

# El uso de bases de datos en el estudio de la fertilidad de los suelos agrícolas de Costa Rica: Estado actual y principales cambios en el tiempo

Juan Carlos Méndez<sup>1</sup> y Floria Bertsch<sup>1</sup>

## Introducción

El monitoreo y registro del estado de la fertilidad de los suelos es un aspecto de suma importancia en todo sistema de producción agrícola, ya que los rendimientos y por lo tanto, los beneficios que se puedan obtener de dicho sistema, dependen en gran medida de la capacidad que tenga el factor suelo para proveer a la planta de todos los nutrimentos necesarios para su óptimo crecimiento.

El análisis químico de la disponibilidad de nutrimentos es una de las herramientas más prácticas y accesibles con las que cuenta el profesional en agronomía, al momento de realizar un diagnóstico confiable del estado de la fertilidad de los suelos. Esta herramienta permite identificar y priorizar fácilmente las principales limitantes nutricionales que se presentan en un sitio en específico, y es una fuente de información importante que se debe conocer al momento de elaborar un plan de manejo nutricional de un determinado cultivo.

Además de la información brindada por el mismo análisis de suelo, el uso de bases de datos con los registros acumulados de este tipo de análisis es otro instrumento de gran valor en el estudio de la fertilidad de los suelos. Este conjunto de datos acumulados y ordenados sirven como un parámetro real para valorar los cambios que ocurren a través del tiempo dentro de un sistema de producción agrícola, como producto de las diferentes prácticas de manejo aplicadas y la variación natural del suelo.

La compilación de estas bases de datos en conjunto con un adecuado proceso de análisis e interpretación, permite generar mapas en los que se representa la frecuencia y distribución de los principales problemas referentes a la fertilidad de los suelos. De esta forma, es posible sintetizar la información proveniente de los miles de análisis de suelos realizados por un laboratorio de rutina para que sean disponibles de forma accesible y de fácil comprensión a un mayor grupo de usuarios.

En el presente trabajo se presenta un ejemplo del uso de una base de datos de análisis de suelos para obtener información valiosa acerca del estado de la fertilidad de los suelos agrícolas de un país, en este caso Costa Rica. Además, al tomar como referencia el trabajo previo realizado por Bertsch (1986), en el cual se empleó una metodología similar, es posible observar los principales cambios, a nivel general, que han ocurrido en el tiempo en las propiedades químicas del suelo.

La información que aquí se presenta constituye un resumen de los principales resultados de la reciente *“Guía para la interpretación de la fertilidad de los suelos de Costa Rica”* publicada a través de la Asociación Costarricense de las Ciencias del Suelo (Méndez y Bertsch 2012). Esta publicación se realizó en respuesta a la necesidad de contar con una herramienta de consulta y referencia acerca del tema de interpretación de análisis y del estado actual de la fertilidad de los suelos de Costa Rica. También con esta publicación se pretende resaltar la importancia del manejo de datos a través de nuevas tecnologías que faciliten el acceso a la información, de manera que esté disponible para los diferentes actores del sector agro productivo.

## Descripción del estudio

### Compilación de la base de datos

Para la elaboración del presente estudio se utilizó como principal referencia metodológica el trabajo realizado por Bertsch en 1986 titulado *“Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica”*, el cual empleó un total de 13 765 registros de análisis de suelos del Laboratorio de Suelos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) realizados entre los años 1978-1980. En este nuevo trabajo se usó un total de 23 860 registros de análisis de suelos efectuados por el Laboratorio de Suelos y Foliaves del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica (LSF/CIA-UCR) durante los años 2006-2010.

Además de la diferencia en la cantidad de datos utilizados, lo cual le confiere una mayor solidez al presente estudio, el manejo de los datos se hizo a través de software aplicado a los Sistemas de Información Geográfica (SIG), lo cual permite manejar de manera más eficiente la información y representarla en mapas posteriormente.

Previo a la obtención de los 23 860 registros se debió realizar dos procesos para filtrar la información. En primera instancia se seleccionaron solo aquellos registros que:

- Pertenecieron a muestras de suelos agrícolas de Costa Rica, excluyendo aquellos análisis provenientes de muestras de otros países.
- Fueron realizados con las soluciones extractoras KCl 1N (para acidez, Ca y Mg intercambiables) y Olsen modificado (para K, P, Zn, Fe, Mn, Cu).

La razón por la que se decidió trabajar sólo con los análisis hechos mediante esta metodología es porque esta continúa siendo la más utilizada de manera

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Correo electrónico: juancarlos.mendez@ucr.ac.cr

rutinaria en la mayoría de los laboratorios de análisis de suelos de Costa Rica, y es para la que se cuenta con mayor respaldo de estudios de correlación y calibración en el país. Además, fue con estas soluciones extractoras con las que había sido realizado el trabajo previo de Bertsch (1986).

En un segundo proceso de selección, se procedió a la revisión detallada de cada registro y se excluyeron:

- Los análisis en los cuales no se identificó de forma precisa la procedencia de la muestra.
- Los análisis que provinieran de ensayos o pruebas de campo.
- Los registros que fueron identificados como pertenecientes a estratos inferiores al horizonte superficial del suelo (profundidades mayores a 20 cm), esto con el fin de homogenizar de la mejor manera posible toda la información. Una vez filtrada la información con estos criterios, los registros se ordenaron y clasificaron según el cantón de procedencia, de acuerdo con la división administrativa de las provincias en Costa Rica.

Se debe señalar que los resultados obtenidos por medio de este estudio reflejan únicamente la condición de los suelos que se encuentran bajo algún tipo de actividad agrícola, razón por la cual se deben excluir las zonas

correspondientes a las áreas protegidas y de conservación, que representan alrededor del 25% del territorio total de Costa Rica y las principales zonas urbanas ubicadas especialmente en la región central del país.

### Representación de la información

El análisis de la información se realizó con ayuda de hojas de cálculo programadas para determinar el porcentaje de las muestras (cálculo de frecuencias) pertenecientes a las categorías alta, media y baja definidas para las variables estudiadas (**Tabla 1**) en cada uno de los cantones de Costa Rica.

En la "Guía para la interpretación de la fertilidad de los suelos de Costa Rica" la información es presentada de tres maneras:

1. **Mapas a nivel cantonal** en los cuales es posible separar las regiones que presentan o no problemas edáficos, ubicar geográficamente la distribución de dichos problemas, valorar la importancia nacional y regional de los problemas, y realizar comparaciones visuales entre las diferentes características estudiadas. Para todas las variables (excepto el P que contó con cuatro clases debido a la alta frecuencia con que se presentan deficiencias en los suelos) se establecieron tres clases para realizar dicha representación. Las categorías establecidas fueron:

**Tabla 1. Niveles críticos generales y condiciones medias, altas y anormales para interpretar los análisis de fertilidad de suelos. (Valores resaltados en rojo representan niveles que pueden ser problemáticos según cada variable).**

Característica*	Unidades	Categoría				
		Nivel crítico	Media	Alta	Anormal	
Parámetros de acidez	pH en agua	< 5.5	5.6 - 6.5	> 6.5	-	
	Acidez	cmol(+) l <sup>-1</sup>	< 0.5	0.5 - 1.5	> 1.5	-
	Saturación acidez	%	< 10	10 - 50	> 50	-
	Suma de bases	cmol(+) l <sup>-1</sup>	< 5	5 - 25	> 25	-
CICE y bases	CICE	cmol(+) l <sup>-1</sup>	< 5	5 - 25	> 25	-
	Ca	cmol(+) l <sup>-1</sup>	< 4	4 - 20	> 20	> 50
	Mg	cmol(+) l <sup>-1</sup>	< 1	1 - 5	> 5	> 15
	K	cmol(+) l <sup>-1</sup>	< 0.2	0.2 - 0.6	> 0.6	> 5
Relaciones catiónicas	Ca/Mg	< 2	2 - 5	> 5	-	
	Ca/K	< 5	5 - 25	> 25	-	
	Ca+Mg/K	< 10	10 - 40	> 40	-	
	Mg/K	< 2.5	2.5 - 15	> 15	-	
P y micro-nutrientes	P	mg l <sup>-1</sup>	< 10	10 - 20	> 20	> 200
	Zn	mg l <sup>-1</sup>	< 2	2 - 10	> 10	> 50
	Mn	mg l <sup>-1</sup>	< 5	5 - 50	> 50	> 100
	Fe	mg l <sup>-1</sup>	< 10	10 - 100	> 100	> 500
	Cu	mg l <sup>-1</sup>	< 2	2 - 20	> 20	> 100

\* pH obtenido de muestra con relación agua:suelo de 1:2.5; Acidez, Ca y Mg extraídos con KCl 1N, 1:10; K, P, Mn, Zn, Cu, Fe extraídos con Olsen Modificado, 1:10. Adaptado por Bertsch (2003), a partir de informaciones generadas en el MAG (Cordero y Miner, 1975), en el CATIE (Díaz-Romeu y Hunter, 1978), y en la UCR (Bertsch, 1986; Cabalceta, 1993; Gadea, 1993; Molina, 1993).

- Cantones con menos de 25% de frecuencia de muestras con problemas (verde).
- Cantones entre 25 y 50% de frecuencia de muestras con problemas (amarillo).
- Cantones con más de 50% de frecuencia de muestras con problemas (rojo).

Para la elaboración de los mapas se tomó como referencia la capa de cantones del Atlas Digital de Costa Rica 2008 elaborado por el Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), a la cual por medio de un programa de SIG (Quantum GIS, versión 1.8), se le anexó la base de datos compilada.

**2. Cuadros resumen** en los que se detalla, para las principales variables, el porcentaje de muestras de cada cantón que presentan problemas frecuentes, organizados en dos categorías:

- Cantones entre 25 y 50% de frecuencia de muestras con problemas.
- Cantones con más de 50% de frecuencia de muestras con problemas.

**3. Cuadros detallados por cantón** donde se encuentra la información organizada por provincia y cantón y se incluyen todas las variables analizadas en el estudio. La información representada por medio de estos cuadros permite distinguir y priorizar las principales limitantes de un cantón determinado, al tiempo que ofrece la posibilidad de consultar el porcentaje exacto de muestras en cada categoría (baja, media, alta) según se detalla en la **Tabla 1**.

Sin embargo, para efectos del presente resumen, la representación de resultados se limitará únicamente a la forma gráfica (mapas) y a las variables de acidez y P

disponible en Olsen modificado, con el fin de resaltar la manera en que una sólida base de datos permite identificar las principales limitantes nutricionales y su distribución geográfica, así como los cambios ocurridos en el tiempo.

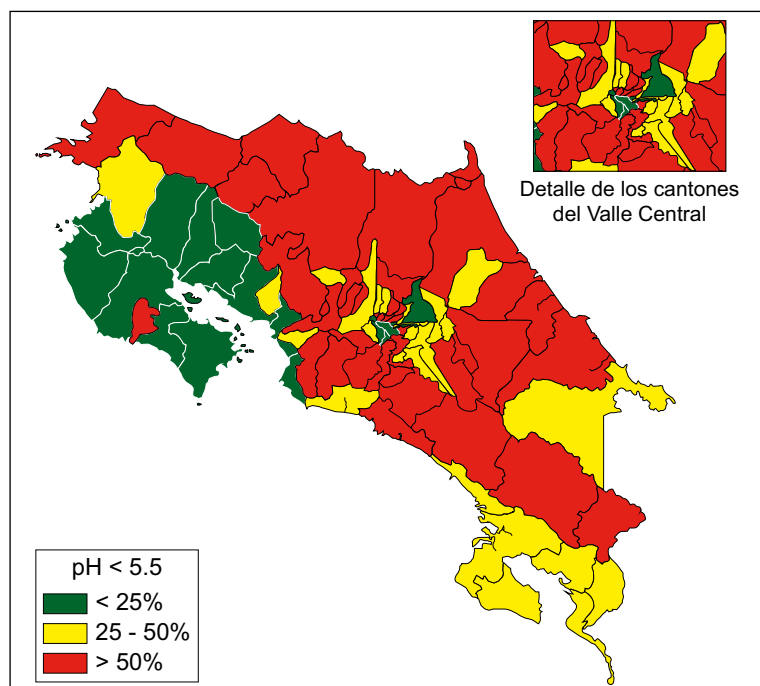
### Distribución de los problemas de acidez en los suelos de Costa Rica

Los problemas de acidez son una de las principales limitantes que se presentan en los suelos de las zonas tropicales. Esta característica influye de manera significativa en las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, las cuales pueden afectar directamente los rendimientos de los cultivos. Un adecuado diagnóstico de los problemas de acidez debe ser realizado a través del estudio integral de varios parámetros o índices suministrados en los análisis de suelos [pH, acidez intercambiable, % de saturación de acidez (%SA), suma de bases] con el fin de determinar tanto la severidad como la causa del problema.

Según los resultados de este estudio, en Costa Rica más de la mitad de los registros (53%) presentan valores de pH en agua por debajo del nivel crítico (5.5) y 90% de los datos estuvieron en un rango que va desde 4.4 hasta 6.7; por lo que encontrar valores de pH por fuera de ese ámbito es poco común en Costa Rica. En el caso de la acidez intercambiable, 37% de los datos presentaron valores por encima de  $0.5 \text{ cmol}(+) \text{ l}^{-1}$ , de los cuales apenas el 10% contempla valores por encima de  $2 \text{ cmol}(+) \text{ l}^{-1}$ , lo que indica que los problemas severos por toxicidad de  $\text{Al}^{3+}$  no son muy frecuentes en el país. Únicamente 27% de las muestras presentaron valores de %SA mayores a 10%, y 22% aparecieron con una suma de bases por debajo de  $5 \text{ cmol}(+) \text{ l}^{-1}$ .

En las **Figuras 1 y 2** se muestra la distribución de las regiones que presentan los mayores problemas de acidez, de acuerdo con los parámetros pH y acidez intercambiable respectivamente. Un aspecto importante de mencionar, es que en muchas regiones donde la frecuencia de problemas por acidez intercambiable o %SA no es muy alta, sí es posible observar una frecuencia elevada de muestras con pH bajo. Entre las causas de esas diferencias se puede mencionar la gran abundancia de suelos volcánicos con cargas variables, en los cuales la acidez se debe a los iones  $\text{H}^+$  disociados de la materia orgánica y no necesariamente a la acidez generada por el  $\text{Al}^{3+}$ . También, el manejo intensivo de la fertilización nitrogenada amoniacal sin un aumento paralelo de su neutralización, puede causar que se acentúe esta situación.

En el caso de la acidez intercambiable, las regiones que registran los mayores problemas coinciden con aquellas en donde se encuentran los Ultisoles. También se observan problemas con este parámetro en suelos aluviales, en ambas



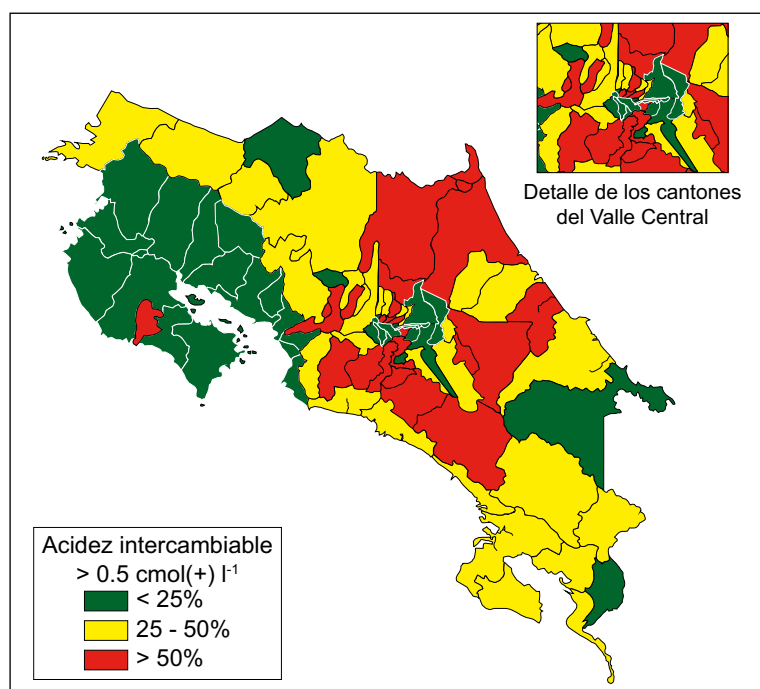
**Figura 1. Porcentaje de muestras con problemas de bajo pH (< 5.5) en los cantones de Costa Rica. Fuente: Méndez y Bertsch (2012).**

costas del país, dedicados a monocultivos altamente tecnificados en el manejo nutricional; sin embargo, debido al alto contenido de bases intercambiables que tienen estos suelos, los problemas por altos %SA no son tan frecuentes.

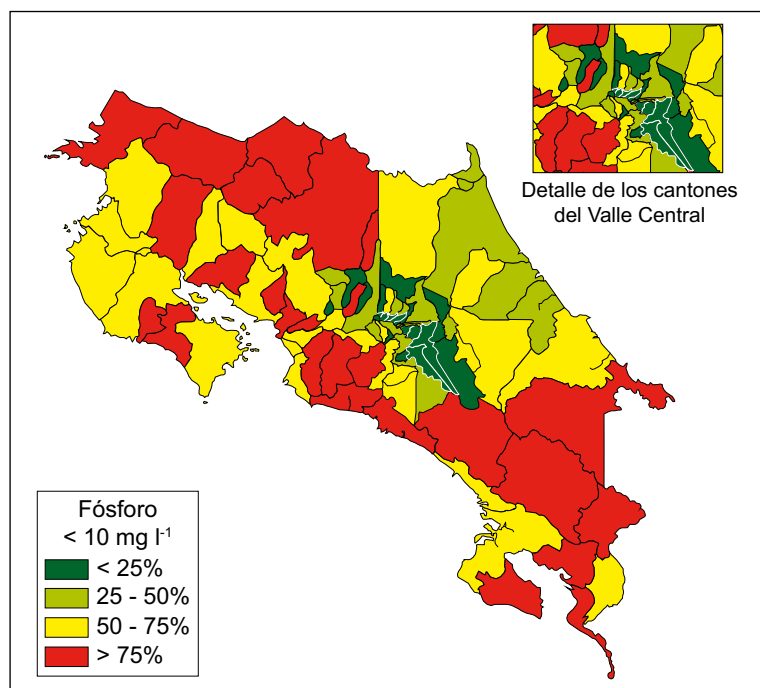
### Distribución de los problemas de fósforo en los suelos de Costa Rica

El P es un elemento altamente deficiente en los suelos tropicales, no sólo por el bajo contenido natural de P que poseen estos suelos, sino también por la gran diversidad

de interacciones en el sistema que sufre el P de los fertilizantes aplicados y que tienden a estabilizarlo. Según sea el tipo de suelo que se trate, el P puede estar poco disponible para las plantas debido a las diferentes reacciones mediante las cuales se adsorbe o se retiene. Valores de pH bajos favorecen la formación de fosfatos de Fe y Al insolubles, mientras que valores mayores (más básicos) favorecen la formación de fosfatos de Ca. También, ante la presencia de sistemas coloidales amorfos, como los alofánicos las reacciones que sufre el P son fuertemente estabilizadoras.



**Figura 2. Porcentaje de muestras con problemas de acidez intercambiable (> 0.5 cmol(+) l<sup>-1</sup>) en los cantones de Costa Rica. Fuente: Méndez y Bertsch (2012).**



**Figura 3. Porcentaje de muestras con problemas de fósforo (< 10 mg l<sup>-1</sup>) en los cantones de Costa Rica. Fuente: Méndez y Bertsch (2012).**

Para determinar la disponibilidad de P en el suelo, se dispone de una gran cantidad de metodologías de extracción. En Costa Rica, la metodología empleada con mayor frecuencia es la que utiliza la solución Olsen modificado y el nivel crítico general es de 10 mg l<sup>-1</sup>.

En los suelos de Costa Rica el P es el elemento mineral que con mayor frecuencia se encuentra limitante (58% de las muestras), superado únicamente por la baja disponibilidad de nitrógeno (N), que no es parte de este estudio. De acuerdo con los resultados de esta investigación, un porcentaje importante de muestras presentan niveles de P extremadamente bajos, encontrándose que a nivel nacional 4 de cada 10 análisis registran P por debajo de 5 mg l<sup>-1</sup>. Esta situación es especialmente marcada en algunas regiones del norte del país, en donde inclusive la severidad del problema es tal, que en ocasiones más del 60% de las muestras presentaron valores menores a 2 mg l<sup>-1</sup> de P disponible en Olsen modificado.

En Costa Rica se pueden distinguir tres zonas bien diferenciadas donde se presenta con mayor frecuencia problemas con bajo P (**Figura 3**):

- La región noroeste del país.
- La región del Pacífico central y sur, las cuales presentan más de 75% de las muestras deficientes en P y coinciden con las regiones donde hay un predominio de Ultisoles, caracterizados por su bajo contenido natural de P disponible y por una alta capacidad de fijación de este elemento en forma de óxidos de Fe y Al.
- La región correspondiente a los cantones cercanos a la Península de Nicoya y el Pacífico central donde la baja disponibilidad de P está asociada principalmente a los altos contenidos de Ca, y a la consecuente formación de fosfatos cálcicos.

Por otro lado, únicamente en la Región central del país y parte de la Región atlántica es donde se encuentran los menores porcentajes de muestras con problemas de P (menos del 25%). Esto podría asociarse al incremento en la fertilización fosforada que se ha dado en estas zonas de plantaciones manejadas bajo un sistema

intensivo, como lo es en cultivos de hortalizas (Región central) y ornamentales, palmito, frutas, y raíces y tubérculos (Región atlántica).

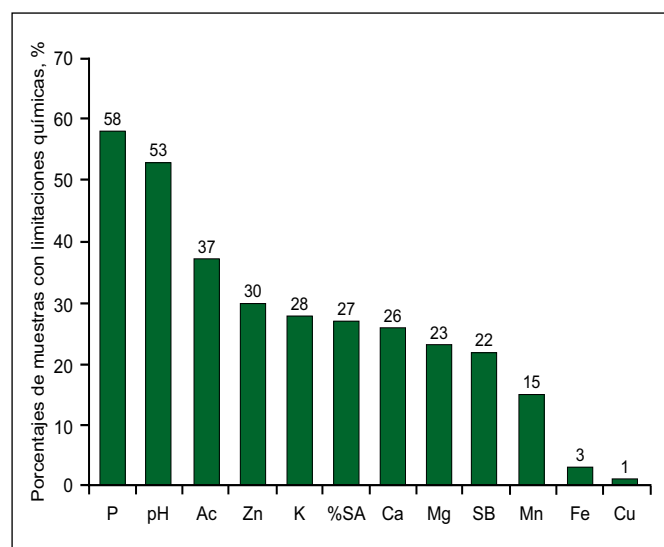
Es interesante notar que en las áreas de suelos derivados de cenizas volcánicas, en donde la fijación de P por alofana es más fuerte, la tendencia a subsanar esta situación mediante el uso de fertilizantes coincide enormemente con la presencia actual de niveles altos de P.

### Síntesis del estado actual de la fertilidad de los suelos de Costa Rica

En la **Figura 4**, siguiendo el orden de mayor a menor frecuencia en el porcentaje de muestras con valores considerados problemáticos en las principales características químicas del suelo, se sintetiza el estado actual de la fertilidad de los suelos de Costa Rica. En resumen, el P es la limitante más común en los suelos agrícolas de Costa Rica con un 58% de las muestras con valores inferiores a  $10 \text{ mg l}^{-1}$ .

Los problemas de acidez, reflejados tanto por bajo pH (53% de las muestras por debajo de 5.5) como por alta acidez intercambiable [37% de los registros con valores mayores a  $0.5 \text{ cmol}(+) \text{ l}^{-1}$ ] son los que se presentan después del P, como la limitante con mayor frecuencia en los suelos de Costa Rica. Debido a la influencia de estas variables en la disponibilidad de los otros elementos, y en el crecimiento en general de la raíces, son, por lo tanto, las que se deberían corregir primero por medio de enmiendas antes de realizar cualquier otra práctica de manejo. En el caso del %SA únicamente 28% de los registros presentan valores mayores a 10%.

Contenidos de Zn por debajo de  $2 \text{ mg l}^{-1}$  (nivel crítico general en los suelos de Costa Rica) se presentan en 30% de las muestras, lo cual lo convierte en el micronutriente, dentro de los contemplados en este estudio, que con mayor frecuencia se presenta como una limitante en los suelos del país.



**Figura 4. Porcentaje de muestras con limitaciones químicas (deficiencia de elementos, pH o acidez inadecuados) de los suelos agrícolas de Costa Rica.**

El K es el catión intercambiable que con mayor frecuencia se reporta en los análisis de suelo por debajo de su nivel crítico, con un 28% de frecuencia. Bajos contenidos de Ca y Mg se presentan solo en 26 y 23% de las muestras de suelos respectivamente, con lo cual se refleja la similitud en el comportamiento a nivel de suelo de estos dos cationes, ya que en muchas regiones donde se presentan problemas de Ca también hay deficiencia de Mg.

Al evaluar la fertilidad de los suelos por medio de la suma de bases intercambiables ( $SB = Ca + Mg + K$ ) se tiene que el 22% de los suelos presentan una fertilidad baja, al tener valores menores de  $5 \text{ cmol}(+) \text{ l}^{-1}$  en este parámetro.

Con los demás elementos, solo el 15% de las muestras presentan niveles de Mn disponible menores a  $5 \text{ mg l}^{-1}$ , y por último, los bajos contenidos de Fe y Cu se presentan solo en 3 y 1% de las muestras, respectivamente, lo cual indica que la deficiencia de estos microelementos no representan una limitante importante en los suelos de Costa Rica.

### Cambios en la fertilidad de los suelos de Costa Rica entre 1986 y 2012

Según lo señalado anteriormente, otra utilidad que tiene el hacer uso de las bases de datos con los registros de los análisis de suelos realizados por un laboratorio de rutina es la posibilidad de establecer comparaciones en el tiempo entre diferentes series de datos y así determinar si han existido cambios importantes en las diferentes propiedades químicas de los suelos.

Al comparar el estudio publicado por Bertsch (1986) con los resultados obtenidos en este estudio, es posible establecer que, algunos de los cambios más importantes que el manejo agronómico de las plantaciones agrícolas de Costa Rica han ocasionado sobre las propiedades nutricionales de los suelos aquí analizadas, son los siguientes:

#### Disminución de problemas de P

Este elemento sigue siendo el más problemático por su compleja dinámica que tiende a pasar los productos aplicados a formas precipitadas, sin embargo su incidencia ha bajado. De una frecuencia de 74% de muestras con menos de  $10 \text{ mg l}^{-1}$  en 1986, en el 2012 ese valor se redujo al 58%. Esta situación podría asociarse al incremento de plantaciones manejadas bajo un sistema intensivo de fertilización fosforada en cultivos como ornamentales, palmito, frutas, y raíces y tubérculos, las cuales aumentaron sus áreas de siembra después de que se realizó el primer estudio.

Nótese en la **Figura 5**, la mayor cantidad de cantones verdes y amarillos (con menor problema) en el 2012, en comparación con 1986, en donde prácticamente todo el país presentaba colores rojos y amarillos, indicadores de mayor frecuencia de problemas de P.

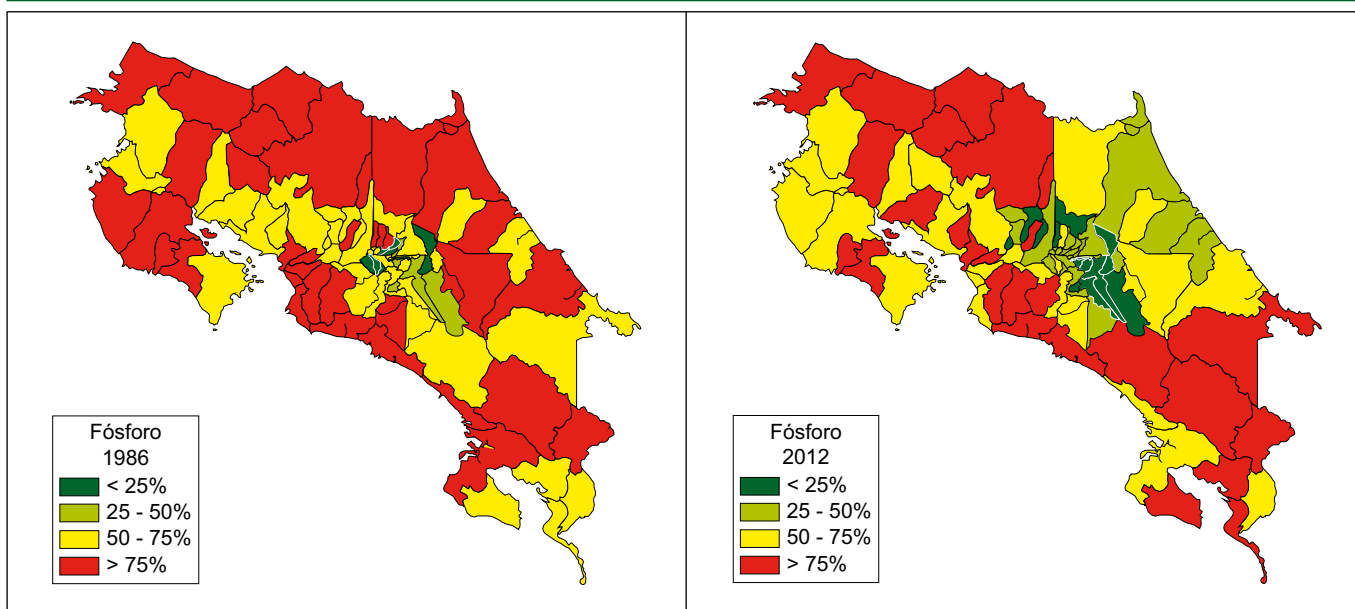


Figura 5. Comparación de la distribución de los problemas de P (< de 10 mg l<sup>-1</sup>) entre 1986 y 2012.

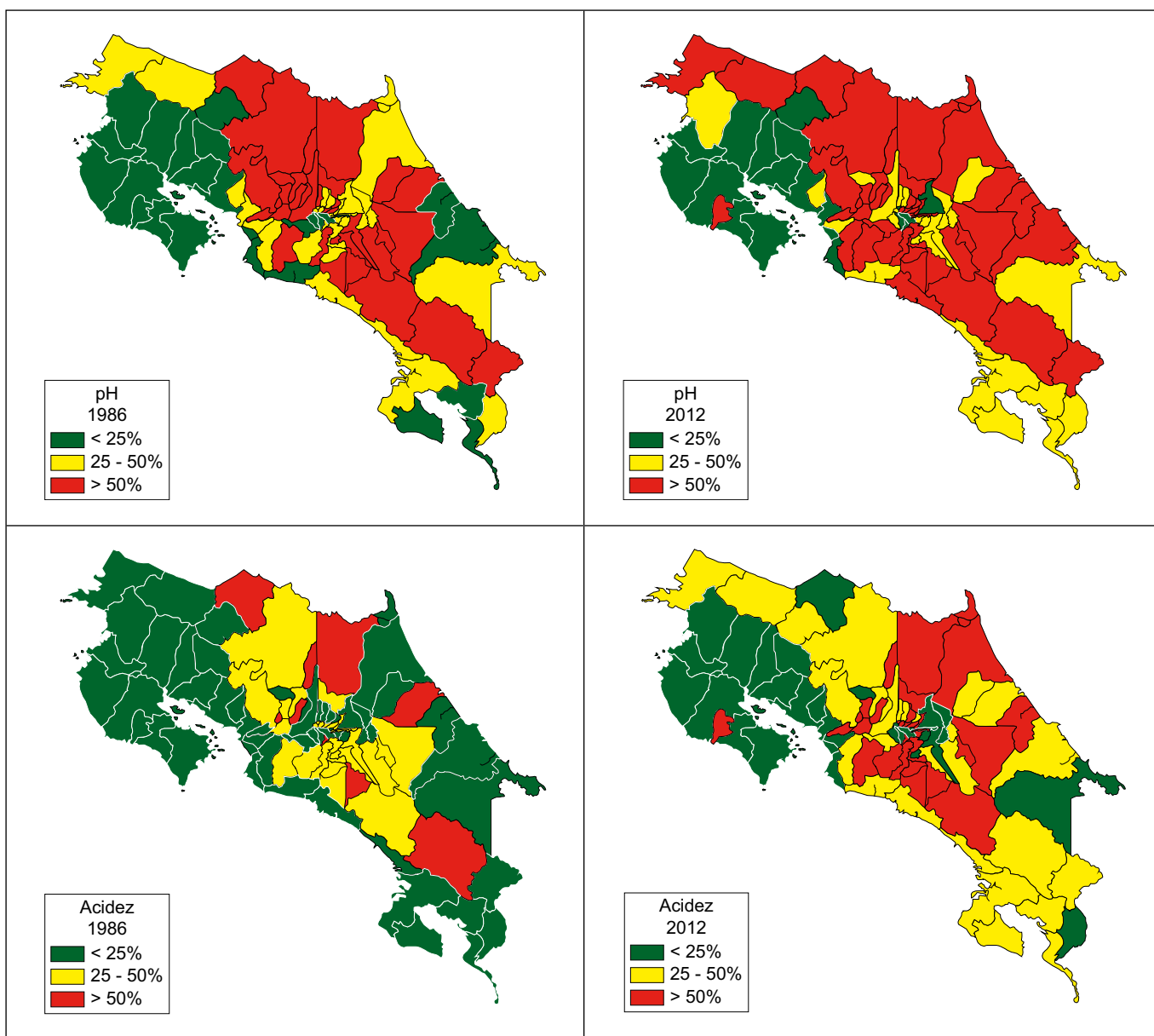


Figura 6. Comparación de la distribución de los problemas de pH (< 5.5) y acidez intercambiable (> 0.5 cmol(+) l<sup>-1</sup>) entre 1986 y 2012

## Aumento de problemas de acidez

Contrario a lo encontrado por Bertsch (1986), la cual mencionaba que en Costa Rica los bajos niveles de bases eran una limitante más frecuente que la acidez por sí misma, en la actualidad es posible observar que los problemas de acidez superan en frecuencia a los bajos niveles de bases, convirtiéndolos en este sentido en una mayor limitante que la baja cantidad de cationes intercambiables.

Mientras que en el año 1986 el 43% de las muestras presentaba valores de pH por debajo del nivel crítico (5.5), en la actualidad ese valor se incrementó a 53%. Además ocurrió un incremento sustancial en la cantidad de muestras con problemas por alta acidez intercambiable (valores mayores a  $0.5 \text{ cmol}(+) \text{ l}^{-1}$ ) pasando de una frecuencia de 20% en 1986 a 37% en 2012.

El aumento en la cantidad de suelos con problemas por bajos pH, puede ser provocado por el uso reiterado e intensivo de fertilizantes nitrogenados amoniacales, que liberan iones  $\text{H}^+$ , producto del proceso de hidrólisis del amonio en el suelo. En adición a lo anterior, no se debe obviar el hecho de que hubo un aumento significativo en la cantidad de muestras provenientes de algunas nuevas regiones de cultivo, probablemente de características más ácidas que las usadas en el pasado.

Los cantones con mayores problemas de acidez están asociados generalmente con el cultivo del café, lo cual hace suponer que algunas prácticas de manejo realizadas en esta actividad estén contribuyendo con esta tendencia acidificante. Por el contrario, cuatro cantones netamente hortícolas, que en 1986 se reportaban con problemas frecuentes de acidez, en el 2012 ya no los presentan, lo cual permite inferir que se ha mejorado el manejo de la acidez en estos cultivos.

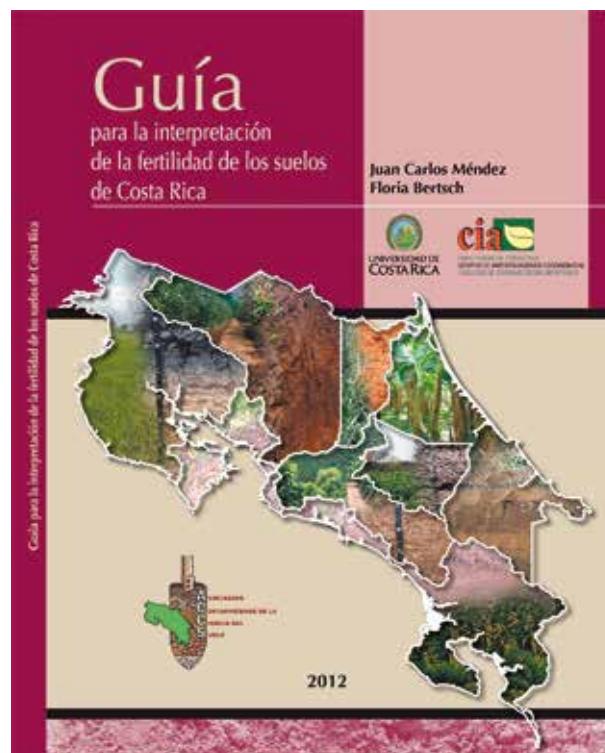
Un mayor número de cantones con colores rojos y amarillos en la **Figura 6**, en los mapas del estudio del 2012, demuestran el incremento en la frecuencia de los problemas de acidez.

## Conclusiones

La recopilación de la información proveniente de los análisis efectuados por un laboratorio de rutina, constituyó una herramienta útil para identificar los principales problemas de fertilidad en los suelos de Costa Rica, al tiempo que permitió visualizar los principales cambios ocurridos en el tiempo. Adicionalmente, el ordenamiento sistemático de dicha información sirvió como base para la elaboración de los mapas que muestran la distribución de las principales limitantes de fertilidad de los suelos en el territorio costarricense, logrando así que la información proveniente de miles de análisis esté disponible de una forma comprensible y accesible a diversas personas.

## Bibliografía

- Bertsch, F. 1986. Manual para la interpretación de la fertilidad de los suelos de Costa Rica. Editorial de la Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 81 p.
- Bertsch, F. 2003. Fortalezas y debilidades del análisis de suelos como herramienta de diagnóstico en la nutrición de los cultivos. ACCS, CIA, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 8 p.
- Cabalceta, G. 1993. Niveles críticos de fósforo, azufre y correlación de soluciones extractoras en Ultisoles, Vertisoles, Inceptisoles, y Andisoles de Costa Rica. Tesis de maestría, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 186 p.
- Cordero, A., y G. Miner. 1975. A calibration program for corn and rice fertilization and soil test data in Costa Rica, pp. 518-531. In: E. Bornemisza y A. Alvarado (eds). Soil Management in Tropical America. Raleigh, North Carolina State University.
- Díaz-Romeu, R., y A. Hunter. 1978. Metodologías de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal y de investigación en invernadero. CATIE. Turrialba, Costa Rica, 62 p.
- Gadea, A. 1993. Niveles críticos de calcio, magnesio y potasio en cuatro órdenes de suelos de Costa Rica. Tesis de maestría. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 135 p.
- Méndez, J.C., y F. Bertsch. 2012. Guía para la interpretación de la fertilidad de los suelos de Costa Rica. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica 108 p.
- Molina, E. 1993. Calibración de métodos de análisis de cobre, zinc y manganeso disponible en Ultisoles, Vertisoles, Inceptisoles y Andisoles de Costa Rica. Tesis de maestría. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 146 p.\*



Nota: La *Guía para la Interpretación de la Fertilidad de Suelos de Costa Rica*, puede ser adquirida en la Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (<http://www.suelos.ucr.ac.cr/htdocs/accs/>) email: [accs.cia@ucr.ac.cr](mailto:accs.cia@ucr.ac.cr)