
EVALUACIÓN DE FERTILIDAD DE SUELOS AGRÍCOLAS DEL ESTADO YARACUY BASADO EN ANÁLISIS DE SUELO Y TÉCNICAS DE ANÁLISIS ESPACIAL (GEOMÁTICA)

Andrade O., Bavaresco M., Cárdenas L., Cárdenas M., Figueredo L.,
Giménez W., León M., Méndez M., Pagua L., Rivero O., Segovia K., Silva C.
Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA-Yaracuy)
oneliaandrade@yahoo.es

Resumen

Para fortalecer la agricultura en una región, es imprescindible conocer la fertilidad del suelo y poder determinar la disponibilidad y distribución espacial de elementos nutritivos para los cultivos. En Yaracuy las investigaciones relacionadas con el tema son pocas, lo que dificulta en gran medida determinar el grado de aptitud que tienen las tierras para la producción agrícola de cultivos promisorios y estratégicos. El objetivo de este proyecto es evaluar y cartografiar la fertilidad de los suelos agrícolas de Yaracuy basándose en análisis de suelo y técnicas de análisis espacial (Geomática). La metodología implica una serie de pasos a seguir: creación de una base de datos con los resultados de análisis de suelos existentes en el Laboratorio de Suelos del INIA-Yaracuy; digitalizar, georeferenciar, actualizar la información obtenida, monitorear los cambios en el tiempo y caracterizar; muestreo y análisis de suelos en nuevas áreas; generación de mapas de fertilidad que indiquen el estado nutricional de los mismos en diversas regiones del estado. Finalmente, la formulación de planes de fertilización y aplicación de enmiendas en aquellas zonas agrícolas que lo requieran. Los resultados, provenientes de 2134 muestras de suelo, señalan hasta ahora que la principal limitante del suelo para los cultivos en el estado es la baja disponibilidad de fósforo. Adicionalmente, en algunos municipios es la materia orgánica, la acidez y/o los niveles de salinidad, lo cual amerita planes de fertilización y aplicación de enmiendas correctivas en estos lugares de acuerdo a los requerimientos del cultivo y disponibilidad de insumos.

Palabras clave: geomática, fertilidad de suelos, análisis de suelos, georeferenciar, nutrientos

Introducción

El buen crecimiento y rendimiento de un cultivo depende de los factores inherentes al ecosistema en el cual las plantas crecen. Además del factor suelo, existen los relacionados con la planta y el clima, constituyendo así el llamado sistema suelo-planta-clima. Dentro del sistema, la fertilidad del suelo es considerada un factor de crecimiento y es definida como el potencial que tiene el mismo para suplir los elementos nutritivos en las formas, cantidades y proporciones requeridas para lograr un buen crecimiento y rendimiento de las plantas (Casanova, 2005). Cuando la disponibilidad de nutrientes en el suelo para las plantas no es suficiente, ésta puede ser aumentada al añadir fertilizantes al suelo, los cuales poseen uno o más elementos esenciales para el crecimiento y rendimiento de las plantas. La evaluación de la fertilidad del suelo con fines agrícolas es el proceso mediante el cual se diagnostican problemas nutricionales en suelos y/o cultivos y en base a ellos se hacen recomendaciones. La misma es evaluada a través de síntomas visuales en las plantas, análisis de suelo y de plantas. El análisis de suelo es el más usado por los agricultores asumiendo que conociendo el nivel de nutrientes se puede hacer un plan de fertilización adecuado. El análisis consiste en el uso de una solución extractora, la cual en contacto con el suelo por unos minutos simula las cantidades disponibles en el mismo para ser absorbidos por el sistema radical de las plantas durante su período de crecimiento y reproducción.

En el análisis exhaustivo de recursos naturales la Geomática juega un rol importante. La Geomática es un término

científico moderno que hace referencia a un conjunto de ciencias en las cuales se integran los medios para la captura, tratamiento, análisis, interpretación, difusión y almacenamiento de información geográfica. El uso combinado de sistemas de información geográfica (SIGs), modelos digitales de terreno o elevación elevación (DEM) y sensores remotos satisfacen las necesidades de ubicación, delimitación, localización, georreferenciación (posicionamiento con el que se define la localización de un objeto espacial en un sistema de coordenadas y datum determinado), entre otros, para la detección (directa o indirecta), mapeado, extrapolación, interpretación, cálculo de áreas y monitoreo de recursos (Chuvieco, 1996).

En el estado Yaracuy es apremiante generar información para el manejo agronómico de los cultivos (actuales y potenciales), siendo imprescindible conocer la disponibilidad de nutrientes para estos cultivos y para el desarrollo de programas de fertilización y aplicación de enmiendas a fin de propiciar el fortalecimiento definitivo de la agricultura en el Estado. Sin embargo, son pocas las investigaciones relacionadas con el tema que se han llevado a cabo, lo que ha dificultado en gran manera determinar el grado de aptitud que tienen las tierras para la producción agrícola. Algunos estudios generales y puntuales se han realizado previamente en Venezuela: Chirinos *et al.*, (1971) caracterizaron la fertilidad de suelos en algunos estados e infirieron que en Yaracuy los suelos son de texturas medias, de provisión regular de fósforo (P) y pHs que varían de neutros a alcalinos con abundancia de

suelos calcáreos y apreciables problemas de salinidad. Zérega *et al.*, (1995) y Mora *et al.*, (1999) evaluaron la fertilidad y el estado nutricional de la caña de azúcar en una finca, sus resultados indicaron que en el suelo existía una desfavorable relación Ca: Mg: K que pudiera estar afectando la absorción de éstos por el cultivo y que para aumentar el rendimiento se requiere aplicar enmiendas orgánicas, calcáreas y fertilizantes.

La finalidad de esta investigación es evaluar y cartografiar la fertilidad de suelos agrícolas del estado Yaracuy basándose en análisis de suelo y técnicas de análisis espacial (Geomática).

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estado Yaracuy está ubicado en Venezuela entre coordenadas 9°49'-10°48' N y 68°11'- 69°16' O, con una

superficie de 0,28 millones de hectáreas agrícolas y dividido políticamente en 14 municipios (Figura 1). Predominan las unidades de paisaje montañoso, que junto con el piedemonte de colinas, representan el 65% de su territorio. El clima de la entidad, de acuerdo a la Clasificación Climática de Köeppen es de sabana (Aw) y de estepa (Bs) con una temperatura media anual entre 20° y 26° C y precipitación media de 1.900 mm anuales. La actividad económica predominante es la agricultura. Destacan rubros como el maíz, el cambur, la caraota, la caña de azúcar, el café, el sorgo, el plátano, el aguacate, la naranja y otras frutas. En el sector pecuario sobresalen la ganadería de bovinos, porcinos y aves. La entidad, en términos económicos, produce bienes y servicios con mayor intensidad para los estados vecinos que para su circulación interna (Ferrer y De Paz, 1985).



Figura 1. Ubicación geográfica, relieve e hidrografía del estado Yaracuy y sus municipios

Análisis de suelo

Los análisis de suelo son realizados en el Laboratorio de Suelo Agua Planta del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) del estado Yaracuy desde el año 2003. Las muestras de suelo son traídas por agricultores de los diversos municipios del estado que solicitan el servicio analítico al Laboratorio. La profundidad de muestreo considerada es de 0-20 cm (2134 muestras). Las determinaciones realizadas y métodos aplicados en dichas muestras son los siguientes: contenido de materia orgánica (MO, %) por el método de Walkley y Black; pH y conductividad eléctrica (CE a 25°C, dS/m) medidos con potenciómetro en relación suelo-agua 1:2,5 y 1:5, respectivamente; fósforo (P, mg/kg) y potasio (K, mg/kg) por el método de Olsen; calcio (Ca, mg/kg) por el método de Morgan modificado y la distribución de tamaño de partículas (%) por el método de Bouyoucos. La clasificación textural (CT) de las muestras es agrupada en tres clases, gruesa (a, aF, Fa), media (F, L, FL, FA, FFAa, Aa) y fina (A, AL, FAL), asignándosele los números 1, 2 y 3, respectivamente, para poder analizarlas estadísticamente. La metodología e interpretación de los resultados está basada en investigaciones del INIA (1984-1985) realizadas según el manual de Brito et al., (1990) y es organizada por municipios. Esta metodología contempla niveles de interpretación de bajo, medio y alto para contenidos de materia orgánica, fósforo, potasio y calcio basándose en la textura del suelo.

Análisis estadístico

Para analizar los datos se empleó una estadística descriptiva usando el software Statistix 8.0, tanto para los municipios en conjunto como individualmente. También fue realizada una prueba de medias entre las variables analizadas, teniendo como fuentes de variación a los municipios.

Generación de mapas

Se recopilaron del Laboratorio los resultados de análisis de suelos que fueron realizados en el estado Yaracuy con fines agrícolas. Se ingresaron los datos al computador en una hoja de cálculo para crear la base datos. El mapa del estado con sus municipios y límites político-administrativos, escala 1:100.000, fue usado como mapa base para elaborar los temáticos. El mismo fue digitalizado y georeferenciado empleando una tabla digitalizadora. Los datos espaciales fueron almacenados en el SIG ArcView 3.2 y sus atributos no espaciales fueron codificados en la base de datos o tabla de atributos. Una imagen de satélite (Landsat) y un DEM del Estado fueron importados al programa ENVI y cortados de acuerdo a las coordenadas del área, luego sus datos espaciales fueron georeferenciados (resolución especial de 30m x 30m) a la proyección Universal Transverse Mercator (UTM), zona 19 Norte, WGS-84 y corregidos geométricamente usando 20 puntos de control (cruce de caminos y centros poblados) ubicados en el mapa. Todos los datos fueron procesados de tal forma que puedan ser importados a diferentes software's de análisis espacial y se facilite el uso, análisis y cartografía de las entidades espaciales del Estado. La base de datos de suelo obtenida fue transferida

al SIG para digitalizar y georeferenciar los datos. Por procedimientos de mapeo y considerando el análisis estadístico, fueron generados mapas temáticos de las variables analizadas con su respectivas tablas de atributos. Los mapas son de tipo vectorial, donde cada polígono y color representa un municipio. A futuro se tiene planteado muestrear suelos para ingresar nuevas áreas que no han sido muestreadas o que no hayan sido analizadas extensivamente para caracterizar su fertilidad.

Resultados y Discusión

La Tabla 1 presenta la estadística descriptiva de todas las variables analizadas para todos los municipios del estado Yaracuy en conjunto. En relación a la distribución del tamaño de las partículas o clasificación textural no se detectaron diferencias significativas entre los municipios (Figura 2), predominando las texturas gruesas y medias debido a un mayor contenido de partículas de arena en sus suelos. Esto posiblemente se deba a que en el Estado predominan paisajes montañosos y piedemontes colinosos. En los valles y depresiones los suelos provienen de rocas metamórficas y sedimentarias altamente meteorizadas, lo que origina suelos con partículas de menor tamaño o de texturas finas (Mogollón y Comerma, 1994), quizás por esto el mayor porcentaje lo presentan Peña, seguido de Páez (9 % FAL).

Con respecto a la reacción del suelo, la Tabla 1 reporta un valor promedio para el Estado que clasifica como pH neutro (Casanova, 2005). Sin embargo, según la prueba de medias (Tabla 3, Figura 3) los municipios Nirgua y Sucre son

estadísticamente iguales y difieren del resto porque presentan los menores valores de pH. La mayoría de las muestras analizadas están dentro de la categoría de suelos neutros a alcalinos, seguido de suelos ácidos, éstos últimos ubicados en regiones donde hay mayor precipitación y quizás mayor lavado de cationes básicos.

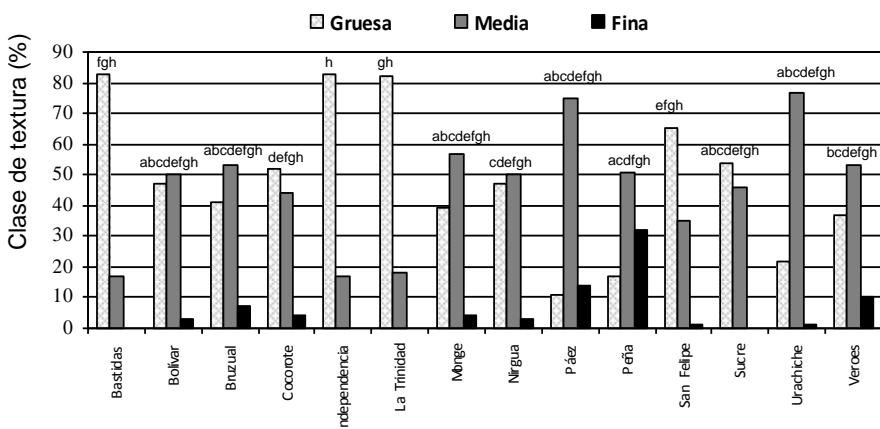
En la Tabla 1 se puede apreciar que el índice de concentración total de sales en la solución del suelo (CE) es bajo ($<0,75$ dS/m) para el Estado y para los municipios, razón por la cual no se detectaron diferencias significativas. Normalmente valores mayores a éstos están asociados a zonas áridas o semiáridas (precipitación < 600 mm/año), pH alcalinos o agua de riego salinas. El municipio Peña presenta el mayor valor de CE y mayor pH, pero sólo 2% de las muestras analizadas presentaron CE >2 dS/m, valor que podría representar problemas para el normal desarrollo de cultivos no tolerantes a la presencia de sales (Bohn *et al.*, 1979).

En cuanto a los niveles de materia orgánica se encontró que los rangos están ubicados mayoritariamente en las categorías de bajo y medio (Tablas 1 y 3, Figura 3)

Tabla 1. Estadística descriptiva de las variables analizadas en el estado Yaracuy

| | Variables analizadas en los análisis de suelo | | | | | | | | | |
|--------|---|-------|---------|------|------|------|-------|------|-------|-------|
| | arena | limo | arcilla | CT | pH | C E | MO | P | K | Ca |
| Media | 41,90 | 36,85 | 21,25 | 1,74 | 6,96 | 0,30 | 2,52 | 14 | 121 | 1422 |
| DE | 19,00 | 11,72 | 10,72 | 0,63 | 1,10 | 0,43 | 1,16 | 23,2 | 156,4 | 972,3 |
| DEM | 0,51 | 0,31 | 0,29 | 0,02 | 0,03 | 0,01 | 0,03 | 0,6 | 4,2 | 26,1 |
| CV | 45 | 32 | 50 | 36 | 16 | 146 | 46 | 171 | 129 | 68 |
| Mínimo | 0,40 | 6,80 | 1,20 | 1,00 | 3,6 | 0,02 | 0,10 | 0 | 2 | 33 |
| Máximo | 88,40 | 72,80 | 62,00 | 3,00 | 8,9 | 4,90 | 12,86 | 378 | 2948 | 13544 |

DE: desviación estándar DEM: desviación estándar media CV: coeficiente variación

**Figura 2. Clases de textura (%) presentes en cada municipio del estado Yaracuy** excepto en los municipios Independencia y Sucre donde predominan cultivos permanentes que aportan constantemente residuos orgánicos frescos.

El nivel de disponibilidad de fósforo en el suelo es bajo ($< 18 \text{ mg/kg suelo}$) en todos los municipios (Tablas 1 y 3, Figura 3). Debido a que sus fuentes principales son minerales como la Apatita, fertilizantes y materia orgánica (Casanova, 2005), es natural que se consigan estos valores en Yaracuy, pues no hay predominancia de

este mineral, ni de texturas finas, ni altos contenidos de materia orgánica, además el fósforo es altamente fijado a valores extremos de pH ácidos o alcalinos. Por su parte el contenido de potasio y calcio (Tablas 1 y 3, Figura 3) van de medio a alto debido a la predominancia de feldespatos, gneisses y esquistos micáceos, lutitas y calizas cristalinas calcíticas, dolomíticas, arenáceas o meta cuarcíticas (Ferrer y De Paz, 1985).

Tabla 2. Medias obtenidas en el total de muestras analizadas en cada municipio

| Municipio | Muestras | pH | CE | MO | P | K | Ca |
|---------------|----------|----------------------------------|---|---------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Bastidas | 21 | 7,1 _{a,b,c,d,f,g,h,i,j} | 0,26 _{a,f,g,i,j,k,l,m} | 1,71 _{i,m} | 14 _{a,b,c,d} | 88 _{a,b,c,d,f,g,h,i} | 1319 _{a,b,c,d,f,g,h,i} |
| Bolívar | 96 | 6,8 _i | 0,13 _{i,j,k,l,m} | 2,33 _{g,i,j,k,l,m} | 10 _{a,b,c,d} | 60 _{c,d} | 1178 _{g,h,j} |
| Bruzual | 150 | 6,7 _{g,h,j} | 0,25 _{b,c,d,e,f,g,i,j,k,l,m} | 2,46 _{a,c,e,f,g,i,j,l} | 23 _{a,b,c,d} | 113 _{a,c,d} | 1260 _{e,f,g,h} |
| Cocorote | 53 | 6,5 _{a,c,d,e,f,g,h,i} | 0,08 _{i,m} | 1,98 _{j,k,l,m} | 16 _{a,b,c,d} | 108 _{a,b,c,d} | 1027 _{a,d,e,f,g,h} |
| Independencia | 16 | 6,0 _{f,g,h,i} | 0,07 _m | 3,26 _{a,b,c,d,e,f,g,h,i,j,l} | 24 _{a,b,c,d} | 93 _{a,b,c,d} | 1214 _{b,c,d,e,f,g,h,i} |
| Trinidad | 25 | 6,6 _{a,c,d,e,f,g,i} | 0,09 _{j,k,l,m} | 1,49 _m | 8 _{a,b,c,d} | 179 _a | 1078 _{d,e,f,g,h} |
| Monge | 108 | 6,6 _{e,f,g,h} | 0,15 _{j,k,l,m} | 2,90 _{a,b,c,d,e,f,g,h,i,j,l} | 18 _{a,b,c,d} | 84 _{a,b,c,d} | 1119 _{f,g,h} |
| Ningua | 155 | 5,5 _j | 0,10 _{k,m} | 2,56 _{i,j,k,l,m} | 28 _a | 87 _{a,b,c,d} | 546 _j |
| Páez | 119 | 7,4 _{b,f} | 0,20 _{a,f,g,h,i,j,k,l,m} | 2,62 _{a,f,g,h,i,j,l} | 9 _{b,c,d} | 128 _{a,c} | 1612 _a |
| Pérez | 803 | 7,5 _a | 0,46 _a | 2,73 _{a,c,e,f,g,h,i,l} | 19 _{a,b,c} | 137 _{a,c} | 1772 _a |
| San Felipe | 240 | 6,1 _{hi} | 0,35 _{a,b,c,d,e,f,g,h,i,j,k,l,m} | 1,81 _{k,l,m} | 22 _{a,b,c,d} | 114 _a | 693 _{h,j} |
| Sucre | 44 | 5,8 _j | 0,26 _{a,f,g,h,i,j,k,l,m} | 3,83 _a | 12 _{a,b,c,d} | 64 _d | 856 _{i,j} |
| Urachiche | 113 | 7,4 _{a,b,c,f} | 0,15 _{g,h,i,j,k,l,m} | 2,68 _{a,f,g,h,i,j,l} | 5 _d | 65 _{a,b,c,d} | 1633 _{a,b,d} |
| Veroes | 191 | 7,0 _{a,d,f,g,i} | 0,27 _{c,d,e,f,g,h,i,j,k,l,m} | 2,24 _{a,f,g,h,i,j,m} | 8 _d | 153 _{b,c,d} | 1583 _{b,c,d,e} |

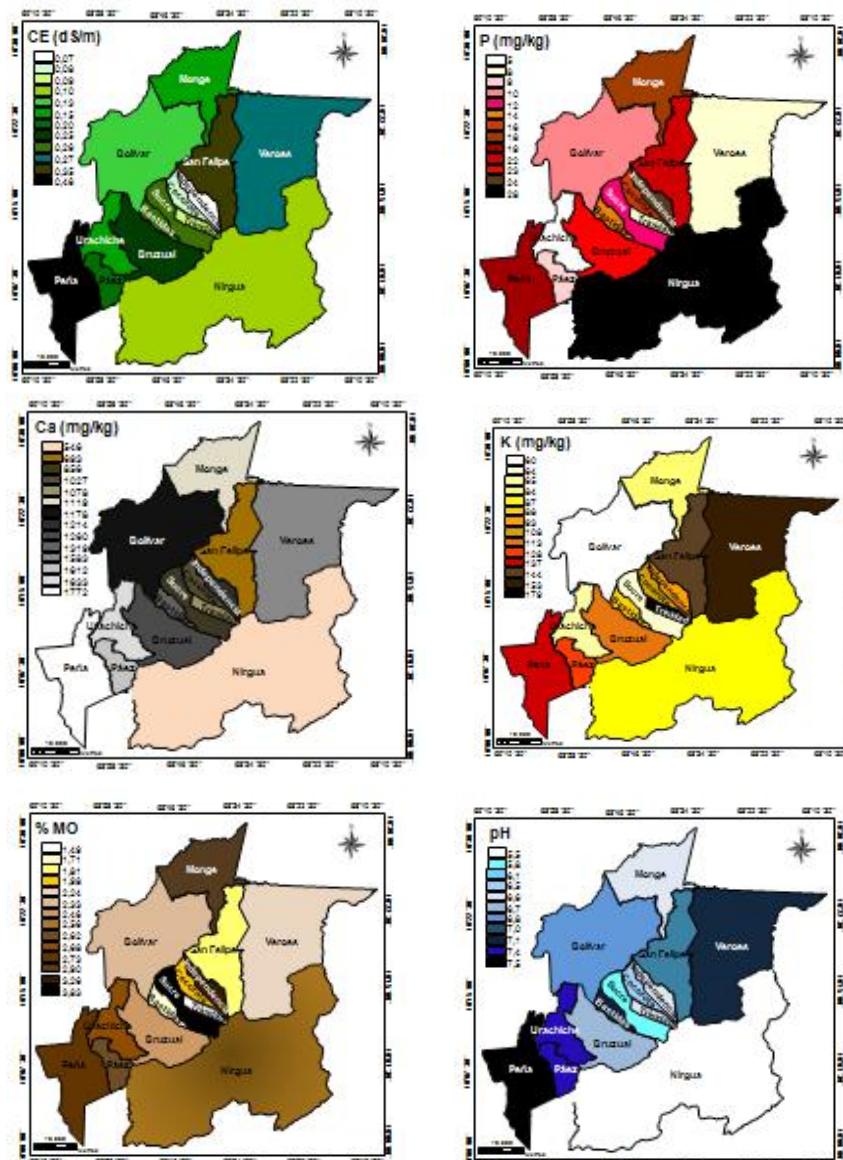


Figura 3. Mapas de valores promedios de las variables de suelo en los municipios

Conclusiones

La principal limitante del suelo para los cultivos en el estado Yaracuy es la baja disponibilidad de fósforo. En algunos municipios como Cocorote, Trinidad y Monge el bajo contenido de materia orgánica, la acidez en los municipios Nirgua y Sucre y los niveles de salinidad en algunas zonas cultivadas del municipio Peña. Esto hace que se ameriten planes de fertilización y aplicación de enmiendas correctivas en estos lugares de acuerdo a las exigencias del cultivo. Sin embargo, se debe considerar que los fines de recomendaciones de fertilización y aplicación de enmiendas estos resúmenes no sustituyen los análisis de muestras individuales de suelos y debe procurarse efectuar los mismos siempre que sea posible.

Referencias Bibliográficas

- Bohn, H.; Mcneal, B.; Oconnor, G. (1979). Soil Chemistry. A Wiley Interscience Publication. New York, EE.UU. 225 pp.
- Brito, J.; López, I.; Pérez, R. (1990). Manual de métodos y procedimientos de referencia Análisis de suelo para diagnóstico de fertilidad. FONAIAP.
- Maracay, Venezuela. 164 pp.
- Casanova, E. (2005). Introducción a la ciencia del suelo. UCV- CDCH. Caracas, Venezuela. 393 pp.
- Chirinos, A.; De Brito, J.; De Rojas, I.(1971). Características de fertilidad de algunos suelos venezolanos vistos a través de los resúmenes de análisis rutinarios. Agronomía Tropical. 21(5): 397-409.
- Chuvieco, E. (1996). Fundamentos de teledetección espacial. 3ra Edición. España. 565 pp.
- Ferrer, E.; De Paz, H. (1985). Análisis ambiental de la región centroccidental de Venezuela. FUDECO. Barquisimeto, Venezuela. 257 pp.
- Mogollón, L.; Comerma, J. (1994). Suelos de Venezuela. Edición Palmaven. Caracas, Venezuela. 142 pp.
- Mora, O.; Díaz, A.; Zéregá, L. (1999). Fertilidad de los suelos cultivados con caña de azúcar (*Saccharum* sp. Híbrido) del estado Yaracuy en base a los análisis de suelo. Caña de Azúcar. 17:21-36.
- Zéregá, L.; Alvarado, M.; Mujica, Y. (1995). Evaluación de la fertilidad del suelo y estado nutricional del cultivo de caña de azúcar en una finca de los valles de El Rodeo y del río Turbio en el estado Yaracuy. Bioagro. 7(2): 50-54.