

---

# SISTEMATIZACIÓN DE PROCESOS PARA EL RECONOCIMIENTO DE SERIES DE SUELOS, ALTIPLANICIE DE MARACAIBO, ESTADO ZULIA, VENEZUELA

Pineda<sup>1</sup> Neida, Larreal<sup>2</sup> Miguel, Jaimes<sup>1</sup> Edgar, Gómez<sup>3</sup> Ángel

<sup>1</sup> Núcleo Universitario Rafael Rangel, Grupo de Investigación de Suelos y Aguas (ULA)

<sup>2</sup> Facultad de Agronomía, Departamento de Ingeniería, Suelos y Aguas (LUZ)

<sup>3</sup> Facultad de Agronomía, Departamento de Estadística (LUZ)

pineida@ula.ve

## Resumen

El objetivo del trabajo es presentar una propuesta metodológica, expresada como un modelo y basada en la teoría de sistemas que permitirá la identificación, descripción y definición de series de suelos a partir de la selección de unidades cartográficas previamente identificadas. El modelo está conformado por Diagramas de Flujo de Datos (DFD) de análisis y expandidos que permiten ordenar un conjunto de actividades de campo, de laboratorio y de gabinete requeridas para el reconocimiento de series de suelos. Para el diseño y validación de este procedimiento se caracterizaron tres series de suelos (Maracaibo, Los Cortijos y San Francisco), localizadas en el sector semiárido (bosque muy seco tropical) de la altiplanicie de Maracaibo, Zulia-Venezuela. La clasificación taxonómica que identifica a los perfiles son: Typic Paleargids, isohipertérmica, francosa fina, mixta-illítica, para la serie Maracaibo; Typic Paleargids, isohipertérmica, arcillosa fina, caolinitica-mixta, para la serie Los Cortijos y Typic Paleargids, isohipertérmica, francosa fina, caolinitica-mixta, para la serie San Francisco. En cada serie de suelos se describieron diez perfiles, con seis horizontes cada uno. El resultado final incluye la elaboración de un informe técnico con los documentos necesarios para el reconocimiento y registro de las series de suelos después del proceso de correlación seguido por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente de Venezuela, además de la inclusión de la información edafológica en las redes a disposición de las personas y empresas interesadas. Se recomienda la validación de este procedimiento en áreas con condiciones climáticas diferentes.

**Palabras clave:** serie de suelo, diagrama de flujo de datos, unidades cartográficas, pedones.

## Introducción

La serie de suelo es una categoría taxonómica baja en su nivel de clasificación por lo que sus pedones deben tener una muy alta o alta homogeneidad, debiendo compartir las características de las categorías superiores que la engloban sucesivamente desde la familia hasta el subgrupo, gran grupo, suborden y orden de suelos. La consideración de los pedones de una serie como entes discretos de una población de suelos plantea la necesidad de definir su homogeneidad espacial, que viene dada en general por la similitud o alta proporción común de sus parámetros morfológicos cualitativos y la semejanza o baja variabilidad del valor de sus parámetros biológicos, físicos y químicos.

En Venezuela los estudios edafológicos con nivel de detalle suficiente para clasificar los suelos en las categorías bajas de familia y serie son muy pocos y los existentes carecen, en la mayoría de los casos, del rigor conceptual exigido en la actualidad, principalmente en cuanto a los criterios estadísticos de definición, contribuyendo poco en la correlación de suelos a nivel local, regional y nacional (Larreal, 2011).

En este estudio se propone un modelo que es una sistematización de procesos, que consiste en Diagramas de Flujo de Datos que facilita la identificación, descripción y definición de series de suelos localizadas en Venezuela, en la planicie de Maracaibo, dentro de un área de 50.000 ha bajo clima semiárido y subhúmedo. Los terrenos de esa área son potencialmente valorables mediante la transformación de secano en regadío a través del proyecto del sistema de

riego El Diluvio-El Palmar, actualmente denominado Primer Sistema Hidráulico orientado al desarrollo endógeno, seguridad alimentaria y ocupación ordenada de frontera (Odebrecht, 2010). Esta investigación planteó el diseño de una propuesta metodológica para la caracterización y clasificación de series de suelos, a través de la definición y reconocimiento de dicha categoría y su diferenciación entre las distintas series previamente identificadas. Este nivel categórico será instrumento para implementar el programa de correlación de series de suelo a nivel regional y nacional; transmitir información de suelo al usuario; transferir información sobre su uso y manejo, desde los sitios donde se genera la misma a sitios con condiciones ambientales análogas; servir como entidad básica a la cual referir información sobre suelos, uso y manejo; y servir como referencia para la aplicación de la metodología en otras condiciones ambientales.

## Materiales y Métodos

El modelo fue desarrollado aplicando los fundamentos básicos de la teoría de sistemas, utilizando el procedimiento para el desarrollo de sistemas de información explicado por Eckols (1987), teniendo como referencia los modelos diseñados por Pineda (2000), Pineda *et al.*, (2004) y Jaimes *et al.*, (2007). El modelo consta de Diagramas de Flujo de Datos (DFD), definidos por Eckols (1987) como gráficos que muestran la información que llega al sistema, la información que sale y dónde ésta es transformada. Estos diagramas van de lo más sencillo a lo más complejo

y son elaborados en pasos sucesivos, iterativos y dialécticos.

Para diseñar y validar el procedimiento metodológico se caracterizaron tres series de suelos: Maracaibo [Materano *et al.*, (1985)]; Los Cortijos (Larreal, 2007) y San Francisco (Larreal, 2005), localizadas en el sector semiárido (bosque muy seco tropical) de la altiplanicie de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela; enmarcadas en un paisaje de altiplanicie caracterizado por la uniformidad de su relieve producto de extensos y masivos procesos sedimentarios coluvionales, diferenciándose en la actualidad por la acción de los procesos erosivos que, actuando a través del tiempo, han dado una conformación al paisaje; no obstante, los procesos pedogenéticos que han originado a los suelos son uniformes en toda su extensión, pero a nivel edáfico existen diferencias, de allí la importancia de la clasificación taxonómica a nivel categórico de series de suelos en las condiciones del trópico venezolano.

Se describieron y caracterizaron diez (10) perfiles de suelos por cada serie, conformados por seis horizontes cada uno. Los perfiles de suelo de las series Los Cortijos y San Francisco se alinearon equidistantes 100 metros en transectas 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 estudiada fue hasta 2 metros para todas las series de suelo seleccionadas. La clasificación taxonómica que identifica a los perfiles caracterizados son: Typic Paleargids, isohipertérmica, francosa fina, mixta-

illítica, para la serie Maracaibo; Typic Paleargids, isohipertérmica, arcillosa fina, caolínica-mixta, para la serie Los Cortijos y Typic Paleargids, isohipertérmica, francosa fina, caolínica-mixta, para la serie San Francisco.

## Resultados y Discusión

### Elaboración del Diagrama de Flujo de Datos de Análisis

En la Figura 1 se muestra el diagrama del flujo de datos (DFD) de análisis elaborado, donde los procesos (P1 a P6) se representan dentro de elipses; los archivos donde se almacena información (1 a 6) se indican por medio de líneas paralelas horizontales debajo de las elipses de los procesos correspondientes y los flujos de datos que transitan dentro de los procesos, entre éste y su contorno se representan por flechas; por su parte, los receptores o terminadores que constituyen una fuente o destino de la información, son representados gráficamente por un rectángulo.

#### Proceso 1

#### Seleccionar las unidades cartográficas antecedentes

Este proceso se activa al seleccionar las unidades cartográficas que requieren definir series de suelos, a solicitud de los Usuarios (empresas, propietarios, organismos del gobierno, entre otros). Requiere de Información básica (edafológica actual), del apoyo de la Investigación de campo (fotointerpretación y reconocimiento de campo) y del Apoyo bibliográfico (clasificación taxonómica a nivel de familia y serie), considerando los objetivos de la Planificación propuesta.

Cuando la información satisface completamente los requerimientos del sistema se genera el archivo 1 (Unidades cartográficas seleccionadas para la definición de series de suelos).

## **Proceso 2**

### **Realizar estudio detallado al nivel de serie de suelo**

Se inicia a partir de la información almacenada en el archivo 1, requiere de las fuentes Apoyo bibliográfico (información disponible al nivel de series de suelos, exigencias de la taxonomía con respecto a las series de suelos y metodologías a utilizar para la descripción y caracterización de los suelos) e Investigación de campo (prospección de campo que incluye apertura, descripción y muestreo de perfiles de suelos). Este proceso permitirá la obtención detallada de la información básica de suelo, tanto en campo como en laboratorio, que se almacenará en el archivo 2 (Caracterización morfológica, física, química, biológica y mineralógica de los perfiles de suelo).

## **Proceso 3**

### **Clasificar al nivel taxonómico de familia y serie de suelo**

A partir de la interpretación y análisis de las características morfológicas, físicas, químicas, biológicas y mineralógicas de los suelos y con el apoyo de la *Información bibliográfica* (taxonomía

de suelos del USDA, 2010) se clasifican los suelos a nivel taxonómico de familia y serie, información que se almacena en el archivo 3 (Suelos clasificados al nivel de familia y serie).

## **Proceso 4**

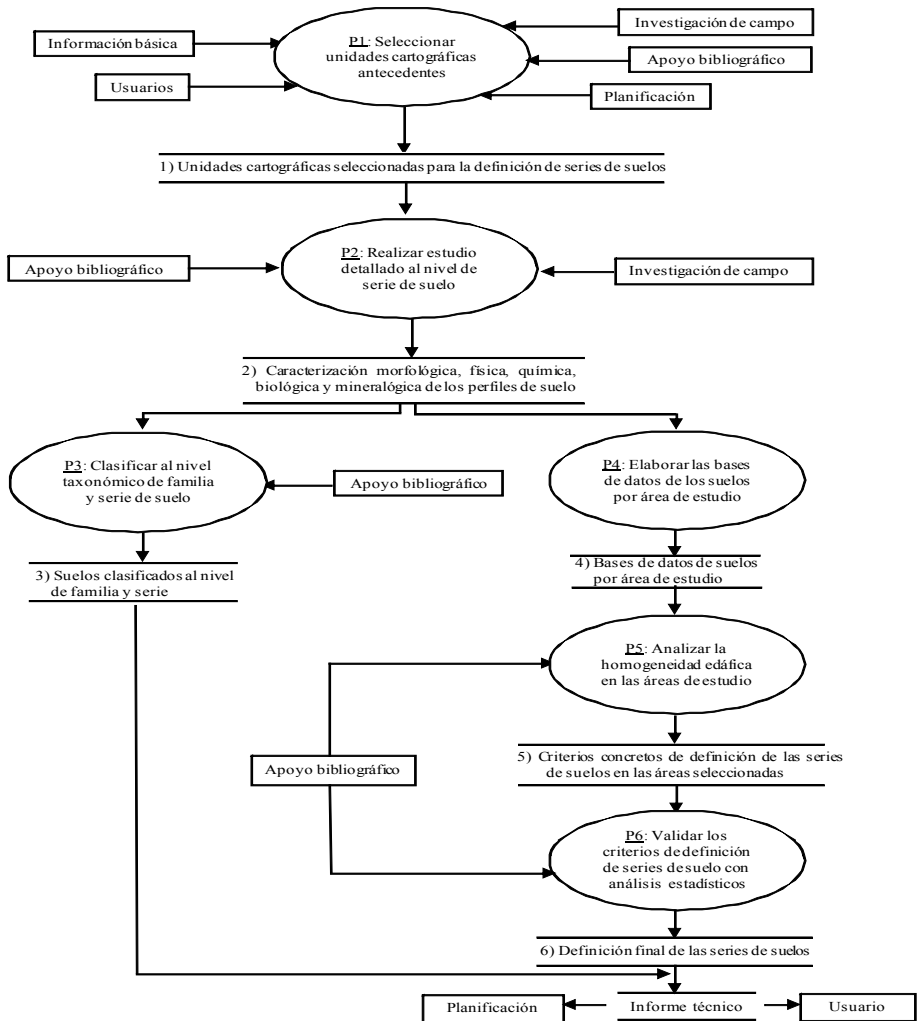
### **Elaborar las bases de datos de los suelos por área de estudio**

En este proceso se utilizan las características descritas y analizadas de los suelos y la información de cada área de estudio (archivo 2) para el diseño de matrices de datos utilizando Microsoft Excel®. Será necesario codificar las variables cualitativas; es decir, expresarlas en forma cuantitativa, para su posterior procesamiento. Estas matrices conformarán el archivo 4 (Bases de datos de suelos por área de estudio).

## **Proceso 5**

### **Analizar la homogeneidad edáfica en las áreas de estudio**

Se procesan las matrices de datos (archivo 4) mediante la utilización del software SIAHT (Sistema de Información Automatizado de Homogeneidad de Tierras; Elizalde y Daza, 2001), que permite formular los criterios que definen a las series de suelos, información que se almacena en el archivo 5 (Criterios concretos de definición de las series de suelos en las áreas seleccionadas).



**Figura 1. Diagrama de flujo de datos de análisis**

### Proceso 6

#### Validar los criterios de definición de series de suelo con análisis estadísticos

A partir de los criterios que definen a las series de suelos (archivo 5) y con el *Apoyo bibliográfico* se procede mediante análisis estadísticos a la validación de los criterios definidos, esta información

se almacena en el archivo 6 (Definición final de las series de suelos). El producto final es un informe técnico acompañado de la cartografía y bases de datos que sirve para difundir los resultados entre los interesados públicos y privados (usuarios) y para elevar la información a los organismos públicos de gestión

ambiental de los recursos (planificación). El informe presentado en el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MPPA) de Venezuela debe incluir lo requerido por el Registro del Programa de Correlación Regional y Nacional de los Suelos del país, considerándose una información básica que es necesaria para los proyectos de interés socioeconómico y agroeconómico.

### **Construcción de los diagramas expandidos**

Estos diagramas permiten comprender a nivel funcional cada uno de los procesos que conforman el DFD de análisis. En las diferentes expansiones se conservan los mismos flujos de información que en los DFD iniciales, expresados con mayor detalle. En estos diagramas los subprocesos, representados por elipses, están identificados con el número arábigo correspondiente a cada proceso, seguido por una letra minúscula, y los archivos están señalados con un número arábigo seguido por una letra mayúscula.

### **Expansión del proceso 1**

#### **Seleccionar unidades cartográficas antecedentes**

Esta expansión consta de dos subprocesos como se muestra en la Figura 2. Subproceso 1a: Su activación es producto de la necesidad de actualizar la información antecedente, tanto edafológica como cartográfica, dentro de una planificación o bien cuando los usuarios solicitan la atención institucional por lo que requiere de las fuentes *Información básica*, *Planificación* y/o *Usuario*. Esa información es ampliada con los resultados de fotointerpretación de fotogramas aéreos y la teledetección de imágenes de satélite (*Apoyo*

*bibliográfico*), apoyada con una prospección de campo (*Investigación de campo*) destinada a seleccionar unidades cartográficas para definir series de suelos con rigor científico y técnico. La información generada por este subproceso se almacena en el archivo 1A: Estudios semidetallados o detallados de suelos (unidades cartográficas). Subproceso 1b: con base al archivo 1A se activa este proceso que requiere de la demanda de información edafológica (*Planificación*) por los interesados privados y/o públicos (*Usuarios*). Esta información se recoge en el archivo 1B: Áreas de estudio para definir series de suelos.

### **Expansión del proceso 2**

**Realizar estudio detallado al nivel de serie de suelos:** en la Figura 2 se ilustra esta expansión que está conformada por tres subprocesos. Subproceso 2a: consiste en seleccionar el tipo de muestreo a utilizar para realizar la evaluación detallada de los suelos dependiendo de las características geomorfológicas propias del área de estudio donde se definirán series de suelos y, además, se estima el número de perfiles (calicatas) representativos necesarios para evaluar los suelos. Requiere de las fuentes *Apoyo bibliográfico* e *Investigación en campo*. Subproceso 2b: consiste en la realización de trabajos de campo para recabar la información necesaria a través de la descripción de los perfiles de suelos e incluye la toma de muestras para su posterior análisis. Subproceso 2c: las muestras de suelo recabadas en campo se procesan y analizan en el laboratorio requiriendo de la fuente *Apoyo bibliográfico* para seleccionar los

métodos a utilizar en la determinación analítica de características de los suelos. La información generada en este subproceso más la proveniente del subproceso 2b conforman el archivo 2A (Características morfológicas, físicas, químicas, biológicas y mineralógicas

de los suelos del área de estudio). Debido a que los procesos 3 (Clasificar al nivel taxonómico de familia y serie) y 4 (Elaborar las bases de datos de los suelos por área de estudio) son directos no requieren subprocesos.

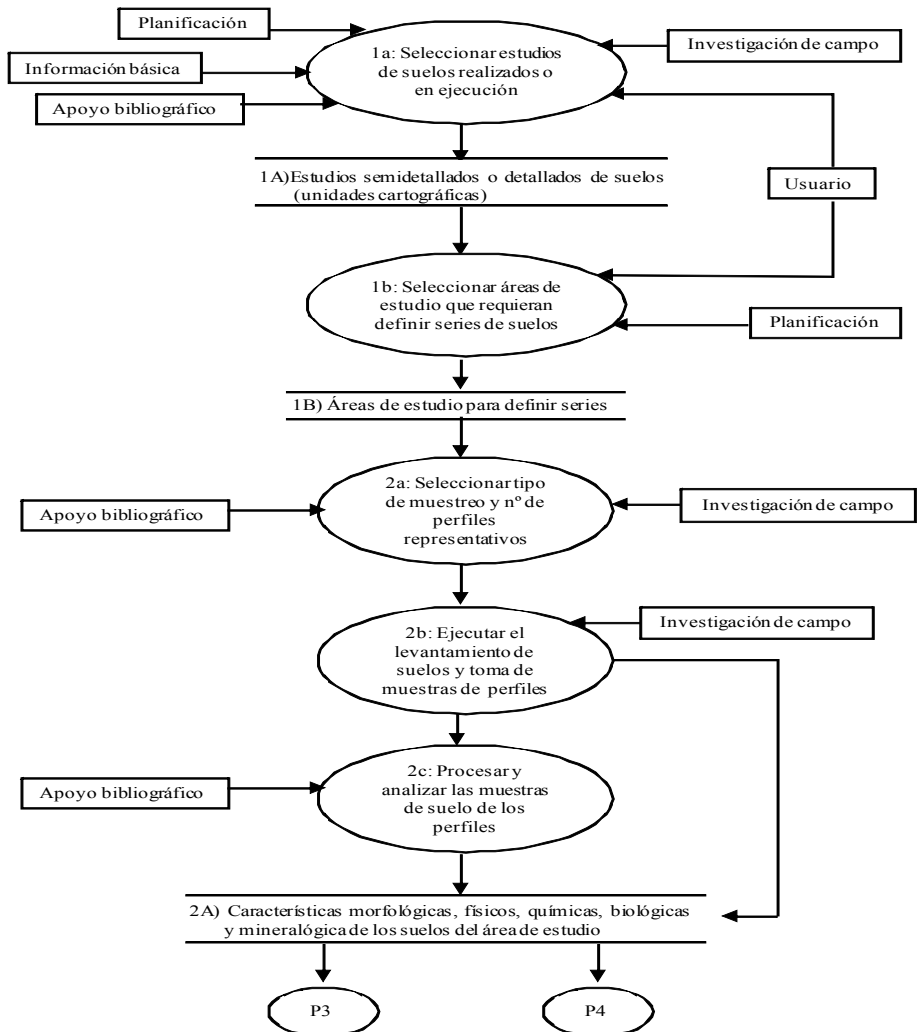


Figura 2. Diagramas expandidos de los procesos 2 y 3.

## Expansión del proceso 5

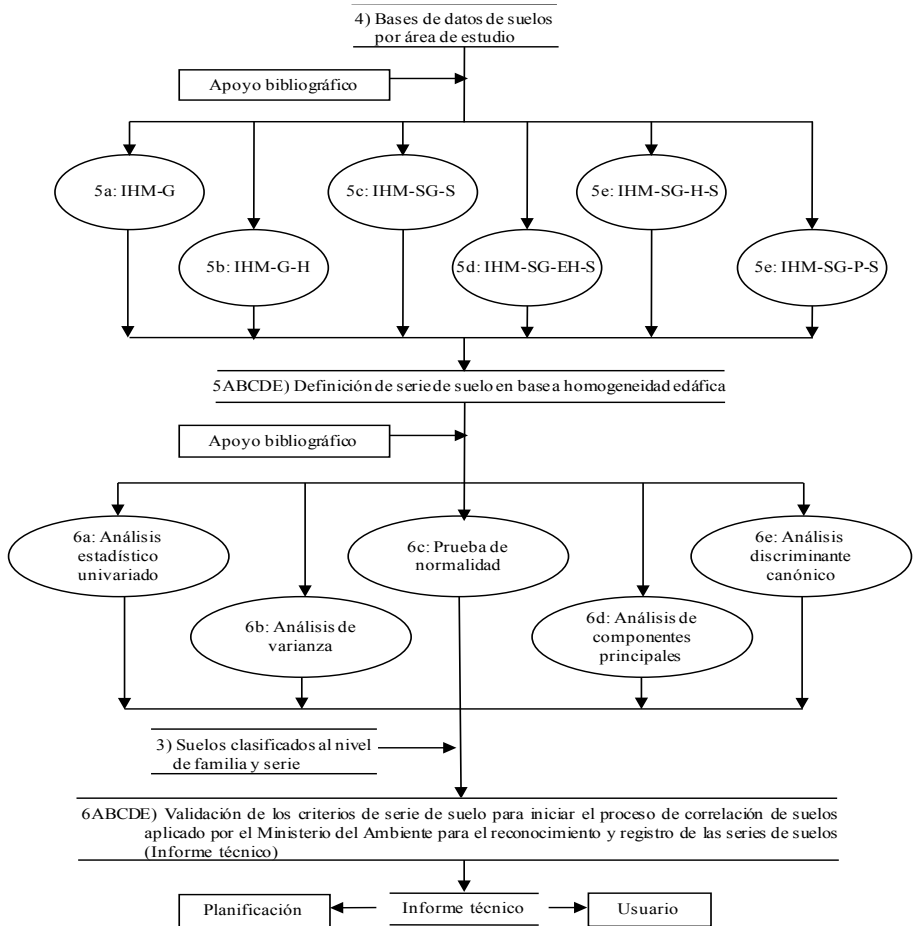
**Analizar la homogeneidad edáfica en las áreas de estudio:** está conformado por 6 subprocesos (Figura 3), que se activan a partir del archivo 4 (Bases de datos de suelos por área de estudio) y requieren de la fuente *Apoyo bibliográfico*, específicamente del software SIAHT (Sistema de Información Automatizado de Homogeneidad de Tierras; Elizalde y Daza, 2001). Subproceso 5a: permite calcular la homogeneidad global (IHM-G) que determina la homogeneidad de los suelos considerando todos los grupos de variables globalmente (morfológicas + físicas + químicas +....) y agrupándolos por parámetros (morfológicos, físicos, químicos,...) de todas las series de suelos. Subproceso 5b: determina la homogeneidad global por horizonte (IHM-G-H) para todos los grupos de variables globalmente (morfológicas + físicas + químicas +....) y agrupándolos por parámetros (morfológicos, físicos, químicos,...) de todas las series de suelos. Subproceso 5c: su función es calcular el índice de homogeneidad subglobal por cada serie de suelo (IHM-SG-S) para todos los grupos de variables globalmente (morfológicas + físicas + químicas +....) y agrupándolos por parámetros (morfológicos, físicos, químicos,...) de todas las series de suelos. Subproceso 5d: calcula el índice de homogeneidad subglobal ponderado por el espesor de los horizontes de cada serie (IHM-SG-EH-S) para todos los grupos de variables globalmente (morfológicas + físicas + químicas +....) y agrupándolos por parámetros (morfológicos, físicos, químicos,...). Subproceso 5e: calcula

el índice de homogeneidad subglobal por horizonte de cada serie de suelo (IHM-SG-H-S) para todos los grupos de variables globalmente (morfológicas + físicas + químicas +....) y agrupándolos por parámetros (morfológicos, físicos, químicos,...). Subproceso 5f: calcula el índice de homogeneidad subglobal por perfiles de cada serie de suelo (IHM-SG-P-S) para todos los grupos de variables globalmente (morfológicas + físicas + químicas +....) y agrupándolos por parámetros (morfológicos, físicos, químicos,...). La información generada por los 6 subprocesos son almacenados en el archivo 5ABCDEF (Definición de serie de suelos con base en la homogeneidad edáfica).

## Expansión del proceso 6

**Validar los criterios de definición de series de suelo con análisis estadísticos:** consta de cinco subprocesos (Figura 3), que se activan a partir del archivo 5ABCDE y con el *Apoyo bibliográfico*. Subproceso 6a: tiene como objetivo la aplicación del análisis estadístico univariado que permite la determinación de la variabilidad de las características morfológicas a partir de criterios de proporcionalidad y el cálculo de la variabilidad de las propiedades físicas y químicas. Subproceso 6b: su función es la aplicación del análisis de varianza con un diseño completamente al azar y pruebas de medias según Tukey a la data de suelos. Subproceso 6c: inicia la prueba de normalidad de la distribución y, en caso de no ser una distribución normal, se realiza una transformación logarítmica y comprobación de la normalidad de la distribución de los datos transformados.





**Figura 3. Diagramas expandidos de los procesos 5 y 6**

Subproceso 6d: aplica el análisis estadístico multivariado a través del análisis de componentes principales para simplificar la estructura de los datos originales y determinar las variables o parámetros que tienen mayor peso en la definición de los suelos. Subproceso 6e: utiliza el análisis discriminante canónico, que permite calcular y graficar las variables canónicas en el espacio discriminante para entender mejor las

relaciones entre las diferentes clases de suelos previamente establecidas.

La información generada por estos subprocesos se almacena en el archivo 6ABCDE (Validación de los criterios de serie de suelo para iniciar el proceso de correlación de suelos aplicado por el Ministerio del Ambiente para el reconocimiento y registro de las series de suelos). El resultado final incluye un informe técnico con los documentos

necesarios para el reconocimiento y registro de las series de suelo después del proceso de correlación seguido por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente de Venezuela, además de la inclusión de la información edafológica en las redes a disposición de las personas y las empresas interesadas (usuarios). En este informe técnico se incluye la información referida a la clasificación de los suelos, a nivel de familia y serie, obtenida en el proceso 3.

## Conclusiones

La sistematización del modelo elaborado permite utilizar información cartográfica y taxonómica existente y la generación de información edafológica adicional que contribuye a diferenciar las características y propiedades morfológicas, físicas, químicas, biológicas y mineralógicas propias de cada serie de suelos.

El modelo sistematizado propuesto constituye una herramienta útil para llevar a cabo el reconocimiento de series de suelos, a partir de la selección de unidades cartográficas o taxonómicas previamente definidas, utilizando técnicas estadísticas.

La validación de este modelo a partir de 3 series de suelos ubicadas en el sector semiárido de la altiplanicie de Maracaibo permitió comprobar la funcionalidad del procedimiento propuesto.

## Agradecimiento

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

## Referencias Bibliográficas

- Eckols, S. (1987). Cómo diseñar y desarrollar sistemas de información. Un enfoque práctico al análisis, diseño e implementación de sistemas computarizados. Editorial Lito-Jet, C.A. Segunda edición. Caracas, Venezuela.
- Elizalde G.; Daza M. (2001). Sistema de Información Automatizado de Homogeneidad de Tierras. SIAHT, Versión 2.1. Instituto de Edafología. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela.
- Jaimes, E.; Mendoza, J.; Pineda, N.; Ramos, Y. (2007). Sistematización de procesos para el análisis del deterioro agroecológico y ambiental en cuencas hidrográficas. *Interciencia*. 32(7): 437-443.
- Larreal, M. (2011). Caracterización y clasificación de series de suelos en las zonas rurales semiáridas del trópico venezolano (Tesis Doctoral), Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Madrid (España).
- 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.; Noguera, N. (1985). Estudio detallados de suelos terrenos de la Ciudad Universitaria de

LUZ. La Universidad del Zulia, Facultad de Agronomía. Maracaibo, Venezuela.

ODEBRECHT. (2010). Principales obras. Sistema de Riego Diluvio-El Palmar, [en línea]. [http:// www.ve.odebrecht.com/web/diluvio.php](http://www.ve.odebrecht.com/web/diluvio.php)

Pineda, N. (2000). Procedimiento para la definición y descripción de clases de suelos con fines agropecuarios. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 17(5): 393-412.

Pineda, N.; Jaimes, E.; Mejías, J.; Mendoza, J. (2004). Sistematización de procesos para estudios de aforo de pozos de agua subterránea en áreas sujetas a la adquisición de datos sísmicos. *Interciencia*. 29(1): 19-25.

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