

## ZONIFICACIÓN DE SUELOS DE PANAMÁ EN BASE A NIVELES DE NUTRIENTES<sup>1</sup>

*José E. Villarreal<sup>2</sup>; Benjamín Name<sup>3</sup>; Rubiela García<sup>3</sup>*

### RESUMEN

En Panamá es necesario contar con mapas digitales sobre el estado de fertilidad de los suelos. El objetivo de este trabajo fue elaborar mapas de fertilidad de suelos de la República de Panamá, tomando como base los análisis de suelos realizados en el Laboratorio de Suelos del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Se elaboró una base de datos utilizando el ACCES 2000<sup>®</sup>. Debido a que los sitios de procedencia de las muestras no se encontraban georeferenciados, se utilizó la base de datos cartográfica de la Contraloría General de la República de Panamá para ubicar la posición geográfica en coordenadas UTM. Para localizar las muestras, se tomó como base los nombres de 1767 localidades. Dado que algunos puntos se superponían, se estableció un dato representativo, de acuerdo a su frecuencia. La base de datos con los resultados de los análisis de fertilidad fue incluida en el programa ARC/VIEW<sup>®</sup> en formato de puntos. Se generaron 15 mapas digitales resultado de la interpolación de datos de variables de suelo como aluminio, materia orgánica, cobre, hierro, saturación de aluminio, pH, fósforo, potasio, calcio, magnesio, manganeso, zinc, contenido de bases cambiables, contenido de microelementos y textura. La clasificación de la leyenda para cada mapa está en función de los niveles críticos utilizados por el laboratorio. En general, los suelos presentan deficiencia en fósforo, zinc, calcio y materia orgánica; elevada acidez y alta saturación de aluminio.

**PALABRAS CLAVES:** Mapas de fertilidad de suelos, mapas digitales, análisis de suelo, variables de suelo, niveles críticos de nutrimentos.

---

<sup>1</sup> Recepción: 25 de febrero de 2013. Aceptación: 23 de septiembre de 2013. Trabajo realizado en el Proyecto: Viabilidad del agronegocio (VIAGRO)

<sup>2</sup> Dr. en Ciencias del Suelo. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Central (CIAC).  
e-mail: jevilla38@gmail.com

<sup>3</sup> M.Sc. en Edafología. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Central (CIAC).  
e-mail: bname63@gmail.com

<sup>3</sup> M.Sc. en Sistema de Información Geográfica. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero (CIAA).  
e-mail: rubiela.garcia@gmail.com

## PANAMA SOILS ZONING BASED ON NUTRIENT LEVELS

### ABSTRACT

In Panama, it is necessary to have digital maps on the status of soil fertility. The objective of this work was to develop soil fertility maps of the Republic of Panama, based on soil tests done in the Soil Laboratory of the Agricultural Research Institute of Panama (IDIAP). A database was prepared with the results of analysis of samples from 1985 to 2003, using the ACCES 2000<sup>®</sup>. Since the sites of origin of the samples were not georeferenced, we used the map database of the General Contraloria of the Republic of Panama to locate the geographical position in UTM coordinates. To locate the samples, the names of 1767 locations were taken as a basis. Since some points overlapped many samples, a representative sample point was established according to its frequency. The database with the results of the fertility analysis was included in the ARC/VIEW<sup>®</sup> under point format. Fifteen digital maps were generated from interpolation result of soil variables aluminum, organic matter, copper, iron, aluminum saturation, pH, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, manganese, zinc, changeable base content, content of microelements and texture. The classification of the legend for each map is a function of the critical levels used by the laboratory. Generally, the soils are deficient in phosphorus, zinc, calcium and organic matter, with high acidity and high aluminum saturation.

**KEYWORDS:** Soil fertility maps, digital maps, soil analysis, soil variables, critical nutrient levels.

### INTRODUCCIÓN

El suelo constituye uno de los factores clave en la producción agropecuaria, sirviendo como la fuente de nutrimentos, oxígeno, agua y sostén de los cultivos. La distribución espacial de los nutrimentos y las condiciones en las que se encuentran, están influenciadas por los factores formadores de suelo y el manejo dado al mismo. Estos definen su disponibilidad y consecuentemente, el manejo de la fertilidad a través del uso de los abonos,

fertilizantes y enmiendas. De esta forma, los mapas de fertilidad de suelos, constituyen una herramienta base que permitirá una mejor toma de decisiones en el sector agrario.

Para optimizar el rendimiento de los cultivos en Panamá es necesario conocer la variación espacial de la fertilidad de suelos, a través de mapas digitalizados y georeferenciados con información detallada de los diferentes sitios poblados de todo el país.

Anteriormente, esta información se tenía en base de datos sin georeferenciar y poco actualizada. Países de Sur América, India, algunos Estados de Norteamérica y varios países de Europa y Asia, han elaborado mapas de fertilidad que han servido como punto de partida para practicar la agricultura de precisión (Fitts y Nelson 2004).

En Brasil, el IAPAR (2003) realizó la zonificación de cultivos de todo el Estado de Paraná, tomando como base mapas de estudios de suelos realizados con anterioridad en dicho Estado brasileño, que han servido para ordenar el uso del suelo en la región.

Los mapas de fertilidad de suelos son una herramienta básica para una futura zonificación de cultivos en el país, lo que permitirá seleccionar zonas que presentan suelos con características adecuadas para un determinado cultivo, además de otros datos que deben apoyar esta información como: clima, precipitación pluvial, topografía, uso actual del suelo, rendimiento, entre otros.

El objetivo de este trabajo fue elaborar mapas de fertilidad de suelos de la República de Panamá, en base a

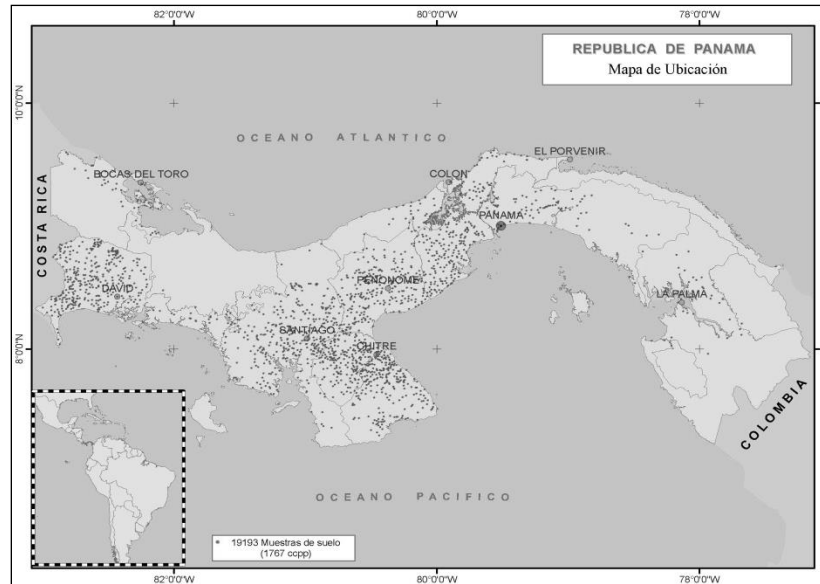
los análisis de suelos realizados por el Laboratorio de Suelos del IDIAP.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron Cartas Fotográficas de Panamá a la escala de 1:100 000; elaboradas por el Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia.

Los datos de los análisis de suelo de todo Panamá fueron suministrados por el Laboratorio de Suelos del IDIAP, ubicados en el Centro de Investigación Agropecuaria Central en Divisa. Esta información comprendía los registros desde el año 1986 hasta el 2004. Del total de 100 000 muestras contenidas en los archivos del laboratorio se utilizaron unas 19 000; ya que el resto no contaba con toda la información necesaria para poder ubicarlas físicamente en el mapa geopolítico de Panamá.

Los análisis de suelos se realizaron en el periodo señalado, siguiendo los procedimientos normalizados en el laboratorio de suelos (Villarreal y Name 1996). Además, se utilizó el mapa base Físico Político digital con la Cartografía de Panamá que contiene los datos georeferenciados (metros norte y este) de 1767 sitios poblados del país (Figura 1) (CGRP 2000).



Fuente: CGRP 2000.

Figura 1. Ubicación de 1767 sitios poblados de Panamá.

**Manejo de la base de datos:**

Las muestras de suelos fueron almacenadas en una base de datos digital que contenía 19 193 registros. Las características o propiedades del suelo se ubicaron en 15 variables por registro, según se indica en el Cuadro 1.

Adicionalmente, la estructura de datos contenía un campo de identificación (ID) para cada registro, nombre del poblado y su respectiva localización geográfica en el sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM).

**CUADRO 1. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO DETERMINADAS PARA CADA MUESTRA.**

REGISTRO	VARIABLE	REGISTRO	VARIABLE
1	Arena	9	pH
2	Limo	10	Fósforo (P)
3	Arcilla	11	Potasio (K)
4	Aluminio (Al)	12	Calcio (Ca)
5	Cobre (Cu)	13	Magnesio (Mg)
6	Zinc (Zn)	14	Materia orgánica (MO)
7	Hierro (Fe)	15	Saturación de aluminio (Sat. de Al)
8	Manganeso (Mn)		

Debido a que las 19 193 muestras, originalmente sólo presentaban nombres de poblados y no contenían coordenadas, éstas fueron georeferenciadas con la ubicación geográfica de 1767 centros poblados de todo el País, tomando como criterio la cercanía de las muestras a un poblado específico (Figura 1).

### Localización de las muestras de suelos en 1767 poblados de Panamá:

En la mayoría de los casos hubo superposición de datos, puesto que más de un registro contenía el mismo valor de coordenadas, causando algunos problemas en las primeras pruebas de interpolación (Cuadro 2).

**CUADRO 2. IDENTIFICACIÓN DE LOS POBLADOS CON SUS RESPECTIVAS COORDENADAS EN LA BASE DE DATOS.**

Reg	ID	Metros norte	Metros este	Nombre	pH	Fósforo	...	...
1	4	1 041 771.08	355 093.04	Boca de Drago	5.4	0.56		
2	5	1 032 825.46	363 243.89	Bocas del Toro	7.8	4.00		
3	5	1 032 825.46	363 243.89	Bocas del Toro	4.8	0.35		
4	5	1 032 825.46	363 243.89	Bocas del Toro	5.2	9.10		
5	5	1 032 825.46	363 243.89	Bocas del Toro	5.4	2.90		
6	19	1 033 439.18	366 956.99	Bastimentos	5.0	1.50		
7	31	1 031 546.27	366 032.22	Solarte	4.7	1.70		
8	31	1 031 546.27	366 032.22	Solarte	5.1	0.56		
9	31	1 031 546.27	366 032.22	Solarte	5.9	12.30		
10	31	1 031 546.27	366 032.22	Solarte	4.7	2.30		
11	31	1 031 546.27	366 032.22	Solarte	5.4	3.40		
12	31	1 031 546.27	366 032.22	Solarte	6.5	16.30		
...	...	...	...	...				
1997				1767 poblados				

Para optimizar la selección de datos previo a la interpolación, se tomó como base los niveles críticos utilizados en la interpretación de los análisis de suelos (Name y Cordero 1987), a partir del cual se procedió a clasificar la base de datos por variable, de acuerdo a los rangos del documento y se estableció una clase o valor a cada intervalo. Posteriormente, se determinó usar el valor o clase más frecuente de cada

variable (MODA) por centro poblado. Luego, se tomaron los valores medios de cada intervalo para la interpolación (Cuadro 3).

Finalmente, se obtuvo una nueva base de datos con 1727 registros conteniendo las clases de mayor frecuencia por variable y por centro poblado (Cuadro 4).

**CUADRO 3. VALORES PROMEDIOS DE CADA CLASE UTILIZADOS PARA LA INTERPOLACIÓN.**

pH	Clase	Valores para interpolación
0.0 - 3.9	1 Extremadamente ácido	1.95
4.0 - 5.2	2 Muy ácido	4.60
5.3 - 5.5	3 Ácido	5.40
5.6 - 5.9	4 Levemente ácido	5.75
6.0 - 6.9	5 Poco ácido	6.45
7.0	6 Neutro	7.00
7.1 ó más	7 Alcalino	7.10

**CUADRO 4. BASE DE DATOS DE SUELOS POR SITIO POBLADO, VARIABLES, CLASE Y VALOR INTERPOLADO.**

Reg	ID	Metros norte	Metros este	Nombre	pH	pH clase	pH interpolación
1	4	1 041 771.08	355 093.04	Boca de Drago	5.4	3	5.4
2	5	1 032 825.46	363 243.89	Bocas del Toro	4.8	2	4.6
3	19	1 033 439.18	366 956.99	Bastimentos	5.0	2	4.6
4	31	1 031 546.27	366 032.22	Solarte	4.7	2	4.6
...	...	...	...	...			
1767				1767 poblados			

#### Proceso de interpolación y generación de mapas:

El proceso de interpolación estima valores intermedios entre valores conocidos, en tal sentido, es importante manejar un distanciamiento o resolución adecuada entre los puntos a interpolar, esto permite obtener un mayor detalle en la visualización de los resultados.

Mediante el uso de coordenadas de la nueva base de datos, se obtuvo un archivo vectorial tipo PUNTO denominado *Shape File* (Arcview 3.2<sup>®</sup>), el cual muestra la distribución espacial de los 1767 poblados a nivel de todo el país. El *Shape File* permitió obtener las

distancias mínimas entre los poblados (puntos cercanos), proporcionando así una resolución adecuada para la interpolación (200 m<sup>2</sup>).

Las variables de suelos fueron interpoladas individualmente, generando archivos de formato raster tipo GRID (ESRI-GIS<sup>®</sup>, ARCINFO NT 9.0<sup>®</sup>) con tamaño de píxel de 200 m<sup>2</sup> para todo Panamá. En el caso de la textura, se separaron los componentes arena, arcilla y limo, y con cada uno se procedió a la interpolación de los datos con los puntos adyacentes.

El mapa de textura se obtuvo de la combinación de los grids arena, limo y arcilla, usando el comando COMBINE (ESRI-Arcinfo NT/grid) y utilizando un programa que emula al triángulo textural (United States Department of Agriculture, 1992); se generaron los polígonos con la distribución espacial, considerando los límites sobre la base cartográfica digital del Instituto de Investigaciones de Ciencias Ambientales - Sistemas de Información Geográfica (ESRI-GIS), resultando en mapas para cada atributo.

El método de interpolación utilizado fue el de Interpolación Inversa a la Distancia (IDW), el cual estima los puntos del modelo, realizando una asignación de pesos a los datos del entorno en función inversa a la distancia que los separa del punto en cuestión. De esta forma, se acepta que los puntos más próximos al centroide "z" intervengan de manera más relevante en la construcción del valor definitivo para ese punto. De aquí, se deduce que la elección del exponente de ponderación (en este caso 0.5) es determinante en la contribución de los puntos circundantes al punto problema: entre mayor sea el exponente, más contribuyen los puntos próximos.

La fórmula general para la interpolación es la siguiente:

$$z_j = \frac{\sum z_i / d_{ij}^\beta}{\sum 1 / d_{ij}^\beta}$$

Donde:

$z_j$  = Punto problema;

$z_i$  = Punto del entorno;

$\beta$  = Exponente de ponderación;

$d_{ij}$  = Distancia entre los puntos.

Las herramientas de sistema de información geográfica (SIG) utilizadas para la manipulación, procesamiento, análisis y visualización de los datos fueron ARCVIEW 3.2, módulo SPATIAL ANALYST 1.0 y ARCINFO NT 9.0 (ESRI-GIS).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se generaron 15 mapas digitales, 12 contienen resultados de la interpolación de datos de variables de suelo (Al, MO, Cu, Fe, Sat. de Al, pH, P, K, Ca, Mg, Mn y Zn), uno de textura y dos con la combinación de las bases cambiables y los microelementos.

La clasificación de la leyenda para cada mapa, está basada en los niveles críticos utilizados por el Laboratorio de Suelos del IDIAP, para interpretar los resultados obtenidos en los análisis de suelos (Cuadro 5).

**CUADRO 5. NIVELES CRÍTICOS UTILIZADOS POR EL LABORATORIO DE SUELOS DEL IDIAP PARA LA INTERPRETACIÓN DE LOS ANÁLISIS DE SUELOS.**

<b>SATURACIÓN DE ALUMINIO (%)</b>					
	0.0 - 30.0			BAJO	
	30.1 - 70.0			MEDIO	
	70.1 - 100.0			ALTO	
Elemento	Valores	Interpretación	Elemento	Valores	Interpretación
P	0 - 18	Bajo	Fe	0 - 25.0	Bajo
	19 - 54	Medio		25.1 - 75.0	Medio
	> 55	Alto		> 75.0	Alto
K	0 - 44	Bajo	Mn	0 - 14.0	Bajo
	45 - 150	Medio		14.1 - 49.0	Medio
	> 151	Alto		> 49.1	Alto
Ca	0 - 2.0	Bajo	Zn	0 - 4.0	Bajo
	2.1 - 5.0	Medio		4.1 - 14.0	Medio
	> 5.1	Alto		> 14.1	Alto
Mg	0 - 0.6	Bajo	pH	0.0 - 3.9	Extremadamente ácido
	0.7 - 1.5	Medio		4.0 - 5.1	Muy ácido
	> 1.6	Alto		5.3 - 5.5	Ácido
Al	0 - 0.5	Bajo		5.6 - 5.9	Levemente ácido
	0.6 - 1.0	Medio		6.0 - 6.9	Poco ácido
	1.0 - 3.0	Alto		7.0	Neutro
Cu	0 - 2.0	Bajo	> 7.1	Alcalino	
	2.1 - 6.0	Medio	MO	0 - 2.0	Bajo
	> 6.1	Alto		2.1 - 6.0	Medio
		> 6.1		Alto	

La textura de los suelos se presenta muy variable en todo el país. En las provincias centrales predominan los suelos del tipo franco arcilloso y franco arenoso hacia la región occidental (Figura 2).

La disponibilidad de nutrientes en el suelo está en función al pH; a niveles de pH ácidos existe una mayor disponibilidad de aluminio, cobre, hierro, manganeso y zinc, sucediendo lo

contrario con el fósforo, calcio, magnesio y potasio (Name y Villarreal 2004).

Los suelos en Panamá son predominantemente ácidos y se presentan en las zonas con mayores volúmenes de precipitación (3500 mm o más) (ETESA 2008). Los suelos muy ácidos cubren la mayor proporción de la superficie panameña, seguido de los ácidos, los levemente ácidos y los poco ácidos (Figura 3).



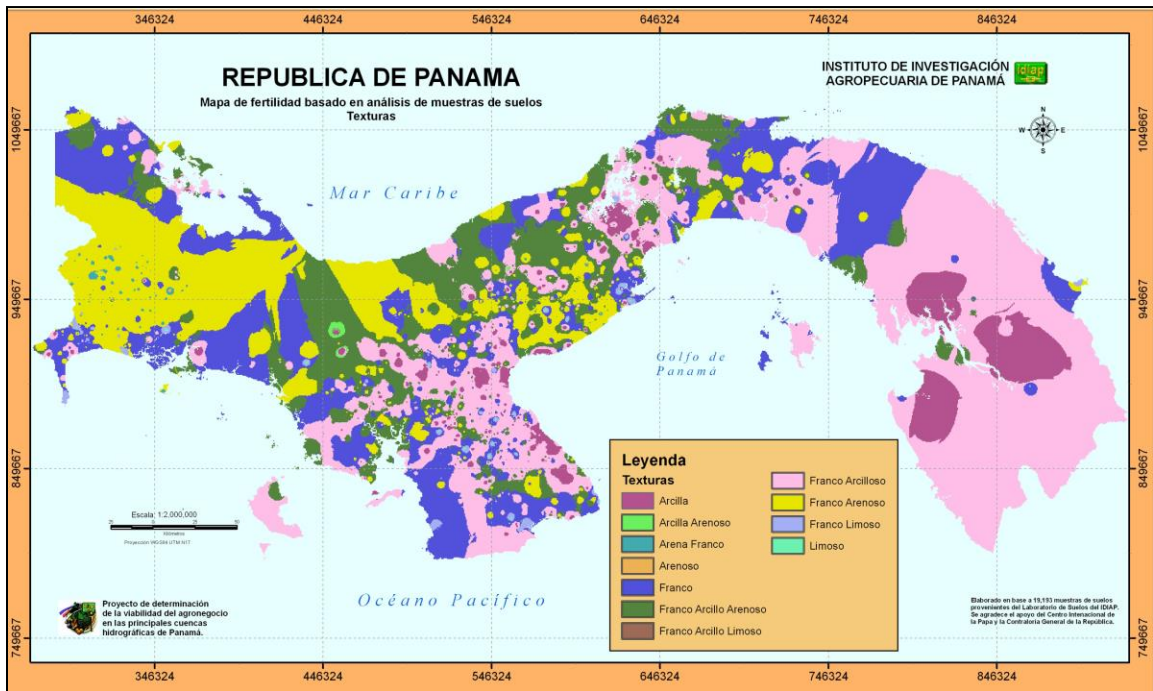


Figura 2. Mapa de textura de los suelos de Panamá.

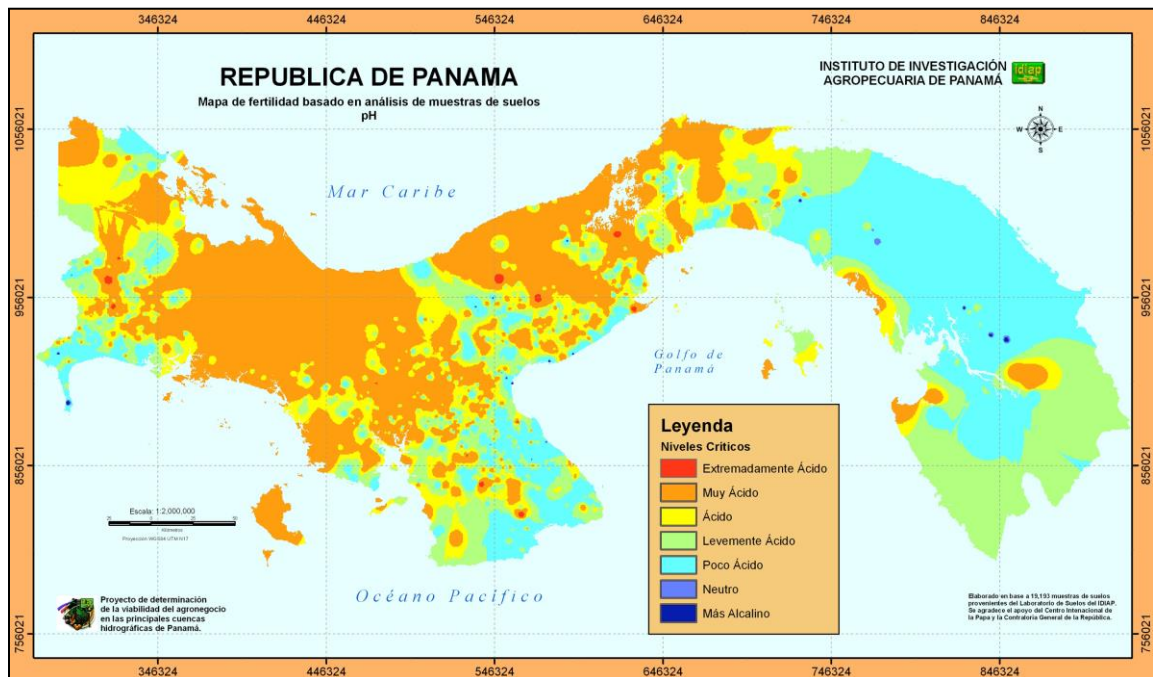


Figura 3. pH de los suelos de Panamá.

En la parte central de Panamá, se tiene una gran cantidad de óxido de hierro y aluminio, los cuales son altamente fijadores de fósforo. Se tienen niveles de acidez superiores al 30% de saturación de aluminio y están incluidos en las categorías de nivel medio y en menor proporción a niveles altos de saturación (Figuras 4 y 5).

El tipo de arcilla predominante, es la caolinita; la misma tiene una alta capacidad de fijación del P, por lo que el nivel predominante, generalmente, es bajo (0-18 mg·kg<sup>-1</sup> de suelo) y en menor proporción los niveles medios (18-54 mg·kg<sup>-1</sup> de suelo) (Figura 6).

En la comarca Ngäbe Buglé, donde la precipitación es superior a los 3500 mm, el nivel medio de materia orgánica combinada con el alto contenido de aluminio y un nivel medio - alto de Sat. de Al, confieren a los suelos niveles de acidez muy altos; así mismo, se tiene niveles bajos de Ca y Mg; elementos que son lixiviados fácilmente. También se presentan valores altos de Fe y Mn.

En las zonas con menor precipitación (1000 - 1300 mm/año), como la costa del Pacífico, (Herrera, Los Santos, Coclé y en algunas áreas de las provincias

de Chiriquí y Veraguas), donde se concentra la mayor superficie de producción agropecuaria, se tienen suelos con poca acidez, con un nivel bajo de saturación de aluminio y una menor cantidad de nutrientes lixiviados (calcio, magnesio y potasio). Las zonas donde se tiene una mayor intensidad de uso de la tierra, con cultivos de agro-exportación, se les ha aplicado dosis altas de fertilizantes, como por ejemplo las áreas bananeras, donde se observó que tienen niveles medios de fósforo.

El potasio no constituye un factor limitante en los suelos de Panamá (Figura 7), pues están bien provistos, predominando los niveles medios (44-151 mg·kg<sup>-1</sup> de suelo). Esto se ha visto reflejado igualmente en los ensayos realizados por el IDIAP en suelos a nivel nacional (Name y Villarreal 2004).

A diferencia del Mg que se presenta con niveles medios de concentración en todo el país, el calcio es mayormente deficitario y se observó con valores aumentados en regiones como el Arco Seco, Tonosí, Chepo, entre otras. Es notable la coincidencia entre las áreas con bajos niveles de Ca y Mg (Figuras 8, 9 y 15) y los niveles altos de Sat. de Al, contenido de Al y niveles de pH bajos.

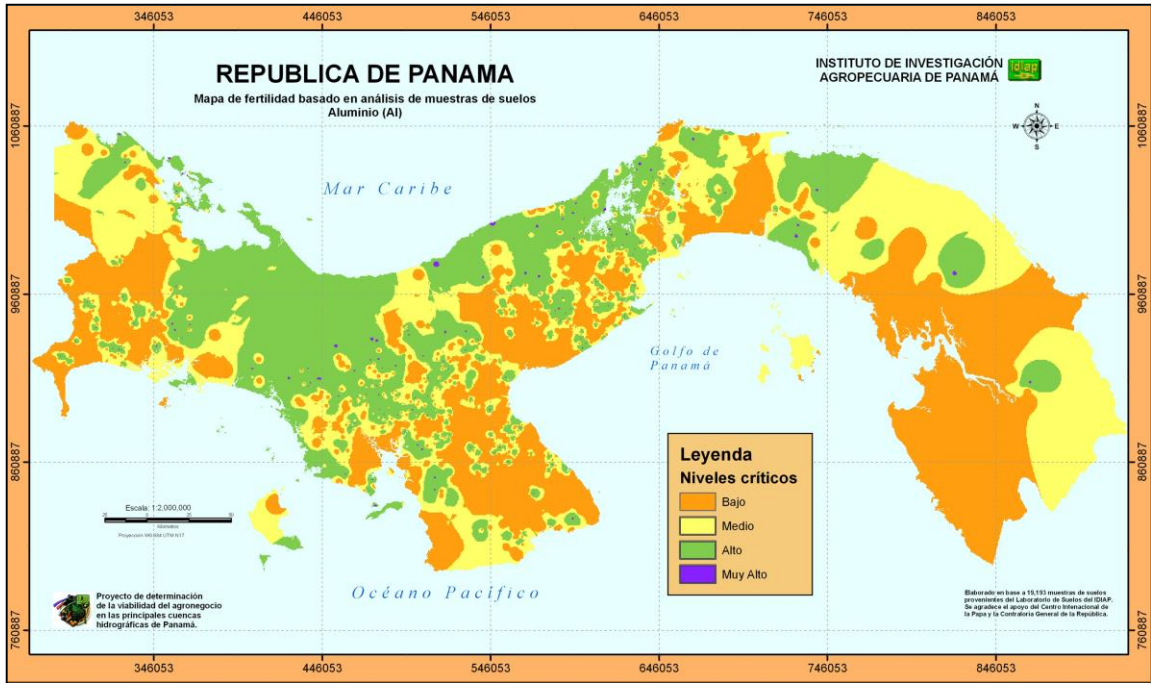


Figura 4. Contenido de aluminio en suelos de Panamá.

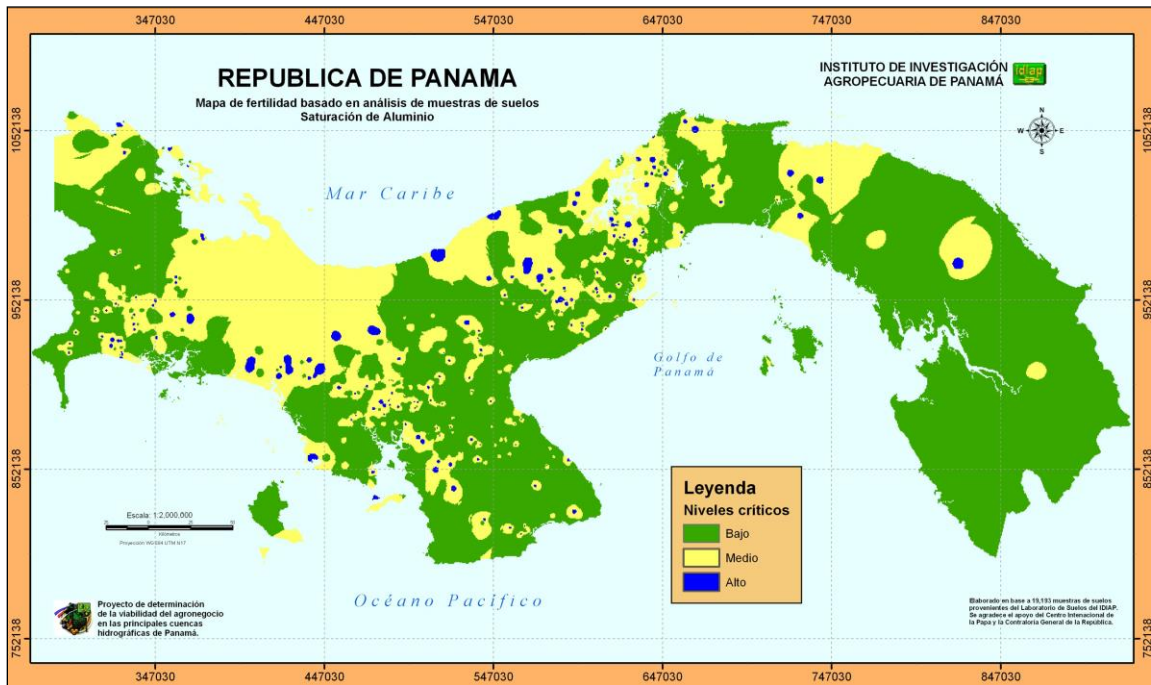


Figura 5. Saturación de aluminio en suelos de Panamá.

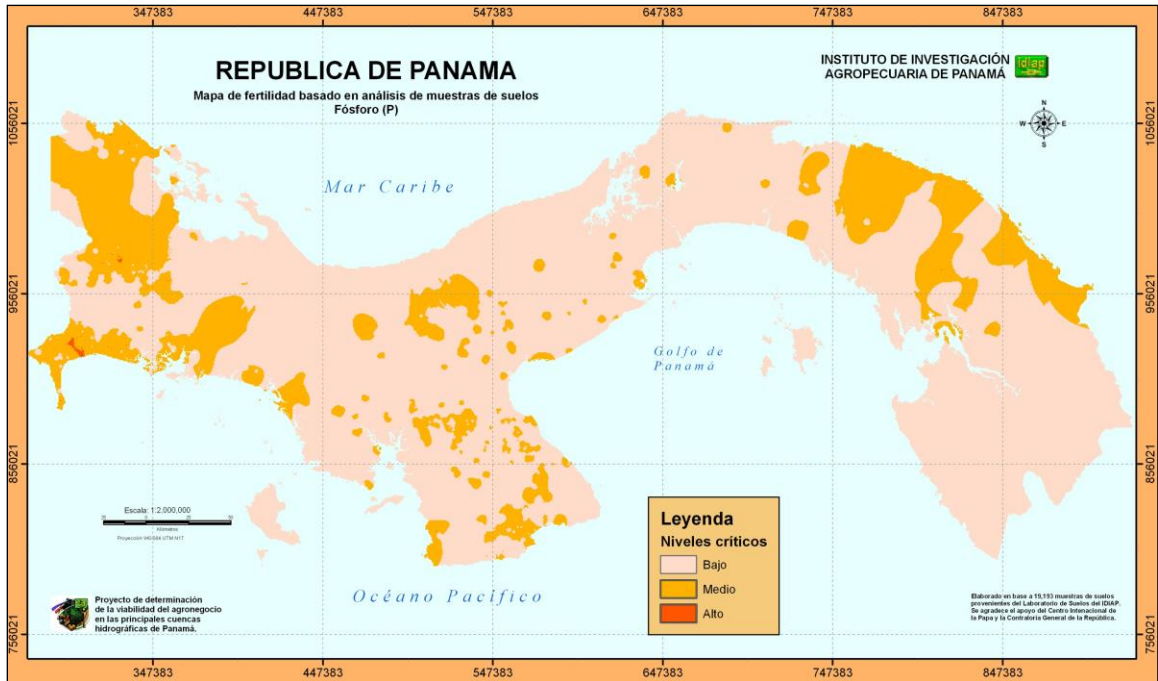


Figura 6. Contenido de fósforo en suelos de Panamá.

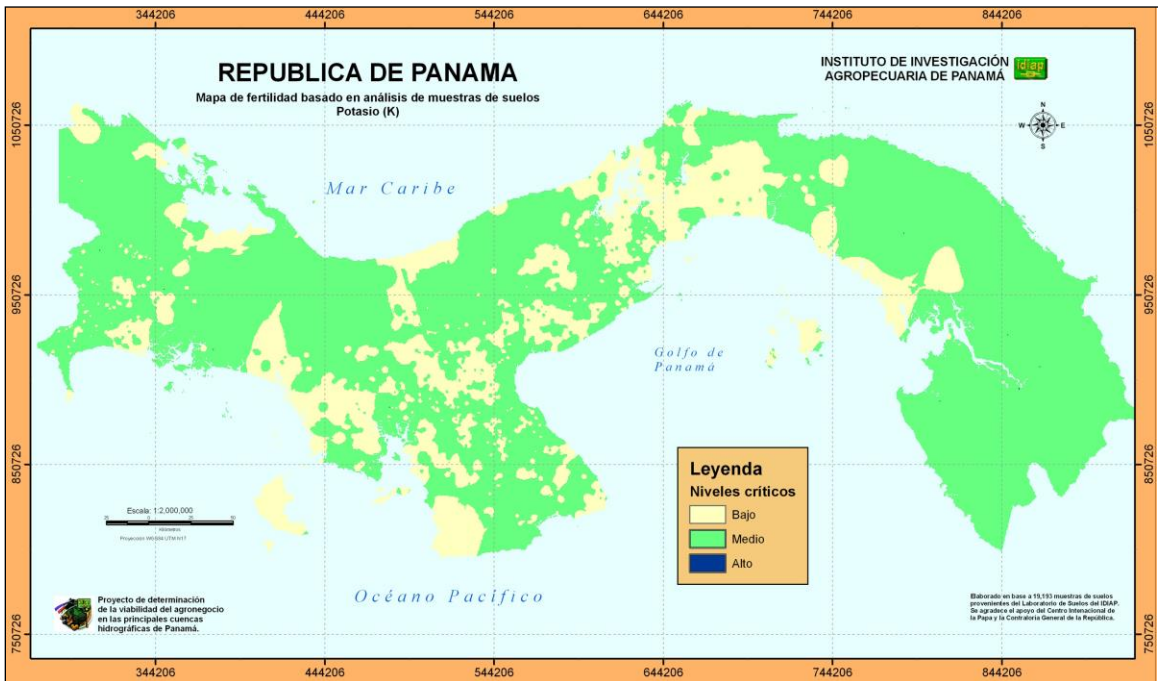


Figura 7. Contenido de potasio en suelos de Panamá.

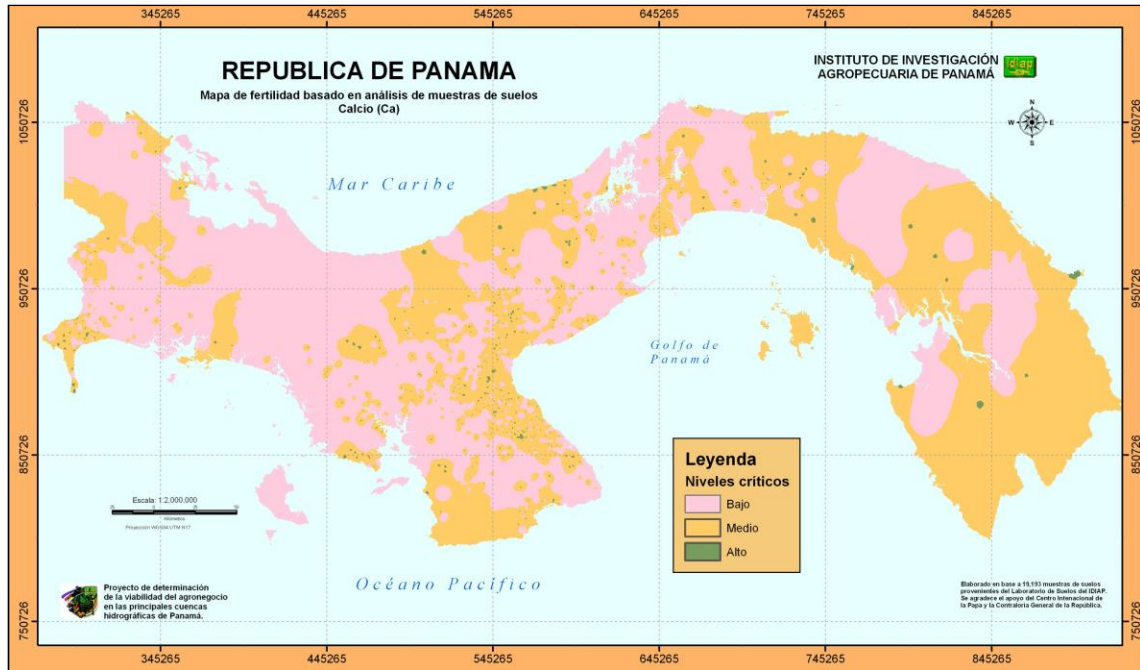


Figura 8. Contenido de calcio en suelos de Panamá.

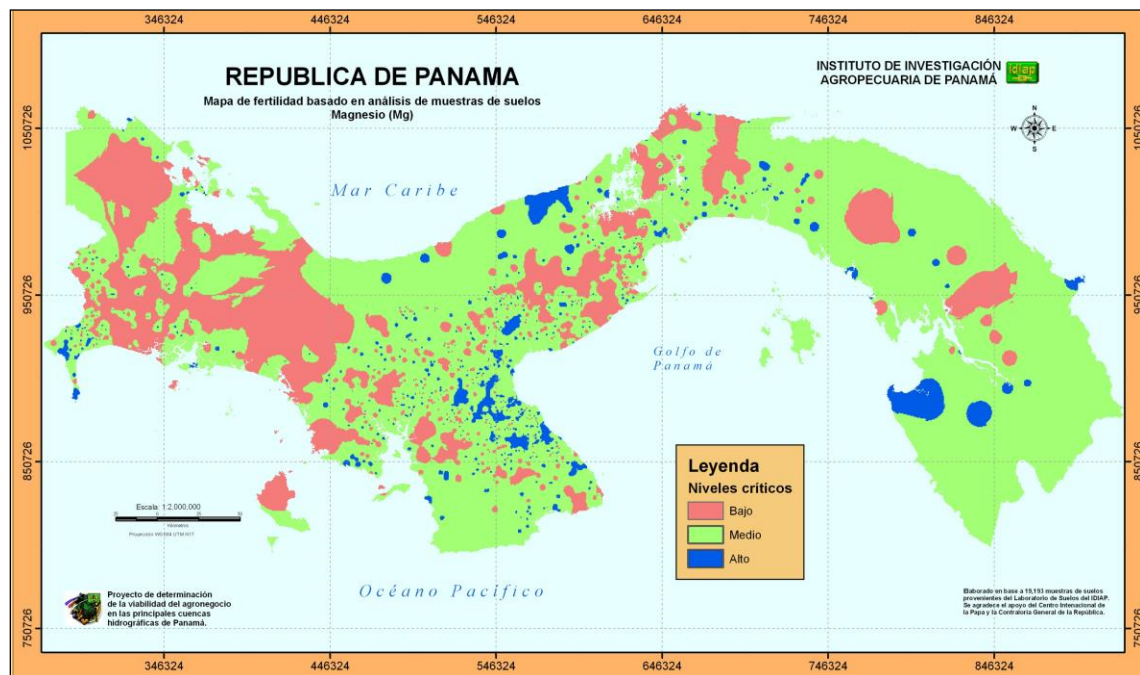


Figura 9. Contenido de magnesio en suelos de Panamá.

El mapa de materia orgánica refleja, claramente, el estado de deterioro actual en que se encuentran la mayor parte de los suelos del país (Figura 10). Como se aprecia en el mismo, el área de mayor uso agrícola es la costa del Pacífico, se encuentra con niveles bajos de materia orgánica, lo que constituye un indicador de producción poco sostenible y malas prácticas agrícolas de manejo del suelo.

En la zona del Darién, área geológicamente diferente del resto del país, se tienen suelos de mejor fertilidad; sin embargo, se cuenta con pocas muestras de suelos, por lo que cualquier recomendación sobre la base de los mapas elaborados, debe tomarse de modo referencial. Se requiere de un muestreo de suelos intensivos, a fin de poder obtener una cartografía más representativa de la zona.

Los mapas de los nutrientes hierro y manganeso (Figuras 11 y 12), corroboran la información presentada en los mapas de pH y saturación de aluminio. En el país hay vastas zonas con niveles medios de hierro y manganeso, siendo éstos muy abundantes en los suelos tropicales. Cabe destacar que mediante el encalado

(aplicación de carbonato de calcio al suelo), realizado en forma sistemática y de acuerdo a los niveles de aluminio encontrados en el suelo, también se puede controlar el contenido excesivo de estos dos elementos.

El microelemento zinc es deficitario en más del 90% del territorio panameño con niveles bajos ( $0-4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  suelo). Del mismo modo, el cobre tiene el mismo comportamiento con niveles bajos ( $0-2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  suelo). Este fenómeno se presenta a pesar de que en el país predominan los suelos con pH ácido que favorece su disponibilidad, de allí el cuidado que se debe tener con la nutrición a base de estos dos micronutrientes (Figuras 13, 14 y 16).

Este trabajo, se convertirá en una importante herramienta, para la toma de decisiones y planificación del uso de los suelos, de acuerdo a sus capacidades; igualmente para el establecimiento de programas y proyectos en áreas, de acuerdo a sus condiciones de fertilidad, lo que permitirá una adecuada y eficiente orientación de la inversión para el desarrollo de zonas estratégicas en el sector agropecuario.

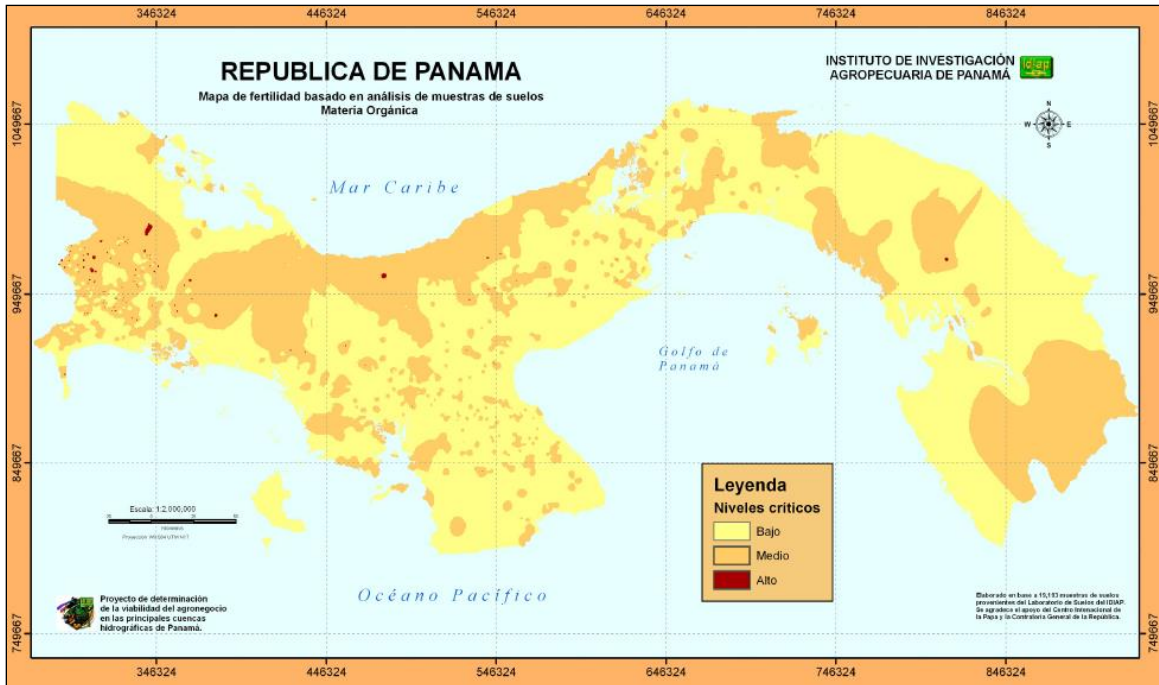


Figura 10. Contenido de materia orgánica en suelos de Panamá.

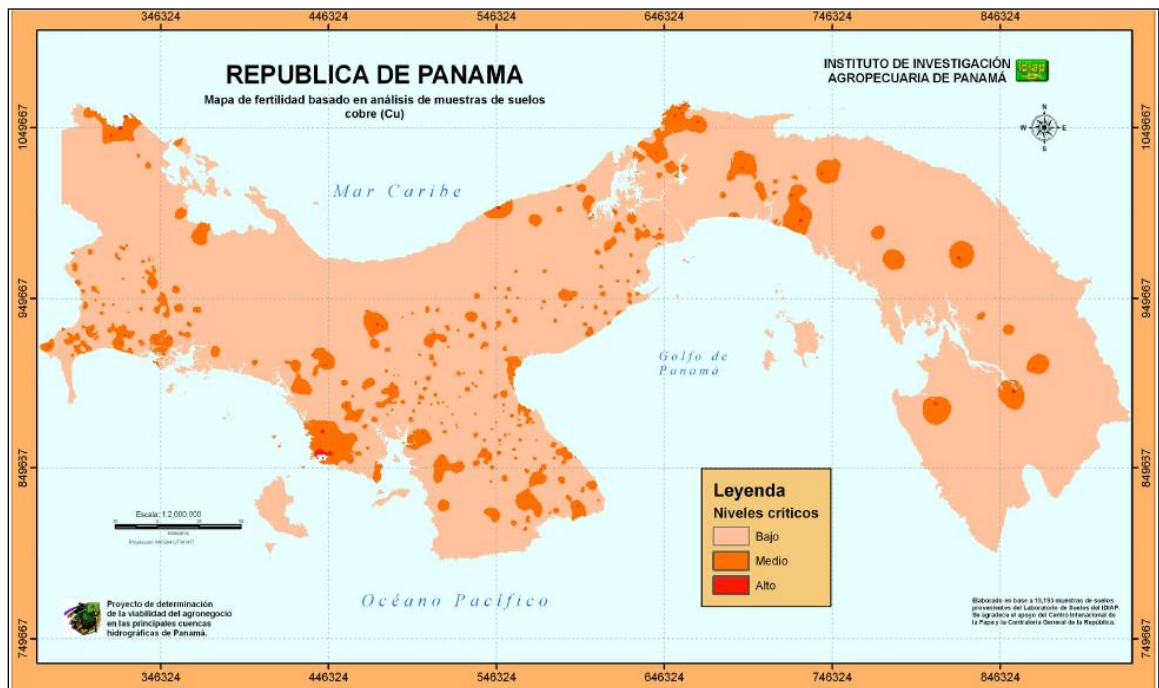


Figura 11. Contenido de cobre en suelos de Panamá.

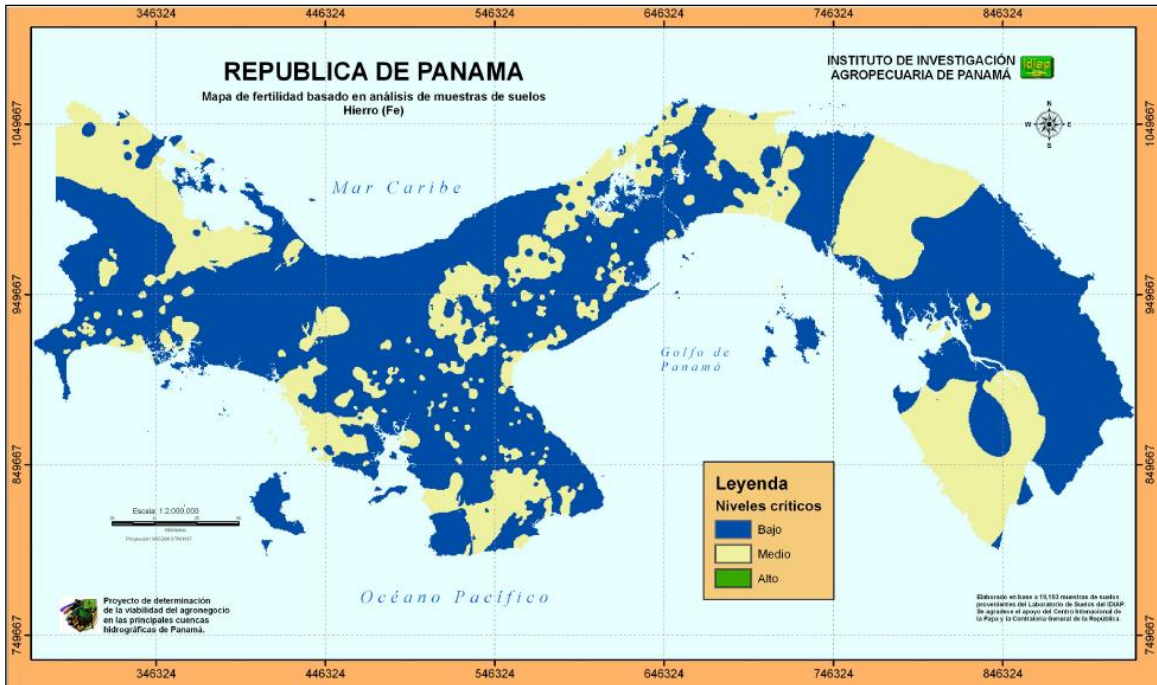


Figura 12. Contenido de hierro en suelos de Panamá.

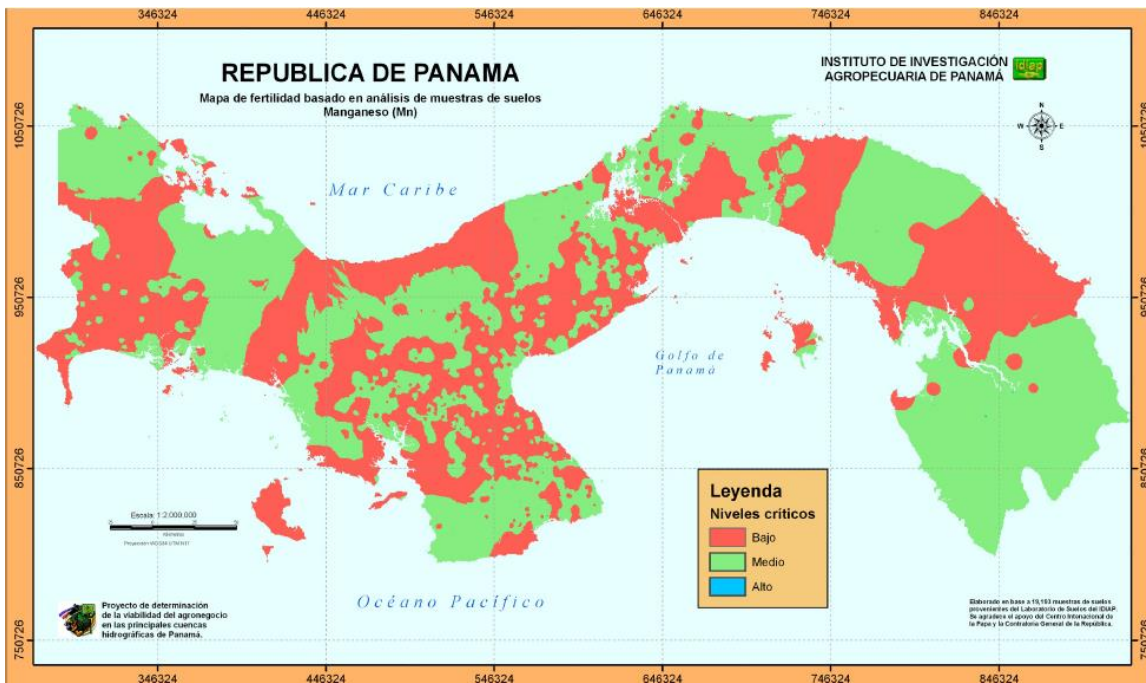


Figura 13. Contenido de manganeso en suelos de Panamá.



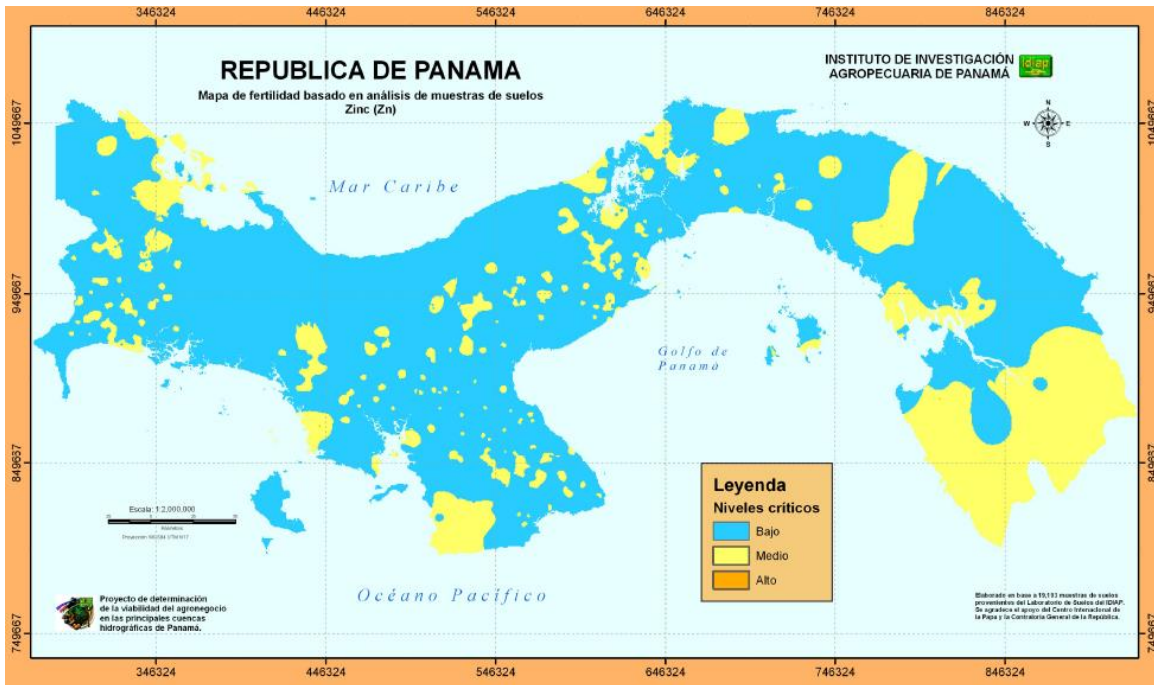


Figura 14. Contenido de zinc en suelos de Panamá.

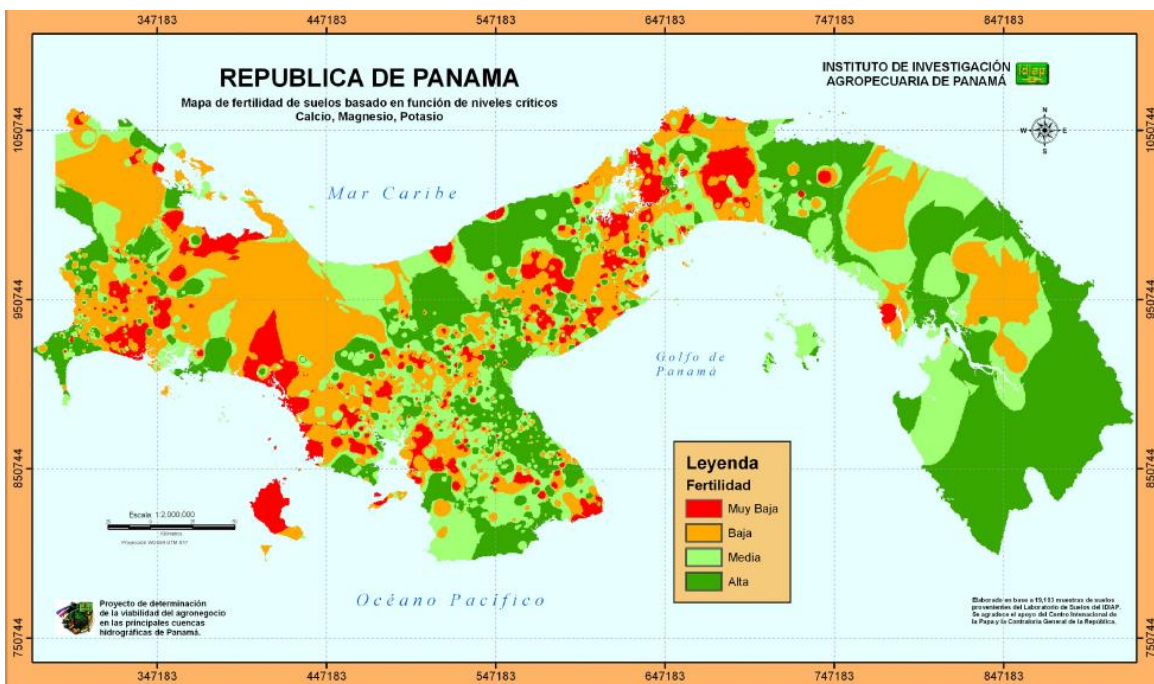


Figura 15. Bases intercambiables en suelos de Panamá.

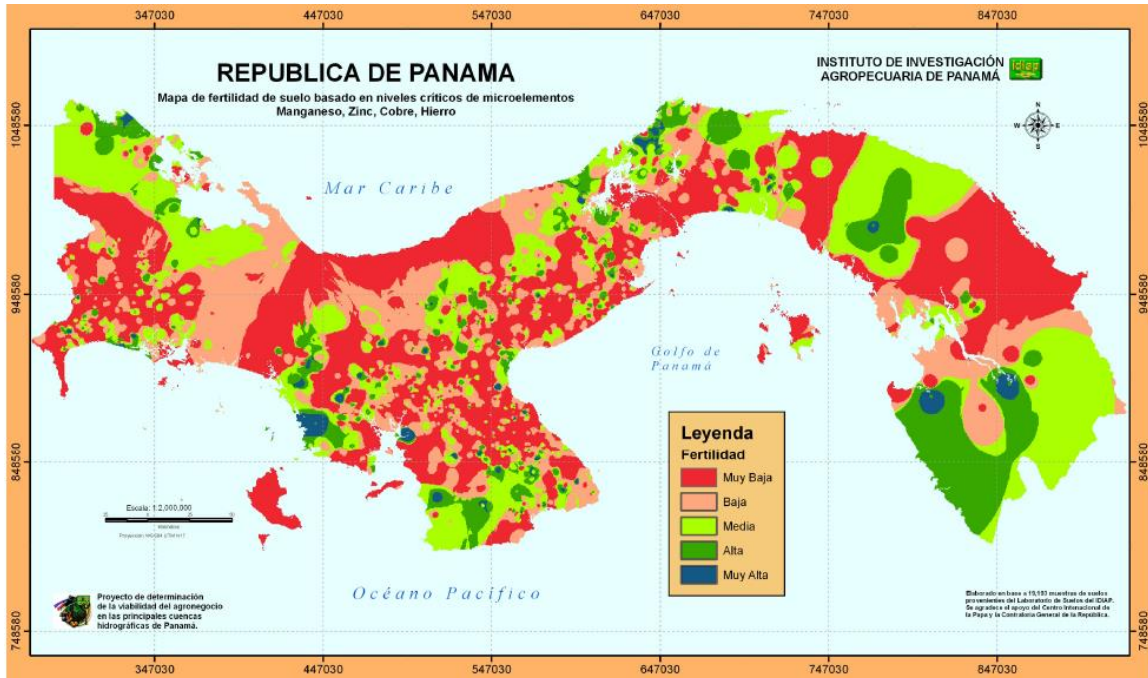


Figura 16. Disponibilidad de micronutrientes en suelos de Panamá.

### CONCLUSIONES

- En Panamá existen amplias zonas vulnerables al manejo que recibe el suelo y al cambio climático, predominando terrenos con bajo contenido de materia orgánica, pH ácido y bajo contenido de bases (K, Ca, Mg).
- Se cuenta con una herramienta útil que sirve de apoyo para la planificación y la toma de decisiones, asimismo, permite establecer el riesgo de la producción agropecuaria a una escala operativa a nivel nacional y regional.

- Los mapas muestran las características de fertilidad como aptas para cultivos de agroexportación y también áreas donde no es recomendable la actividad agropecuaria.

### RECOMENDACIONES

- Se requiere ampliar la toma de muestras georeferenciadas en zonas con producción agropecuaria económicamente importantes para obtener mapas a escalas más detalladas que permitan la toma de decisiones con mayor precisión.
- Incorporar estos datos a un sistema de información geográfica con datos

biofísicos, ambientales y econométricos de la producción que faciliten el diagnóstico y la toma de decisiones buscando alcanzar la competitividad y sostenibilidad del agronegocio.

### **BIBLIOGRAFÍA**

- CGRP (Contraloría General de la República de Panamá). 2000. Mapa físico de sitios poblados de Panamá. Contraloría General de la República.
- ETESA (Empresa de Transmisión Eléctrica). 2008. Datos climáticos de la red nacional de estaciones meteorológicas (en línea). Panamá. Consultado 7 may 2010. Disponible en <http://www.etsa.gob.pa>.
- Fitts, JW; Nelson, WL. 2004. Soil characteristics through chemical test and digital maps. *Advances in Agronomy*. 106:234-267.
- IAPAR (Instituto Agronómico do Paraná). 2003. Zoneamento agrícola do estado do Paraná. Paulo Caramori, et al. (eds.) Londrina, IAPAR. 76 p.
- Name, B; Cordero, A. 1987. Alternativas para uso y manejo de suelos ácidos en Panamá. In *Compendio de Resultados de Investigación* presentados en la Jornada Científica. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, Región Central. 23 p.
- Name, B; Villarreal, J. 2004. Compendio de resultados de investigación del programa de suelos del IDIAP. Estudios de suelos Ultisoles y Alfisoles realizados en las estaciones experimentales de Calabacito, Guarumal y Río Hato. IDIAP. 229 p.
- United States Department of Agriculture. Soil Conservation Service. 1992. *Soil Survey Laboratory Methods Manual*. Soil Survey Laboratory Staff. Soil Survey Investigations N°42. Version 2.0. 400 p.
- Villarreal, JE; Name, B. 1996. Técnicas analíticas del Laboratorio de Suelos del IDIAP. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, Región Central. Divisa. 110 p.