

**HOMOGENEIDAD FÍSICO-QUÍMICA DE TRES SERIES DE SUELO
LOCALIZADAS EN LA ALTIPLANICIE DE MARACAIBO, ESTADO ZULIA,
VENEZUELA**

**Homogeneity physicochemical of three series of soil located in Maracaibo plain,
Zuliastate, Venezuela**

Miguel Larreal⁽¹⁾, Edgar Jaimes⁽²⁾ y Neida Pineda⁽³⁾

⁽¹⁾Dpto. Ingeniería, Suelo y Agua. Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.
miguel_larreal@yahoo.com

^(2,3)Grupo de Investigación de Suelos y Aguas, Núcleo Universitario Rafael Rangel, Universidad de Los
Andes, Trujillo, Venezuela. jaimes@ula.ve, pineida@ula.ve

Recibido: 20-01-14 / Aceptado: 16-04-14

RESUMEN

El propósito del trabajo es determinar la homogeneidad fisicoquímica de tres series de suelos (Maracaibo, Los Cortijos y San Francisco), localizadas en el sector semiárido (bosque muy seco tropical) de la altiplanicie de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela. Las unidades taxonómicas (familias de suelo) que identifican a estas series son: Typic Paleargids, francosa fina, caolinítica, isohipertérmica (Maracaibo y San Francisco) y Typic Paleargids, arcillosa fina, caolinítica, isohipertérmica (Los Cortijos). Se describieron 10 perfiles de suelo por serie, en los que se identificaron 16 características fisicoquímicas. Se aplicó el Índice de Homogeneidad Múltiple (IHM), basado en el análisis de componentes principales, para calcular la homogeneidad entre las series estudiadas y en cada uno de los perfiles de suelo descritos en ellas. Se determinó la contribución de las variables fisicoquímicas en la homogeneidad de las series. Los resultados permiten determinar una secuencia de homogeneidad así: Serie Maracaibo >Serie Los Cortijos >Serie San Francisco. El IHM resultó una herramienta útil para determinar la homogeneidad fisicoquímica de las serie de suelo, además de conocer la contribución que hacen a la misma las características fisicoquímicas descritas en sus horizontes y perfiles de suelo. Las secuencias de homogeneidad obtenidas en este estudio, junto a las de homogeneidad morfológica determinada en otro trabajo realizado con las mismas series, constituyen las bases para la definición de unidades taxonómicas de suelo a nivel de serie, que contribuirían de manera eficaz en la correlación de suelos en el ámbito local, regional y nacional.

Palabras clave: Serie de suelo, índice de homogeneidad múltiple, correlación de suelos

SUMMARY

The purpose of the work is to determine the physicochemical homogeneity of three series of soils (Maracaibo, Los Cortijos and San Francisco), located in the semi-arid sector (very dry tropical forest) of Maracaibo plain, Zulia state, Venezuela. The taxonomic units (families of soil) that identify these series are: Typic Paleargids, silty fine, kaolinitic, isohyperthermic (Maracaibo and San Francisco) and Typic Paleargids, fine clayey, kaolinitic, isohyperthermic (Los Cortijos). 10 soil profiles were described by series, in which 16 physicochemical characteristics were identified. Applied index of multiple homogeneity (IMH), based on principal component analysis, to calculate the homogeneity between studied series and in each of the soil profiles described in them. It was determined the contribution of physicochemical variables in the homogeneity of series. The results allow determining a sequence of homogeneity: Maracaibo series > Los Cortijos series > San Francisco series. IMH proved a useful tool to determine physicochemical homogeneity of series, as well as learn about the contribution that make the same physicochemical characteristics described in its horizons and soil profiles. Homogeneity sequences obtained in this study, together with the morphological uniformity determined in another work carried out with the same series, forms basis for the definition of soil series-level taxonomic units, which would contribute effectively in the correlation of soils at local, regional and national level.

Keywords: Soil series, index of multiple homogeneity, soil correlation

INTRODUCCIÓN

La serie de suelo es la categoría más homogénea de la taxonomía de suelos en virtud de que son una colección específica de cuerpos naturales de suelo que poseen un conjunto particular de características morfológicas, fisicoquímicas y mineralógicas, cuyo rango de variación es muy estrecho (Porta *et al.*, 2008).

Para Larreal *et al.* (2010) los suelos de una serie tienen perfiles que son similares en sus características fisicoquímicas como el espesor de los horizontes, profundidad efectiva, densidad aparente, contenidos de arena y arcilla, pH a la pasta y en agua, entre otras, particularmente en aquellas series que agrupan suelos que han evolucionado bajo condiciones áridas y semiáridas del trópico venezolano. Por otro lado, Larreal (2011) considera que clasificar series de suelo es importante a nivel local, regional y nacional toda vez que en Venezuela son pocos los estudios a este nivel de detalle y la mayor parte de estos estudios se han basado en criterios desactualizados, incurriendo en la proliferación de

estos taxones de suelo, dando definiciones incorrectas que poco contribuyen en la correlación de suelos.

El objetivo de este trabajo es determinar el grado de homogeneidad fisicoquímica de tres series de suelos (Los Cortijos, San Francisco y Maracaibo) localizadas en la altiplanicie de Maracaibo, dentro de la cual se desarrolla un proyecto de alta inversión con el fin de poner en marcha un sistema de riego presurizado para 50.000 hectáreas, en virtud del alto potencial agropecuario de estas tierras.

METODOLOGÍA

La zona de estudio está ubicada al norte de la cuenca del Lago de Maracaibo, en el sector semiárido, cubriendo los municipios Mara, Cañada de Urdaneta, Maracaibo y San Francisco, del estado Zulia, Venezuela. Está enmarcada en un paisaje de altiplanicie caracterizado por la uniformidad de su relieve, diferenciándose en la actualidad por la acción de los procesos erosivos, sin embargo los suelos son muy homogéneos.

Se seleccionaron tres series de suelo identificadas como Los Cortijos (Larreal, 2007), San Francisco (Larreal, 2005) y Maracaibo (Materano *et al.*, 1985). Se describieron 10 perfiles de suelos por cada serie, con 6 horizontes cada uno. Los perfiles de suelo de las series Los Cortijos y San Francisco se alinearon equidistantes 100 metros en transeptas perpendiculares al sentido de ocurrencia de la geodinámica que originó a los depósitos sedimentarios de la altiplanicie de Maracaibo. En la serie Maracaibo los perfiles fueron ubicados en cuadrículas. La profundidad de los mismos fue de 2 metros, igual para todas las series de suelo seleccionadas. Las características más resaltantes de cada serie de suelo, se indican a continuación:

Serie Los Cortijos. Los atributos morfológicos de esta serie fueron reconocidos y descritos por Larreal (2007). Los suelos tienen un horizonte Ap (ócrico) 10 a 20 cm de profundidad; de color marrón amarillento en húmedo y no estructurado; con un horizonte Bt (argílico) de color marrón fuerte en húmedo y estructura blocosa, moderada, fina y media, muy desarrollado a partir de los 15 cm hasta una profundidad mayor a los 2 m. Los suelos de esta serie clasificaron como: Typic Paleargids, arcillosa fina, caolinítica, isohipertérmica (Schagerl y Arnold, 1973; Schargel, 1991; USDA, 2010).

Serie San Francisco. Descrita por Larreal (2005), se caracteriza por un horizonte Ap (ócrico), de 10 a 25 cm de profundidad, de color marrón amarillento oscuro en húmedo; con un horizonte Bt (argílico) muy desarrollado que va de la base del Ap hasta 2 m o más de profundidad, con un moderado desarrollo estructural, de color rojo amarillento en húmedo. Los suelos de esta serie clasificaron como: Typic Paleargids, francosa fina, caolinítica, isohipertérmica (Schagerl y Arnold, 1973, 1973; Schargel, 1991; USDA, 1993 y 2010).

Serie Maracaibo. Fue descrita por Materano *et al.* (1985). Sus suelos se caracterizan por un horizonte Ap (epipedón ócrico) de 12 a 23 cm de espesor; de color marrón amarillento oscuro en húmedo y no estructurado. El horizonte B (endopedón argílico) está muy desarrollado y se extiende desde la base del Ap hasta 2 m o más de profundidad, con un moderado desarrollo estructural. Los suelos de esta serie clasificaron como: Typic Paleargids, francosa fina, caolinítica, isohipertérmica (Schagerl y Arnold, 1973, 1973; Schargel, 1991; USDA, 2010).

Las muestras de suelo fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos y Aguas del Departamento de Ingeniería, Suelo y Agua de la Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia. Las características fisicoquímicas descritas en los horizontes de los perfiles de las series de suelo, son: espesor de horizontes (Esp), densidad aparente (Da), contenidos de arena (a) y de arcilla (A), concentración de hidronios en pasta (Hp) y en agua (Ha), humedad disponible (HuD), conductividad eléctrica (CE), contenidos de carbono orgánico (CO), fósforo (F), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (So) y potasio (Po), acidez intercambiable (Ai) y capacidad de intercambio catiónico (CIC). Los símbolos entre paréntesis serán los referentes utilizados en el análisis de los resultados indicados más abajo. Los suelos fueron clasificados hasta el nivel de familia de acuerdo con los criterios del USDA (2010).

La homogeneidad fisicoquímica de las series de suelo se determinó mediante el Índice de Homogeneidad Múltiple (IHM), propuesto por Jaimes (1988), cuya definición está basada en el análisis de componentes principales (ACP; Morrison, 2004). El IHM se define como el producto acumulado de los valores propios ($\lambda_j \geq 1$). 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 ($\lambda_1 \times \lambda_2 \times \lambda_3$) y así sucesivamente hasta utilizar todos los valores propios mayores o iguales a uno. El valor obtenido es el IHM que es directamente proporcional al número de variables consideradas e inversamente proporcional al tamaño de la muestra (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 el IHM se representa como:

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

Donde: Π = producto acumulado de los valores de λ_j ; λ_j = valor propio del j-ésimo componente principal cuya magnitud es ≥ 1 y m = número de componentes principales cuyos valores propios son ≥ 1 .

Para calcular el IHM de cada una de las series seleccionadas se utilizó el Sistema de Información Automatizado de Homogeneidad de Tierras (SIAHT, versión 2.1) diseñado por Elizalde y Daza (2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 pueden identificarse los perfiles de suelo que mayor y menor aporte hacen a la homogeneidad de cada una de las series, así las características fisicoquímicas de los perfiles 3 y 5 son las que más contribuyen en la magnitud del IHM de la serie Los Cortijos; las de los perfiles 3 y 8 en la serie San Francisco, mientras que en la serie Maracaibo son las de los perfiles 2 y 7. Por su parte, el aporte específico de las características fisicoquímicas, considerando la totalidad de los perfiles de suelo por cada serie, puede ser observado en la Tabla 2. De acuerdo con este resultado es obvio que cada serie de suelo está asociada a combinaciones específicas de atributos fisicoquímicos.

Tabla 1. Homogeneidad fisicoquímica de las series y de sus perfiles de suelo.

Perfiles de suelo	Series de suelo y sus valores de (IHM)		
	Los Cortijos (22,40)	San Francisco (31,57)	Maracaibo (37,19)
	IHM por perfil de suelo, dentro de cada serie		
Perfil 1	43,53	36,45	33,70
Perfil 2	34,19	71,50	64,03
Perfil 3	68,01	89,71	57,23
Perfil 4	41,48	36,08	45,19
Perfil 5	44,03	41,16	44,66
Perfil 6	38,86	22,99	50,46
Perfil 7	23,03	45,85	57,38
Perfil 8	26,56	75,27	26,49
Perfil 9	24,78	39,25	55,26
Perfil 10	26,76	36,75	24,31

Tabla 2. Aporte de las variables fisicoquímicas a la homogeneidad de las series de suelo.

Series	IHM	Secuencias homogeneidad fisicoquímica (*)
Los Cortijos	22,40	Ai > Po > A > a > HuD > Ca > CE > Mg
San Francisco	31,57	Po > F > Ca > Da > Ha > CIC > Ai > A
Maracaibo	37,19	Hp > Ai > Ha > CE > F > So > CIC > Ca

(*) Ver leyenda de símbolos en la sección de Metodología

La Tabla 3 permite reconocer el mayor o menor aporte que hacen a la homogeneidad de las series estudiadas las características fisicoquímicas identificadas en sus horizontes de suelo. Ciertamente, la composición fisicoquímica de los horizontes Ap, Bt₁ y Bt₅, son determinantes de los valores de IHM para la serie Los Cortijos; la de Ap, Bt₂ y Bt₄ lo son para la serie San Francisco y, por último, la composición física y química de Bt₂, Bt₄ y Bt₅, lo son para la serie Maracaibo.

Tabla 3. Homogeneidad fisicoquímica por horizonte de suelo y por serie.

Horizontes de suelo	Series de suelo (IHM)		
	Los Cortijos (22,40)	San Francisco (31,57)	Maracaibo (37,19)
	IHM por horizontes de suelo, dentro de cada serie		
Ap	113,57	123,10	52,97
Bt1	87,86	86,92	51,63
Bt2	59,91	105,20	85,81
Bt3	59,06	98,83	51,55
Bt4	69,55	100,93	97,14
Bt5	100,74	99,20	73,19

Adicionalmente, la Tabla 4 permite evidenciar el ordenamiento específico de las 10 características físicoquímicas que más aportan a la homogeneidad de los horizontes de suelo que conforman cada una de las series estudiadas, constituyendo estas secuencias las bases técnicas para determinar los criterios requeridos en la definición y establecimiento de series de suelo, por lo menos bajo las condiciones semiáridas del trópico venezolano, particularmente en la altiplanicie de Maracaibo, contribuyendo de esta forma en el proceso de correlación de series de suelo a nivel local, regional y nacional.

De acuerdo con los resultados indicados en las Tablas 1, 2 y 3 la secuencia de homogeneidad fisicoquímica entre las series de suelo, tiene el orden siguiente:

Serie Maracaibo > Serie Los Cortijos > Serie San Francisco

En términos generales, los resultados antes discutidos permitieron comprobar que las tres series de suelo analizadas son unidades taxonómicas independientes, con grados de homogeneidad fisicoquímica específica para cada una.

Tabla 4.Secuencias de aporte a la homogeneidad fisicoquímica por horizonte y por series.

Series (IHM)	Horizonte (IHM)	Secuencias de homogeneidad fisicoquímica (*)
Los Cortijos (22,40)	Ap (113,6)	Esp > Po > CE > CIC > Ai >Mg> Hp > HuD > Da > CO
	Bt ₁ (87,86)	CIC > Ca > CO > a > F > Ha > A > Ai > Da > Po > Esp
	Bt ₂ (59,91)	So > Esp > CE > a > HuD > CIC > Ai > Ca > F > Po
	Bt ₃ (59,06)	Ha > Hp > a > CE > Esp > Mg > HuD > Ai > F > So
	Bt ₄ (69,55)	Ha > Hp > a > CE > Esp > Mg > HuD > Ai > F > So
	Bt ₅ (100,7)	Da > So > Esp > CIC >Mg> Ha > Ai > CE > a > Hp
San Francisco (31,57)	Ap(123,1)	Hp > Ai > Esp > A > F > So > Ha > Da > Mg > CIC
	Bt ₁ (86,92)	Po > a > Esp > A > Ai > HuD > Hp > Ha > So > CE
	Bt ₂ (105,2)	Ha > Esp > Ai > Mg > CIC > Da > Po > Ca > CE = CO
	Bt ₃ (98,83)	Hp> CIC > A > Esp > CE > F > Po > Da > HuD > a
	Bt ₄ (100,9)	Da > Po > Ai > CO >Mg> Esp > a > So > F > A
	Bt ₅ (99,20)	Po >HuD> Da > Ca > F > Esp > A > CE > So > a
Maracaibo (37,19)	Ap (52,97)	a > Da > Hp > Ha > Esp > So > CE > CO > Mg > Ca
	Bt ₁ (51,63)	CIC > Hp > Ha > Ca > So > F > Ai > CO > HuD > A
	Bt ₂ (85,81)	A > F > CIC > So > Esp >Mg> Ca > Po > Da > a
	Bt ₃ (51,55)	Esp > Da > Ai > Ha > Po > CE > CO > A > Hp > Mg
	Bt ₄ (97,14)	F > Da > Ai >Mg> Ha CO > a > Hp > A > Po > So
	Bt ₅ (73,19)	a > Mg > HuD > Hp > CIC > Da > Ha > CE > CO > F

(*) Ver leyenda de símbolos en la sección de Metodología.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos se concluye que el IHM es una herramienta útil para determinar la homogeneidad fisicoquímica intrínseca de unidades taxonómicas clasificadas hasta el nivel de serie de suelo, además de precisar la contribución que hacen a la homogeneidad dichas características en los horizontes y perfiles de suelo que conforman la población edáfica de las series de suelo seleccionadas para este estudio. Las secuencias de homogeneidad obtenidas, junto a las secuencias de homogeneidad morfológica determinadas en otro trabajo realizado con las mismas series de suelo, constituyen las bases para la definición de unidades taxonómicas de suelo a nivel de serie, que contribuirían de manera eficaz en la correlación de suelos en el ámbito local, regional y nacional.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT) por el cofinanciamiento otorgado (2012000155).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Elizalde, G. y Daza, M. (2001). Sistema de Información Automatizado de Homogeneidad de Tierras. SIAHT, Versión 2.1. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Instituto de Edafología. Maracay, Venezuela. 20 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 Doctoral. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Postgrado en Ciencia del Suelo. Maracay, Venezuela. 226 pp.
- Jaimes, E. y Elizalde, G. (1991). Procedimiento para calcular el Índice de Homogeneidad Múltiple en sistemas pedogeomorfológicos. *Agricultura Andina*. 6: 47-64.
- Larreal, M. (2011). Caracterización y clasificación de series de suelos en las zonas rurales semiáridas del trópico venezolano. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Madrid, España. 221 pp.
- Larreal, M., Gómez, A., Noguera, N. y Jiménez, L. (2010). Criterios técnicos basados en la morfología de perfiles de suelo para la definición de la serie Los Cortijos, sector semiárido de la altiplanicie de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*. 27: 360-383.
- Larreal, M. (2007). Definición y establecimiento de la serie de suelo Los Cortijos en el sector semiárido de la altiplanicie de Maracaibo. Convenio Universidad Politécnica de Madrid- La Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.
- Larreal, M. (2005). Definición y establecimiento de la serie San Francisco en la altiplanicie de Maracaibo, sector semiárido. La Universidad del Zulia, Facultad de Agronomía. Maracaibo, Venezuela.
- Materano, G., Peters, W. y Noguera, N. (1985). Estudio detallados de suelos terrenos de la Ciudad Universitaria de LUZ. La Universidad del Zulia, Facultad de Agronomía. Maracaibo, Venezuela.
- Morrison, DF. (2004). *Multivariate statistical methods*. 4^a ed. Brooks Cole Thomson, California, EEUU. 469 pp.

Porta, J., López-Acevedo, M. y Poch, R.M. (2008). Introducción a la edafología, uso y protección del suelo. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 451 pp

Schargel, R. y Arnold, R. (1973). Normas para la correlación de series en los estudios de suelos. Ministerio de Obras Públicas, División de Edafología. Guanare, Venezuela.

Schargel, R. (1991). Los estudios de suelos a nivel de finca. *In* II Seminario sobre Clasificación Interpretativa de Suelos con Fines Agropecuarios. Maracay, Venezuela.

USDA.(2010). Keys to soil taxonomy.Soil Survey Staff.Natural Resources Conservation Service.Eleventh edition, Washington, D.C., USA. 346 pp.