

# ANÁLISIS DE LA AGRESIVIDAD Y CONCENTRACIÓN DE LAS PRECIPITACIONES EN VENEZUELA. II. REGIÓN NOROCCIDENTAL

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

## RESUMEN

Con el propósito de evaluar la agresividad y la concentración de la precipitación en la Región Noroccidental de Venezuela, se analizó la información de precipitación mensual de 69 estaciones correspondientes a los estados Zulia, Falcón, Lara y Yaracuy y se calculó el índice de Fournier modificado (IFM), que permite estimar la agresividad de las lluvias, y el índice de concentración de la precipitación (ICP) que estima la distribución de la precipitación. Los valores fueron objeto de un análisis univariado y análisis geoestadístico. Para cartografiar las variables climáticas se realizó una interpolación usando el método de Kriging, generándose el archivo correspondiente, el cual fue finalmente editado en ArcView. Los resultados permitieron analizar la variabilidad del IFM e ICP, encontrando que en la zona norte (la Guajira y las costas Norte y Noroeste del estado Falcón) la precipitación es moderadamente estacional a estacional, mientras que al sur del área de estudio, donde los valores de precipitación van desde 1240 a 2260 mm anuales, el ICP presenta valores moderadamente estacionales, pero con muy alta agresividad. Una alta proporción de la precipitación presenta valores altos y muy altos de IFM, en donde los suelos de la zona oeste son altamente vulnerables a la degradación por efecto de la erosividad de las lluvias.

**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. II. The Northwestern Region

In order to assess the aggressiveness and concentration of precipitation in the Northwestern Region of Venezuela, the monthly precipitation data from 69 meteorological stations of Zulia, Falcón, Lara and Yaracuy States were analyzed. The modified Fournier index (IFM) was calculated to estimate the rain aggressiveness, and the precipitation concentration index (ICP) that estimates the rainfall distribution. The values were analyzed using univariate and geostatistical analysis. For mapping climate variables a kriging interpolation method was performed, and the resulting file was edited with ArcView. The results allowed the analysis of the variability of IFM and ICP, finding that in the north (the Guajira and the North and Northwest coast of Falcon State) the rainfall is moderately seasonal to seasonal, while at the South of the studied area, where precipitation values range from 1240 to 2260 mm per year, the ICP has moderately seasonal values, but with very high aggressiveness. A high proportion of precipitation has high to very high IFM values, where the soils of the Western region are greatly vulnerable to degradation by the effect of rainfall erosivity.

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

## INTRODUCCIÓN

La susceptibilidad de las tierras a procesos de degradación está asociada a los factores del clima, particularmente la precipitación, quizás por ser la más variable en tiempo y espacio. El estudio de las características de la precipitación es importante

no sólo por su relación con la productividad, sino por lo que concierne al uso balanceado de los recursos y las necesidades de protección de los ecosistemas.

La delimitación de áreas con diferentes comportamientos de la precipitación puede ser la base para la planificación del uso y manejo

Recibido: Noviembre 9, 2009

Aceptado: Octubre 27, 2010

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, CENIAP. Apdo. 4846. Maracay. Venezuela

e-mail: acortez@inia.gob.ve; mfrdriguez@inia.gob.ve; jcrey@inia.gob.ve; fovalles@inia.gob.ve

<sup>2</sup> Facultad de Agronomía, UCV. Apdo. 4579. Maracay. Venezuela. e-mail: lobod@agr.ucv.ve; mparra@gmail.com

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

sostenible de las tierras. Hay algunas mediciones directas de la precipitación que pueden usarse para proporcionar la información sobre la variabilidad del clima. Estas incluyen los datos de precipitaciones mensuales y anuales que permiten evaluar la estacionalidad y la agresividad de la misma, propiedades relevantes como factores relacionados con los riesgos de erosión hídrica.

El clima de la Región Noroccidental de Venezuela es muy variable. El Sistema Coriano, que incluye al estado Falcón, y partes de Lara, Zulia y Yaracuy, es una combinación de montañas, valles y llanuras con la mayor altitud a 1900 m, precipitación entre 500 y 1500 mm, y temperatura media entre 20 y 28 °C.

El 47% de la superficie del estado Falcón y parte del estado Lara corresponde a tierras secas, es decir, con climas árido, semiárido y subhúmedo seco (Matteucci et al., 1999). Por otra parte, la Planicie de Maracaibo (estado Zulia) ha sido dividida en dos sub-sectores, un sub-sector semiárido con precipitaciones entre 300-800 mm por año y un subsector subhúmedo, con precipitaciones entre 800-1100 mm por año, con distribución bimodal. Igualmente para el estado Yaracuy, donde las precipitaciones van aproximadamente desde 700 a 1200 mm anuales. En el extremo occidental de la planicie, se encuentra un paisaje con relieve ondulado y otro

abrupto en la Sierra de Perijá, con clima subhúmedo y vegetación de bosques tropicales y húmedos pre-montanos. (COPLANARH, 1974). Con base a esa alta variabilidad, el objetivo de este trabajo fue analizar la distribución de la precipitación media anual, la agresividad climática y la concentración de la precipitación en la Región Noroccidental de Venezuela mediante el índice de Fournier modificado (IFM) y el índice de concentración de la precipitación (ICP).

**MATERIALES Y MÉTODOS**

Para el desarrollo de este trabajo se dispuso de la información de precipitación mensual para los años 1970 a 2000 de las estaciones meteorológicas de las instituciones que manejan este tipo de información en el país (Lobo et al., 2010), ubicadas en la Región Noroccidental, que comprende los estados Zulia, Falcón, Lara y Yaracuy, quedando conformada por un grupo de 69 estaciones (Figura 1).

Se realizó un control de calidad a los datos de precipitación para definir la proporción de datos faltantes, identificar valores fuera de lo normal y observar el entendimiento básico de la distribución de las series, utilizando los programas JMP v.6, Infostat v.1.1 y Vesper v.1.6 (Minasny et al., 2002).

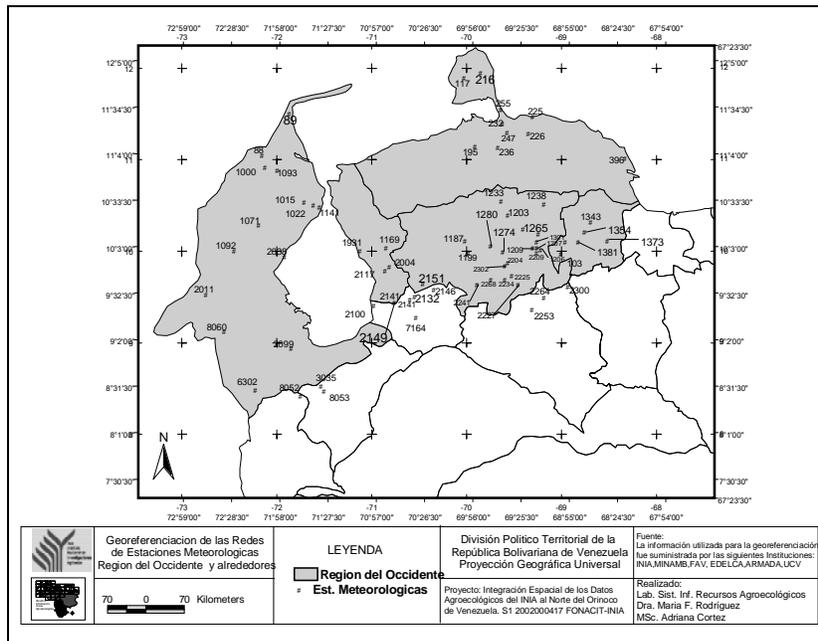


Figura 1. Ubicación de las estaciones meteorológicas de la Región Noroccidental de Venezuela

Dada la importancia de tener una buena información espacializada, fue preciso hacer el control de calidad de la ubicación de las estaciones meteorológicas (Jones, 1987), para lo cual se utilizó el sistema de información geográfica Arcview 3.2 (ESRI. Redlands, CA).

Se usó el índice de Fournier modificado (IFM) (Arnoldus, 1980) 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.

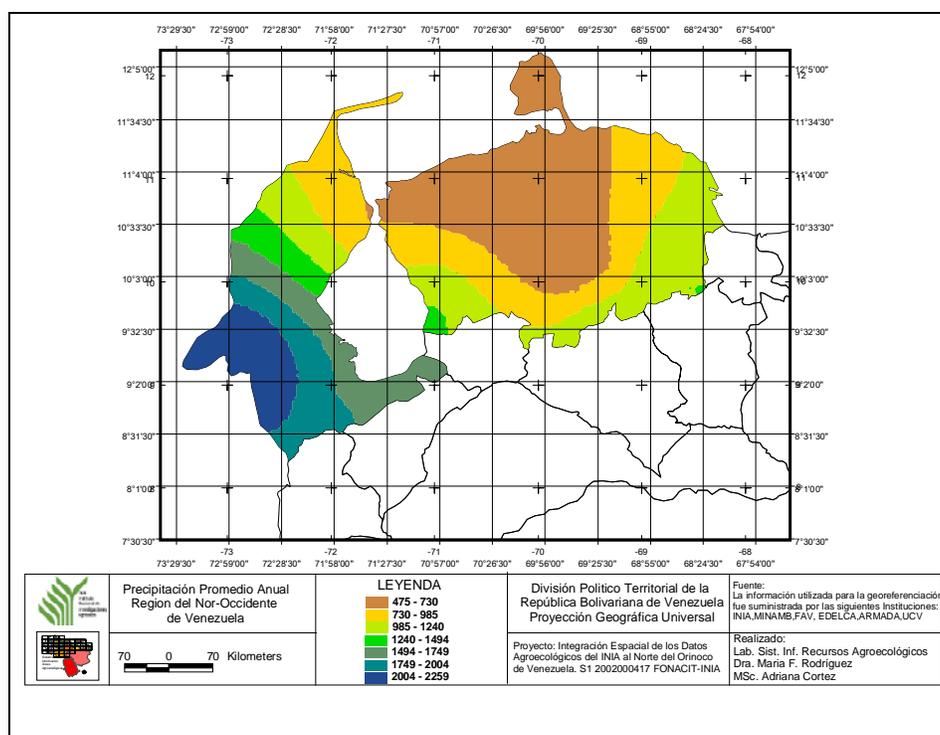
Los análisis estadísticos para generación de los mapas incluyeron cuatro etapas (Lobo et al., 2010): 1) Análisis univariado, para determinar parámetros estadísticos comunes y establecer la estructura de los datos de las variables de clima; 2) Análisis geoestadístico, el cual permitió establecer el modelo de variación, donde los semivariogramas experimentales fueron ajustados a modelos teóricos de manera de obtener los parámetros característicos del patrón de variación espacial (alcance, umbral y varianza aleatoria); 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 Arcview (detalles en Lobo et al., 2010).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 2 se aprecia un gradiente de precipitación que va desde la costa hasta encontrarse con las zonas montañosas al suroeste del estado Zulia, donde las precipitaciones alcanzan los 2000 mm anuales, lo cual puede ser atribuible al contraste de la zona de estudio en cuanto a su factor topográfico.

Así mismo, existe un fuerte contraste entre las precipitaciones que se registran en la zona norte en el estado Falcón, donde los registros difícilmente llegan a 400 mm y las que ocurren al sur del Lago de Maracaibo donde se registran hasta 1500 mm anuales. Estos promedios anuales, según Fournier (1960), son capaces de producir volúmenes considerables de sedimentos. No obstante, debe tenerse en cuenta que la caracterización más objetiva de la erosividad de la lluvia la aporta el índice modificado de Fournier.



**Figura 2.** Distribución del promedio anual de precipitación de la Región Noroccidental de Venezuela

Los resultados del análisis univariado indicaron que la precipitación promedio anual (PP anual) presentó una media de 1025,2 mm con un coeficiente de variación de 61,07 por ciento y oscilaciones entre 264 y 3051 mm.

El IFM reveló una alta agresividad de las lluvias (media entre 120 y 160, según Arnoldus, 1980), y alto coeficiente de variación (Cuadro 1). Por su parte, el ICP presentó una condición de moderadamente estacional (media entre 10 y 15, según Oliver, 1980) con un moderado coeficiente de variación. Ambos índices mostraron una distribución ligeramente asimétrica positiva debido a la presencia de

valores extremos superiores a la media y coeficientes de apuntalamiento o kurtosis que indican una distribución más elevada que la normal. Se destaca que tanto el ICP como el IFM abarcan varias clases desde el punto de vista interpretativo, lo cual resalta la importancia de estudiar su distribución espacial en la zona de estudio.

Los semivariogramas mostraron carácter transitivo y anidado; es decir, se aprecia un incremento de la semivarianza con la distancia hasta estabilizarse, efecto que se repite con el aumento de la distancia (Figura 3A y B). Esto indica que las variables presentan dependencia espacial, con un patrón de variación que cambia con la escala de percepción.

**Cuadro 1.** Parámetros estadísticos del IFM e ICP en la Región Noroccidental de Venezuela

Variable	n	Media	SD	Varianza	CV (%)	Mín	Máx	Asimetría	Kurtosis
IFM	69	141,82	69,79	4871,15	49,21	52,65	367,38	1,34	2,15
ICP	69	15,34	3,82	14,60	24,91	10,03	29,88	1,59	2,98

n: número de estaciones; IFM: Índice de Fournier modificado; ICP: Índice de concentración de precipitación

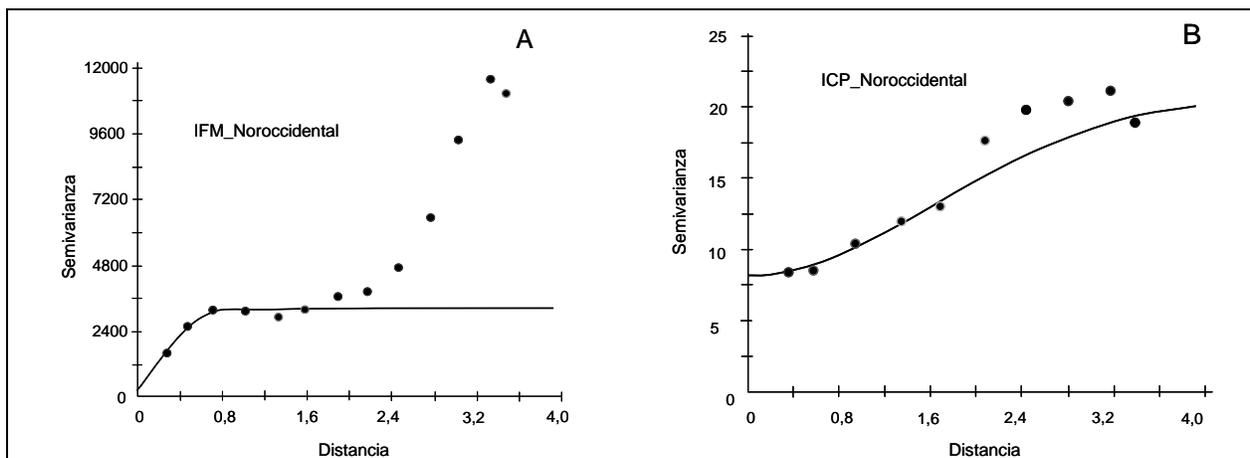
**Cuadro 2.** Parámetros de semivariogramas teóricos del IFM e ICP en la Región Noroccidental de Venezuela

Variable	Modelo	Alcance (°)	Co	Co+C	Co relativa (%)
IFM	Esférico	0,813	219,4	2990,90	6,83
ICP	Gaussiano	2,303	8,104	12,670	39,01

Co: Varianza aleatoria; Co+C: Umbral; % Co: porcentaje de varianza aleatoria; Co relativa =  $100 * Co / (Co + C)$

Los ajustes de los semivariogramas indican que el alcance fluctuó entre 90 km (0,813°) y 255 km (2,303°) indicando una mayor dependencia espacial para el ICP (Cuadro 2). Sin embargo, el porcentaje de varianza

aleatoria (Co relativa) del IFM fue baja, indicando una baja variación a cortas distancias, mientras que la del ICP fue media, reflejando que este índice fluctúa en mayor proporción en áreas pequeñas.

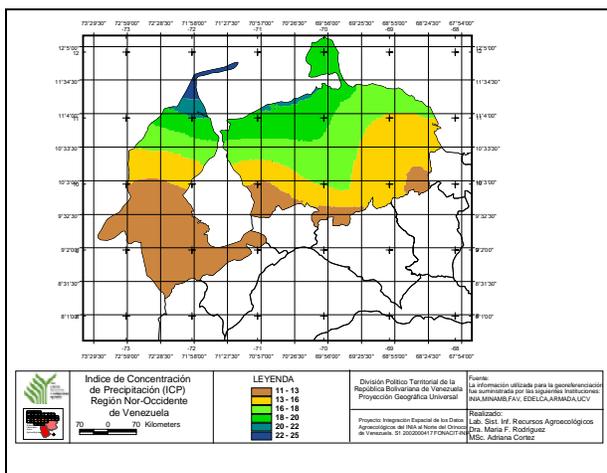


**Figura 3.** Semivariogramas experimental y teórico del IFM (A) e ICP (B) de la Región Noroccidental de Venezuela

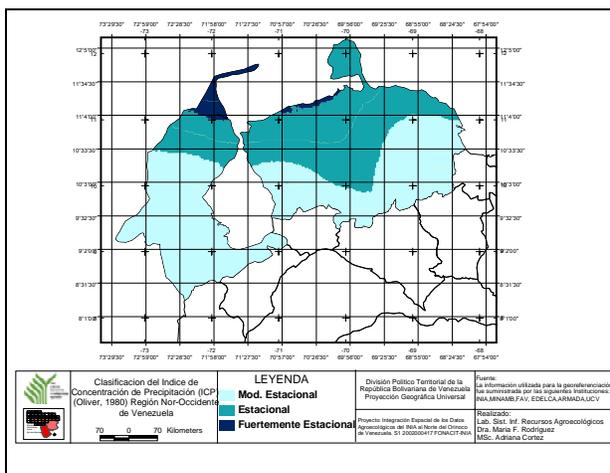
**Índice de concentración de las precipitaciones**

El mapa de concentración de las precipitaciones muestra que la espacialización de los valores del ICP oscilan entre 11 y 25 % (Figura 4), encontrándose que los valores más bajos se ubican en la zona Suroeste, se incrementan hacia el norte de la región, y son ligeramente mayores a los registrados en la zona de Los Llanos (Lobo et al., 2010). El mapa del ICP clasificado muestra que la zona sur del área de estudio corresponde a una distribución moderadamente estacional (Figura 5), lo que

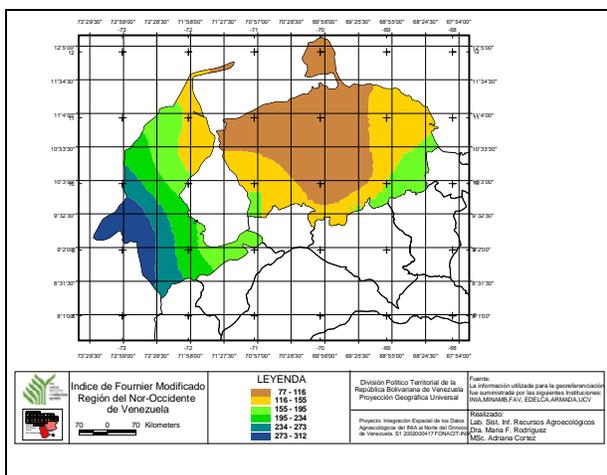
significa que las precipitaciones se distribuyen en varios meses del año. Hacia la zona norte de la región, específicamente en la península de la Guajira y costa noroeste del estado Falcón, el ICP se clasifica como fuertemente estacional, indicando que las lluvias son más concentradas, lo que pudiera tener un efecto erosivo durante ese intervalo de tiempo; es decir, los eventos de lluvia constituyen un factor de presión a la degradación de la zona no sólo por la agresividad con la que impacta al suelo, sino también por no estar restringidos a un corto período estacional.



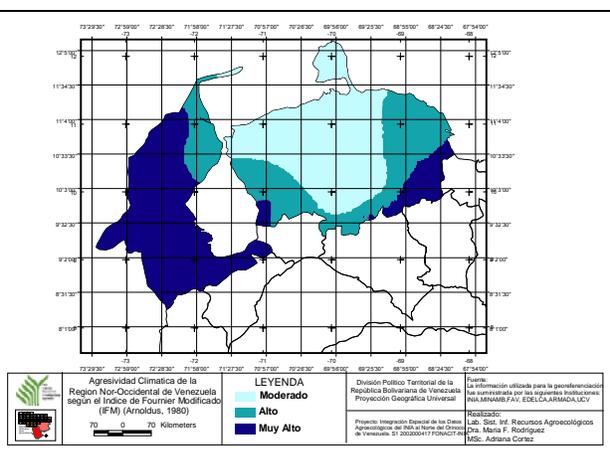
**Figura 4.** Espacialización del ICP en la región Noroccidental de Venezuela



**Figura 5.** Clasificación del ICP en la región Noroccidental de Venezuela



**Figura 6.** Espacialización del IFM en la región Noroccidental de Venezuela



**Figura 7.** Clasificación del IFM en la región Noroccidental de Venezuela

**Índice de agresividad climática**

El mapa del IFM evidencia el grado de

agresividad climática que caracteriza la región estudiada (Figura 6), con valores que fluctúan

entre 77 y 312 con una agresividad más acentuada hacia la zona oeste de la región, específicamente en el estado Zulia. Los valores más bajos del índice se observaron hacia el centro norte del estado Falcón y norte del estado Lara, clasificándose como moderados (Figura 7). La agresividad de la lluvia llega a ser moderada sólo en puntos cercanos a la costa (norte del Estado Zulia y gran parte del estado Falcón), zonas donde la precipitación anual no supera los 800 mm. Al sur del área de estudio, los valores de precipitación van desde 1240 a 2260 mm anuales, clasificándose gran parte de la zona de estudio como de alta a muy alta agresividad de la precipitación, y presentándose allí los mayores riesgos de erosión.

El ICP indica que 97 % de la región es moderadamente estacional a estacional (Figura 5), mientras que según el IFM (Figura 7) la agresividad de las precipitaciones es moderada en el 34 % de la zona, alta en el 28 % y muy alta en el 38 %, lo que hace que los suelos de la zona oeste sean altamente vulnerables a la erosión.

### CONCLUSIONES

La zona norte de la Región Noroccidental, la cual comprende la Guajira y las costas Norte y Noroeste del estado Falcón, presenta un ICP de fuertemente estacional a estacional indicando que las precipitaciones son más concentradas y con una agresividad moderada; con respecto a la parte centrosur de la zona, la cual incluye parte del estado Zulia, Lara y Yaracuy donde se tienen niveles de concentración de lluvias de estacional a moderadamente estacionales, pero con un índice de agresividad que van desde alto a muy alto; aumentando consecuentemente, los riesgos de degradación de los suelos, donde precisamente los valores de precipitación van desde 1240 a 2260 mm anuales. Es decir, se deben considerar prácticas conservacionistas para el manejo de los suelos en los distintos sistemas de producción de la región.

### LITERATURA CITADA

1. Arnoldus, H. 1980. An approximation of the rainfall factor in the universal soil loss equation. *In: De Boodt y Gabriels. (eds.) Assessment of Erosion.* Wiley. Chichester, West Sussex, UK. pp. 127-132.
2. COPLANARH. 1974. Inventario Nacional de Tierras. Región del Lago de Maracaibo. Ministerio de Agricultura y Cría. Caracas. 295 p.
3. Fournier, F. 1960. *Climat et Erosion.* Ed. Presses. Universitaires de France. París.
4. Jones, P. 1987. Current availability and deficiencies in data relevant to agro-ecological studies in the geographic area covered by the IARCs. *In: A.H. Bunting (ed.). Agricultural Environments. Proceedings of the Rome Workshop on Agro-ecological Classification and Mapping.* CAB International. Wallingford, UK. pp. 69-111.
5. Lobo, D., A. Cortez., M.F. Rodriguez., F. Ovalles., J.C. Rey, D. Gabriels y R. Parra. 2010. Análisis de la agresividad climática y concentración de las precipitaciones en Venezuela. I. Región de Los Llanos. *Bioagro* 22(3): 169-176.
6. Matteucci, S.D., A. Colma y L. Pla. 1999. Biodiversidad vegetal en el árido falconiano (Venezuela). *Interciencia* 24(5): 300-307.
7. 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 24/10/09).
8. Oliver, J.E. 1980. Monthly precipitation distribution: a comparative index. *Professional Geographer* 32: 300-309.