

Mapas de fertilidad como herramienta para zonificación de suelos en Panamá

José E. Villarreal^{1*}

- Se gestionó una base de datos de 19 200 análisis de suelos en todo el territorio de Panamá, con información de nueve elementos disponibles, materia orgánica (MO), pH y textura.
- Sobre la base de datos se crearon mapas de elemento disponible en categorías generales (alto, medio, bajo).
- Los mapas indican áreas con deficiencias nutricionales y limitantes químicas. Estos mapas son instrumentos de interpretación y planificación del manejo de suelos para cultivos con altos rendimientos.

Introducción

El suelo es uno de los factores claves en la producción agropecuaria, sirve tanto como fuente y reserva de nutrimentos, pero además ahí las raíces encuentran oxígeno, agua y sostén para los cultivos. La oferta de nutrimentos varía espacialmente en función de los factores formadores del suelo y del manejo dado al mismo. Una medición adecuada de la disponibilidad de nutrientes se convierte en una herramienta para mejorar el manejo de abonos, fertilizantes y enmiendas por zonas o unidades espaciales. Los mapas de fertilidad de suelos son herramientas base que permiten la toma de decisiones, pero igualmente pueden anticipar diferencias entre suelos de distinta naturaleza y apoyar la evaluación del uso del suelo.

Con el fin de planificar mejor el uso del suelo y mejorar el rendimiento de los cultivos en Panamá, era necesario conocer la variabilidad espacial de los nutrimentos en el suelo, utilizando para ello mapas digitalizados y georreferenciados con información detallada de diferentes localidades en todo el país. Anteriormente, información similar se guardaba en bases de datos sin georreferenciar y poco actualizada.

Por ejemplo, en la India, en varios países de Sur América, Europa, Asia y algunos estados de Norte América, se han elaborado mapas de fertilidad que han servido como punto de partida para practicar la agricultura de precisión (Delalibera et al., 2012; Bonfante et al., 2015; Zeraatpisheh et al., 2017).

En Brasil, el IAPAR (1998) realizó la zonificación de cultivos de la cuenca hidrográfica del Riberao do Meio II en el estado de Paraná, ubicado en el sur del país. El estudio sirvió para ordenar el uso del suelo y zonificar la producción agrícola en esa región.

Los mapas de fertilidad de suelo son una herramienta básica para una futura zonificación de cultivos. Permiten seleccionar zonas que presentan suelos con características adecuadas para un determinado cultivo,

complementariamente con información como el clima, topografía, uso actual del suelo, rendimientos, entre otros.

El objetivo del estudio fue elaborar mapas digitales de fertilidad para Panamá, basados en los resultados de análisis de muestras de suelo durante 30 años.

Materiales y métodos

Se utilizaron cartas fotogramétricas de Panamá a la escala de 1:100000, elaboradas por el Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia. La base de datos consistió en 100 000 resultados de análisis de muestras de suelo realizados en el Laboratorio de Fertilidad de Suelo del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) entre 1984 y 2004. De ese total, se utilizaron 19 193 resultados ya que el resto no contaba con la información necesaria para ubicar dentro del mapa geopolítico de Panamá.

Además, se utilizó el mapa base físico político digital de Panamá (CGRP, 2000) que contiene los datos georreferenciados de todos los 1767 poblados existentes en el país, lo que sirvió para ubicar los sitios que estaban cerca a las fincas donde se había muestreado el suelo.

Se elaboraron mapas de 15 variables de fertilidad del suelo: Composición textural, pH, contenido de materia orgánica (MO), aluminio (Al), porcentaje de saturación de aluminio, contenido de fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), manganeso (Mn), hierro (Fe), cobre (Cu) y zinc (Zn), suma de bases intercambiables y uno de la combinación de todos los micronutrimentos (Villarreal et al., 2013).

Las variables fueron clasificadas como nivel alto, medio o bajo de acuerdo con los niveles críticos utilizados por el Laboratorio de Suelos del IDIAP (**Tabla 1**) para interpretar los análisis de suelos (Name y Cordero, 1987; Villarreal y Name, 1996).

¹ Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá – IDIAP

* Autor de contacto. Correo electrónico: jevilla38@gmail.com

Tabla 1. Niveles críticos utilizados por el Laboratorio de Fertilidad de Suelos del IDIAP.

Elemento	Valores	Interpretación
P mg L ⁻¹	0 - 18	Bajo
	19 - 54	Medio
	> 55	Alto
K mg L ⁻¹	0 - 44	Bajo
	44.1 - 151	Medio
	> 151	Alto
Ca cmol ₍₊₎ kg ⁻¹	0 - 2.0	Bajo
	2.1 - 5.0	Medio
	> 5.0	Alto
Mg cmol ₍₊₎ kg ⁻¹	0 - 0.6	Bajo
	0.7 - 1.6	Medio
	> 1.6	Alto
Cu mg L ⁻¹	0 - 2.0	Bajo
	2.1 - 6.0	Medio
	> 6.1	Alto
Al cmol ₍₊₎ kg ⁻¹	0 - 0.5	Bajo
	0.6 - 1.0	Medio
	1.1 - 3.0	Alto
Fe mg L ⁻¹	> 3.0	Muy alto
	0 - 25	Bajo
	25.1 - 75	Medio
Mn mg L ⁻¹	> 75	Alto
	0 - 14	Bajo
	14.1 - 49	Medio
Zn mg L ⁻¹	> 49	Alto
	0 - 4	Bajo
	4.1 - 14	Medio
pH relación 1:2.5	> 14	Alto
	< 5.1	Muy ácido
	5.2 - 5.9	Ácido
	6.0 - 6.9	Poco ácido
	7.0	Neutro
Materia Orgánica %	7.1 - 8.0	Alcalino
	> 8.0	Muy alcalino
	0 - 2.0	Bajo
	2.1 - 6.0	Medio
	> 6.0	Alto

P, K, Cu, Fe, Zn y Mn extraídos con Mehlich-1. Materia orgánica por medio de digestión húmeda de Walkley-Black. Ca, Mg y Al intercambiables extraídos con KCl 1N.

Elaboración de la base de datos georreferenciada

Cada muestra fue georreferenciada de acuerdo con el sitio poblado más cercano (1767 localidades). La base de datos estaba compuesta por 19 193 resultados de análisis de fertilidad del suelo. En aquellos sitios donde se superponían varias muestras de suelo se utilizó la moda, o sea, el valor que más se repetía. Finalmente se obtuvo una nueva base de datos de 1727 registros conteniendo las clases de mayor frecuencia por variable.

En la base de datos cada sitio aparece con su localización geográfica en el sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM), número de registro, provincia, distrito, corregimiento, sitio poblado, y valores de cada variable del suelo determinada.

Proceso de interpolación y generación de los mapas

Se obtuvo un archivo vectorial tipo punto ("*shape file*") que muestra la distribución espacial de los 1767 poblados de todo el país. Esto permitió obtener una resolución adecuada para la interpolación (200 m²).

Las variables de suelo fueron interpoladas individualmente, generando archivos en formato raster tipo GRID (ESRI-GIS®, ARC/INFO NT 9.0®) con tamaño de pixel de 200 m² para todo Panamá. Se utilizó el método de Interpolación Inversa a la Distancia (IDW) el cual estima los puntos del modelo, realizando asignación de pesos a los datos del entorno en función inversa a la distancia que los separa del punto en cuestión. O sea, mientras más cercano al punto z, más contribuye.

Las herramientas del sistema de información geográfica (SIG) utilizadas fueron: ARCVIEW 3.2, modulo SPATIAL ANALYST 1.0 y ARC/INFO NT 9.0 (ESRI-GIS).

Resultados

Se generaron 15 mapas digitales, 12 de ellos contienen resultados de la interpolación de datos de variables de suelo (pH, MO, Al, porcentaje de saturación de Al, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu y Zn), uno de textura y dos con la combinación de las bases intercambiables y los micronutrientes agregados (**Figuras 1 al 15**, respectivamente) (Villarreal et al., 2013).

Estos quince mapas se convierten en una herramienta de visualización gráfica muy útil para la toma de decisiones gubernamentales y la planificación a nivel regional de políticas agropecuarias, concentrar recursos públicos y privados. Asimismo, se puede zonificar el riesgo de la producción agropecuaria a una escala operativa a nivel nacional, regional y local, planificar el uso de los suelos de acuerdo con sus propiedades, establecer programas y proyectos en determinadas áreas basados en sus condiciones de fertilidad.

En la península de Azuero, localizada al sur del país en el denominado Arco Seco de Panamá, región productora de maíz, utilizando como base el mapa de textura del suelo, se correlacionó el rendimiento del cultivo de

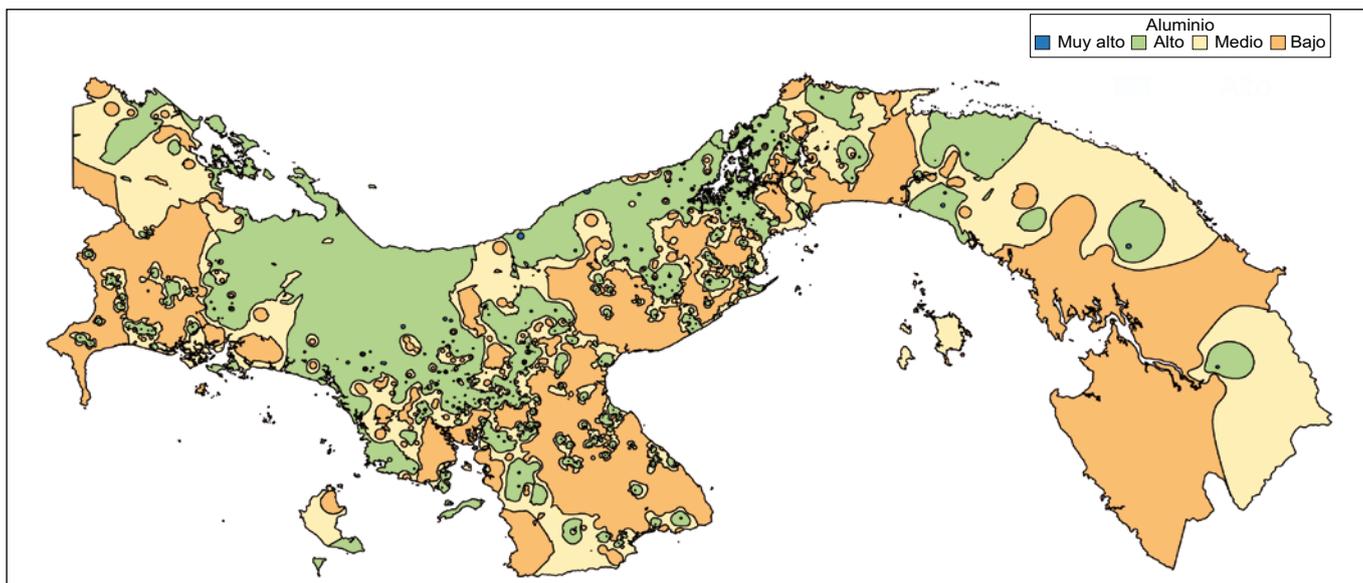


Figura 1. Contenido de aluminio (Al) en los suelos de Panamá.

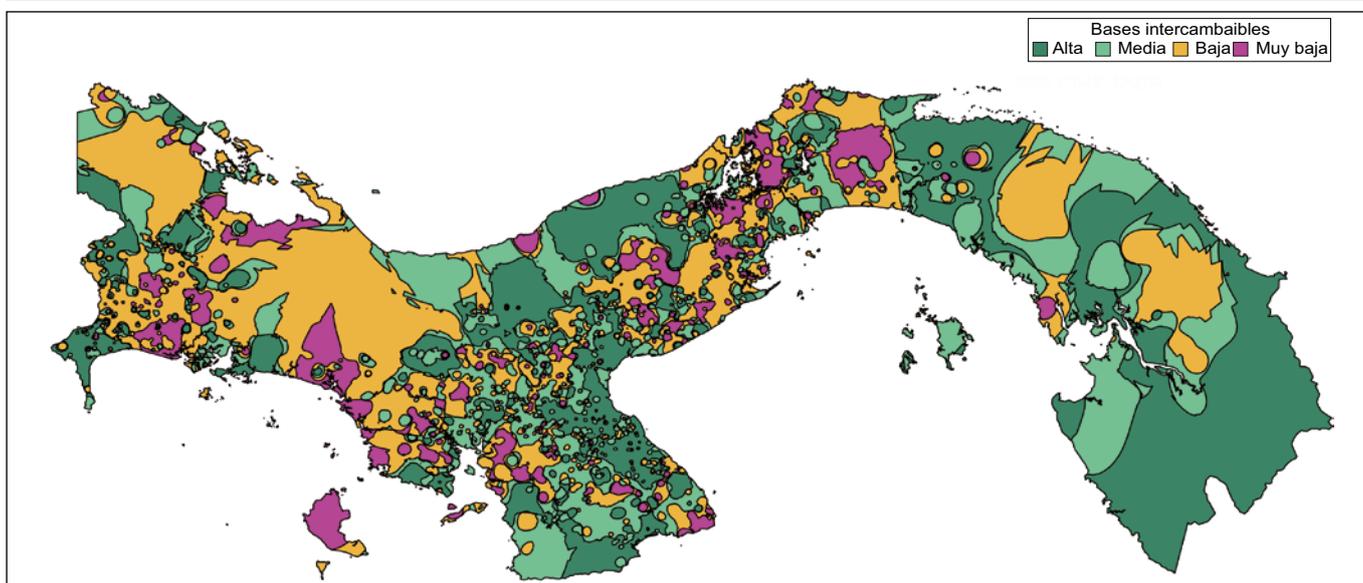


Figura 2. Bases intercambiables en los suelos de Panamá.

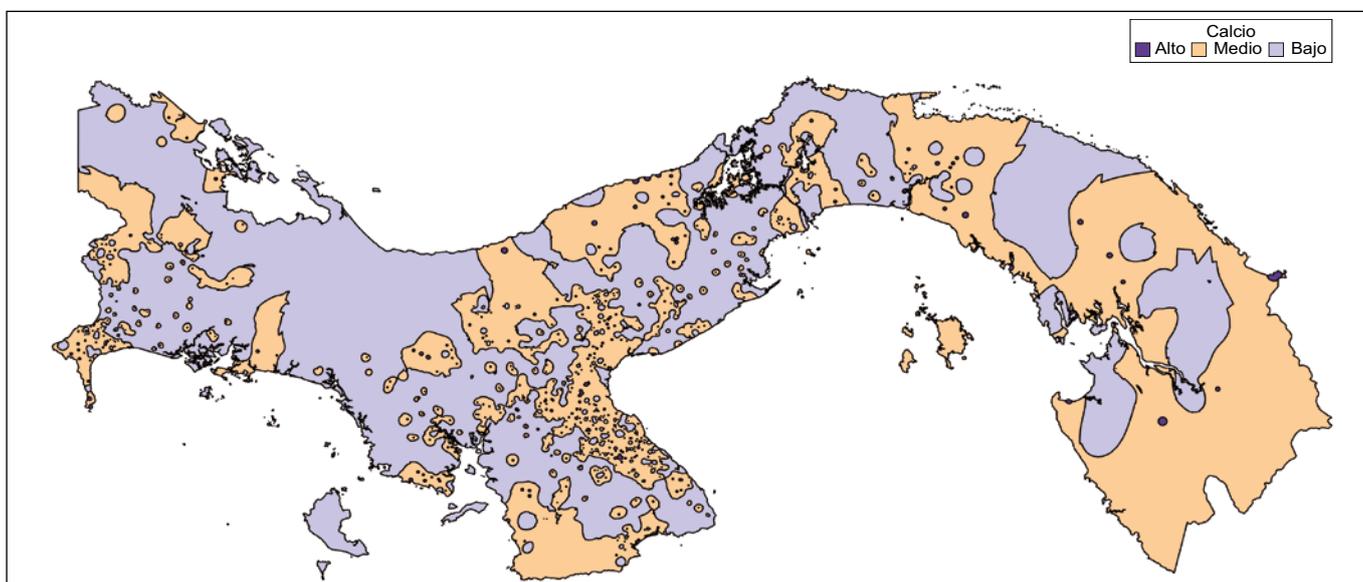


Figura 3. Contenido de calcio (Ca) en los suelos de Panamá.

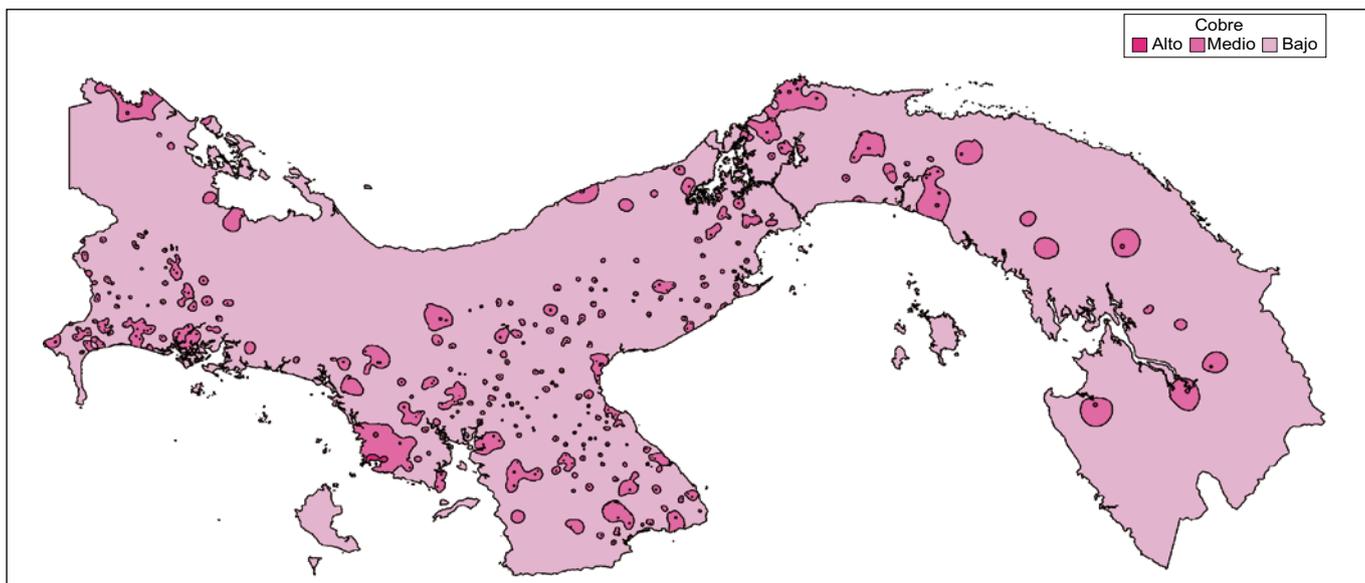


Figura 4. Contenido de cobre (Co) en los suelos de Panamá.

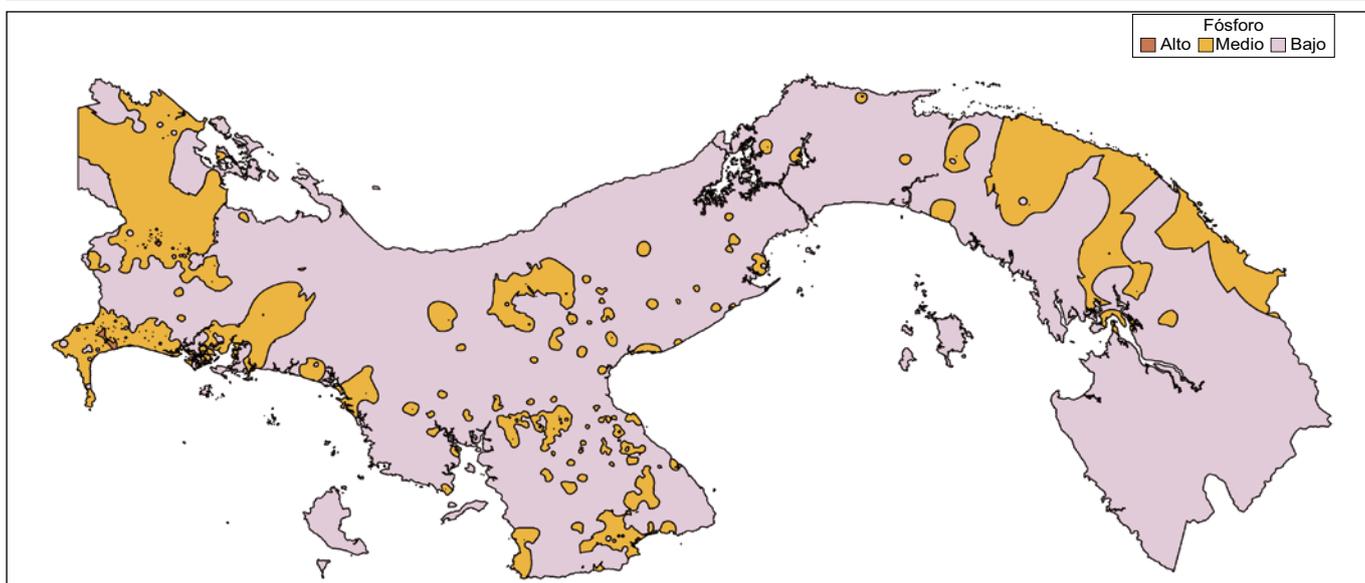


Figura 5. Contenido de fósforo (P) en los suelos de Panamá.

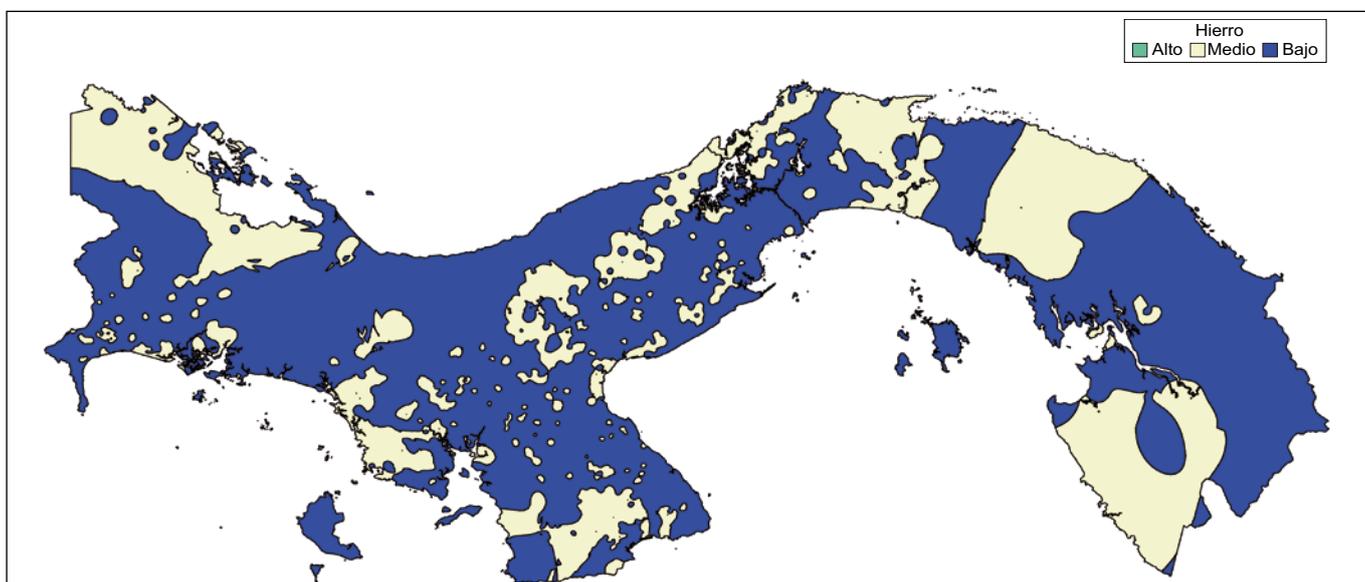


Figura 6. Contenido de hierro (Fe) en los suelos de Panamá.

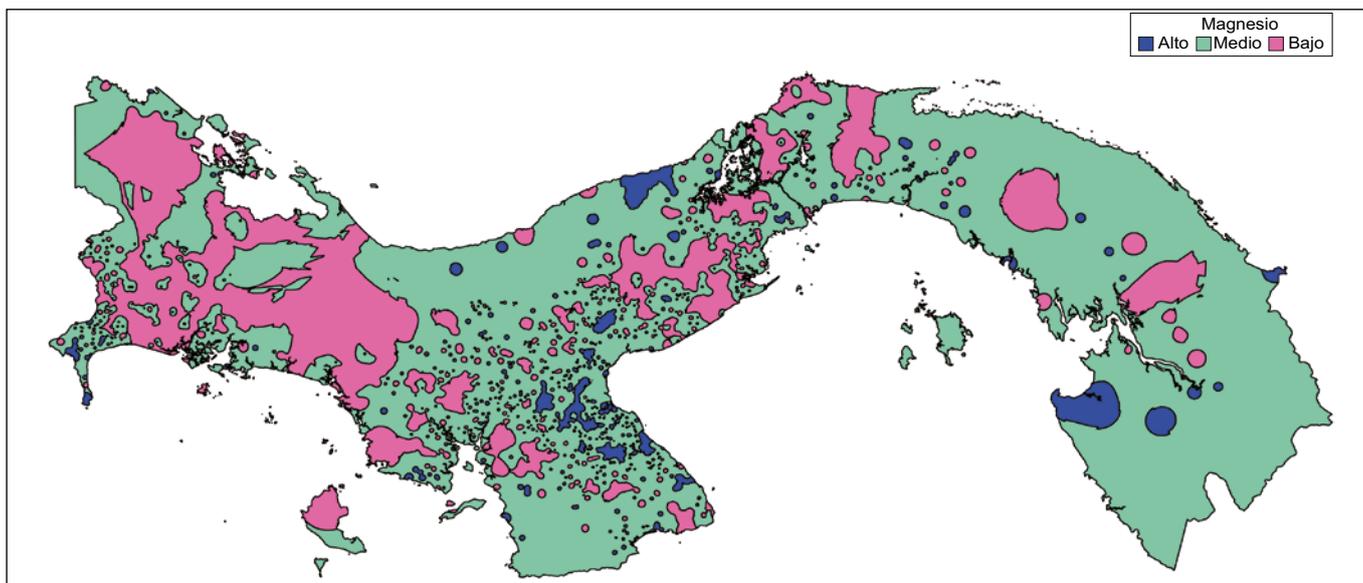


Figura 7. Contenido de magnesio (Mg) en los suelos de Panamá.

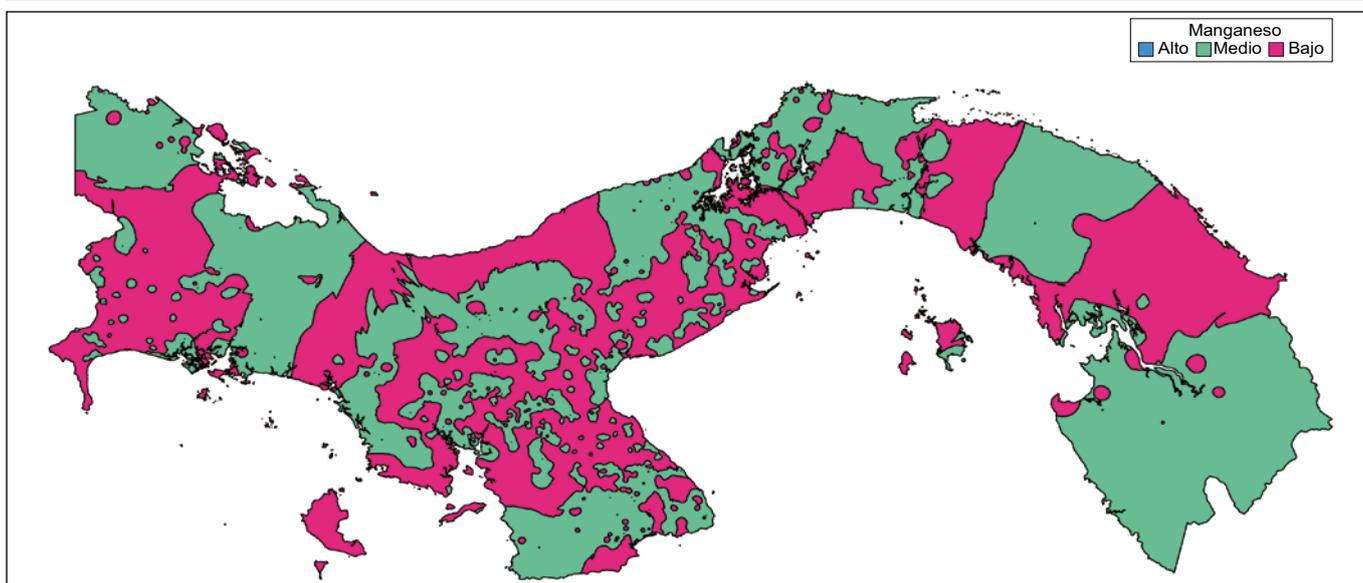


Figura 8. Contenido de manganeso (Mn) en los suelos de Panamá.

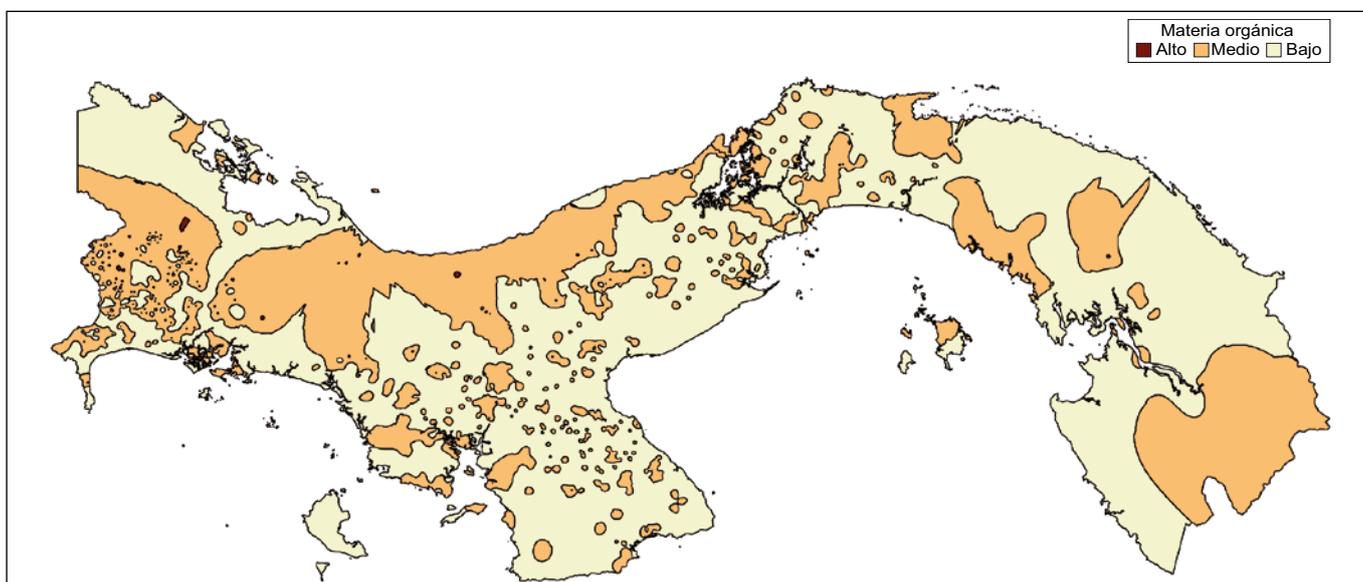


Figura 9. Contenido de materia orgánica (MO) en los suelos de Panamá.

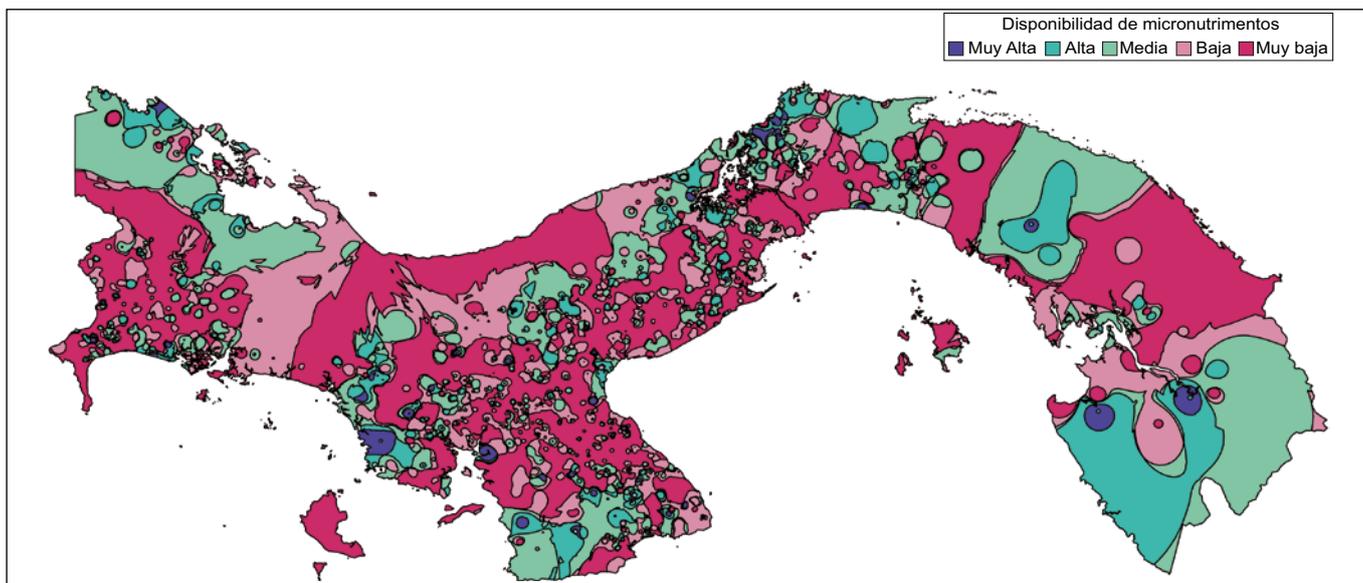


Figura 10. Disponibilidad de micronutrientos en combinación (disponibilidad interpretada) en los suelos de Panamá.

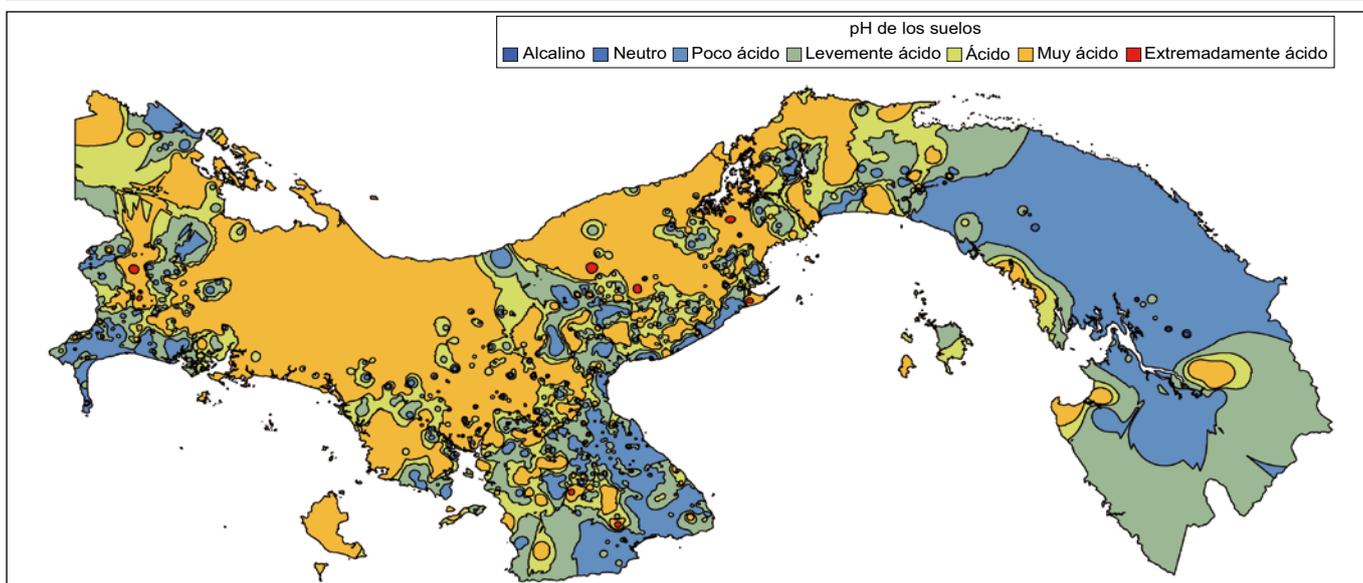


Figura 11. Contenido de pH de los suelos de Panamá.

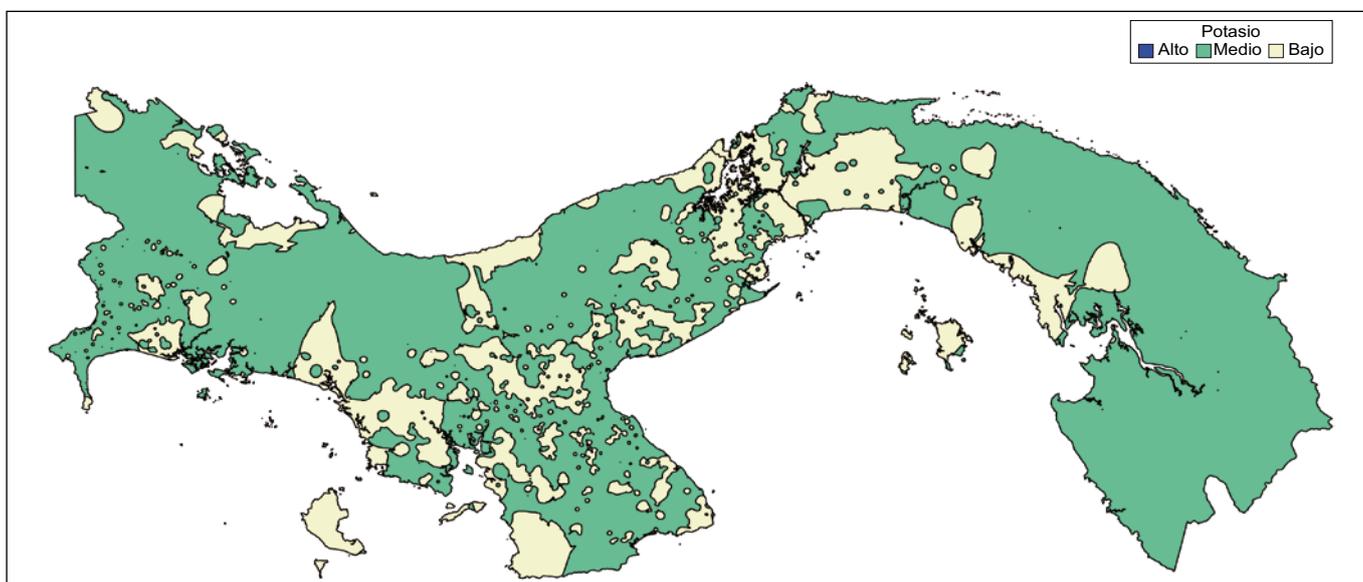


Figura 12. Contenido de potasio (K) en los suelos de Panamá.

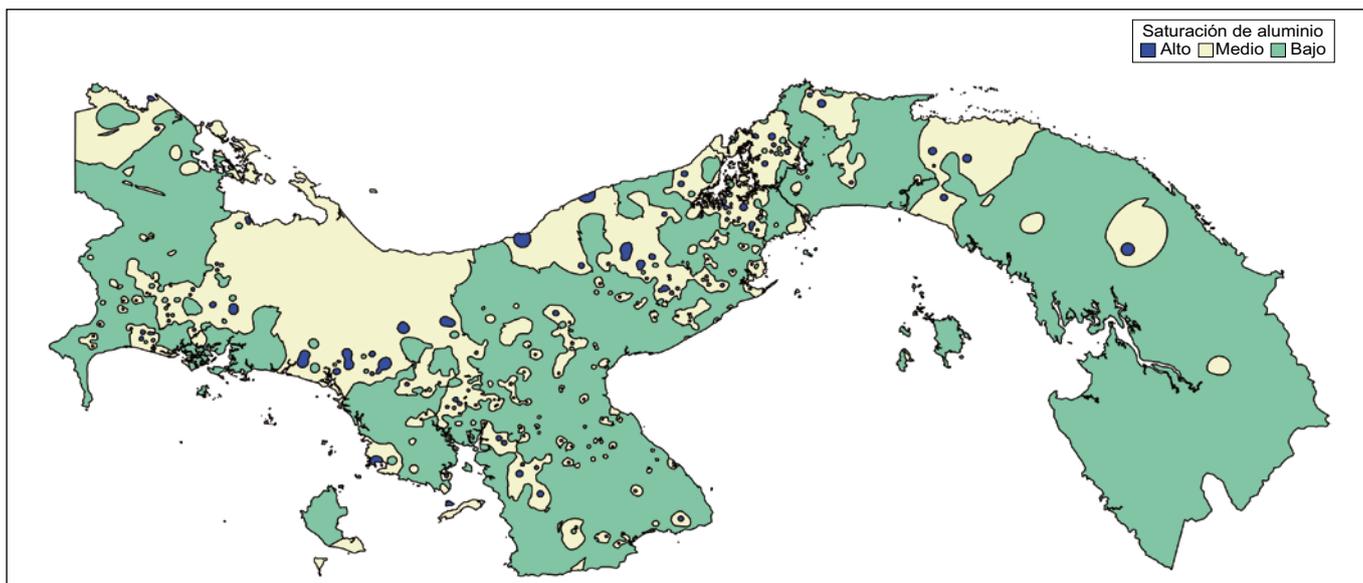


Figura 13. Contenido de saturación de aluminio en los suelos de Panamá.

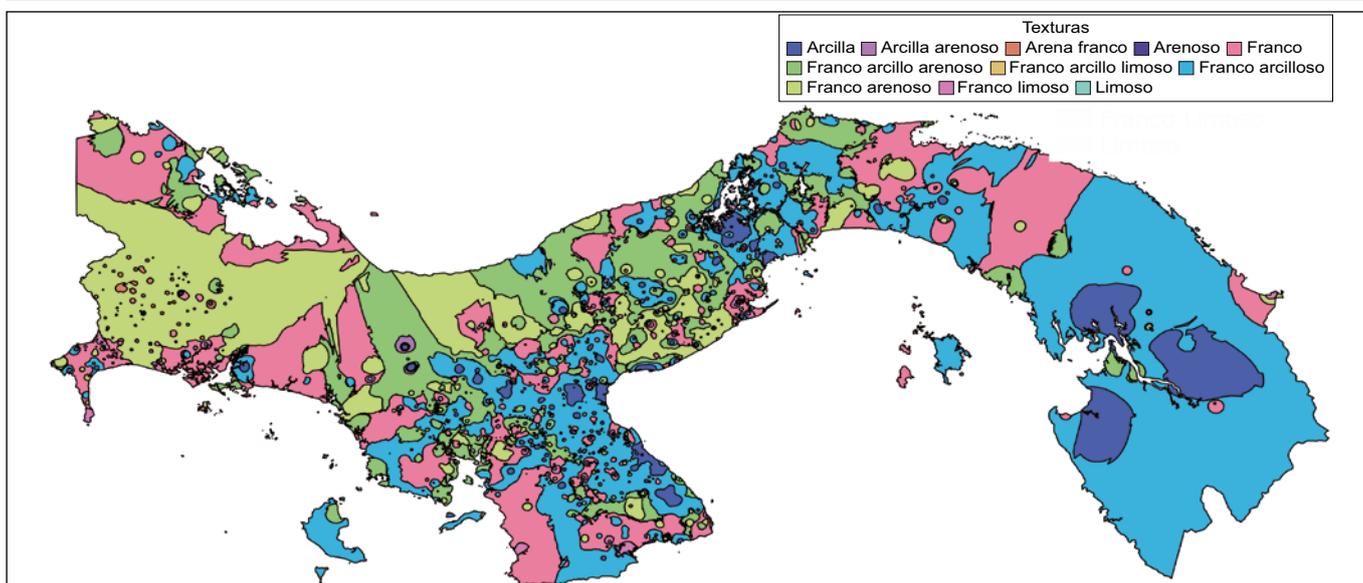


Figura 14. Contenido de texturas en los suelos de Panamá.

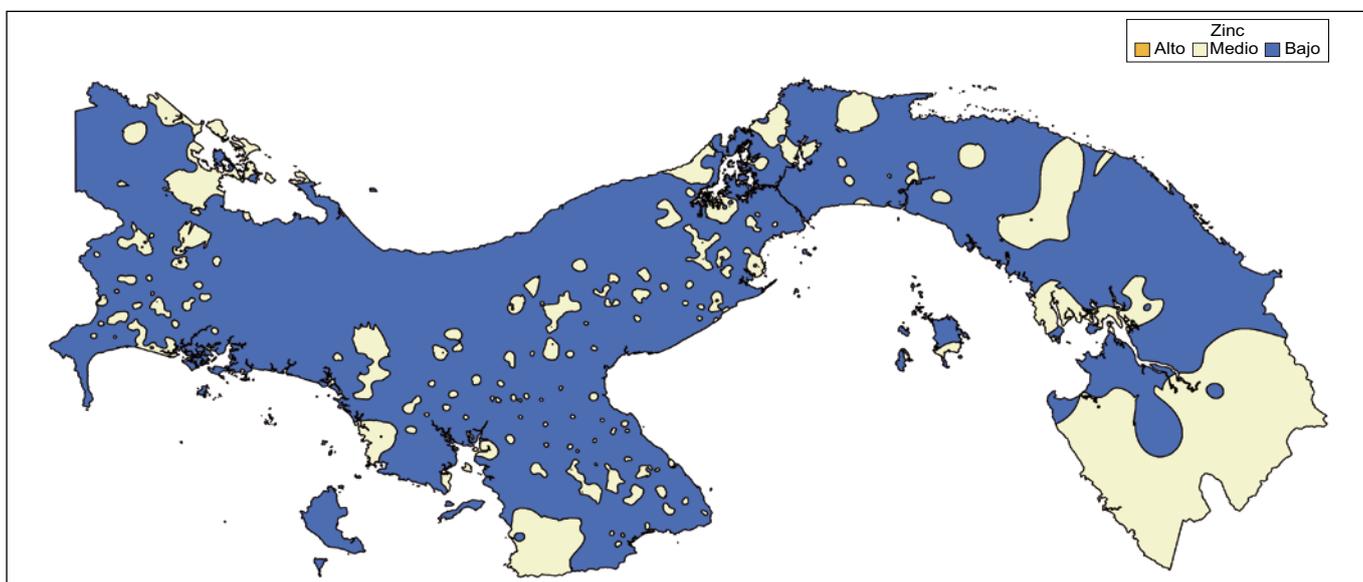


Figura 15. Contenido de zinc (Zn) en los suelos de Panamá.

maíz en diferentes localidades versus textura del suelo, encontrándose que en aquellos sitios donde predominaba la textura arcillosa se presentaba un menor rendimiento del cultivo. Esto sirvió para comprobar la utilidad de los mapas (Gordon, 2007).

En Panamá existen amplias zonas influenciadas por el manejo del suelo y que pueden estar expuestas a los efectos del cambio climático. En nuestro análisis se encontró que predominan los terrenos con bajo contenido de MO, pH ácido y bajo contenido de bases (K, Ca y Mg).

Conclusiones

Los mapas generados son una herramienta útil que sirve de apoyo para la planificación y la toma de decisiones, asimismo, permite estimar una primera aproximación del riesgo de la producción, esto a una escala operativa nivel nacional o regional.

Con la interpretación por cultivo, los mapas de fertilidad muestran las características de fertilidad más adecuadas para cultivos de agroexportación y también áreas donde no es recomendable la actividad agropecuaria.

Bibliografía

Bonfante, A., A. Agrillo, R. Albrizio, A. Basile, R. Buonomo, R. De Mascellis, A. Gambuti, P., Giorio, G. Guida, G. Langella, P. Manna, L. Minieri, L. Moio, L. Siani, F. Terribile. 2015. Functional homogeneous zones (fHZs) in viticultural zoning procedure: an italian case of study on Aglianico vine. *Soil*. 1:427-441.

CGRP (Contraloría General de la República de Panamá). 2000. Mapa físico de sitios poblados de Panamá. Contraloría General de la República.

Delalibera, H., P. Weirich, N. Nagatan. 2012. Management zones in agriculture according to the soil and landscape variables. *Eng. Agric., Jaboticabal* 32(6):1197-1204.

Gordon, R. 2007. Guía técnica del cultivo de maíz. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. Panamá. 47 pp.

IAPAR (Instituto Agronómico do Paraná). 1998. Zonificación agroecológica y económica de la cuenca hidrográfica del Riberao do Meio II, en el distrito municipal de Carlópolis, estado de Paraná. Londrina, IAPAR. 17 pp.

Name, B., A. Cordero. 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 pp.

Villarreal, J.E., B. Name, R.A. García. 2013. Zonificación de suelos de Panamá en base a niveles de nutrientes. *Ciencia Agropecuaria*. 21:71-89.

Villarreal, J.E., B. Name. 1996. Técnicas analíticas del Laboratorio de Suelos del IDIAP. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. Región Central, Divisa. 110 pp.

Zeraatpisheh, M., S. Ayoubi, A. Jafari, P. Finke. 2017. Comparing the efficiency of digital and conventional soil mapping to predict soil types in a semi-arid region of Iran. *Geomorphology*. 285:186-204.