

---

## APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE HOMOGENEIDAD MÚLTIPLE A DATOS CLIMATOLÓGICOS DE VENEZUELA

---

Neida Pineda, Edgar Jaimes y José Mendoza

### RESUMEN

El Índice de Homogeneidad Múltiple (IHM) mide la homogeneidad espacial y temporal de acuerdo al intercambio de materia, energía e información dentro y entre los sistemas y el ambiente circundante. El objetivo de este trabajo es evaluar la aplicabilidad del IHM para determinar la homogeneidad de los valores medios mensuales y máximos absolutos mensuales de los elementos climatológicos: radiación global, temperatura, insolación, precipitación, evaporación, humedad relativa, velocidad del viento, presión atmosférica y nubosidad; medidos

y registrados, con mayor frecuencia, en estaciones meteorológicas de Venezuela. Se utilizó la información climática recabada para 21 estaciones meteorológicas, entre los años 1961 y 1990, y el procesamiento automatizado de esta data fue a través del Sistema de Información Automatizado de Homogeneidad de Tierras (SIAHT). Se comprobó la aplicabilidad del IHM a la data climatológica de Venezuela, determinándose dos secuencias de homogeneidad entre los subsistemas climáticos estudiados.

### Introducción

Las técnicas para llevar a cabo un análisis climático generalmente se basan en la aplicación de los parámetros de la estadística descriptiva o univariada, es decir la media, mediana, desviación estándar, varianza, coeficiente de variación y los valores mínimos y máximos correspondientes a las variables climatológicas seleccionadas para un determinado período de registros (Berroterán

*et al.*, 1983). Recientemente, Amaro, Demey y Macchiavelli (2004) utilizaron series anuales de registros pluviométricos del período 1921-2000, de 10 estaciones climatológicas de Venezuela, para estudiar la dimensión fractal del elemento precipitación, aplicando el cociente R/S de Hurst, con la finalidad de determinar el nivel de persistencia de dichos registros a largo plazo.

No se conoce ningún parámetro multivariado que

permita evaluar la homogeneidad de series mensuales de registros llevados por las estaciones climatológicas, considerando los elementos climáticos individualmente o agrupados de acuerdo con un determinado criterio. Sin embargo, Jaimes (1988) definió un índice de homogeneidad múltiple (IHM), como el valor o cantidad eficaz para determinar la homogeneidad de sistemas pedogeomorfológicos (análisis de las relaciones suelo-paisaje),

caracterizados por atributos físicos, químicos, biológicos y mineralógicos. Según Jaimes y Elizalde (1991), tal valor permite establecer comparaciones con la finalidad de estudiar la estructura, el funcionamiento, la evolución, la estabilidad y la variabilidad espacial de dichos atributos dentro del sistema pedogeomorfológico y de éste en relación con otros sistemas vecinos, incluyendo la totalidad del ambiente circundante.

---

### PALABRAS CLAVE / Análisis Climático / Índice de Homogeneidad Múltiple / Variabilidad Climática /

---

Recibido: 25/07/2005. Modificado: 27/03/2006. Aceptado: 27/09/2006.

Neida M. Pineda C. Ingeniera Agrícola, Universidad de los Andes (ULA), Venezuela. M.Sc. en Ciencia del Suelo, Universidad Central de Venezuela (UCV). Profesora, Núcleo Universitario "Rafael Rangel" (NURR-ULA), Venezuela. Investigadora, Grupo de Inves-

tigación de Suelos y Aguas (GISA), Venezuela. Dirección: Av. Isaías Medina Angarita, Sector Carmona, Trujillo, estado Trujillo, Venezuela. e-mail: epineda@ula.ve  
Edgar J. Jaimes C. Ingeniero Agrónomo, La Universidad del Zulia (LUZ), Venezuela. Agrólogo,

Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT-ULA), Venezuela. Doctor en Ciencia del Suelo, UCV, Venezuela. Profesor, NURR-ULA. Investigador, GISA, Venezuela. e-mail: jaimes@ula.ve

José G. Mendoza M. Ingeniero Agrícola. Agrólogo y M.Sc. en Manejo de Cuencas Hidrográficas y en Desarrollo Regional, ULA, Venezuela. Profesor, NURR-ULA. Coordinador, GISA, Venezuela. e-mail: jmenodoz@ula.ve

The Index of Multiple Homogeneity (IMH) measures the spatial and temporal homogeneity according to the exchange of matter, energy and information within and between the systems and the surrounding atmosphere. The purpose of this work is to evaluate the applicability of IMH to determine the homogeneity of the monthly average and maximum absolute values of the following climate elements: global radiation, insolation, temperature, rainfall, evaporation, relative humidity, wind speed, atmospheric

pressure and cloudiness, measured and registered, most frequently, in meteorological stations of Venezuela. The climatological information collected in 21 meteorological stations between 1961 and 1990 was used. The automated processing of this data was done through Information System Automated of Lands Homogeneity (ISALH). The applicability of the IHM to the climatologic data of Venezuela was verified, determining two sequences of homogeneity between the studied climatic subsystems.

## RESUMO

O Índice de Homogeneidade Múltipla (IHM) mede a homogeneidade espacial e temporal de acordo ao intercâmbio de matéria, energia e informação dentro e entre os sistemas e o ambiente circundante. O objetivo do trabalho é avaliar a aplicabilidade do IHM para determinar a homogeneidade dos valores médios mensais e máximos absolutos mensais dos elementos climatológicos: radiação global, temperatura, insolação, precipitação, evaporação, umidade relativa, velocidade do vento, pressão atmosférica

e nebulosidade; medidos e registrados, com maior frequência, em estações meteorológicas da Venezuela. Utilizou-se a informação climática recolhida para 21 estações meteorológicas entre 1961 e 1990, e o processamento automatizado destes dados foi através do Sistema de Informação Automatizado de Homogeneidade de Terras (SIAHT). Comprovou-se a aplicabilidade do IHM aos dados climatológicos da Venezuela, determinando-se duas seqüências de homogeneidade entre os subsistemas climáticos estudados.

La homogeneidad múltiple de un sistema natural cualquiera se refiere al grado de simplicidad estructural y posibilidad de ocurrencia espontánea de los flujos de intercambio de materia, energía e información dentro y entre los sistemas y el ambiente circundante, durante el desarrollo de los mismos. Un mayor grado de homogeneidad múltiple significa una mayor correlación entre variables y un menor grado de dispersión de los valores de éstas (Elizalde, 1997). Dicho índice ha sido aplicado por diversos autores en el análisis de la homogeneidad en sistemas pedogeomorfológicos (Gómez, 1990; Jaimes *et al.*, 1992, 2005; Oballos, 1995; Elizalde, 1995, 1997; Pineda, 1998; Oballos *et al.*, 1999; Ochoa y Oballos, 2002; Rivas *et al.*, 2005).

El objetivo de este trabajo es evaluar la aplicabilidad del IHM como herramienta para determinar la homogeneidad de los valores medios mensuales y máximos absolutos mensuales de los elementos climatológicos: radiación global, temperatura, insolação, precipitación, humedad relativa, velocidad del viento, presión atmosférica y nubosidad; medidos y registrados, con mayor frecuencia, en

estaciones meteorológicas de Venezuela.

**Metodología**

El fundamento metodológico de este trabajo es el índice de homogeneidad múltiple (IHM; Jaimes, 1988), cuya definición está basada en el análisis por componentes principales (ACP; Morrison, 2004). El IHM se define como el producto acumulado de los valores propios ( $\lambda_j$ )  $\geq 1,0000$ . Para este cálculo se multiplica el primer valor propio por el segundo ( $\lambda_1 \times \lambda_2$ ) y el producto obtenido se multiplica por el tercero y así sucesivamente hasta utilizar todos los  $\lambda_j \geq 1$  (Jaimes y Elizalde, 1991). El IHM expresa el grado de pureza o similitud de sus componentes menores o atributos más simples; mientras mayor sea su valor, mayor es la homogeneidad múltiple del sistema. Algebraicamente se representa como

$$IHM = \lambda_1 \times \lambda_2 \times \lambda_3 \times \dots \times \lambda_{m-1} \times \lambda_m \quad (1)$$

donde  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  y  $\lambda_3$  corresponden a los valores propios (*eigenvalues* o raíces características) del primero, segundo y tercer componente principal, respectivamente; y  $\lambda_{m-1}$  y  $\lambda_m$  son los valores propios (pe-núltimo y último, respectiva-

mente) de la serie completa de componentes principales que son  $\geq 1,0000$ .

Una generalización de la Ec. 1 fue presentada por Jaimes (1988) como

$$IHM = \prod_{j=1}^m \lambda_j \quad (2)$$

donde  $\Pi$ : producto acumulado de los valores de  $\lambda_j$ ;  $\lambda_j$ : valor propio del  $j$ -ésimo componente principal de magnitud  $\geq 1,0000$ ; y  $m$ : número de componentes principales con valores propios  $\geq 1,0000$ .

Para la aplicación del IHM con datos climatológicos se utilizó el Sistema de Información Automatizado de Homogeneidad de Tierras (SIAHT, versión 2.1) diseñado por Elizalde y Daza (2001), que automatiza el cálculo del IHM.

Las bases de datos utilizadas para aplicar el IHM se estructuraron a partir de las normales climatológicas de Venezuela, para el período 1961-1990, preparadas a través del sistema CLICOM, versión 2.1, por el Servicio de Meteorología de la Fuerza Aérea Venezolana (FAV, 1993). Se seleccionaron 21 estaciones climatológicas, considerando los valores medios mensuales y máximos absolutos medios mensuales del período. En la Tabla I

se indican las estaciones, su georeferenciación y períodos de registros utilizados.

Las bases de datos fueron estructuradas agrupando los elementos climatológicos en tres subsistemas climáticos que se presentan en la Tabla II, donde se indican los elementos climatológicos de cada uno de ellos, sus símbolos y las unidades en que se miden o registran.

Los criterios de clasificación o agrupamiento utilizados no contradicen la definición de sistema climático de Deza *et al.* (2003), según la cual el sistema climático se divide conceptualmente en dos subsistemas acoplados (atmósfera y océano) con escalas temporales muy diferentes para procesos que ocurren en la misma escala espacial; es decir, que mientras la circulación general de la atmósfera ocurre en semanas, la oceánica demora milenios. En este sentido, el océano actúa como "integrador de forzamientos de pequeña escala temporal" en lo que respecta a todos los elementos climatológicos considerados en este trabajo.

Los análisis de aplicación realizados consistieron en determinar los valores del IHM partiendo de dos bases de datos, una de valores

TABLA I  
ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS, SU GEOREFERENCIACIÓN Y PERÍODO DE REGISTROS, UTILIZADOS PARA LA APLICACIÓN DEL IHM

Estación	Serial internacional	Serial nacional	Latitud norte	Longitud oeste	Elevación (msnm)	Período de registro
Acarigua	80427	2264	09° 33'	69° 14'	226	1971-1990
Barcelona	80419	1773	10° 27'	64° 41'	7	1961-1990
Barquisimeto	80410	1282	10° 14'	69° 19'	613	1961-1990
Caracas	80416	0544	10° 30'	66° 53'	835	1961-1990
Ciudad Bolívar	80444	3882	08° 09'	63° 33'	43	1961-1990
Coro	80403	0232	11° 25'	69° 41'	16	1961-1990
Guanare	80428	2299	09° 05'	69° 44'	163	1971-1990
Guasualito	80448	4172	07° 14'	70° 48'	130	1972-1990
Güiria	80423	4099	10° 35'	62° 18'	13	1961-1990
Maiquetía	80415	0503	10° 36'	66° 59'	63	1961-1990
Maracaibo	80407	1015	10° 14'	71° 44'	65	1961-1990
Maracay	80413	0466	10° 15'	67° 39'	436	1961-1990
Maturín	80435	2827	09° 45'	63° 11'	68	1961-1990
Mene Grande	80425	2117	09° 49'	70° 56'	27	1961-1990
Mérida	80438	3047	08° 36'	71° 11'	1479	1961-1990
Puerto Ayacucho	80457	6524	05° 36'	67° 30'	73	1961-1990
San Antonio	80447	4022	07° 51'	72° 27'	377	1961-1990
San Fernando	80450	4404	07° 41'	67° 25'	47	1961-1990
Santa Elena	80462	7947	04° 36'	61° 07'	868	1961-1990
Temblador	80478	3901	09° 01'	62° 37'	30	1982-1990
Tumeremo	80453	4974	07° 18'	61° 27'	180	1961-1990

Fuente: FAV (1993)

TABLA II  
SUBSISTEMAS CLIMÁTICOS Y ELEMENTOS CLIMATOLÓGICOS QUE AGRUPAN, IDENTIFICADOS POR SUS SÍMBOLOS Y LAS UNIDADES DE MEDIDA

Subsistema climático	Elemento climatológico	Símbolo	Unidad de medición
Energético	Radiación global <sup>1</sup>	RG	MJ·m <sup>-2</sup>
	Temperatura <sup>1</sup>	T	°C
	Insolación <sup>1</sup>	I	Horas
Hídrico	Precipitación <sup>2,3</sup>	P	mm
	Evaporación <sup>2,3</sup>	E	
	Humedad relativa <sup>1</sup>	HR	%
Circulación general de la atmósfera	Velocidad del viento <sup>1</sup>	VV	m·s <sup>-1</sup>
	Presión atmosférica <sup>1</sup>	PA	hPa
	Nubosidad <sup>1</sup>	NUB	octavos

1 Registros de valores medios mensuales y máximos absolutos mensuales

2 Registros de valores totales, promedios mensuales

3 Registros de valores máximos por día, promedios mensuales

medios mensuales de los elementos climatológicos y de los subsistemas climáticos que los agrupan y otra de los valores máximos absolutos mensuales de dichos elementos climatológicos y de los subsistemas climáticos que los asocian.

No fue posible construir una base de datos con los valores mínimos absolutos mensuales, análoga a las señaladas, debido a que algunos de los elementos climatológicos (velocidad del

viento y evaporación) no tienen registros de tales valores. Además, otros elementos como insolación y precipitación presentan en algunas estaciones meteorológicas valores mínimos de cero, que anulan el procesamiento de cómputos en el programa SIAHT, utilizado para determinar el IHM. Esto se debe a que el cálculo de

λ a partir del cual se determina el IHM, se basa en el análisis por componentes principales, procedimiento estadístico multivariado que incluye operaciones de multiplicación y división con los valores ordenados en filas y columnas. Un valor de cero en cualquier celda anula las operaciones.

## Resultados y Discusión

*Cálculo del IHM considerando valores medios mensuales*

En la Figura 1 se representan las magnitudes del IHM para cada uno de los elementos climatológicos, considerando sus valores

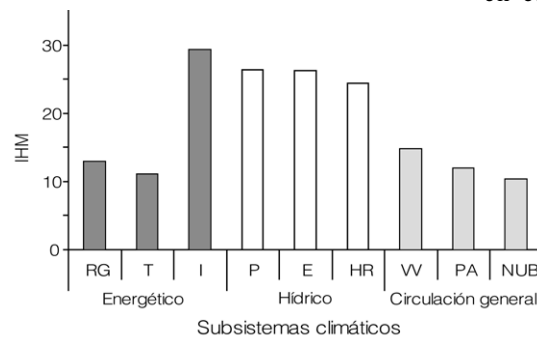


Figura 1. Comparación de los IHM a partir de los valores medios mensuales de cada elemento climatológico.

medios mensuales. El elemento insolación (I) es el de mayor homogeneidad, seguido por precipitación (P), evaporación (E) y humedad relativa (HR). La secuencia de elementos con menor IHM fue velocidad del viento (VV), radiación global (RG), presión atmosférica (PA), temperatura (T) y, por último, nubosidad (NUB).

Del análisis de la Figura 1 es de esperar que la homogeneidad total del subsistema hídrico sea la de mayor magnitud en comparación con la del subsistema circulación general, ya que los valores del IHM obtenidos para los elementos que conforman ese subsistema (P, E, HR) son mayores por tener menor dispersión que aquellos elementos que integran el subsistema circulación general (VV, PA, NUB), cuyas magnitudes son menores. La homogeneidad total del subsistema energético (RG, T, I) tendría un valor intermedio entre los de los otros dos subsistemas, ya que uno de sus elementos (I) es el de mayor IHM. En la Figura 2 se corrobora esta secuencia de homogeneidad por subsistemas climáticos:

$$IHM_{\text{Hídrico}} > IHM_{\text{Energético}} >$$

$$IHM_{\text{Circulación general de la atmósfera}}$$

Este resultado permite afirmar que el IHM es una herramienta útil para analizar la homogeneidad de los elementos climatológicos registrados en las 21 estaciones seleccionadas en este estudio, ya que es capaz de detectar una mayor correlación, o menor grado de dispersión, entre los valores medios mensuales de las variables climatológicas, específicamente las que conforman el subsistema hídrico. La correlación será menor entre las variables que definen

el subsistema energético, y para los que integran el subsistema circulación general se observa un mayor grado de dispersión y menores valores de IHM.

#### Cálculo del IHM considerando valores máximos absolutos mensuales

En la Figura 3 se muestran los histogramas de homogeneidad determinados a partir de los valores máximos absolutos mensuales de cada uno de los elementos climatológicos considerados. El elemento insolación (I) continúa siendo el más homogéneo, seguido de la evaporación (E), precipitación (P) y temperatura (T). Por otra parte, la secuencia de elementos que tienen una menor homogeneidad, en orden decreciente, son: nubosidad (NUB), presión atmosférica (PA), velocidad del viento (VV), radiación global (RG) y humedad relativa (HR).

De la Figura 3 es evidente que los grados de dispersión entre los elementos que conforman a los subsistemas energético y circulación general son comparables entre sí, diferenciándose solamente en el mayor valor de los IHM de los elementos temperatura e insolación, luego es de esperar que los valores del IHM de ambos subsistemas sean similares o comparables entre sí. En efecto, los valores obtenidos para ambos fueron 2181 y 1912, respectivamente. Para el caso del subsistema hídrico

el valor del IHM obtenido fue 9760, corroborándose así que los valores del IHM, obtenidos para cada uno de los elementos que lo conforman, presentan una mayor correlación entre sí. Este hecho, sumado a que dos de los elementos del subsistema hídrico (P y E) tienen valores altos, determina que la homogeneidad total de éste sea significativamente mayor que la obtenida para los otros dos ambientes. En la Figura 4 se aprecia que la secuencia de homogeneidad, según la magnitud de los IHM determinados con los valores máximos absolutos mensuales

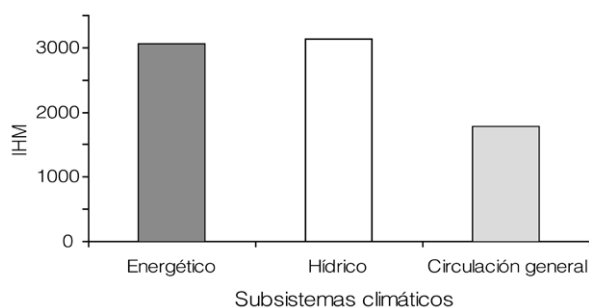


Figura 2. Comparación de los IHM a partir de los valores medios mensuales para cada subsistema climático.

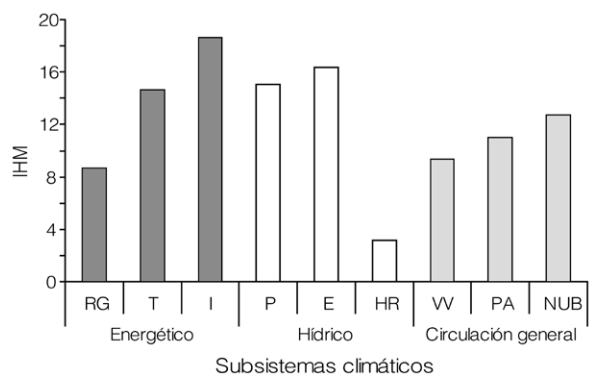


Figura 3. Comparación de los IHM a partir de los valores máximos absolutos mensuales de cada elemento climatológico.

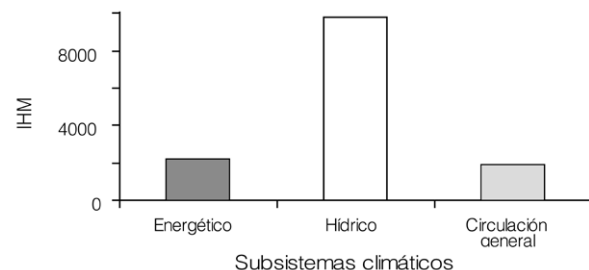


Figura 4. Comparación de los IHM a partir de los valores máximos absolutos mensuales para cada subsistema climático.

les para cada subsistema es también:

$$IHM_{\text{Hídrico}} > IHM_{\text{Energético}} > IHM_{\text{Circulación general de la atmósfera}}$$

Los resultados descritos permiten verificar la aplicabilidad del IHM como un parámetro adecuado para realizar estudios de homogeneidad climática con base en los valores máximos absolutos mensuales de los elementos climatológicos que frecuentemente son registrados en las estaciones meteorológicas de Venezuela.

#### Conclusiones

Se comprobó la aplicabilidad del IHM como herramienta metodológica para conocer la homogeneidad de la data climática que conforma las normales climatológicas, para el período comprendido entre 1961 y 1990, en términos de sus valores medios mensuales y máximos absolutos mensuales de los 9 elementos climatológicos considerados en este estudio, los que con mayor frecuencia son medidos y registrados en las estaciones meteorológicas atendidas por el Servicio de Meteorología de la Fuerza Aérea de Venezuela. La aplicación de esta metodología de análisis multivariado permitió la determinación de secuencias de homogeneidad entre los subsistemas climáticos definidos en este estudio (hídrico, energético y circulación general), dentro de los que fueron agrupados los elementos

climatológicos utilizados para esta evaluación. Estas secuencias de homogeneidad fueron consistentes o similares en los dos análisis realizados, corroborándose la aplicabilidad del IHM a datos climatológicos de Venezuela.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Eric Brown por la traducción del resumen al inglés, al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (CDCHT) de la Universidad de Los Andes (ULA) y al FONACIT, ambos de Venezuela, por el financiamiento otorgado (proyectos SE-NURR-02-05-01 y S2-2005000321, respectivamente) y a la Fuerza Aérea Venezolana por los datos suministrados correspondiente al período 1961-1990.

#### REFERENCIAS

- Amaro R, Demey J, Macchiavelli R (2004) Aplicación del análisis R/S de Hurst para estudiar las propiedades fractales de la precipitación en Venezuela. *Interciencia* 29: 617-620
- Berroterán J, Jaimes E, Peñalzo A, González V (1983) Análisis climático de la región centro meridional del estado Guárico. *Síntesis Geográfica* 7: 37-49.
- Deza R, Pérez-Muñuzuri V, Lozano N (2003) Variabilidad climática y procesos estocásticos. *XII Congreso de Física Estadística*. Pamplona, España. p. 5.
- Elizalde G (1995) *Ensayos del índice de homogeneidad múltiple en la cartografía detallada de suelos*. Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 15 pp.
- Elizalde G (1997) El índice de homogeneidad múltiple y su utilidad para la cartografía detallada del sistema pedogeomorfológico. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* 23: 187-206.
- Elizalde G, Daza M (2001) *Sistema de información automatizado de homogeneidad de tierras*. (SIAHT, Versión 2.1). Instituto de Edafología, Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 20 pp.
- FAV (1993) *Estadísticas climatológicas de Venezuela*. Pe-

- ríodo 1961-1990. Publicación especial N° 5. Servicio de Meteorología, Fuerza Aérea Venezolana. Ministerio de la Defensa. Caracas, Venezuela. 143 pp.
- Gómez J (1990) *Variabilidad espacial de los suelos de la Estación Experimental del Instituto de la Uva de la UCLA. El Tocuyo - Estado Lara*. Tesis. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 103 pp.
- Jaimes E (1988) *Determinación de índices de homogeneidad múltiples globales en sistemas pedogeomorfológicos de la Cordillera de la Costa, Serranía del Litoral Central*. Tesis. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 226 pp.
- Jaimes E, Elizalde G (1991) Determinación de un índice de homogeneidad múltiple en sistemas pedogeomorfológicos montañosos. *Rev. Agric. And.* 6: 25-46.
- Jaimes E, Mendoza J, Pineda N, Rodríguez H (2005) Homogeneidad pedogeomorfológica y pedogénesis en la cuenca del río Motatán, Trujillo, Venezuela. *Interciencia* 30: 73-80.
- Jaimes E, Oballos J, Ochoa G (1992) Determinación de la homogeneidad múltiple utilizando diferentes niveles de taxones en perfiles de suelos de la cuenca media y alta del río Motatán. Estados Mérida y Trujillo. Venezuela. *Suelo Planta* 2: 433-446.
- Morrison DF (2004) *Multivariate Statistical Methods*. 4ª ed. Brooks Cole Thompson. Belmont, CA, EEUU. 469 pp.
- Oballos J (1995) *Caractérisation des sols de la région de Las Cruces - Santa Elena de Arenales (Mérida, Venezuela). Contribution á la connaissance de la pédogenése en montagne tropicale humide*. Tesis. Université de Toulouse-Le Mirail. Francia. 204 pp.
- Oballos J, Ochoa G, Jaimes E (1999) Homogeneidad múltiple de los suelos de la región de Las Cruces-Santa Elena de Arenales, Mérida, Venezuela. *Agron. Trop.* 49: 413-433.
- Ochoa G, Oballos J (2002) La homogeneidad múltiple y la evolución de los suelos en la región de Socopó-Barinas, Venezuela. *Agrochimica* 46: 220-230.
- Pineda N (1998) *Definición de tipologías de suelos para la evaluación de tierras de la planicie aluvial del río Motatán, estado Trujillo*. Tesis. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 109 pp.
- Rivas S, Oballos J, Ochoa G, Santiago J (2005) Ensayo metodológico de evaluación de tierras para la captación de agua en dos microcuencas del río Santo Domingo, Mérida, Venezuela. *Interciencia* 30: 347-355.