

CONTRIBUCIÓN DE LOS SIG A LA PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO RURAL SOSTENIBLE: APLICACIÓN PARA LOS CULTIVOS DE CAFÉ Y HABICHUELAS EN REPÚBLICA DOMINICANA

S Alexis, *L Gonzaga, **J Pastor, ***AJ Hernández

Centro de Investigación Socioeducativa de Santo Domingo (INSA), *Dpto. Ingeniería Forestal de la UPM, Madrid, **Dpto. Ecología de Sistemas, CCMA, CSIC, Madrid, ***Dpto. Ecología, UAH (Madrid)

RESUMEN

Estudios recientes realizados en la Reserva de la *Biosfera Jaragua-Bahoruco-Enriquillo*, en la República Dominicana, muestran que existe un nivel elevado de metales pesados en la capa superficial de los suelos de este territorio. Resulta difícil integrar este tipo de estudios edáficos en los procedimientos de planificación territorial, porque afectan a áreas extensas y se tienen que incorporar modelos con muchas variables. Por ello, hemos desarrollado una herramienta SIG de integración con la información edáfica para los procesos de planificación, y la hemos aplicado a las áreas de cultivo del café y de la habichuela en la región aludida, con el fin de demostrar su utilidad en la planificación sostenible de dichos cultivos. Esta herramienta SIG utiliza modelos ráster, basados en operaciones de combinación y reclasificación, que interactúan con los análisis estadísticos. El modelo diseñado incorpora información cuantitativa de la capa superficial edáfica de los suelos a la planificación SIG de ambos tipos de cultivo, mediante el uso de la estadística multivariante para modelizar la fertilidad, que se integra con factores limitantes intrínsecos al territorio (precipitaciones, temperaturas, pendientes y variables edáficas) y factores excluyentes intrínsecos al proceso planificador (metales pesados y figuras de protección natural). La herramienta SIG obtenida utiliza un modelo abierto, que puede incorporar nueva información de suelos y otros componentes de los agroecosistemas y su metodología es sólida porque discrimina con claridad las situaciones extremas dentro del proceso planificador. Esta herramienta SIG se puede extrapolar a otros usos del suelo y a otros ecosistemas tropicales de las islas del Caribe y Centro América.

Palabras clave: Modelos geoestadísticos, cartografía digital, agroecosistemas, desarrollo sostenible.

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO DE ESTE TRABAJO

En trabajos anteriores se ha puesto de manifiesto que en los ecosistemas tropicales de la Reserva de la Biosfera *Jaragua-Bahoruco-Enriquillo* (República Dominicana), la capa superficial de los suelos muestran niveles altos de metales pesados, debido esencialmente a procesos geoedáficos como consecuencia de las diferentes litologías y del clima donde se ubican, (Hernández *et al.*, 2006; Hernández *et al.*, 2007). Las prácticas de tala y quema asociadas a una agricultura trashumante, así como la presión de la agricultura intensiva, la ganadería y las actividades extractivas (bauxita y caliza), están contribuyendo al impacto de dichos metales sobre los agroecosistemas en la provincia de Pedernales, toda ella encuadrada en dicha reserva de la biosfera.

Recientes publicaciones relativas a los planes de ordenación de los recursos naturales en la provincia de Pedernales, no recogen estudios edáficos desarrollados sobre la base de nuevos análisis de suelos, sino que aluden a los realizados por la OEA en 1967 para el país dominicano (Cámara, 1997; ONOPLAN y AECI, 2003, Cámara et al., 2006). Tampoco se proponen modelos ni herramientas SIG (sistemas de información geográfica) aplicadas a la planificación territorial para el desarrollo en esta zona, que permitan integrar las variables y características del suelo en los usos sostenibles del territorio. Por lo tanto, existe la necesidad de integrar conocimientos más actualizados respecto a los suelos con los estudios y modelos de planificación de territorios rurales.

El diseño de una herramienta SIG adecuada para los agroecosistemas que permita obtener modelos de planificación de la agricultura actual, favorecería un desarrollo sostenible más realista en esta reserva de la biosfera. En base a esta hipótesis, el objetivo del presente trabajo se centra en mostrar los pasos que deben tenerse en cuenta para la utilización de una herramienta SIG que integre datos cuantitativos del suelo para la toma de decisiones en un territorio concreto y, que este protocolo metodológico se pueda aplicar a otros procedimientos de planificación territorial sostenible en otras zonas rurales de las islas del Caribe y de América Central.

MATERIAL Y MÉTODOS

El área de estudio se ubica en la provincia dominicana de Pedernales, localizada entre los paralelos 17° 30'- 18° 20' de latitud N y los meridianos 71° 15'-71°48' de longitud W. Se trata de una región de carácter rural, que incluye las tres cuartas partes de la Reserva de la Biosfera *Jaragua-Bahoruco-Enriquillo* y alberga una buena muestra de casi todos los ecosistemas forestales tropicales, así como los usos de la tierra más comunes de la República Dominicana. En este área se han seleccionado los agroecosistemas que albergan dos de los cultivos más representativos: el cultivo de café, que tiene importancia en la economía global de la región, y el cultivo de las habichuelas (*Phaseolus vulgaris* L.), cuya incidencia tiene lugar a escala familiar en el marco de la agricultura de subsistencia existente, debido a ser un componente fundamental de la dieta por sus cualidades nutricionales.

Los parámetros que se han analizado en las muestras de suelo han sido: pH en agua, materia orgánica (M.O.), elementos principales ligados a la fertilidad (N, P₂O₅, K) y niveles disponibles de Ca, Mg, Na, Mn, Fe, Zn. Además, se han determinado los niveles totales de Cd, al ser el metal pesado más frecuente en las muestras de suelos analizadas (Hernández et al., 2007). Los análisis de suelos se realizaron según los procedimientos expuestos en este último trabajo citado.

En la zona de estudio se ha realizado también un inventario de cultivos y puntos geográficos de interés utilizando receptores GPS. Además, a partir de las hojas topográficas 5870-II y 5870-III de la serie E733 a escala 1:50.000 del Instituto Cartografico Militar de la Marina de Guerra de la Republica Dominicana, se han digitalizado las curvas de nivel de 20 m de equidistancia, utilizando el software Microstation versión 8. Esta información se ha representado en soportes SIG ArcGIS 9.1 y ArcView 3.3, constituyendo la base en los modelos de planificación. En ArcGIS se ha generado un modelo digital de elevaciones (MDE) con una resolución inicial de 20 m de píxel, que posteriormente ha permitido obtener un mapa de pendientes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los mapas de suelos y los modelos SIG se han basado en el análisis previo de 79 muestras de la capa superficial edáfica (0-20 cm de profundidad), seleccionadas al azar, dentro de cada uno de los ecosistemas presentes a lo largo de un transecto, que va desde los 5 a los 1.300 m sobre el nivel del mar. En las localidades de muestreo están representadas las principales unidades de paisaje y de usos del suelo existentes en la provincia y cuenca del Pedernales, siguiendo la nomenclatura expuesta en Tolentino y Peña, (1998). En las figuras 1-a y 1-b se muestran los mapas correspondientes a los niveles de fertilidad en la zona de estudio. Se detalla a continuación los principales pasos metodológicos que se han seguido.

Bases cartográficas y software utilizado.

Las localidades muestreadas fueron agrupadas en primer lugar según los sectores establecidos para la Reserva de la Biosfera por ONOPLAN y AECI (2003), utilizándose, además el informe técnico de recursos naturales de la FAO de 1973 y del inventario de los bosques de la región Suroeste del país realizado por INDESUR/GTZ (1994). Otros materiales cartográficos empleados han sido: el mapa digital de vegetación y usos (1:300.000) (SEMAN, 2004) y los mapas digitales de isolíneas de precipitación media anual y temperatura media anual (1:50.000) (SEA, 1984; ONOPLAN y AECI, 2003).

En ArcGIS se han interpolado las isolíneas de estos mapas climáticos para generar capas ráster de precipitaciones y temperaturas medias anuales. Además se han utilizado ortofotos digitales a escala 1:30.000 del vuelo DRB, administrado por el Instituto Geográfico Universitario, y la utilización de estereoscopia para comprobar la localización de cultivos y unidades del mapa de vegetación y usos.

Los mapas y modelos SIG utilizados han seguido los siguientes formatos cartográficos: proyección UTM, que está recomendada por la Agencia Europea de Medio Ambiente-Eurographics para cartografías que implican extensiones medias del territorio (Geodäsie *et al.*, 2004). El Sistema de Referencia Terrestre Datum utilizado ha sido el WGS84. Por razones operativas de procedimiento, los formatos digitales elegidos para los mapas han sido ESRI Shapefile para los datos vectoriales y ESRI Grid para las capas ráster, como son los correspondientes a las figuras 1-a y b. Teniendo en cuenta la precisión de la cartografía de partida, el nº de muestras de suelo y el tipo de procedimientos de planificación territorial en los cuales se podría incorporar la herramienta SIG de suelos, el umbral de precisión utilizado se ha establecido en 100 m RMS (Root Mean Square error) y la unidad cartográfica mínima o píxel seleccionada ha sido de 1 ha.

La selección de un píxel de 100 m de resolución ha permitido generar una herramienta SIG de suelos con una precisión moderada, para que los conocimientos adquiridos a través de un número limitado de análisis de suelos se puedan integrar en los procesos de planificación territorial en tiempo real.

Tratamientos estadísticos.

Los tratamientos estadísticos de los datos numéricos asociados a los modelos han sido realizados con el programa Statistica v.6 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, 1999). En los casos en que ha sido necesario, las variables utilizadas han sido transformadas para cumplir los prerrequisitos de los tratamientos estadísticos paramétricos. La normalidad de las variables ha sido comprobada utilizando los tests de Lilliefors y

Kolmogorov-Smirnov, y la homogeneidad de las varianzas ha sido verificada mediante el test de Levene. Los resultados estadísticos obtenidos en los tratamientos de datos numéricos se han integrado en los modelos y operaciones SIG ráster. Como paso intermedio en estas integraciones, se ha utilizado el programa de hoja de cálculo Excel con formato Data Base IV.

Obtención de mapas de capacidad agroecológica.

El proceso seguido para la obtención de los mapas de la figura 2 podemos sintetizarlo en las fases siguientes:

- Inventario digital de los cultivos de habichuelas y café en la zona de estudio
- Aplicación de tratamientos geoestadísticos para genera cartografías temáticas de suelos.
- Utilización de un análisis de componentes principales para generar patrones sintéticos de variación de las variables edáficas que están asociados a los dos cultivos
- Mediante un test ANOVA y un test “post hoc” de Tukey, se analizan las relaciones significativas entre el mapa ACP y el inventario de estos cultivos, con el fin de crear una nueva capa Raster denominada mapa de compatibilidad del suelo fuente al cultivo de habichuelas y café
- Integración de los mapas de compatibilidad de los suelos, obtenidos previamente para dichos cultivos con un conjunto de mapas ráster de factores limitantes: precipitación, pendiente, temperatura y altitud. Ello nos permite obtener una nueva capa ráster de capacidad agroecológica para los cultivos de habichuelas y café.
- Para la planificación de las áreas adecuadas para estos cultivos, se han integrado los mapas de capacidad agroecologica con nuevas capas ráster relacionadas con el mapa del Cd y la cartografía de los dos parques nacionales de la provincia de Pedernales.

La integración de estos nuevos elementos, se ha basado en criterios restrictivos que introducen factores excluyentes intrínsecos al proceso planificador de las habichuelas y del café.

Los mapas de la capacidad agroecológica obtenidos han clasificado la viabilidad de los cultivos con los siguientes valores: valor 1 para los píxeles “no aptos para el cultivo”; valor 2 para los píxeles “aptos para el cultivo”; valor 3 para los píxeles “óptimos para el cultivo”. Después, en ambos mapas se ha aplicado un nuevo criterio limitante basado en la altitud. Para utilizar esta variable ambiental como factor limitante de carácter global, para los cultivos estudiados en esta región dominicana, se han utilizado los criterios propuestos por la bibliografía para países tropicales comparables (Alexis, 2008).

CONCLUSIONES

La herramienta SIG utilizada propone un modelo abierto que puede incorporar nueva información de suelos y otros componentes de los agroecosistemas. El protocolo metodológico seguido es sólido porque discrimina con claridad las situaciones extremas dentro del proceso planificador. Esta herramienta SIG se puede extrapolar a otros usos del suelo y a otros agroecosistemas tropicales.

AGRADECIMIENTOS

A la Dirección General de Inmigración y Cooperación al Desarrollo de la Comunidad de Madrid por el proyecto titulado “Experiencia piloto de asesoramiento técnico por Internet de las contrapartes locales de la Cooperación de la Comunidad de Madrid sobre evaluación ambiental, planificación territorial, desarrollo rural y prevención de riesgos” y al INSE de la República Dominicana.

BIBLIOGRAFÍA

- Alexis S. 2008. Estrategias de desarrollo sostenible en la provincia y cuenca transfronteriza de Pedernales (República Dominicana-Haití): disponibilidad de los servicios ambientales y explotación de los recursos. Tesis doctoral Universidad de Alcalá
- Cámara, R. 1997. República Dominicana: Dinámica del medio físico en la región Caribe (geografía física, sabanas y litoral). Aportación al conocimiento de la tropicalidad insular. Tesis doctoral, Universidad de Sevilla
- Cámara, R.; Martínez, J R.; Díaz del Olmo, F. 2006. Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente en República Dominicana. CSIC-Escuela de Estudios Hispano-Americanos, Universidad de Sevilla.
- Geodäsie BBK, Eurogeographics ERF (Eds.). 2004. European Coordinate Reference System CRS. Eurogeographics, Champs-sur-Marne.
- Hernández, A. J.; Vizcaíno, C.; Alexis, S.; Pastor, J. 2006. Procesos antropo-edáficos frecuentes en la Reserva de la Biosfera Jaragua-Bahoruco-Enriquillo (República Dominicana). En: J. F. Gallardo (Ed). Medioambiente en Iberoamérica. Visión desde la Física y la Química en los albores del Siglo XXI. Diputación de Badajoz: 223-229.
- Hernández, A. J.; Alexis, S.; Pastor, J. 2007. Soil degradation in the tropical forests of the Dominican Republic's Pedernales province in relation to heavy metal contents. Science of the Total Environment, 378: 36-41
- INDESUR/GTZ. 1994. Lineamiento para un plan regional de desarrollo del suroeste de la Republica Dominicana.
- ONOPLAN & AEI, 2003. Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de la Provincia de Pedernales, Araucaria Proyecto Bahoruco, Sto. Domingo, 140 pp.
- Secretaría de Estado de Agricultura, (SEA), 1994. Reconocimiento y evaluación de los recursos naturales de la Sierra de Bahoruco. Santo Domingo, Republica Dominicana. 266 pp
- Secretaría de Estado de Agricultura, (SEA), 2007. Informe sobre el estado de los diferentes cultivos. Dpto. de Estadística. República Dominicana.
- SEMARN, 2004. Reserva de la Biosfera Jaragua-Bahoruco-Enriquillo. Ed. Secretaría de Estado para el Medio Ambiente y Recursos Naturales. Santo Domingo RD.
- SCRD, 2003. Servicios Cartográficos de la Republica Dominicana Tolentino, L.; Peña, M. 1998. Inventario de la vegetación y uso de la tierra en República Dominicana. Moscosoa 10: 179-203.

FIGURAS

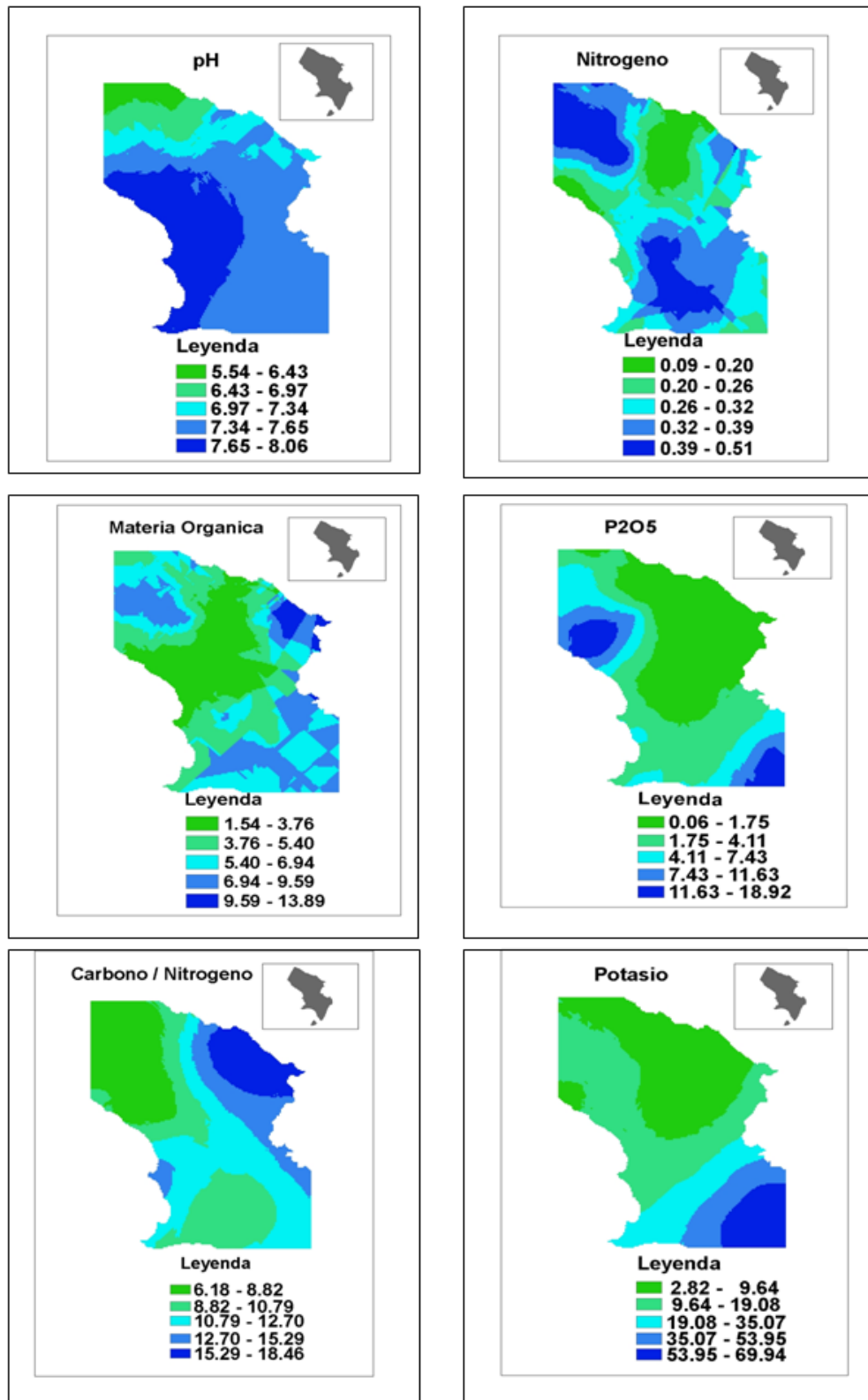


Figura 1a. Mapas de distribución de los niveles de pH y de variables edáficas.

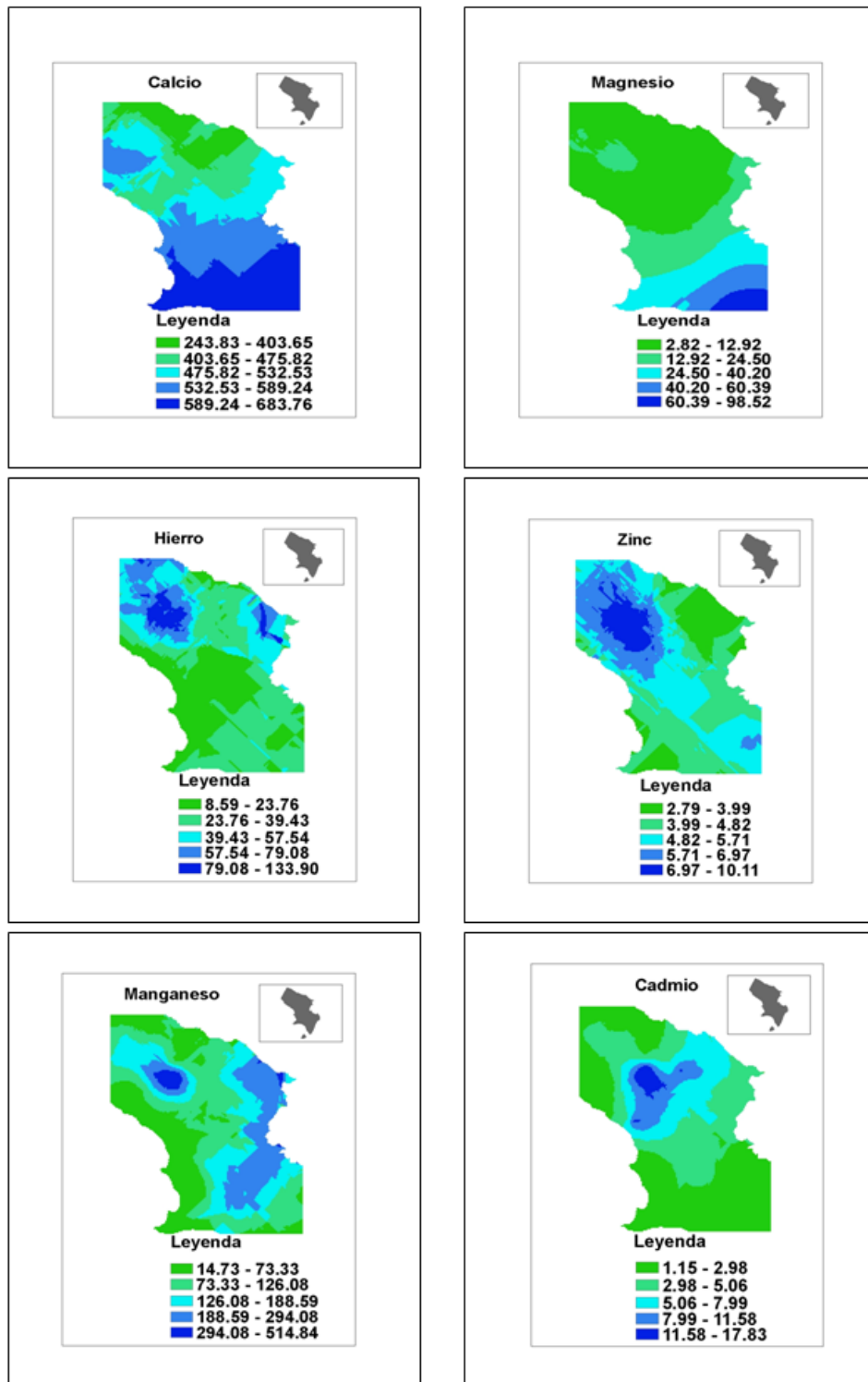


Figura 1b. Distribución de los niveles de otras variables de fertilidad y del Cd.

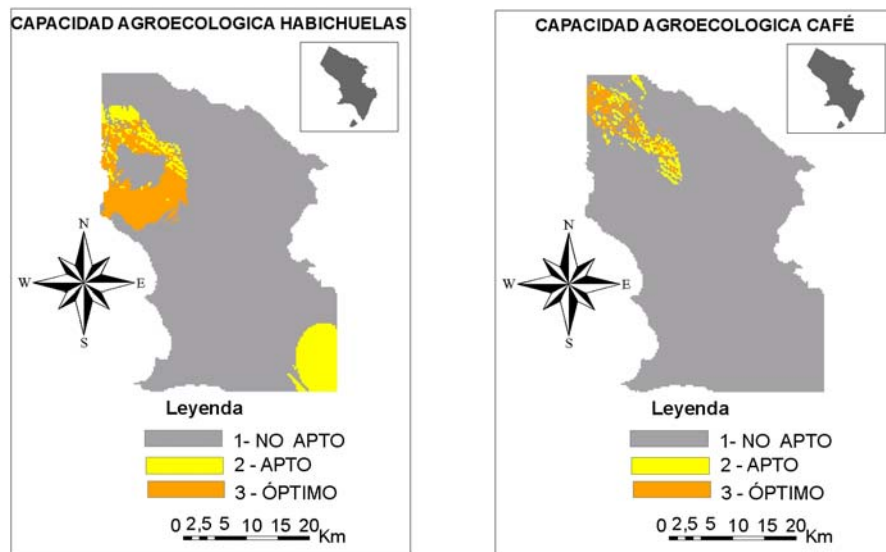


Figura 2. Mapa de la capacidad agroecológica del territorio para los cultivos de las habichuelas y café, obtenidos en función de un modelo de fertilidad y de otros factores limitantes del suelo (precipitaciones, temperatura, pendiente y altitud).