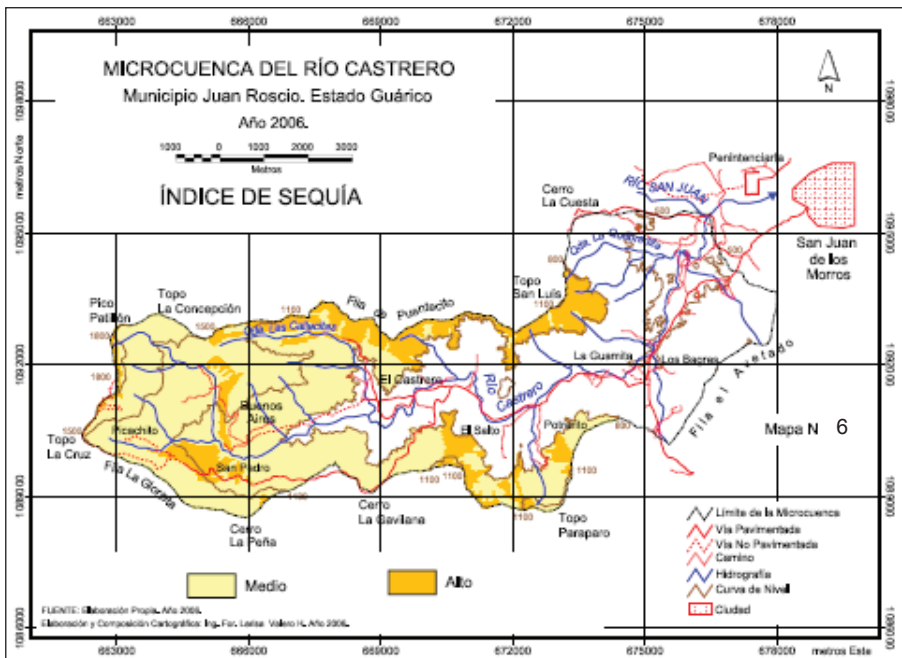


Figura 8. Distribución espacial del índice de sequía.

La distribución espacial del índice topográfico se muestra en la figura 9. Posteriormente, se reclasificó el índice topográfico en función de una escala relativa (tabla 5) utilizada por el CIDIAT (2005), como referencia para la interpretación del índice topográfico.

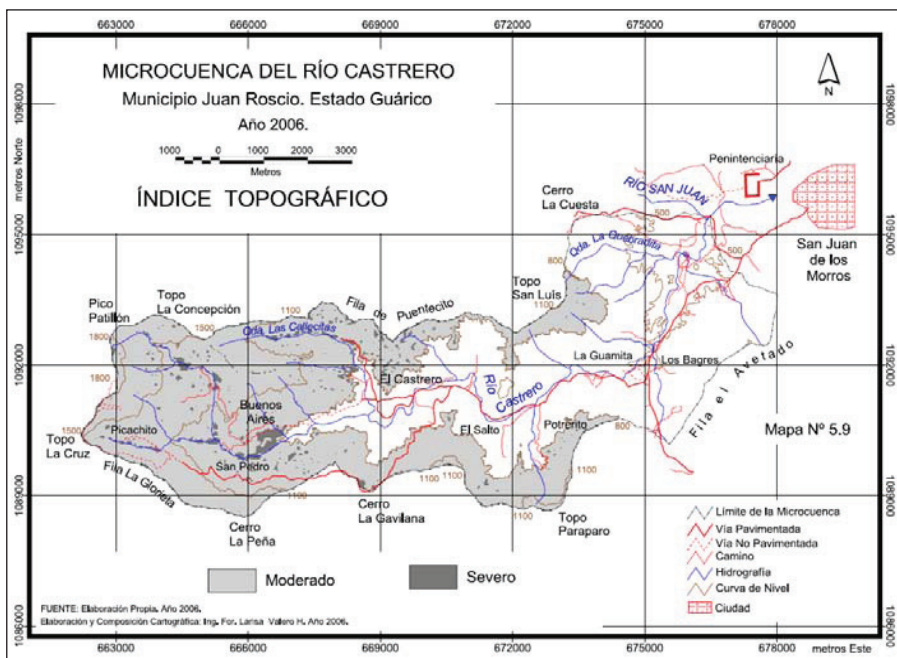


Figura 9. Distribución espacial del índice topográfico.

Tabla 5. Escala relativa de índice topográfico.

Intervalo (A)	Escala relativa
0 - 4,16	Muy bajo
4,16 - 10,40	Bajo
10,40 - 16,64	Moderado
16,64 - 22,88	Severo
22,88 - 29,12	Alto
29,12 - 33,28	Muy alto

Fuente: CIDIAT, 2005.

El índice topográfico que predomina en el área de estudio se encuentra entre 10,40 y 16,64, lo que indica que el riesgo de erosión de esta porción del área de estudio (94,1%) es moderado. Sin embargo, otra parte del área (5,9%) posee un valor comprendido entre 16,64 y 22,88, lo que señala un severo riesgo de erosión.

Estos dos indicadores sobre el riesgo de erosión en el área, asociados a la problemática presente en la cuenca para producir y retener agua, demuestran que la aplicación de medidas de conservación en la microcuenca El Castrero resultan inaplazables, tanto para evitar problemas más graves de erosión, como para asegurar el abastecimiento de agua, ya que en ella se capta aproximadamente el 30% del agua que abastece a la población de San Juan de los Morros.

Conclusiones

- La sectorización por rangos de pendiente determinó que el 75,3% del área estudiada es superior al 30%. Estos resultados, conjuntamente con los obtenidos a partir de los valores del índice topográfico, que se encuentra entre moderado y severo, indican que existen problemas de erosión, por lo tanto, los sistemas de producción y medidas de conservación como: sistema agroforestales, barreras muertas y vivas, siembra en contorno, cobertura viva y muerta, rotación de cultivos, correcciones de cárcavas a escala pequeña, entre otras, constituyen la principal alternativa para el mantenimiento de la reserva hídrica.
- Las áreas donde el índice de sequía es mayor que 1 (escasez de agua) y el índice topográfico es moderado o severo, son áreas prioritarias para implantar el sistema agroecológico café bajo sombra y las medidas de conservación (barreras vivas o muertas).
- Tomando en cuenta los resultados anteriores, desde el punto de vista técnico, el sistema agroecológico café bajo sombra y las medidas de conservación señaladas anteriormente se pueden considerar como viables para minimizar el riesgo de erosión y aumentar la capacidad de producir y retener agua en la microcuenca.

Referencias bibliográficas

- CIDIAT. 2005. *Proyecto de servicios ambientales en el paisaje productivo de la cordillera de Mérida*. Mérida, Venezuela: Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial, Universidad de Los Andes.
- GRASSI, C. 1998. *Formulación de proyectos de riego y drenaje*. Mérida, Venezuela: Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial, Universidad de Los Andes.
- HANSEN, I. 1965. *Principios y aplicaciones de riego*. Barcelona: Editorial Reverté, S.A.
- JÁCOME, A. 2003. *Sistema de información ambiental cuenca alta del río Guárico (SIACARG)*. Aragua, Venezuela: UCV-MCT.
- MARNR. 2005. *Base de datos climatológica del estado Guárico proporcionada para este estudio, en medios digitales, por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales*.
- TOGNETTI S., MENDOZA G., AYLWARD B., SOUTHGATE D. y GARCÍA L. M. 2005. *Guía de desarrollo de opciones de pago por servicios ambientales (PSA) de las microcuencas hidrológicas*. Banco Mundial-BNWPP. Costa Rica. Recuperado en http://www.flowsonline.net/data/pes_assmt_guide_sp.pdf.