

MONITOREO DE CAMBIOS EN LA FERTILIDAD DE SUELOS POR MEDIO DE ANÁLISIS DE LABORATORIO¹

José Ezequiel Villarreal-Núñez², Benjamín Name-Tuñón², Rubiela Alicia García-Espino³

RESUMEN

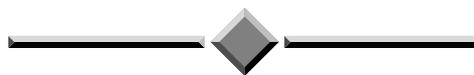
Monitoreo de cambios en la fertilidad de suelos por medio de análisis de laboratorio. El objetivo del trabajo fue monitorear las propiedades de los suelos en las provincias panameñas de Herrera y Los Santos y en los corregimientos de importancia agropecuaria, a través del estudio de los resultados de análisis de suelo realizados, durante los últimos 21 años, en el Laboratorio de Suelos del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. Se monitorearon las principales características de muestras de suelos pertenecientes a cada uno de los siete distritos con que cuentan ambas provincias y de algunos corregimientos donde se tenía información para realizar el estudio. Se compararon datos, a través de los años, como: pH, materia orgánica, saturación de aluminio, suma de bases, disponibilidad de fósforo y micronutrientes. En cada caso se trabajó con el promedio de resultados por cada diez años. Los distritos de Las Minas, Santa María y Macaracas y los corregimientos de Chupá, El Chumical y Los Remedios, presentaron acidificación, pobre contenido de materia orgánica en la capa superficial del suelo y elevada saturación de aluminio, características que los convierten en áreas vulnerables a sufrir degradación de sus suelos.

Palabras claves: análisis de suelos, macro y micronutrientes, propiedades de los suelos, degradación del suelo.

ABSTRACT

Monitoring of agricultural soil fertility by laboratory analysis. The objective of this work was to monitor the properties of soils in the Panamanian provinces of Herrera and Los Santos and in villages of agricultural importance, through the study of the results of soil tests conducted over the past 21 years in the Soil Laboratory of the Agricultural Research Institute of Panama. The main characteristics of soil samples belonging to each one of the 7 districts from both provinces and some towns where information was available for the study were monitored. Data were compared through the years, such as: pH, organic matter, aluminum saturation, base summation, availability of phosphorus, and micronutrients. In each case, the average results of 10 years were considered. The districts of Las Minas, Santa María and Macaracas and the villages of Chupá, El Chumical and Los Remedios, presented acidification, poor organic matter content in the topsoil and high aluminum saturation, characteristics that make these areas more vulnerable to degradation of their soils.

Key words: soil analysis, macro and micronutrients, soil properties, soil degradation.



¹ Recibido: 9 de julio, 2012. Aceptado: 10 de octubre, 2012. Trabajo presentado en el IV Congreso Científico del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Panamá. Proyecto Monitoreo de los suelos del Arco Seco de Panamá.

² Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá - Centro de Investigación Agropecuaria Central (IDIAP-CIAC). Panamá. jevilla38@gmail.com; bname63@gmail.com

³ Sistemas de Investigación Geográfica. IDIAP-Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero (CIAAz), Panamá. r-garcia@idiap.gob.pa

INTRODUCCIÓN

El suelo es el fundamento de los ecosistemas terrestres, sustento no solamente de las coberturas vegetales que hacen posible la vida sobre el planeta, sino base fundamental de la producción de alimentos en el mundo. Desde épocas antiguas, el suelo comenzó a considerarse como recurso productivo y, a su valor como base de los ecosistemas se le adicionó el de la producción agraria (Chirinos *et al.* 2005).

La conservación o deterioro puede constituirse en sí mismo como un indicador de la manera en que las sociedades manejan sus agroecosistemas, tanto a nivel tecnológico como también considerando factores sociales y económicos (Estrada *et al.* 2004).

La degradación de las tierras puede entenderse como la acción de un conjunto de factores tanto de índole biofísico como antrópico, que desencadenan procesos de alteración de cualidades y características de los suelos, este concepto, integra el conjunto de suelos, coberturas vegetales, fauna asociada y dotaciones de agua que existen en un determinado paisaje fisiográfico (Sicard 2001).

Por lo general, los factores biofísicos se relacionan con parámetros climáticos y geomorfológicos como son las variaciones en la intensidad, duración y frecuencia de lluvias, presencia de fuertes vientos estacionales o pendientes abruptas en los terrenos. Entre los principales factores antrópicos se cita la presión demográfica sobre los recursos limitados de un territorio, las tecnologías utilizadas para la producción de alimentos y el uso inadecuado de la tierra (Sicard 2001).

Los efectos de tales intervenciones biofísicas o antrópicas pueden ir desde la destrucción masiva de coberturas vegetales protectoras y remoción en masa o pérdida de suelos por erosión, hasta procesos lentos de alteración de sus propiedades por adición de agroquímicos y otros contaminantes, eliminación de fauna y flora y la extinción de aguas superficiales o de los acuíferos profundos, con sus posibles efectos sobre las poblaciones que de ellos dependen (Coleman *et al.* 2004).

Estudios para cuantificar la degradación de los suelos en grandes áreas a través de la modificación de sus propiedades, pérdida de fertilidad y baja productividad en cultivos específicos han sido realizados por FAO (1987), Lutz *et al.* (1994) y Estrada *et al.* (2004).

Entre los principales indicadores del avance de la degradación de un suelo se pueden mencionar: cambios

en el pH del suelo, disminución del contenido de nutrimentos, pérdida de materia orgánica, incremento en la acidificación, aumento en la conductividad eléctrica, disminución en la capacidad de retención de humedad, vulnerabilidad a la erosión, formación de costras en la superficie del suelo, compactación, pérdida de la estructura, etc. (Sicard 2001).

Según la zona geográfica, sus condiciones climáticas, topográficas y del material parental, la degradación del suelo puede tardar en ser considerada como un problema serio por los agricultores. Se requiere despertar conciencia las malas prácticas que conducen a la aparición de fenómenos degradativos severos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos (FAO 1987).

Entre las malas prácticas que afectan las propiedades físicas se encuentran el pisoteo que provoca el sobrepastoreo de animales en sistemas ganaderos mal manejados, igualmente, el uso de tractores con implementos pesados en momentos en que el suelo no posee condiciones adecuadas de humedad, la destrucción de la materia orgánica en los horizontes superficiales, las quemadas constantes que afectan la cobertura vegetal y la fauna edáfica, el desmonte de bosques húmedos tropicales para aumentar la frontera agrícola, la práctica continua de arar suelos con baja aptitud agropecuaria lo que causa la pérdida del mismo por la erosión (Casanelas 2003).

La degradación química puede incluir el uso de biocidas que afectan la biota edáfica, uso excesivo de fertilizantes inorgánicos con su residuo ácido, riego con aguas salinas (Navarro 2003).

El análisis de suelos calibrado, es una importante herramienta que bien utilizada sirve para diagnosticar el estado de fertilidad del suelo, emitir recomendaciones de fertilización y si se usa como medio para monitorear los cambios en las propiedades edáficas, puede servir de alerta para notar el avance de la degradación o mejoramiento de las propiedades de un terreno (Villarreal y Name 1996).

La distribución espacial de los nutrimentos y las condiciones en las que están influenciadas por el manejo dado al suelo, definen su disponibilidad y el manejo de la fertilidad a través del uso de las enmiendas. De forma similar, los mapas de fertilidad de suelos, elaborados a partir de resultados de análisis de muestras de estos, constituyen una herramienta base que sirve de apoyo en la zonificación de suelos y cultivos y permiten una mejor toma de decisiones en el sector agrario (IDIAP 2006).

En Panamá, el IDIAP (2006) elaboró una serie de mapas de fertilidad de suelos que establecen una zonificación con base en niveles de nutrientes en el suelo. Los mismos fueron elaborados con los resultados de más de 100 000 muestras analizadas en el Laboratorio de Suelos del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) durante los últimos 30 años. Estos mapas constituyen el primer intento por zonificar en forma gráfica y georeferenciada las características de fertilidad de los suelos en cada región del país.

El objetivo del presente trabajo fue monitorear las propiedades de los suelos en las provincias panameñas de Herrera y Los Santos y en algunos corregimientos de importancia agropecuaria por medio de los análisis de suelos realizados durante los últimos 21 años, en el Laboratorio de Suelos del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP).

MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos de análisis de muestras de suelo de todos los distritos de la zona del Arco Seco de Azuero (provincias de Herrera y Los Santos) fueron suministrados por el Laboratorio de Suelos del IDIAP – Divisa, comprendiendo del año 1990 hasta el año 2011.

Estas muestras de suelo, en su mayoría, corresponden a sitios muestreados directamente por el productor a 20 cm de profundidad, utilizando palas y coas como instrumento preferido de muestreo y enviadas al laboratorio para su respectivo análisis. Cabe mencionar también, que la mayoría de las muestras que se analizan anualmente provenientes de esta región corresponden a cultivos como; maíz, tomate, arroz, pimentón, melón, sandía, zapallo y pastos.

Cada muestra de suelo representa una muestra compuesta y es representativa del suelos de una finca. El IDIAP recomienda tomar una muestra compuesta cada 5 hectáreas.

A cada muestra de suelo analizada se le practicaron las siguientes determinaciones: textura del suelo por el método de Bouyoucos, pH en agua, relación suelo-agua 1:2,5; materia orgánica por medio de la digestión húmeda de Walkley-Black, extracción de fósforo, potasio y elementos menores por medio de la solución extractora de Mehlich -1 y determinados en absorción atómica para la extracción de calcio, magnesio y aluminio fue utilizado cloruro de potasio 1N, siendo el calcio y magnesio determinados por medio

de absorción atómica y el aluminio mediante titulación con NaOH 0,01 N (Villarreal y Name 1996).

Se monitorearon las principales muestras de suelo analizadas en el laboratorio perteneciente a cada uno de los siete distritos de las provincias de Herrera (Santa María, Ocú, Las Minas, Los Pozos, Pesé, Partita, Chitré) y Los Santos (Los Santos, Macaracas, Tonosí, Pocrí, Guararé, Pedasí, Las Tablas) en algunos corregimientos seleccionados por su importancia en la producción agropecuaria (Figura 1).

Además se requería tener suficiente información para realizar el monitoreo de las características físico químicas a través del tiempo. Los corregimientos estudiados dentro de cada distrito fueron Portobelillo de Parita, Los Remedios de Ocú, El Barrero de Pesé, El Chumical de Las Minas, El Rincón de Santa María, Chupá de Macaracas, Cañas de Tonosí, El Ejido de Los Santos, La Enea de Guararé y El Manantial de Las Tablas. De cada sitio seleccionado se consideró un mínimo de 40 muestras analizadas durante los últimos 21 años.

Se compararon datos como pH del suelo, materia orgánica, saturación de aluminio, suma de bases, disponibilidad de fósforo y micronutrientes. En cada caso se trabajó con el promedio de resultados de los análisis realizados en periodos de diez años. Para el caso de pH, fósforo y materia orgánica se tomaron cien muestras de suelos de las dos provincias por año y se promedió el resultado.

A pesar de que las muestras no representan un mismo sitio, ni una misma finca en cada lugar seleccionado, sirvieron para realizar una determinación aproximada del estado de degradación o recuperación de la fertilidad que presentaba el suelo de cada lugar. Además con apoyo de los mapas de fertilidad (IDIAP 2006) elaborados con resultados de análisis de muestras de suelo contenidos en una base de datos que abarca del año 1986 hasta el 2004, se corroboró también la información que aquí se presenta.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la zona del Arco seco de Azuero la evapotranspiración supera la precipitación anual, lo que contribuye que los suelos de esta región tengan de mediana a alta fertilidad, presenten bajo nivel de saturación de aluminio, estructura en bloques angulares y subangulares, pH adecuado y una capacidad de

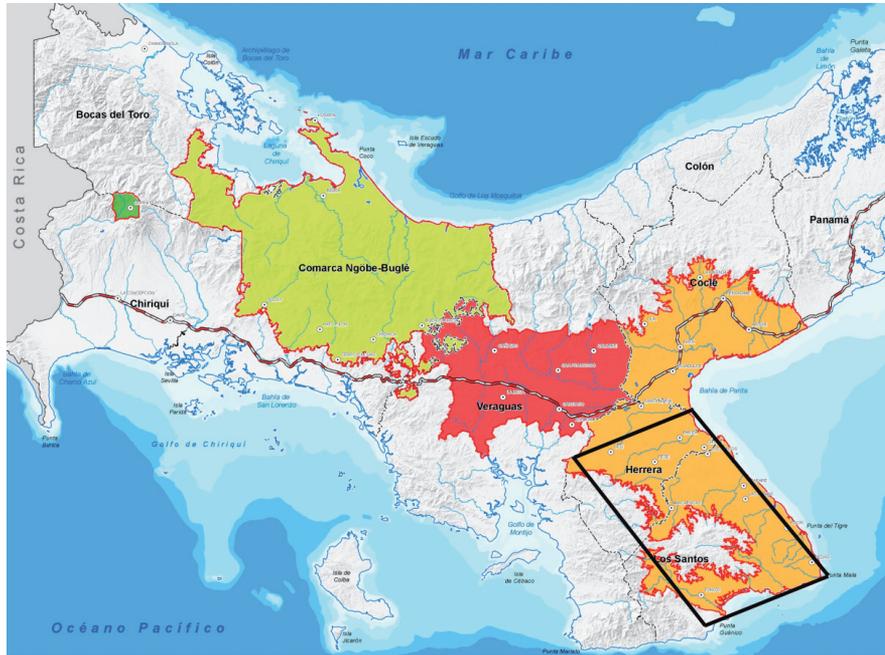


Figura 1. Sitios donde se extrajeron las muestras de suelo, entre 1990 y el año 2011 en las provincias de Herrera y Los Santos, República de Panamá para monitorear sus propiedades. Mapa general de áreas con suelos degradados y riesgo de desertificación y sequía en Panamá. Fuente: Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM). 2009.

intercambio catiónico intermedia, lo que propicia la agricultura comercial (Jaramillo 1991). La baja precipitación y humedad relativa, transforma la zona en área de importancia estratégica para la agroexportación y el uso intensivo de insumos agropecuarios. Sin embargo, la mala distribución de las lluvias sumado a las altas temperaturas ambientales hace obligatorio el uso de sistemas de riego en la región. La estacionalidad de la precipitación entre mayo y diciembre enfatiza el problema de déficit hídrico en la época seca (Figura 2).

La evolución del pH en los suelos de la región del año 1990 hasta el 2011 (cada punto es el promedio de 100 muestras) se puede observar en la Figura 3. Puede notarse que en los últimos cinco años se describe una gran disminución del pH. Dicha condición puede deberse al uso intensivo de los suelos, la ausencia de empleo de las prácticas de conservación, la preparación inadecuada del suelo, ausencia de rotación de cultivos, además de la aplicación de fertilizantes en especial las fuentes nitrogenadas amoniacales, como el nitrato, sulfato de amonio y la urea que producen

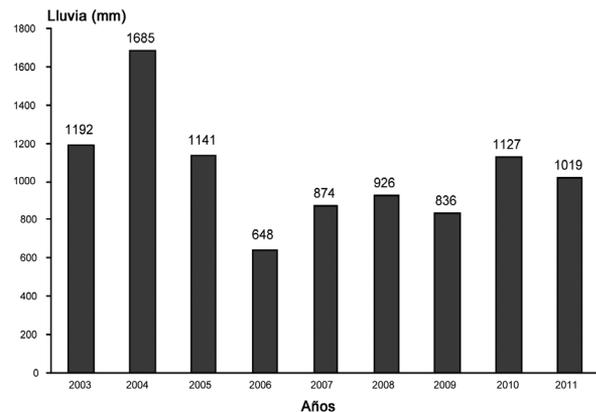


Figura 2. Precipitación total anual en Azuero, Panamá durante los años 2002 al 2011. Fuente: Empresa de Transmisión Eléctrica (ETESA). 2011.

reacciones acidificantes con liberación de protones H^+ , principalmente.

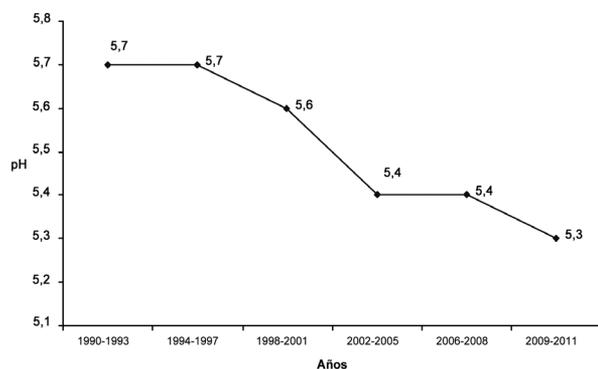


Figura 3. Variación del promedio del pH en los suelos de la región de Azuero, Panamá, entre los años 1990 y 2011.

La evolución del comportamiento en el contenido de materia orgánica del suelo se puede ver en la Figura 4. A pesar de que la región estudiada se caracteriza por bajos niveles de materia orgánica en el horizonte Ap de sus suelos, es de notar que en la última década una reducción del contenido de MO, de 6,94 con respecto a los años 90, lo que demuestra el poco aporte de residuos orgánicos que se le hace al suelo.

Uno de los nutrientes más difíciles de manejar en los suelos de Panamá y por consiguiente de la región de Azuero es el fósforo (P), debido a las arcillas características que lo componen y su elevado poder de fijación (Jaramillo 1991).

El valor promedio de P disponible en los suelos del Arco Seco es muy bajo (Figura 5), comparado con

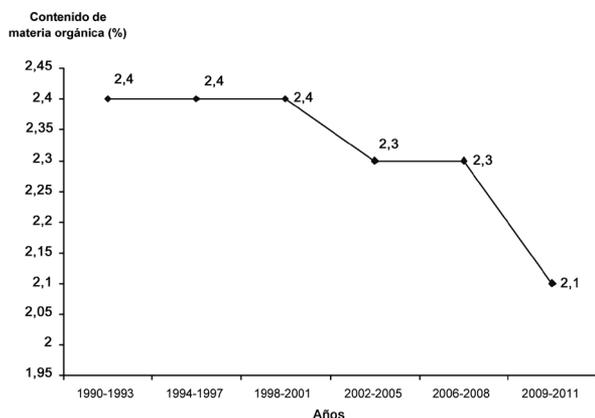


Figura 4. Evolución del contenido promedio de materia orgánica en suelos de la región de Azuero, Panamá, entre los años 1990 y 2011.

el valor crítico promedio de 18 mg/l establecido para suelos de Panamá (Name *et al.* 1987), sin embargo esta es una característica muy típica de los suelos tropicales. Por lo tanto, este es un nutriente que merece atención especial de parte del productor para mejorar sus rendimientos y la eficiencia de utilización del fertilizante fosforado que se aplica al momento de la siembra, cerca de la raíz de la planta y en cantidades adecuadas para evitar excesos que puedan contaminar las aguas subterráneas y eutrofización de las aguas subterráneas y procesos de eutrofización de las aguas superficiales. La Figura 4, no muestra diferencias de cambio en el tiempo, lo que se podría relacionar con la gran capacidad de fijación que tienen las arcillas que predominan en la zona, como son: caolinitas, haloisitas, vermiculitas, montmorilonitas y minerales como gibsita y goetita (Jaramillo 1991).

La variación que ha ocurrido en las propiedades de los suelos del Arco Seco de Azuero, a nivel de distrito, desde el año 1990 hasta el 2011, se puede observar en los Cuadros 1 y 2. Se comparan el pH, suma de bases, saturación de aluminio, contenido de materia orgánica, fósforo disponible y contenido de zinc (Zn) y cobre (Cu), (micronutrientes).

En todos los distritos se nota un cambio en las propiedades de los suelos, comparando el promedio de los primeros diez años (1990-2000) con relación a los últimos (2001-2011). El pH se ha tornado más ácido en casi todos, especialmente en Santa María, Las Minas, Macaracas. Igualmente, en estos mismos distritos se mantiene elevada la saturación de aluminio, con

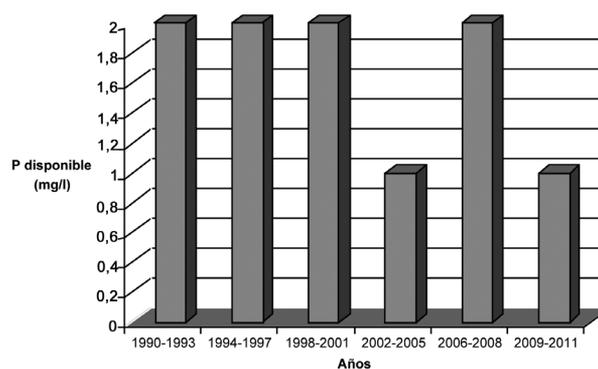


Figura 5. Promedio de fósforo disponible en suelos de la región de Azuero, Panamá, entre los años 1990 y 2011.

Cuadro 1. Principales propiedades de los suelos en Azuero, Panamá. Promedio de resultados de análisis entre 1990 y 2000 por distrito (Promedio de 40 análisis por poblado).

Distrito	pH	Suma de Bases	Saturación de Aluminio	Materia orgánica	Fósforo disponible	Zinc	Cobre
	1:2,5	cmol(+)/kg	-----%-----			-----mg/l-----	
Santa María	5,4	12	35	1,9	2	2	1
Ocú	5,1	7	65	1,5	2	2	1
Las Minas	4,9	4	78	1,3	1	1	1
Los Pozos	5,1	6	72	1,5	1	1	1
Pesé	5,8	16	23	1,8	3	2	1
Parita	5,7	17	21	1,9	2	1	1
Chitré	5,4	14	28	1,7	2	2	1
Los Santos	5,8	17	22	1,9	1	2	1
Guararé	6,2	19	16	2,2	2	2	1
Macaracas	5,2	7	65	1,7	1	1	1
Las Tablas	5,8	16	22	1,9	2	2	1
Pocrí	5,9	15	23	1,8	1	1	1
Pedasí	5,9	18	24	1,7	1	2	1
Tonosí	6,2	21	12	2,6	4	3	1

Cuadro 2. Principales propiedades de los suelos en Azuero, Panamá. Promedio de resultados de análisis entre 2001 y el 2011.

Distrito	pH	Suma de Bases	Saturación de Aluminio	Materia orgánica	Fósforo disponible	Zinc	Cobre
	1:2,5	cmol(+)/kg	-----%-----			-----mg/l-----	
Santa María	5,2	11	38	1,8	2	2	1
Ocú	4,8	4	67	1,3	1	2	1
Las Minas	4,9	4	77	1,2	1	1	1
Los Pozos	5,1	5	74	1,5	1	1	1
Pesé	5,6	15	25	1,7	3	2	1
Parita	5,5	15	22	1,7	2	1	1
Chitré	5,4	13	28	1,7	2	2	1
Los Santos	5,3	16	24	1,8	1	2	1
Guararé	6,0	19	15	2,1	1	2	1
Macaracas	4,8	6	68	1,6	1	1	1
Las Tablas	5,6	15	21	1,9	2	2	1
Pocrí	5,9	15	23	1,8	1	1	1
Pedasí	5,8	17	23	1,8	1	2	1
Tonosí	6,1	21	9	2,7	5	3	1

tendencia a un aumento en Las Minas y Macaracas, suelos que normalmente se han caracterizado por presentar mayor acidez y contenido de aluminio, esto último, muy relacionado con el material parental que dio origen al suelo, mayor precipitación en la zona que en el resto de ambas provincias y una gran deforestación que ha provocado el aumento de la erosión, propiciando la pérdida de la capa arable (ANAM 2009).

Además, en distritos como Las Minas, Los Pozos y Macaracas los cambios en los contenidos de materia orgánica, dan señales de un progresivo avance en la degradación de los suelos, coincidiendo con las áreas más deforestadas de la península de Azuero.

También se verifica en los Cuadros 1 y 2 los bajos niveles de P, Zn y Cu en los suelos. También hubo un empobrecimiento constante de los niveles de materia orgánica en los suelos analizadas, con excepción de los distritos de Tonosí y Pedasí.

Los suelos más comunes encontrados en la región de Azuero se clasifican como Udic Dystropepts, umbric dystropepts, udic tropudalf, vertic hapludalf vertic dystropepts. Todos originados de rocas ígneas, lo que explica el por qué los bajos niveles de nutrimentos en muchos de estos (CATAPAN 1970).

Igualmente, en el caso del P, estos suelos poseen una elevada capacidad de fijación de fosfatos, ya que

están compuestos principalmente de arcillas caolinita y haloisita (1:1) consideradas de baja reactividad y altamente fijadoras de fosfatos (Jaramillo 1991).

Las propiedades del suelo de algunos corregimientos que tienen una importante producción agropecuaria y para los cuales se contaba con suficiente número de muestras analizadas en el laboratorio durante los últimos 21 años, se presenta en los Cuadros 3 y 4.

Corregimientos ubicados en las zonas altas de Azuero, donde se concentra, relativamente, la mayor cantidad anual e intensidad de lluvias, presentan los mayores niveles de acidificación y pérdida de la fertilidad.

En corregimientos como Chupá de Macaracas, El Chumical de Las Minas y Los remedios de Ocú, la degradación de las propiedades del suelo ha sido mayor (Cuadro 3 y 4). Especialmente, en propiedades como pH, saturación de Al y contenido de materia orgánica.

El laboreo y preparación del suelo lo deja desnudo. La deforestación, el sobrepastoreo, la aplicación de fertilizantes amoniacales, la no rotación de cultivos y el exceso de lluvias en las zonas más altas de ambas provincias, son factores que contribuyen al aumento de la degradación y pérdida de la fertilidad de los suelos.

Malas prácticas agrícolas aunadas con la alta tasa de deforestación han provocado un rápido deterioro de

Cuadro 3. Principales propiedades de los suelos en Azuero, Panamá. Promedio de resultados de análisis entre 1990 y 2000 para algunos corregimientos.

Distrito	pH	Suma de bases	Saturación de Aluminio	Materia orgánica	Fósforo disponible	Zinc	Cobre
	1:2,5	cmol(+)/kg	-----%-----		-----mg/l-----		
Portobelillo	5,7	14	15	2,0	2	2	1
Los Remedios	5,1	6	58	1,7	2	1	1
El Barrero	5,8	12	18	1,9	1	2	1
El Chumical	5,1	5	71	1,6	1	1	2
El Rincón	5,8	13	26	2,0	3	2	1
Chupá	5,2	6	64	1,7	2	1	1
Cañas	6,3	18	8	2,7	2	4	3
El Ejido	5,4	14	22	1,8	1	1	2
La Enea	6,0	16	13	2,2	2	2	1
El Manantial	5,8	15	12	1,8	1	2	2

Cuadro 4. Principales propiedades de los suelos en Azuero, Panamá. Promedio de resultados de análisis entre 2001 y 2011 para algunos corregimientos.

Distrito	pH	Suma de Bases	Saturación de Aluminio	Materia orgánica	Fósforo disponible	Zinc	Cobre
	1:2.5	cmol(+)/kg	-----%-----		-----mg/l-----		
Portobello	5,6	14	15	1,9	2	2	1
Los Remedios	4,9	6	59	1,7	1	1	1
El Barrero	5,7	13	18	1,8	1	2	1
El Chumical	4,9	5	75	1,7	1	1	2
El Rincón	5,7	12	27	2,0	2	2	1
Chupá	5,0	5	66	1,7	2	1	1
Cañas	6,2	17	7	2,6	2	4	2
El Ejido	5,2	12	25	1,6	1	1	2
La Enea	6,0	16	11	2,1	3	2	1
El Manatí	5,6	14	11	1,6	2	1	2

los suelos agrícolas en ambas provincias de la región de Azuero.

Algunas prácticas recomendadas para la zona serían:

- * En cada campaña agrícola, al menos neutralizar el residuo ácido de los fertilizantes aplicados basado en los análisis químicos de suelo.
- * Realizar análisis de suelos cada tres años a las parcelas para darle seguimiento al contenido de nutrientes y así poder programar campañas de aplicación de enmiendas.
- * Propiciar el uso de sistemas de cultivos que promuevan el aumento de los contenidos de materia orgánica utilizando abonos verdes, aplicación de residuos orgánicos entre otros.
- Utilizar sistemas de labranza que dejan rastrojos en la superficie, permitiendo hasta un 70% de cobertura vegetal, por ejemplo siembra directa, labranza mínima o reducida.
- * Sistemas de cultivos que propicien el deterioro, como el cultivo de maíz seguido de pastoreo, deben dejar de aplicarse como opción tecnológica y económica.

El uso de tecnologías de altos insumos reduce el deterioro del recurso suelo, siempre y cuando sean bien implementadas.

LITERATURA CITADA

- ANAM (Autoridad Nacional del Ambiente). Unidad de cambio climático y desertificación. 2009. Atlas de las tierras secas y degradadas de Panamá. ANAM. Panamá. 76 p.
- Casanellas, JP. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 3 ed. Mundi Prensa. Madrid, España. 929 p.
- Chirinos, AV; De Brito, J; De Rojas, I. 2005. Características de fertilidad de algunos suelos venezolanos vistos a través de los resúmenes de análisis rutinarios. Rev. Fac. de Agron. 20:175-182.
- Coleman, DC; Crossley, DA.; Hendrix, PF. 2004. Fundamentals of soil ecology. Academic Press. 2 ed. London. 386 p.
- CATAPAN. Comisión de Reforma Agraria. 1970. Reporte final sobre el Catastro Rural de Tierras y Aguas de Panamá. International Resources and Geotechnics, Inc. International Engineering Company, inc. The Jacobs Company. Panamá, vol. 1. 504 p.
- Estrada, RD; Girón, E; Pernet, Ximena. 2004. Como incorporar la depreciación de los recursos naturales en las cuentas nacionales. CONDESAN. Análisis de unidades de respuesta hidrológica. Universidad Central de Venezuela. Documentos ambientales. 65 p.
- ETESA (Empresa de Transmisión Eléctrica). 2011. Datos de precipitación anual 2003-2011. Consultada 20 oct. 2011. Disponible en www.etsa.gob.pa.

- FAO. 1987. Guidelines for economics appraisal of watershed management project by Gregersen, Brooks and Hamilton. FAO. Conservation Guide N° 16. Rome. 147 p.
- IDIAP (Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá). 2006. Zonificación de suelos de Panamá por niveles de nutrientes. Proyecto de determinación de la viabilidad del agronegocio en las principales cuencas hidrográficas de Panamá. IDIAP. Panamá. 24 p.
- Jaramillo, S. 1991. Pedones de campo y estaciones experimentales de IDIAP. Boletín Técnico N° 38. 68 p.
- Lutz, E; Pagiola, S; Reiche, C. 1994. Economics and institutional analyses of soil conservation projects in Central America and the Caribbean. World Bank. Environment paper N° 8. Washington, DC. 208 p.
- Navarro, GG. 2003. Química agrícola: El suelo y los elementos químicos. Mundi Prensa. 3 ed. Madrid, España. 487 p.
- Name, B; Cordero, A; Bernal, J. 1987. Alternativas para uso y manejo de suelos ácidos en Panamá. Compendio de los resultados de investigaciones presentados en la II Jornada Científica. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. Región Central, Divisa, Panamá. 23 p.
- Sicard, TL. 2001. Relaciones agricultura-ambiente en la degradación de tierras en Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. 32 p.
- Villarreal, JE; Name, B. 1996. Técnicas analíticas del Laboratorio de Suelos del IDIAP. IDIAP, Divisa, Panamá. 126 p.