

ANÁLISIS DE LA AGRESIVIDAD Y CONCENTRACIÓN DE LAS PRECIPITACIONES EN VENEZUELA.

III. REGIÓN SUR-ESTE (GUAYANA Y DELTA)

María F. Rodríguez¹, Adriana Cortez¹, Juan C. Rey¹, Deyanira Lobo², Raquel M. Parra²,
Walter González¹, Francisco Ovalles¹ y Donald Gabriels³

RESUMEN

Con la finalidad de evaluar la distribución y la agresividad de la precipitación en la región Sureste de Venezuela (Guayana y Delta del Orinoco), se realizó un análisis de la información de la precipitación mensual de 41 estaciones meteorológicas, a la cual se le calculó el Índice de Concentración de la Precipitación (ICP) y el Índice de Fournier Modificado (IFM). Los valores de los índices fueron sometidos a análisis univariado y análisis geoestadístico ajustando los semivariogramas a modelos teóricos. Para el mapeo de la distribución espacial de los índices se realizó una interpolación mediante el método de kriging puntual, generándose el archivo correspondiente, el cual fue editado en ArcView. Se encontró que la precipitación presenta muy alta agresividad (valores de IFM calificados como muy altos). La distribución de la precipitación resultó moderadamente estacional en el 91 % de la totalidad del territorio, y sólo en la zona noroeste del estado Amazonas y centro-norte del estado Bolívar presentó una distribución estacional. Se concluye que la región es altamente vulnerable a la erosión de los suelos por efecto 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. III. Southeastern Region (Guayana and Delta)

In order to evaluate the distribution and aggressiveness of the precipitation in the Southeast region of Venezuela (Guayana and the Orinoco Delta), we performed an analysis of monthly precipitation data from 41 meteorological stations, and the Precipitation Concentration Index (PCI) and Modified Fournier Index (MFI) were calculated. The index values were evaluated using univariate and geostatistical analysis, adjusting semivariograms to theoretical models. For mapping the spatial distribution of the indices, interpolation by punctual kriging method was carried out, generating the appropriate file, which was edited in ArcView. It was found that rainfall has a very high aggressiveness (values of MFI classified as very high). The distribution of rainfall was moderately seasonal in 91 % of the entire territory, and only in the Northwestern of Amazonas State and Central North of Bolivar State, precipitation presented a seasonal distribution. It is concluded that soils of most part of the region are greatly vulnerable to erosion by effect of rainfall.

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

INTRODUCCIÓN

En el Sur de Venezuela, conocido también como tierras bajas, el clima se caracteriza por ser de tipo ecuatorial con una alta precipitación anual (superior a 2000 mm) y temperaturas medias superiores a 24 °C; no presenta una estación seca muy bien definida a excepción en años muy secos. En esta región se encuentra el llamado “cinturón

de calmas ecuatoriales”, ya que los vientos alisios gradualmente reducen su velocidad en una zona de presión atmosférica semi-uniforme. La zona de convergencia intertropical afecta a esta región durante gran parte del año implicando la presencia casi permanente de un cinturón de altas precipitaciones, con sectores más activos y otros de menor actividad (Andressen, 2007).

La región de Guayana representa

Recibido: Abril 23, 2010

Aceptado: Abril 28, 2011

¹INIA-CENIAP, Recursos Agroecológicos, Apdo. 4846, Maracay 2101, Venezuela. e-mail:acortez@inia.gob.ve, mfrdriguez@inia.gob.ve, jcrey@inia.gob.ve, wgonzalez@inia.gob.ve, fovalles@inia.gob.ve

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

³ Universidad de Gante. Bélgica. e-mail: donald.gabriels@ugent.be

aproximadamente el 45 % del territorio nacional. Se ubica al sur, haciendo límites con Brasil, Colombia y Guyana Esequiba. El relieve es variado y comprende desde llanuras suavemente inclinadas en las márgenes del Orinoco, hasta las altiplanicies llamadas tepuyes, que presentan alturas de hasta 2800 msnm (MARN, 2004). Los suelos son profundos, de textura media a fina, poco fértiles, con materia orgánica de media a alta, bien drenados y estructurados, a excepción de los suelos de la cuenca de Roraima que son poco desarrollos y poco profundos, texturas livianas, bajo contenido de materia orgánica y débil estructuración.

Por su parte, la región del Delta se encuentra en el extremo este del país constituyendo el límite continental con el océano atlántico, con una precipitación anual que se incrementa de norte a sur y desciende desde el borde marino hacia tierra adentro, con valores entre 1200 y 2400 mm; la temperatura es alta durante todo el año con un promedio de 28 °C. La mayor parte de los suelos presentan periodos extensos saturados de agua, lo que genera condiciones poco propicias para el crecimiento normal de cultivos no adaptados a dichas condiciones. El sistema deltaico del Río Orinoco es una extensa área de sedimentación

constituida por innumerables caños e islas de tierras bajas y cenagosas, con relieve predominante de las llanuras deltaicas, con humedales, ecosistemas de alta productividad biológica (MARN, 2004). Debido a la complejidad e importancia del sistema deltaico y amazónico de Venezuela el objetivo de este trabajo se centra en analizar la distribución de la precipitación media anual, la agresividad climática y la concentración de la precipitación en la Región Sur-Este (Guayana y Delta) 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 el periodo 1970-2000 de las estaciones meteorológicas de las instituciones que manejan este tipo de información en el país (Lobo et al., 2010), ubicadas en la región Sur-Este (Guayana y Delta), que comprende los estados Amazonas, Bolívar y Delta Amacuro, así como estados aledaños a la región, quedando conformada por un grupo de 41 estaciones (Figura 1).

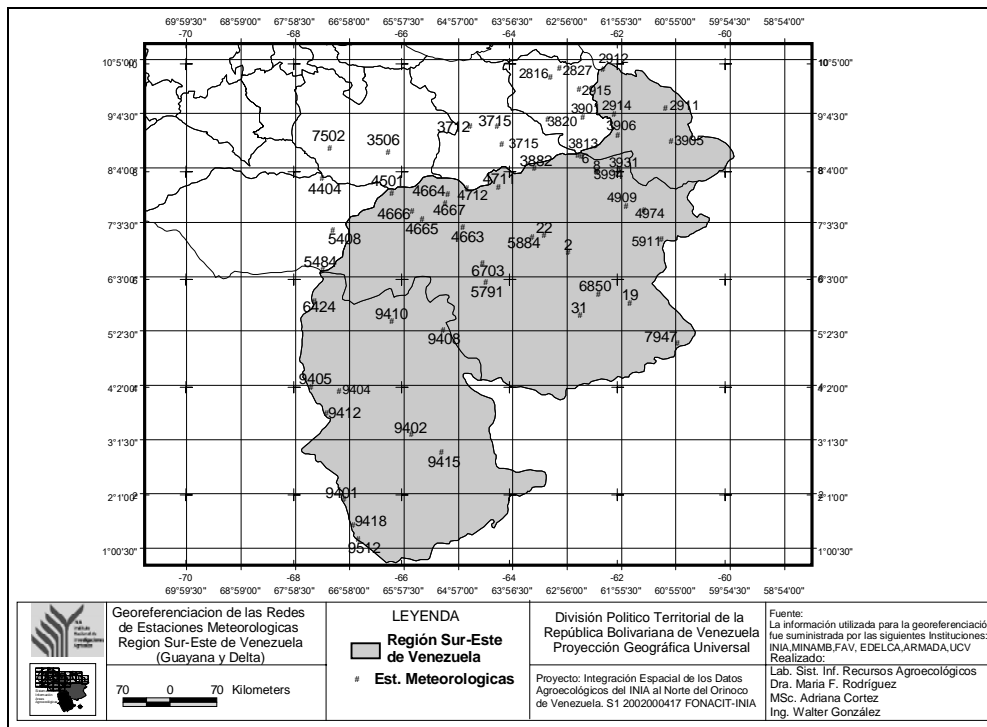


Figura 1. Ubicación de las estaciones meteorológicas de la región Sur-Este de Venezuela

Se realizó un control de calidad a los datos de precipitación para definir la proporción de información faltante, 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). Para el control de calidad de la ubicación de las estaciones meteorológicas se utilizó el Sistema de Información Geográfica Arcview v3.2 (ESRI, Redlands, CA).

Siguiendo la secuencia metodológica utilizada por Lobo et al. (2010) y Cortez et al. (2011) para la determinación del ICP e IFM se determinó el índice de concentración de lluvia y el índice de agresividad climática a través del análisis del comportamiento temporal de la precipitación y el índice de Fournier Modificado (IFM), respectivamente. Ambas se calcularon usando los valores promedios de lluvias para el período considerado.

Para el análisis estadístico y generación de los mapas de distribución del índice de concentración de precipitación y agresividad climática se realizó un análisis univariado que generó los parámetros estadísticos comunes y estableció la estructura de los datos de las variables de clima, un análisis geoestadístico que 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), un mapeo de distribución espacial de las variables climáticas mediante interpolación usando la técnica del Kriging puntual, y finalmente, se generaron los mapas de clasificación de PP anual, ICP e IFM, editados en Arcview, lo que permitió examinar la variación espacial de dichas variables (detalles en Lobo et al., 2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al analizar la distribución espacial de la PP anual, en la Figura 2 se observa el gradiente de precipitación caracterizado en la zona centro sur de la región fundamentalmente los estados Amazonas y gran parte del estado Bolívar por una precipitación media anual superior a los 2340 mm y la zona noreste de la región (norte de Bolívar y zona deltaica) con una precipitación media anual de 1026 mm, definiéndose como un clima

ecuatorial (Andressen, 2007). No se presenta una estación seca muy bien definida, ya que los meses menos lluviosos tienen valores superiores a los 50 mm, lo que implica que gran parte de la zona bajo estudio tiene un clima constantemente húmedo; los meses más lluviosos son mayo, junio, julio y agosto, en los que se presentan valores por encima de los 300 mm, y en algunas zonas superiores a los 600 mm. Cabe destacar que en la zona centro-sur del estado Bolívar y suroeste del estado Amazonas existen núcleos de altas precipitaciones con valores hasta de 4092 mm y 3216 mm, respectivamente.

El análisis univariado indicó que la PP anual presentó una media superior a 2000 mm, con una moderada variabilidad espacial ($CV = 39\%$) y oscilaciones entre 1001 y 4072 mm.

En el Cuadro 1 se muestran los resultados del análisis univariado para el IFM e ICP. En promedio se aprecia que el ICP es moderadamente estacional y aun cuando la variabilidad es baja ($CV < 35\%$), el rango de esta variable refleja que va desde moderadamente estacional a estacional. En lo que respecta al IFM, el promedio indicó una alta agresividad de la precipitación en la zona y un coeficiente de variación bajo ($CV < 35\%$), lo que indica que este comportamiento de agresividad es uniforme en toda la zona. Los valores de asimetría y kurtosis fueron cercanos a cero, lo que demuestra una distribución de los datos cercana a la normal.

Los semivariogramas experimentales mostraron carácter transicional 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; es decir, existe un nuevo patrón de variación a una distancia mayor. El IFM, cuando se estabiliza a distancias mayores del alcance, presenta un efecto hueco, indicando una variación cíclica, es decir, que cuando aumenta la distancia los valores de IFM tienden a ser más similares y luego se hacen nuevamente más disímiles; sin embargo, la tendencia indica en promedio un incremento de la varianza con la distancia, lo que reafirma la importancia de determinar los modelos de variación de estas propiedades y su estimación espacial por medio de kriging (Trangmar et al., 1985).

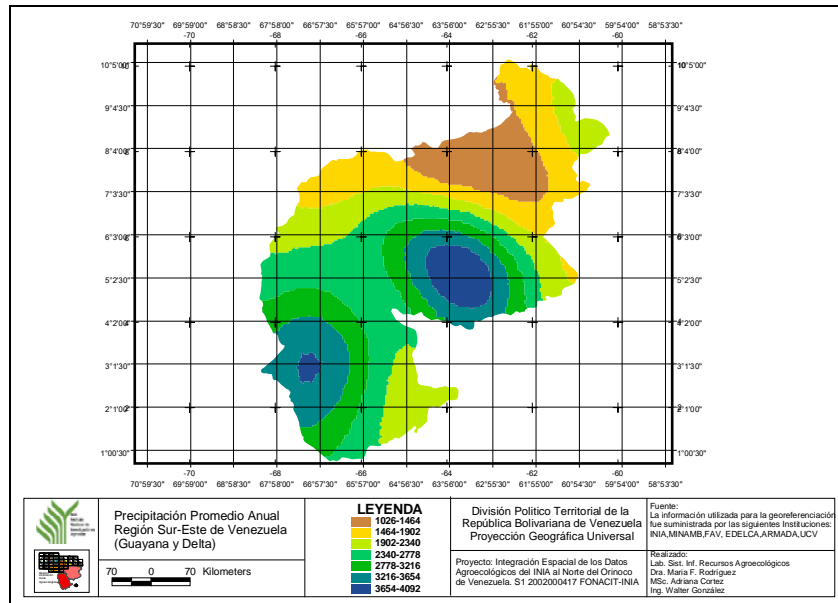


Figura 2. Distribución espacial de la precipitación media anual en la Región Sur-Este de Venezuela

Cuadro 1. Parámetros estadísticos del IFM e ICP en la Región Sur-Este de Venezuela

Variable	n	Media	SD	Varianza	CV (%)	Min	Max	Asimetría	Kurtosis
IFM	41	267,46	91,85	8437,1	34,34	138,02	515,44	0,45	-0,30
ICP	41	13,1	2,17	4,72	16,59	9,55	18,62	0,62	0,02

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

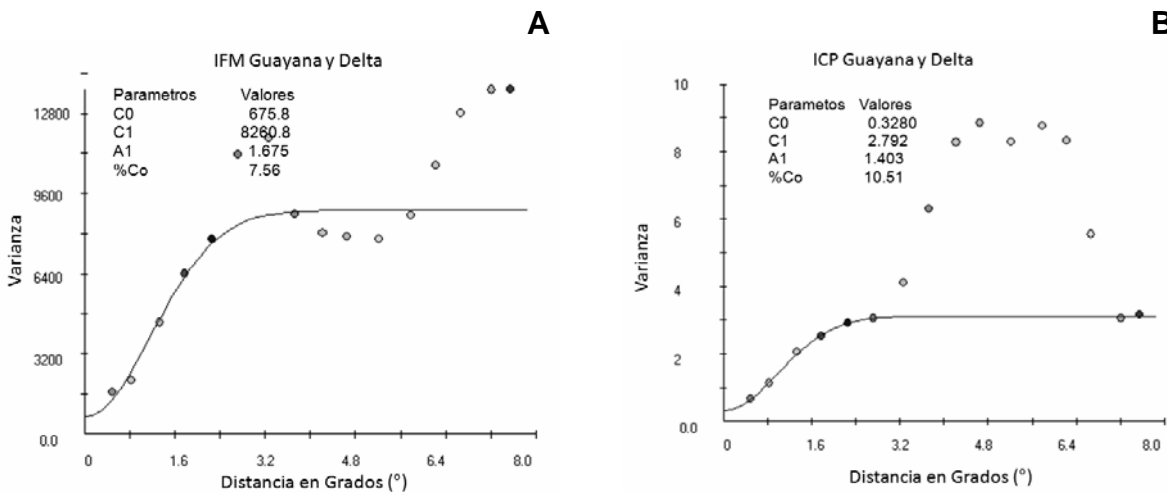


Figura 3. Semivariogramas experimental y teórico del IFM (A) e ICP (B) de la Región Sur-Este de Venezuela

Los resultados de los ajustes de los semivariogramas indican que el alcance fluctuó entre 1,403 y 1,675 grados, lo que representa entre 156 y 186 km de distancia, indicando una dependencia espacial similar para el ICP e IFM. De la misma manera, ambos índices presentaron un bajo porcentaje de varianza aleatoria (Co relativa <25 %) (Cuadro 2), indicando una baja

variación a cortas distancias, reflejando una fuerte dependencia espacial, de acuerdo con los criterios de Cambardella et al. (1994). Las características del largo alcance espacial y baja varianza aleatoria observada en los semivariogramas resulta en cambios graduales en el espacio que pueden permitir una mejor estimación de la PP anual, IFM e ICP en sitios sin información.

Cuadro 2. Parámetros de los semivariogramas teóricos del IFM e ICP en la Región Sur-Este de Venezuela

Variable	Modelo	Alcance (°)	Co	Co+C	Co relativa (%)
IFM	Gaussiano	1,675	675,8	8.260,8	7,56
ICP	Gaussiano	1,403	0,3280	2,792	10,51

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

Índice de Concentración de las precipitaciones

Los valores del índice de concentración de precipitación de la región sureste de Venezuela espacializados se muestran en la Figura 4 los cuales presentan un gradiente de moderadamente estacional a estacional (Oliver, 1980), donde los menores valores están en la zona sur del estado Amazonas y zona central del Delta y los mayores en la zona noroeste de la región. En la Figura 5 se observa el ICP clasificado, donde

el 91 % del área corresponde a moderadamente estacional indicando que en gran parte de la zona de estudio la lluvia está mejor distribuida mejor a lo largo del año; sólo en un 9 % presenta un índice clasificado como estacional lo que significa que en una pequeña parte de la zona de estudio hay una mayor concentración de la lluvia en poco tiempo, ubicado hacia la zona noroeste del estado Amazonas y centro norte del estado Bolívar.

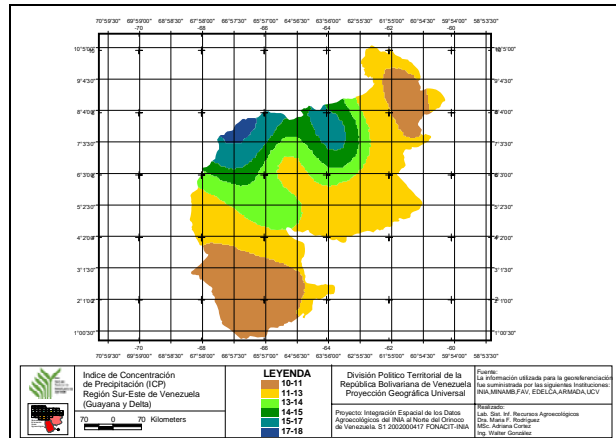


Figura 4. Espacialización del índice de concentración de precipitación (ICP) en la Región Sur-Este de Venezuela

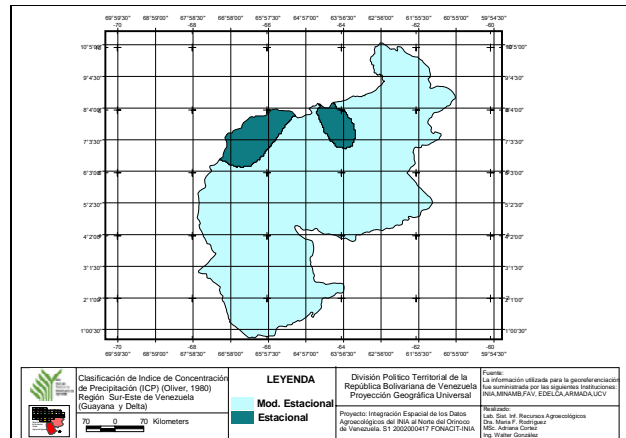


Figura 5. Clasificación del índice de concentración de precipitación (ICP) según (Oliver, 1980) en la Región Sur-Este de Venezuela

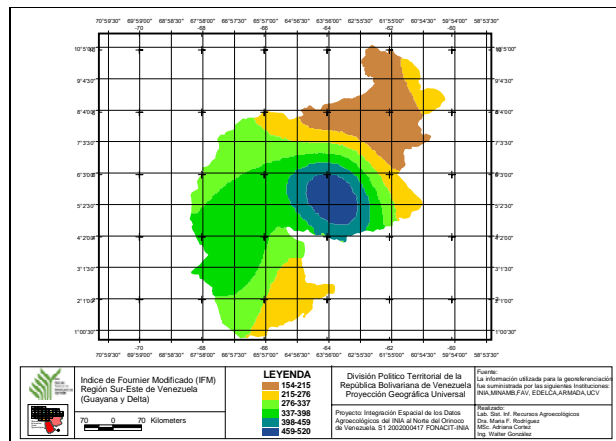


Figura 6. Espacialización del índice de Fournier modificado (IFM) en la Región Sur-Este de Venezuela

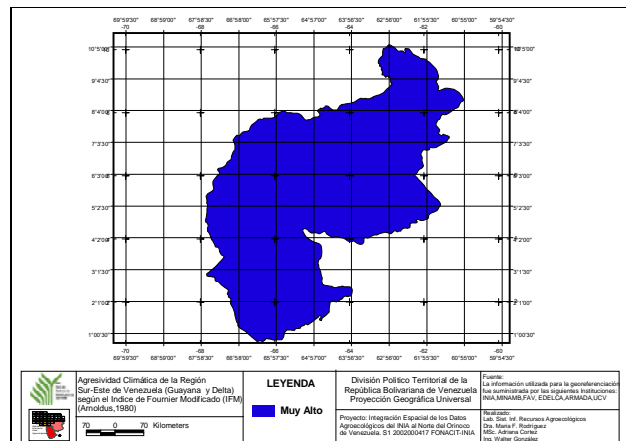


Figura 7. Clasificación del índice de Fournier modificado (IFM) en la Región Sur-Este de Venezuela

Índice de agresividad climática

El IFM muestra que existe una distribución espacial de la agresividad climática (Figura 6), donde los mayores valores se observan en el núcleo más lluvioso de la zona de estudio, ubicado en la zona centro sur del estado Bolívar y los valores menores en los extremos de la región, como son el noreste zona deltaica y una pequeña parte al sur del estado Amazonas. se destaca que los altos valores de estimaciones de IFM resultaron en una sola clase, según Arnoldus (1980), quedando ésta definida como de muy alta agresividad climática (Figura 7), lo que significa que en toda la región se presentan lluvias elevadas durante todo el año, coincidiendo estrechamente con lo expresando sobre el comportamiento de la distribución de la precipitación. Esto hace a la zona bajo estudio altamente vulnerable a la erosión de los suelos, concordando con Gaspari et al. (2008), quienes al utilizar los mismos índices aquí planteados, señalan que para comprender el funcionamiento de los procesos erosivos que tiene lugar en un territorio es fundamental conocer el potencial erosivo de las precipitaciones.

CONCLUSIONES

La región Sureste de Venezuela (Guayana y Delta del Orinoco) presenta una concentración de lluvias moderadamente estacional a estacional y una agresividad climática muy alta, con lluvias elevadas de distribución uniforme a lo largo del año en gran parte de ella; esto unido a la gran variabilidad de los suelos hace que la zona requiera manejos agrícolas conservacionistas, acordes a su alta vulnerabilidad.

LITERATURA CITADA

- Andressen, R. 2007. Circulación Atmosférica y Tipos de Clima. 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.
- Cambardella, C., T. Moorman, J. Novak, T. Parkin, D. Karlen, R. Turco y E. Konopka. 1994. Field-Scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. *Soil Sci. Soc. Am J.* 58: 1501-1511.
- Cortez, A., M.F. Rodríguez, J.C. Rey, D. Lobo, R.M. Parra, F. Ovalles y D. Gabriels 2011. Análisis de la agresividad y concentración de las precipitaciones en Venezuela. II. Región Noroccidental. *Bioagro* 23(1): 13-18.
- Gaspari, F., A. Rodríguez, G. Senisterra y M. Delgado. 2008. Determinación espacio-temporal del índice de agresividad de precipitaciones en el sistema Serrano de Ventania. Provincia de Buenos Aires-Argentina. *Revista Geográfica Venezolana* 49(1): 57-66.
- Lobo, D., A. Cortez, M.F. Rodríguez, F. Ovalles, J.C. Rey, D. Grabriels y R. Parra. 2010. Análisis de la agresividad climática y concentración de la precipitación en la región de los llanos de Venezuela. *Bioagro* 22(3): 169-176.
- Minasny, B., A.B. McBratney y B.M. Whelan. 2002. VESPER version 1.6. Australian Centre for Precision Agriculture. The University of Sidney. <http://www.usyd.edu.au/su/agric/acpa> (consulta del 24/10/09).
- MARN (Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales). 2004. Programa de acción nacional de lucha contra la desertificación y mitigación de la sequía. Fondo Editorial Fundambiente. Caracas. 112 p.
- Oliver, J.E. 1980. Monthly precipitation distribution: a comparative index. *Professional Geographer* 32: 300-309.
- Trangmar, B., R. Yost y G. Uehara. 1985. Application of Geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy* 38: 45-94.