

# ANÁLISIS DE LA AGRESIVIDAD Y CONCENTRACIÓN DE LAS PRECIPITACIONES EN VENEZUELA. IV. REGIÓN LOS ANDES

Juan C. Rey<sup>1</sup>, María F. Rodríguez<sup>1</sup>, Adriana Cortez<sup>1</sup>, Deyanira Lobo<sup>2</sup>,  
Francisco Ovalles<sup>1</sup>, Donald Gabriels<sup>3</sup> y Raquel M. Parra<sup>2</sup>

## RESUMEN

Se evaluó la agresividad climática y la concentración de la precipitación en la región andina de Venezuela mediante el análisis de los datos de precipitación mensual de 56 estaciones climatológicas. Para ello se calcularon, respectivamente, el índice de Fournier modificado (IFM) y el índice de concentración de la precipitación (ICP), cuyos valores fueron sometidos a análisis univariado y geoestadístico. Para el mapeo de la distribución espacial de los índices se realizó una interpolación mediante el método de kriging puntual, que generó el archivo correspondiente, el cual fue finalmente editado en ArcView. Los resultados indicaron un índice de agresividad alto y muy alto en más del 70 % del área, mientras que la distribución de la precipitación resultó moderadamente estacional, indicando que las precipitaciones están distribuidas en varios meses del año. La alta agresividad climática, en combinación con el predominio de un relieve accidentado aumentan los riesgos de degradación de los suelos, donde los valores de precipitación van desde 500 a 3900 mm anuales. En este sentido, se deberían considerar prácticas conservacionistas para el manejo de los suelos en los distintos sistemas de producción que existen en la región evaluada.

**Palabras clave adicionales:** Geoestadística, índice de Fournier modificado, índice de concentración de la precipitación, manejo sostenible de tierras

## ABSTRACT

### **Analysis of precipitation aggressiveness and concentration in Venezuela. IV. Los Andes Region**

The distribution and aggressiveness of the precipitation in Los Andes region of Venezuela was evaluated by analyzing monthly precipitation data from 56 meteorological stations. The modified Fournier index (FMI) and precipitation concentration index (PCI) were calculated to assess rain aggressiveness and rain distribution, respectively. The index values were analyzed using univariate and geostatistical analysis adjusting semivariograms to theoretical models. For mapping of the spatial distribution of indices punctual kriging interpolation method was carried out, generating the appropriate file, which was finally edited in ArcView. The results pointed out that the region under study has high and very high rainfall aggressiveness over 70% of the entire territory, while the distribution of rainfall was moderately seasonal. Rainfall aggressiveness, in combination with the predominance of a sloped relief increases the risks of soil degradation, with the annual rainfall ranging from 500 to 3900 mm. In this sense, soil conservation practices should be considered on existing crop production systems in the evaluated region.

**Additional key words:** Geostatistics, modified Fournier index, precipitation concentration index, sustainable land management

## INTRODUCCIÓN

Los Andes venezolanos, como unidad fisiográfica, constituyen una prolongación de Los Andes colombianos orientales, que al entrar en Venezuela se bifurcan en la Sierra de Perijá y en la Cordillera de Los Andes (MARN, 2004). En esta región se presentan grandes variaciones de

precipitación y temperatura, por lo que constituyen los factores formadores que generan la mayor diversidad de suelos. De acuerdo con Elizalde et al. (2007), la precipitación media anual varía desde menos de 400 mm hasta más de 3500 mm, mientras que la temperatura media anual varía desde valores bajo cero en las cumbres más altas y hasta cerca de 24 °C en los sitios más

Recibido: Septiembre 27, 2011

Aceptado: Abril 30, 2012

<sup>1</sup> INIA-CENIAP, Recursos Agroecológicos, Apartado postal 4846, Maracay 2101, Estado Aragua, Venezuela. e-mail: jcrey@inia.gob.ve; mfromdriguez@inia.gob.ve; acortez@inia.gob.ve; fovalles@inia.gob.ve

<sup>2</sup> Universidad Central de Venezuela. e-mail: lobod@agr.ucv.ve, mparra@gmail.com

<sup>3</sup> Universidad de Gante. Bélgica. e-mail: donald.gabriels@ugent.be

bajos de la región. La altitud varía desde 1000 hasta más de 4400 msnm, que representa una alta proporción de la superficie ( $\approx 70\%$ ) ocupada por topografías escarpadas que encierran pequeños valles intramontanos, el resto del territorio lo conforman paisajes de piedemonte y planicies de las vertientes que drenan hacia los llanos y el Lago de Maracaibo (MARN, 2004). Esta condición origina una compleja interacción entre el relieve, los elementos y los sistemas atmosféricos (Andressen, 2007).

Uno de los principales procesos de degradación de suelos en Los Andes venezolanos es la erosión hídrica (Pla, 1990). En este sentido, el análisis de los procesos erosivos que tienen lugar en este territorio requiere del conocimiento del potencial erosivo de las precipitaciones, a través de la comprensión y análisis de su variabilidad en tiempo y espacio, y su impacto en la erosión del suelo y medidas de conservación.

Algunas investigaciones han utilizado el Índice de Fournier Modificado (IFM) propuesto por Arnoldus (1980) para determinar el potencial erosivo de las precipitaciones en diferentes regiones; así como el Índice de Concentración de la Precipitación propuesto por Oliver (1980) para evaluar el efecto de la distribución de las lluvias sobre el proceso erosivo (Gabriels, 2006; Echeverri y Obando, 2010; Andrade et al., 2010),

incluso estos índices han sido estudiados para el estado Mérida (Quiñónez y Dal Pozzo, 2005).

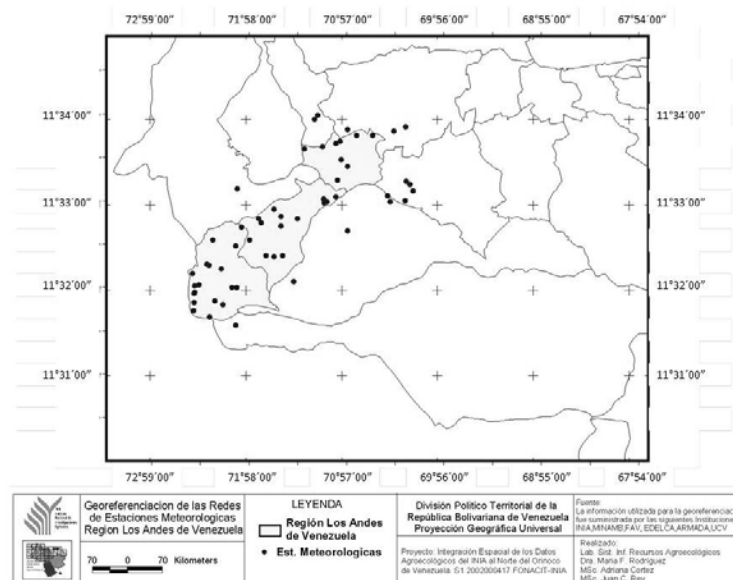
El objetivo de este estudio fue analizar la agresividad climática y la concentración de la precipitación en la región andina de Venezuela mediante el Índice de Fournier Modificado (IFM) y el Índice de Concentración de la Precipitación (ICP).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la Región Los Andes de Venezuela que comprende los Estados Mérida, Táchira y Trujillo, que abarca alrededor de 2.625.000 ha.

Para el desarrollo de este trabajo se dispuso de la información de precipitación mensual para el período 1970-2000 de las estaciones meteorológicas de las instituciones que manejan este tipo de información en el país, ubicadas en la zona de influencia de la Región Los Andes de Venezuela, y que conforman un grupo de 56 estaciones (Figura 1).

Se realizó un control de calidad a los datos climáticos para definir la proporción de los faltantes, identificar valores fuera de lo normal y observar el entendimiento básico de la distribución de las series, mediante los programas Infostat v.1.1 y Vesper, v.1.6 (Minasny et al., 2002).



**Figura 1.** Ubicación de estaciones climatológicas en el área de influencia de la Región de Los Andes, Venezuela

Para obtener una buena información espacializada y control de calidad de la ubicación de las estaciones meteorológicas (Jones, 1987), se utilizó el Sistema de Información Geográfica (SIG) Arcview v3.2 (ESRI, Redlands, CA).

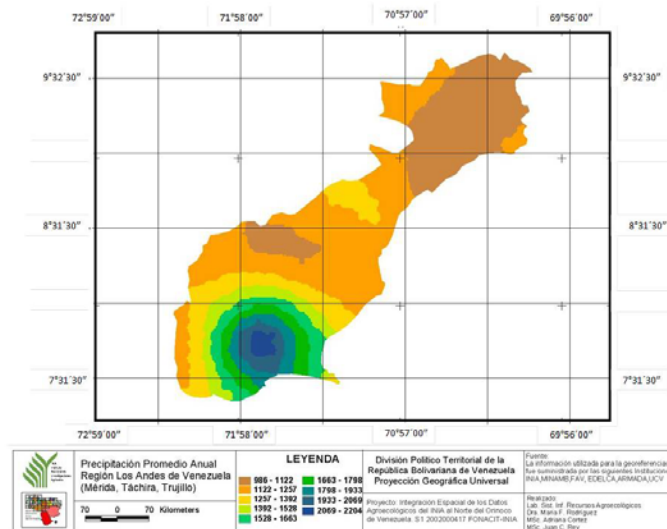
Se usó el índice de Fournier modificado (IFM) para evaluar la agresividad climática y se calculó el índice de concentración de la precipitación (ICP) (Oliver, 1980) para definir los aspectos temporales de la precipitación, utilizando la secuencia metodológica con el uso de los valores promedios de lluvias para el período considerado.

Los análisis estadísticos para generación de los mapas incluyeron cuatro etapas, tal como se explica en Lobo et al. (2010): 1) Análisis univariado, 2) Análisis geoestadístico, 3) Mapeo de distribución espacial de las variables climáticas mediante interpolación usando la técnica del

kriging puntual, y 4) Edición y generación de mapas de clasificación de precipitación anual, ICP e IFM utilizando el programa Arc View.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La precipitación exhibe una alta variabilidad, con valores más uniformes en los estados Mérida y Trujillo (500-1500 mm) y mayores hacia la zona sureste del estado Táchira, que sobrepasa los 3900 mm (Figura 2). Esta alta variabilidad, en combinación con el relieve accidentado, hacen de la Región de Los Andes una zona con alto potencial de presentar problemas de erosión, por lo que amerita un estudio detallado de los factores conducentes a generar las pérdidas de suelo por acción del agua con la finalidad de diseñar estrategias de manejo para evitar la degradación de las tierras.



**Figura 2.** Distribución espacial de la precipitación media anual en la Región de Los Andes

Estudios realizados en Los Andes venezolanos han mostrado que las pérdidas de suelo llegaron a  $1,11 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$  en zonas con pastizales sin pastoreo; y aun en áreas con bosque natural las pérdidas fueron de  $0,54 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$  (Sánchez et al., 2002) lo que indica la importancia del manejo adecuado para evitar la degradación de los suelos.

El análisis univariado mostró un promedio de precipitación anual cercano a 1230 mm, con una alta variación (C.V.>60 %), y mínimos y máximos de 500 y 3900 mm, respectivamente.

La agresividad climática, medida mediante el IFM, fue al igual que la precipitación, muy

variable, al presentar valores entre bajos ( $\approx 68$ ) hasta muy altos ( $\approx 450$ ), lo que indicó la existencia de zonas en el área con alta susceptibilidad a la presencia de procesos erosivos por efecto de las lluvias. El ICP fue más uniforme en la zona, al reflejar una distribución moderadamente estacional de las lluvias ( $\approx 10,5-13,9$ ) debido a que en la mayoría de las zonas de Los Andes existen dos picos de precipitación. Los valores de asimetría y kurtosis (Cuadro 1) fueron cercanos a 0 para el caso de ICP, que indica una distribución de los datos cercana a la normal. Contrariamente, la asimetría y kurtosis del IFM presentaron

valores muy altos ( $>2,7$  y  $> 8,5$ ; respectivamente) debido a sitios con baja precipitación ( $<1000$  mm anuales) en áreas localizadas de la región bajo estudio.

Los semivariogramas de todas las variables climáticas presentaron un comportamiento estacional (incremento de la semivarianza con la distancia hasta estabilizarse) lo que indica la presencia de dependencia espacial (Figura 3).

(Cuadro 2). Los resultados de los ajustes de los semivariogramas indican que el alcance fluctuó entre 72 a 255 km y así una mayor dependencia espacial para el ICP. Sin embargo, mientras la PP y el IFM presentaron una baja varianza aleatoria (%Co), lo que representa una baja variación a cortas distancias; el ICP mostró una %Co media, lo cual refleja que este índice fluctúa en mayor proporción en áreas pequeñas.

**Cuadro 1.** Parámetros estadísticos de la IFM y el ICP para la Región de Los Andes de Venezuela

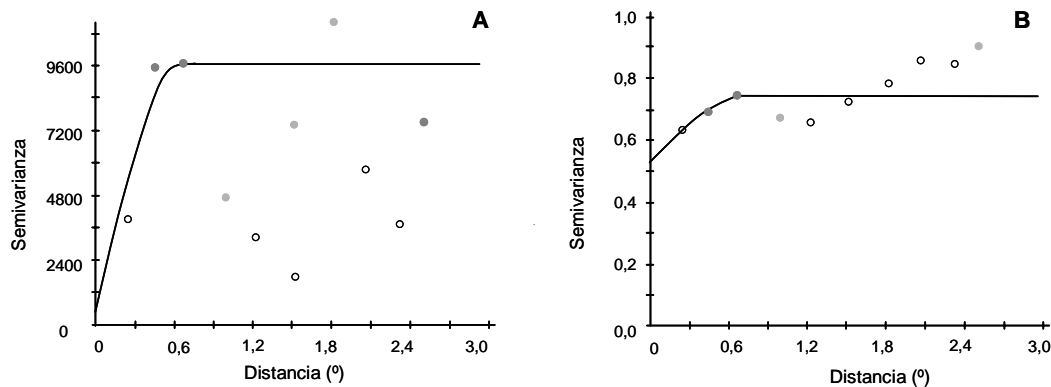
Variable	n	Media	SD	Varianza	C.V. (%)	Mín	Máx	Asimetría	Kurtosis
IFM	56	149,08	84,05	7064,74	56,38	68,36	450,79	2,82	8,5
ICP	56	12,31	0,85	0,73	6,93	10,55	13,88	0,12	-0,99

n: Número de estaciones; IFM: Índice de Fournier Modificado; ICP: Índice de la Concentración de la Precipitación

**Cuadro 2.** Parámetros de los semivariogramas teóricos para el IFM e ICP la Región de Los Andes de Venezuela

Variable	Modelo	Alcance (°)	Co	Co+C	Co relativa (%)
IFM	Esférico	0,813	482,1	9687,2	4,98
ICP	Esférico	2,303	0,5292	0,7468	70,9

°= grados ( $1^\circ = 110.92$  km); Co: Varianza aleatoria; Co+C: Umbral; Co relativa =  $100*Co/(Co+C)$



**Figura 3.** Semivariogramas experimental (-) y teórico (●) del IFM (A) e ICP (B) en la Región de Los Andes

**Índice de agresividad climática:** El mayor nivel de agresividad climática aparece en los meses cuando mayor es la precipitación mensual, lo cual coincide con lo planteado por Arnoldus (1980) donde establece que la erosividad mensual de la lluvia, estimada mediante la ecuación aplicada a cada mes de modo independiente, es importante durante los seis meses más húmedos del año. En la Figura 4 se muestra el mapa del IMF el cual evidencia el grado de agresividad climática que caracteriza la región estudiada, con valores que fluctúan entre 85 y 420 con un aumento del índice hacia la parte central y zona sur de Los Andes,

específicamente en el estado Táchira, clasificándolo de acuerdo con Arnoldus (1980) como muy alto ( $>160$ ), al abarcar alrededor del 32% del área total. Las zonas de piedemonte de las vertientes de los llanos y sur del Lago de Maracaibo presentaron valores altos de IFM (120-160), las cuales ocupan alrededor del 43% del área. Finalmente, las zonas de montaña más altas de los estados Mérida y Trujillo (25 % del área) presentaron un IFM entre 90-120, e indican que son las áreas con moderada agresividad de las precipitaciones (Figura 5).

Resultados obtenidos por Pérez y López (2000)

en la evaluación de la erosión de los suelos bajo los cultivos de papa y pasto kikuyo en el estado Mérida, mostraron pérdidas de suelo de 24,7 y 4,8 Mg·ha<sup>-1</sup>·año<sup>-1</sup>, respectivamente, donde se destaca el factor erosividad de la lluvia como uno de los principales agentes causantes de la degradación de los suelos.

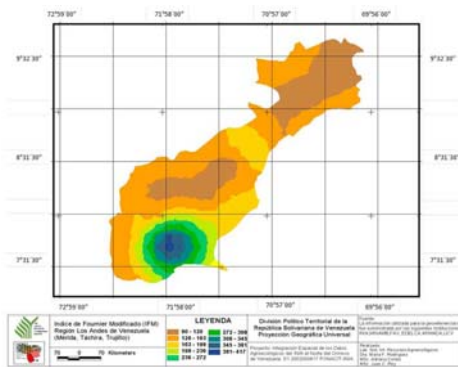
**Índice de concentración de las precipitaciones:**

El mapa de concentración de las precipitaciones representado en la Figura 6 muestra la espacialización de los valores del ICP calculado en el área de estudio, los cuales oscilan entre el 11 y 14%, lo que señala que en toda el área la concentración de las lluvias es moderadamente estacional (Oliver, 1980), es decir, que las precipitaciones se distribuyen en varios meses del año (Figura 7).

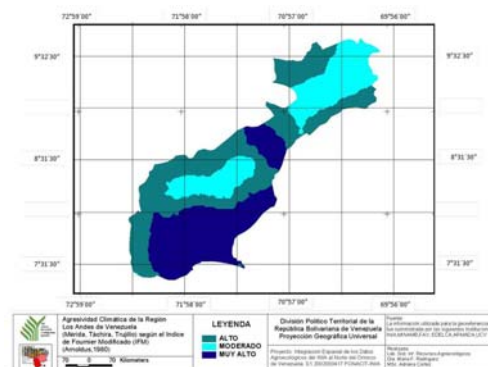
Aun cuando existe muy poca variabilidad en

relación al ICP se aprecia que los valores más bajos se presentan hacia la vertiente de la Cordillera de Los Andes orientada hacia el Lago de Maracaibo, debido a que en esta zona la distribución anual de las lluvias es bimodal con dos mínimos, uno a principios de año y un segundo mínimo entre junio y agosto. En contraposición, las vertientes y valles expuestos al SE orientadas hacia los llanos occidentales de Venezuela donde se encuentran comúnmente los valores más altos de ICP, presentan un régimen unimodal, con un máximo entre junio y agosto y un mínimo en enero (Velásquez, 2000).

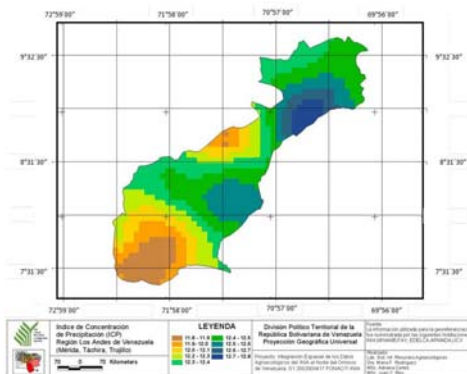
Las altas precipitaciones distribuidas en varios meses del año pueden causar períodos de alta carga de humedad en los suelos, que en combinación con el relieve accidentado y características geológicas de Los Andes generan susceptibilidad a movimientos en masa en la zona.



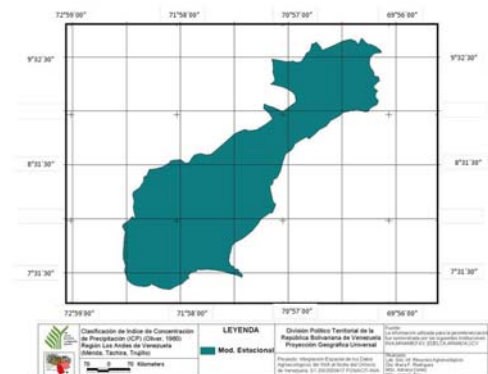
**Figura 4.** Espacialización del índice de Fournier modificado (IFM) en la Región de Los Andes, Venezuela



**Figura 5.** Clasificación del índice de Fournier modificado (IFM) en la Región de Los Andes, Venezuela



**Figura 6.** Espacialización del índice de concentración de precipitación (ICP) en la Región de Los Andes, Venezuela



**Figura 7.** Clasificación del índice de concentración de precipitación (ICP) en la Región de Los Andes, Venezuela

## CONCLUSIONES

La Región de Los Andes, la cual abarca los estados Trujillo, Mérida y Táchira, presenta precipitaciones distribuidas en varios meses del año, pero con un índice de agresividad entre alto y muy alto. Esta alta agresividad, en combinación con el predominio de un relieve accidentado aumentan los riesgos de degradación de los suelos, por lo que se deben considerar prácticas conservacionistas para el manejo de los mismos.

Las zonas de mayor riesgo se presentan hacia el sur de la región, específicamente en el estado Táchira, donde se concentran las mayores precipitaciones.

Debe tenerse especial cuidado en relación a las altas precipitaciones distribuidas en varios meses del año, ya que pueden generar una alta carga de humedad en suelos ubicados sobre materiales geológicos inestables, típicos de la región, y producirse movimientos en masa.

## LITERATURA CITADA

- Andrade, O., M. Kappas y S. Erasmí. 2010. Assessment of erosion hazard in Torres municipality of Lara State (Venezuela) based on GIS. *Interciencia* 35(5): 348-356.
- Andressen, R. 2007. Circulación atmosférica y tipos de clima. *In: Geo Venezuela 2*. Fundación Empresas Polar. Editorial Exlibris. Caracas. pp 238-328.
- Arnoldus, H. 1980. An approximation of the rainfall factor in the universal soil loss equation. *In: M. De Boodt y D. Gabriels (eds.) Assessment of Erosion*. Wiley, Chichester. pp. 127-132.
- Echeverri, L. y F. Obando. 2010. Erosividad de las lluvias en la Región Centro-Sur del Departamento de Caldas, Colombia. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* 63(1): 5307-5318.
- Elizalde G., J. Viloria y A. Rosales. 2007. Geografía de suelos de Venezuela. *In: Geo Venezuela 2*. Fundación Empresas Polar. Editorial Exlibris. Caracas. pp. 403-537.
- Gabriels, D. 2006. Assessing the Modified Fournier Index and the Precipitation Concentration Index for some European countries. *In: J. Boardman y J. Poesen (eds.) Soil Erosion in Europe*. Wiley. Chichester, UK. pp. 675-684.
- Jones, P. 1987. Current availability and deficiencies in data relevant to agro-ecological studies in the geographic area covered by the IARCs. *In: Bunting, A. (ed.) Agricultural Environments. Proc. of the Rome Workshop on Agro-ecological Classification and Mapping*. CABI, Wallingford, UK. pp. 69-111.
- Lobo, D., A. Cortéz, M. Rodríguez, F. Ovalles, J. Rey, D. Gabriels y R. Parra. 2010. Análisis de la agresividad climática y concentración de las precipitaciones en Venezuela. I. Región Los Llanos. *Bioagro* (23): 169-176.
- Minasny, B., A.B. McBratney y B.M. Whelan. 2002. Vesper versión 1.6. Australian Centre for Precision Agriculture. The University of Sidney. <http://www.usyd.edu.au/su/agric/acpa> (consulta del 3/10/11)
- MARN (Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales). 2004. Programa de acción nacional de lucha contra la desertificación y mitigación de la sequía. Dirección General de Cuencas Hidrográficas. Edit. Fundambiente. Caracas. 106 p.
- Oliver, J.E. 1980. Monthly precipitation distribution: a comparative index. *Professional Geographer* 32: 300-309.
- Pérez, U. y R. López. 2000. Estudio preliminar de la erosión hídrica en un Inceptisol de Los Andes Venezolanos bajo uso agrícola. *Rev. Forest. Venez.* 44(2): 11-19.
- Pla, I. 1990. La degradación y el desarrollo agrícola de Venezuela. *Agron. Trop.* 40(1-3): 7-27.
- Quiñónez, E. y F. Dal Pozzo. 2005. Influencia del cálculo del factor topográfico en la distribución espacial del riesgo de degradación de los suelos por la erosión hídrica en el estado de Mérida, Venezuela. *GeoFocus* 5: 204-218.
- Sánchez, A., M. Ataroff y R. López. 2002. Soil erosion under different vegetation covers in the Venezuelan Andes. *Environmentalist* 22(2): 161-172.
- Velásquez, R. 2000. Mecanismos físicos de variabilidad climática y de eventos extremos en Venezuela. Tesis. Universidad de Costa Rica. 118 p.