

AGRICULTURA DE PRECISIÓN

ARTÍCULO ORIGINAL

Elaboración de un SIG orientado a la zonificación agroecológica de los cultivos

Development of a GIS oriented to agro-ecological zoning of the crops

Ing. Lexa Dayana Pineda Santos, Ing. Jorge Eduardo Suárez Hernández

Universidad Nacional Experimental de las Fuerzas Armadas (UNEFA), Municipio Rafael Rangel, Estado Trujillo, Venezuela.

RESUMEN. Para la elaboración de un sistema de información geográfico SIG destinado a la zonificación agroecológica de cultivos se consideraron los siguientes criterios: geopedológicos (geomorfología y suelos), climatología (isoyetas e isotermas) y los requerimientos edafoclimáticos de los cultivos. Se tomó el Municipio Escuque del estado Trujillo como ejemplo para el desarrollo de esta investigación; a través de material cartográfico se delimitó el área y se obtuvo la información altimétrica del lugar. Esta información conjuntamente con la suministrada por estaciones meteorológicas vecinas al municipio se procesó en el software *ArcGIS versión 9.3* para obtener los mapas geomorfológicos (altitud y pendiente) y los climáticos (isotermas e isoyetas). El mapa asociado a los tipos de suelos, como elemento importante en toda zonificación agroecológica fue una limitación debido a que no se cuenta con estudios de este tipo en el municipio. El resultado de la investigación es un sistema dinámico que obedece a una función matemática en el que a partir de un lenguaje estructurado de consulta a los atributos del mapa identifica las zonas óptimas para el desarrollo del cultivo (por ejemplo: cultivo del café [*Coffea*]) según sus exigencias edafoclimáticas.

Palabras clave: criterios geopedológicos, requerimientos edafoclimáticos, *Coffea*.

ABSTRACT. For the elaboration of a Geographic Information System (GIS) intended to agroecological zoning of the crops, were considered the following approaches: geopedologic (geomorphology and soils), climatology (isohyets and isotherms) and edaphoclimatic requirements of the crops. Escuque municipality in the state Trujillo has been taken as an example for the development of this research. Through cartographic material the area was defined and was obtained the altimetric information of the place. This information together with the one given by neighboring weather stations of the municipality was processed in the *ArcGIS version 9.3* software to obtain geomorphological maps (altitude and slope) and the climate (isotherms and isohyets) ones. The map associated with soil types, as an important element in all agro-ecological zoning, was a limitation because there are no such studies in the municipality. The result of the research is a dynamic system that obeys a mathematical function that starting from a structured query language to map attributes identifies the areas for optimum crop growth (e.g.: coffee [*Coffea*]) according to their edaphoclimatic requirements.

Keywords: geopedologic approaches, edaphoclimatic requirements, *Coffea*.

INTRODUCCIÓN

La necesidad de información sobre el territorio es una constante de cualquier actividad humana, desde la gestión de actividades cotidianas hasta las labores de planificación más notables precisan y requieren información geográfica. Los datos geográficos son la base en cualquier sistema de información geográfica (SIG); la dificultad en la recogida de algunos y lo perentorio de su actualidad provoca que sea este elemento el más costoso de todos los componentes de un sistema de información geográfica, ya que estos deben responder a tres componentes principales: espacial, temática y temporal. Un SIG en sentido restringido es aquel capaz de dar respuesta al objetivo para el

cual es diseñado, debe conjugar cuatro componentes: una serie de dispositivos (máquinas electrónicas), unos programas (SIG), un conjunto de datos geográficos (la base de datos espaciales) y expertos en el manejo de los tres elementos previos (Moreno, 2007). En definitiva, amplían enormemente las posibilidades de análisis que brindan los mapas convencionales, además de facilitar su almacenamiento y visualización (Chuvioco, 2002).

Un SIG se caracteriza principalmente por su capacidad para almacenar grandes masas de información geo-referenciada y su potencia para el análisis de la misma que lo hacen idóneo para abordar problemas de planificación y gestión. La información geográfica

de una base de datos puede ser muy variable en cantidad, calidad y diversidad (Rouet citado por Moreno, 2007). La cantidad viene determinada por las necesidades que el SIG haya de satisfacer; la calidad depende de las exigencias del usuario y la diversidad de los objetivos para los cuales se haya concebido el sistema.

En el ámbito de la planificación agrícola, la zonificación agroecológica es una de las principales herramientas empleadas para disminuir los riesgos a los que está sometida la agricultura, la misma tiene como objetivo otorgar espacios a cultivos atendiendo a sus exigencias edafoclimáticas para garantizar en gran medida el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los mismos.

La zonificación agroecológica es la sectorización de un territorio con diversos criterios, para identificar unidades geográficas relativamente homogéneas con características físicas, biológicas y socioeconómicas, con potencial ecológico para su evaluación (Espinosa y Roquera, 2007; Lasso *et al.*, 2011). Y su objetivo siempre se relaciona con la clasificación y representación espacial de la aptitud de la tierra con respecto a un determinado uso (Pérez y Geissert, 2006).

Para determinar las bases de la zonificación agroecológica para los cultivos existe diversidad de métodos científicos utilizados internacionalmente. Sin embargo, cada estudio tiene sus particularidades, determinadas entre otros aspectos por la disponibilidad de información ambiental (Espinosa y Roquera 2007). El empleo de uno u otro método dependen del tipo de cultivo, información existente sobre el mismo, nivel de precisión y efectividad respecto al resultado final en los trabajos de investigación (Pérez y Geissert, 2006).

Las investigaciones más avanzadas de zonificaciones agroecológicas, están compuestas por bases de datos enlazadas a un sistema de información geográfica y relacionadas con modelos computarizados, que contienen múltiples aplicaciones potenciales en el manejo de los recursos naturales y planificación del uso de la tierra (FAO, 1997). En otros estudios han utilizado como criterio la combinación de tres parámetros: balance hídrico, producción de biomasa y calidad de suelos (Espinosa y Roquera, 2007); también han desarrollado metodologías donde aplican criterios de decisión ofrecidos por especialistas en ciencias agrícolas (Garea, 2008; Suárez *et al.*, 2013; Soto *et al.*, 2007). Estos métodos han sido utilizados en cultivos de importancia socio económica como el café (*Coffea*), cacao (*Theobroma cacao, Lin*), caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*) según Jiménez *et al.* (2004) y otros. El cultivo del café (*Coffea*) es uno de los más importantes a nivel mundial ya que ocupa el segundo lugar en comercialización solamente detrás del petróleo, siendo cultivado en más de 70 países en vías de desarrollo, generando empleos en forma directa a más de 20 millones de personas. Es considerado como cultivo conservacionista, en Venezuela es explotado en las principales cuencas hidrográficas, su permanencia en estas áreas garantiza la disponibilidad del recurso agua en áreas más bajas debido a la retención e infiltración, minimizando los factores de riesgo que inciden en la erosión del suelo (INIA, 2010). Los principales estados productores del país son: Lara, Portuguesa, Anzoátegui y Trujillo, entre otros (Martínez, 2012). Este último estado aporta el 12% de la producción nacional, siendo los municipios Boconó, Trujillo, Campo Elías, Escuque y Monte Carmelo los más productores (Ministerio de Agricultura y Tierra, 2012).

Con base a la información señalada previamente, el presente trabajo tiene como objetivo elaborar un SIG destinado a la zonificación agroecológica de cultivos en el municipio Escuque del estado Trujillo, aplicándose al cultivo del café. Los criterios utilizados para el desarrollo del SIG fueron: geopedológicos (geomorfología y suelos), climatología (isoyetas e isotermas) y los requerimientos edafoclimáticos del cultivo.

MÉTODOS

La zona objeto de estudio para elaborar el SIG se localiza según el sistema de proyección WGS_1984_UTM_Zona_19N entre las coordenadas 299969 – 321088 ESTE y 1016877–1037376 NORTE que delimitan el Municipio Escuque, el cual se ubica al suroeste del Estado Trujillo, Venezuela y abarca una superficie de 181 km².

Cartografía: tomando como base los ortofotomapas y mapas lineales en formato digital del Sistema Hidráulico Trujillano (SHT) se georreferenció a Datum WGS_1984_UTM_Zona_19N las cartas 6044BSO, 6043ANO, 6043DSE, 6043ASO y 6043DNE a escala 1: 25 000 para delimitar y obtener la información altimétrica del municipio empleando el software AutoCAD versión 2010.

Los datos geográficos del Municipio Escuque del estado Trujillo representaron la base de datos del SIG, y para la consulta del mismo se consideraron los requerimientos edafoclimáticos del cultivo.

La información edafoclimática se representó en mapas temáticos para cada uno de los criterios utilizando diversas herramientas de análisis espacial del software ArcGis versión 9.3, como se indica a continuación:

Geopedología: para el desarrollo de este criterio solo se consideró el aspecto geomorfológico (hipsometría y pendiente). Ambos mapas se generaron a partir de la información altimétrica expresada en m.s.n.m y las herramientas de análisis espacial del software empleando el método de interpolación lineal o TIN (Triangle Irregular Network).

Climatología: basados en criterios de zonificación agroecológica solo se consideraron las variables temperatura y precipitación representadas a través de un mapa de isotermas e isoyetas. Para la confección del mapa de isotermas se tomó como base el mapa de hipsometría y aplicando el concepto de gradiente altotérmico o GVM (ecuación 1) se calculó la temperatura para cada piso térmico del municipio extrapolando los valores de temperatura media anual de la estación meteorológica Valera para un periodo de 10 años (2000 - 2010). El método de interpolación indicado al software para el procesamiento de los datos fue el Natural Neighbor (vecinos naturales); el cual garantiza que las alturas interpoladas estén dentro del rango de las muestras utilizadas (ESRI, 2009).

$$T_x = T_c + \frac{GVM}{100} (Z_c - Z_x) \quad (1)$$

donde:

T_x - temperatura media desconocida en °C;

T_c - temperatura media conocida en °C;

GVM - gradiente altotérmico;

Zc - altitud del sitio conocido en msnm;
 Zx - altitud del sitio de la temperatura desconocida en m.

En Venezuela el valor promedio de GVM es de 0,61 °C/100 m, para los estados Mérida, Táchira, Barinas, Trujillo, Falcón y Lara, se asume un valor de 0,57 °C/100m según Rohl citado por Guevara (2009 y 2013).

A partir de los datos de precipitación suministrados por las estaciones meteorológicas Escuque, la Puerta y Monte Carmelo para un periodo de 10 años (2000 – 2010) se elaboró el mapa de isoyetas. El método de interpolación indicado al software para el procesamiento de la información fue el IDW (Inverse Distance Weighted), el cual ha sido empleado en la representación de variables con continuidad espacial y no cambia el rango de los valores en los puntos de muestra (Siabato y Yudego, 2004).

La información geopedológica y climatológica señalada previamente fue procesada e integrada en el software ArcGis ver. 9.3, donde se realizó la edición, procesamiento, análisis e impresión de la información en los diferentes mapas temáticos.

Superposición de los mapas: dentro SIG se realizó la unión de los mapas temáticos, lo que permitió fusionar la información para obtener un sistema dinámico que permite la entrada de información específica, a través de un lenguaje estructurado de consulta para determinar las zonas óptimas que poseen las mejores condiciones agroecológicas de adaptabilidad para un determinado cultivo.

Para solicitar al software SIG las zonas óptimas de adaptabilidad del cultivo se empleó la herramienta Raster Calculator (Figura 1) introduciendo las condiciones mediante el siguiente lenguaje estructurado de consulta: [Elevacion (m.s.n.m)] > 1200 < 1700 & [pendientes (%)] > 25 & [Precipitacion (mm)] > 750 & [Temperatura (° C)] > 16 < 22.

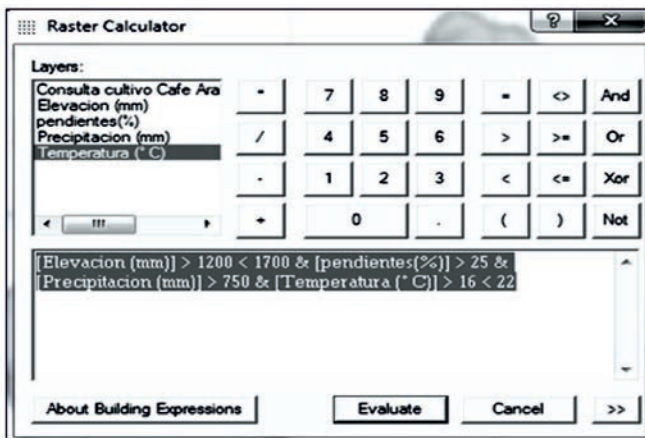


FIGURA 1. Lenguaje de consulta de Raster Calculator del Software ArcGis.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cada una de las variables consideradas para la zonificación agroecológica constituye una capa raster de información, que plasmada en los diferentes mapas temáticos (Figuras 2, 3, 4 y 5) permite apreciar la distribución espacial de dicha variable en el área de estudio.

En la elaboración del mapa de hipsometría se requiere de puntos internos y externos a la periferia del área; referente se-

ñala Posner *et al.* (2002) que es recomendable exceder un poco los limites exactos de los espacios en estudio.

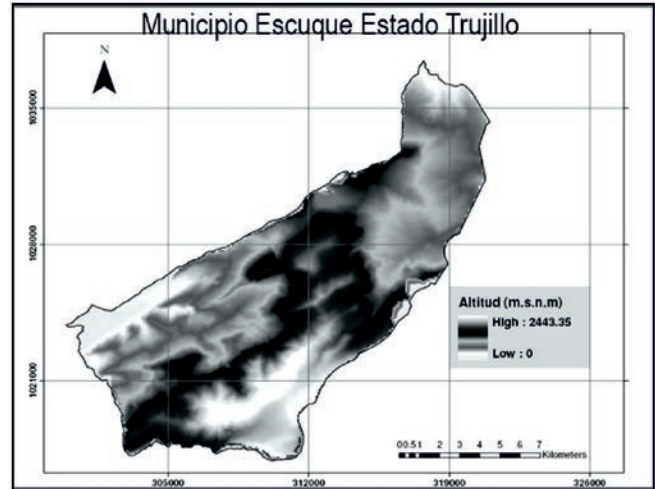


FIGURA 2. Mapa de hipsometría del Municipio.

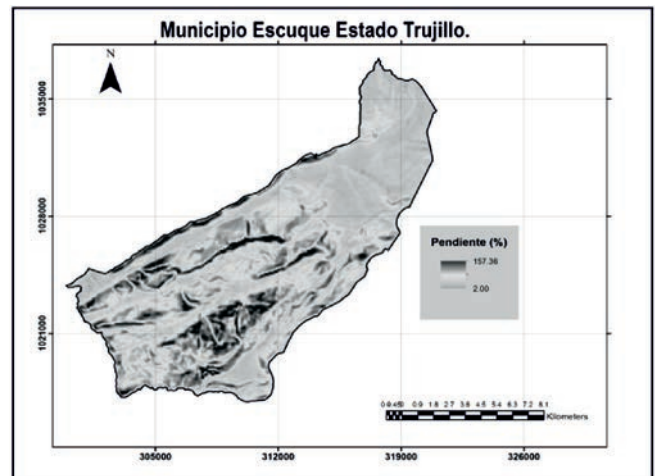


FIGURA 3. Mapa de pendientes del Municipio.

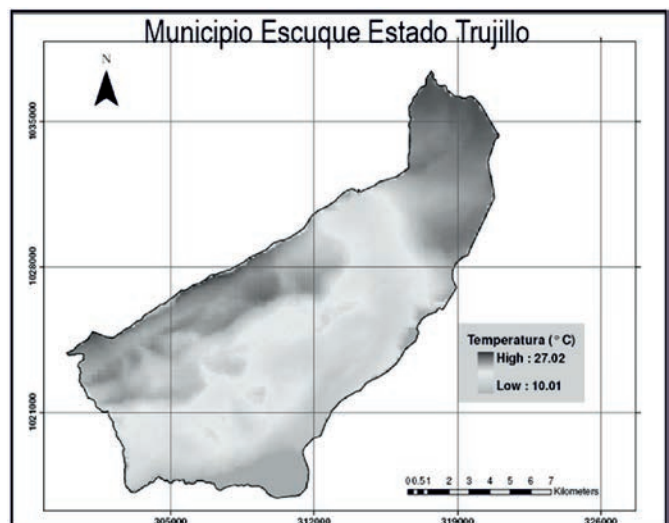


FIGURA 4. Mapa de isotermas del Municipio.

Para la aplicación del SIG, se determinó las zonas aptas (Figura 6) para el establecimiento del cultivo café (*Coffea*),

dados algunos de los requerimientos edafoclimáticos: precipitaciones superiores a los 750 mm anuales, altitudes desde los 1 200 a 1700 m.s.n.m, temperatura media anual de 16°C a 22°C y pendientes mayores al 25% como alternativa conservacionista para mitigar los niveles de erosión de los suelos (Fischersworing y Bobcamp, 2001).

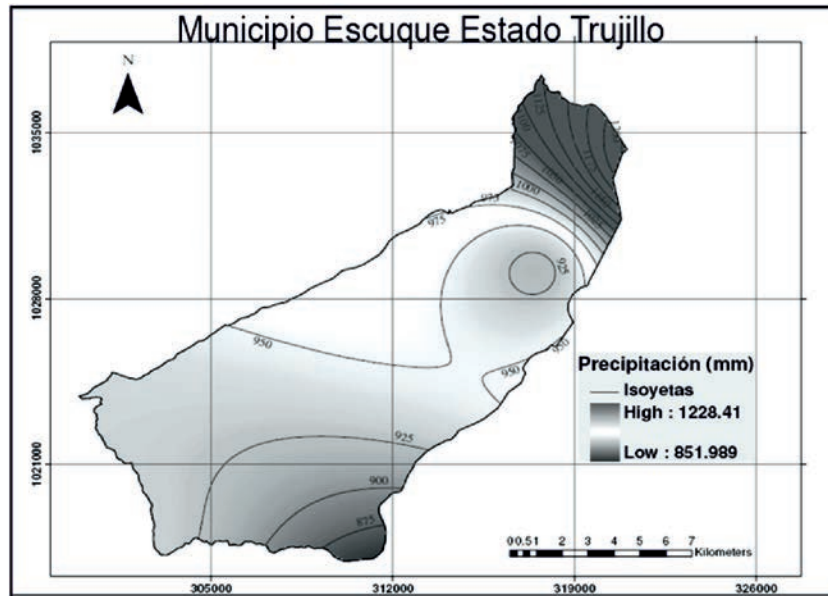


FIGURA 5. Mapa de isoyetas del Municipio.

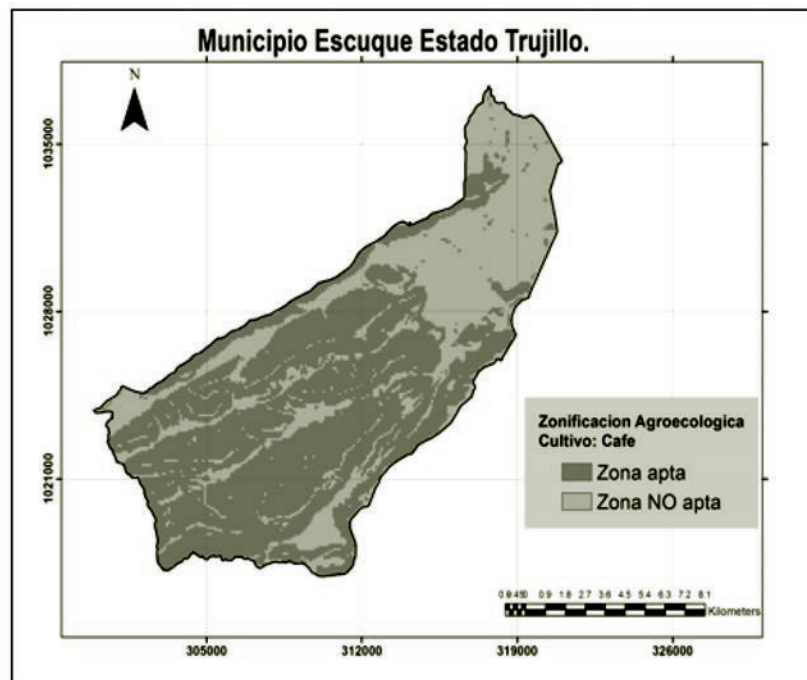


FIGURA 6. Interfaz de consulta y resultado con Raster Calculator del SIG.

Las zonas aptas indicadas por el SIG para el cultivo café representan 11 325,20 ha que corresponden al 62,5% del total de la superficie, ubicadas en su mayoría al suroeste del municipio.

En los criterios geopedológicos no se contempló la información referente a los tipos de suelos debido a que no se cuenta con estudios locales sobre las propiedades físico químicas de los mismos, esto incide sobre las áreas aptas seleccionadas por el SIG, ya que existe la posibilidad de que el mismo pueda seleccionar lugares que cumplan con las condiciones geomor-

fológicas y climáticas del cultivo, pero no con las edáficas. Al respecto señala De la Rosa (2008) que la información de suelos es un elemento crucial para fundamentar decisiones agrícolas realmente sostenibles; siendo la evaluación agroecológica, la interface lógica entre dicha información básica y la toma de decisiones sobre el uso y manejo de la tierra. Por su parte Alonso *et al.* (2008) indica que resulta aconsejable realizar el análisis de suelo de las parcelas donde se van a implementar los nuevos cultivos, considerar la presencia o ausencia del cultivo

en la zona, otra serie de datos climáticos y el conocimiento de los pobladores.

CONCLUSIONES

- Se creó una base de datos que permite el manejo de la información geomorfológica y climática del municipio Escuque, lo que posibilita elaborar estrategias para la protección del ambiente y la zonificación agroecológica de los cultivos agrícolas.
- En este trabajo se determinó las zonas aptas para el cultivo de café, sin embargo el SIG queda abierto a la incorporación

de nuevas capas o clases de información que permiten plantear una serie de extensiones al trabajo ya realizado, tales como la incorporación de otras variables edáficas y climáticas, áreas ocupadas por infraestructuras, centros poblados, entre otros.

- Se debe tener en cuenta que el resultado de esta zonificación agroecológica brinda diferentes alternativas a los decisores considerando otros aspectos como: inversión en tecnología, sistemas de riego, uso de variedades mejoradas, así como también la articulación a mercados estables y con precios justos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONSO, F. FERNÁNDEZ J. FERRER, F., FRANCÉS, E., GUTIÉRREZ, J., FERNÁNDEZ, B. Y DOMÍNGUEZ, M.: La zonificación agroecológica como mecanismo para potenciar la diversificación de la producción agrícola en Cantabria. En: III Congreso de la asociación Hispano-Portuguesa de Economía de los Recursos naturales y Ambientales, España, 2008.
- CHUVIECO, S.: *Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el espacio*, Ed. Ariel, Barcelona España, 2002.
- CORPORACIÓN DE LOS ANDES: *Dossier 2008*, Ed. Corporación de los Andes (CORPOANDES), Municipio Escuque, Venezuela, 2008.
- DE LA ROSA, D.: *Evaluación agroecológica de suelos*, Ediciones Mundi-empresa, Madrid, España, 2008.
- ESPINOSA, J. y A. ROQUERA: "Zonificación agroecológica del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en las provincias de: Bolívar, Cotopaxi, Chimborazo y Tungurahua", *Revista Rumipamba*, Vol. 21(1): 54-56, 2007.
- FAO: *Report on the Agroecological zones project. Methodology and results for Africa. World resouerces*, Report 48, Roma, Italia, 1978.
- FISCHERSWORRING, B. y R. BOBCAMP: *Guía para la Caficultura Ecológica*, Editorial López, Alemania, 2001.
- GAREA, E.; F. SOTO; A. VANTOUR: "Zonificación agroecológica en condiciones de montaña mediante métodos de análisis espacial", *Revista internacional de ciencias de la tierra*, 127: 36-40, 2008.
- GUEVARA, J.: *Meteorología*, Editorial Graficas Tao, Caracas, Venezuela, 2009.
- GUEVARA, J.: *Métodos de estimación y ajuste de datos climáticos*, Editorial Torino, Caracas, Venezuela, 2013.
- INIA (INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRÍCOLAS): *El cultivo del café (Coffea)* Ed. INIA, Venezuela, 2010.
- JIMÉNEZ, A., V. VARGAS; W. SALINAS; M. AGUIRRE; D. RODRIGUEZ: *Actutup agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el sur de Tamaulipas*, Mexico, Invest. Geo. Nro. 53, México, 2004.
- LASSO B., CRUZ G., HARO P.: *Zonificación agroecológica de tres cultivos estratégicos (Maíz, Zea mayz; Arroz, Oryza sativa; Caña de azúcar, Saccharum officinarum) en catorce cantones de la cuenca baja del rio Guayas*, Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN), Venezuela, 2011.
- MARTÍNEZ, L.: El café venezolano, un cultivo en riesgo de desaparecer, En: XII Coloquio internación de geocritica, Bogotá, Colombia, 2012.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y TIERRA: *Prensa Mat Trujillo17-10-12*, Ed. Ministerio de Agricultura y Tierra (MAT), Venezuela, 2012.
- MORENO, A.: *Sistemas y análisis de la información geográfica*, Editorial RAMA, España, 2007.
- PÉREZ, E. y D. GEISSERT: "Zonificación agroecológica de sistemas agroforestales: el caso café (*Coffea arabica* L.)—palma camedor (*Chamadorea elegans Mart*)", Caracas, Venezuela, *INCI*, Vol. 31(8): 2006.
- POSNER, J; BUSSINK, C; HIJMANS, R; DELGADO, R; WILLER, H; ZOROGASTÚA, P; DE LA CRUZ, J. Priorizando áreas para la conservación de suelos en la microcuenca La Encañada, 37pp., Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN), Documento de trabajo, Informe inédito. [s.n.], Lima, Perú, 2002.
- SISTEMA HIDRÁULICO TRUJILLANO: *Ortofotomapas y mapas lineales del estado*, Ed. Sistema Hidráulico Trujillano (SHT), Trujillo, Venezuela, 1999.
- SIABATO, W. y C. YUDEGO: Territorio y Medio Ambiente: Métodos Cuantitativos y Técnicas de Información Geográfica, En: XI Congreso de Métodos Cuantitativos, SIG y Teledetección Murcia, España, 2004.
- SOTO, H. A.; M. VANTOUR; C. MORALES; O. LOPETEGUI; E. HERNÁNDEZ; D. GAREA; A. MORALES; A. LEYVA; I. BERTOLÍ; A. MORENO; A. RAMÍREZ: "Zonificación agroecológica de la cordillera de Guaniguanico", *Cultivos Tropicales*, Vol. 28(1): 41-55, 2007.
- SUÁREZ, G. B. R; F. SOTO y A. CABALLERO: "Bases para la zonificación agroecológica en el cultivo del cacao (*Theobroma cacao*, Lin) por medio del criterio de expertos", *Cultivos Tropicales*, Vol. 34(2): 30-37, 2013.

Recibido: 12 de noviembre de 2013.

Aprobado: 9 de julio 2014.

Lexa Dayana Pineda Santos, Ing. Agrícola, Universidad Nacional Experimental de las Fuerzas Armadas (UNEFA), Av. Principal de Betijoque, Municipio Rafael Rangel, Estado Trujillo, Venezuela, correo electrónico: lexapineda@gmail.com