

# Estudio de la fertilidad y de los metales pesados en suelos de agroecosistemas tropicales de una zona transfronteriza de la República Dominicana-Haití

## Fertility and heavy metal contents of soils in the tropical agroecosystems of the Dominican Republic-Haiti frontier zone

J. Pastor<sup>1,4</sup>, S. Alexis<sup>3,4</sup>, C. Vizcayno<sup>2</sup> & A. J. Hernández<sup>3,4</sup>

---

### RESUMEN

Se exponen los datos referidos a la cuantificación de la fertilidad, MO. y metales pesados en la capa superficial de los suelos de 30 agroecosistemas tropicales en tres tipos de bosques (nublado, latifoliado y seco), correspondientes a un territorio de marcada pobreza (suroeste de la República Dominicana-Haití). El desarrollo de una agricultura sostenible en la zona requiere evaluar la fertilidad de los suelos; problema fundamental debido al cambio que sufren sus características físicas y químicas cuando se talan y queman los bosques y luego se cultivan. La información respecto a los suelos del territorio es prácticamente nula, por lo que este trabajo constituye una aportación, especialmente para la cuenca hidrográfica transfronteriza del río Pedernales.

Los agroecosistemas estudiados se encuentran mayoritariamente comprendidos entre los 1200 m de altitud y el nivel del mar y constituyen las fuentes esenciales pa-

ra la alimentación humana y animal: pastos y cultivos de habichuela, maíz, sorgo, café, plátano-guineo, frutales y tubérculos.

**Palabras clave:** aniones del suelo, fertilidad edáfica, metales litogénicos, tala y quema.

### ABSTRACT

This paper reports fertility, organic matter and heavy metal data obtained in topsoil samples from 30 tropical agroecosystems in three types of forest (rain, latifoliated and dry) in an area of extreme poverty (SE Dominican Republic-Haiti). For sustainable agricultural practice in this zone, soil fertility needs to be first assessed since this factor has been severely compromised by changes in the physical and chemical properties of the soil induced by the felling and burning of trees to make way for crops. Information on the soils of the region is practically null. This study focuses mainly on the transfron-

---

<sup>1</sup> Dpto. de Ecología de Sistemas, IRN CCMA, CSIC, c/ Serrano, 115 duplicado. 28002 Madrid. e-mail: [jpastor@ccma.csic.es](mailto:jpastor@ccma.csic.es); <sup>2</sup> Dpto. de Suelos, IRN CCMA, CSIC, 28002 Madrid. e-mail: [cvizcayno@ccma.csic.es](mailto:cvizcayno@ccma.csic.es); <sup>3</sup> Dpto. d Ecología, Edificio Ciencias, Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, 28871 Madrid. e-mail: [anaj.hernandez@uah.es](mailto:anaj.hernandez@uah.es); <sup>4</sup> INSE Instituto de Investigación Socioeducativa República Dominicana. e-mail: [alexis.faeaton@yahoo.es](mailto:alexis.faeaton@yahoo.es)

tier basin of the Pedernales River.

The agroecosystems examined occur from an altitude of 1200 m to sea level and are the main food sources for human and animal consumption: bean, corn, sorghum, coffee, Guinea banana, fruit trees and tubers.

**Key-words:** soil anions, felling and burning, soil fertility, lithogenic metals.

## INTRODUCCIÓN

Entre los ocho objetivos que constituyen compromisos para alcanzar el desarrollo para las gentes más pobres de la tierra, está el de la sostenibilidad ambiental. En este aspecto, se ha llegado a la conclusión de que los principales problemas para un desarrollo humano sostenible, están relacionados con la reducción de la productividad de los suelos causada por la degradación ambiental. En la actualidad existen iniciativas basadas en la incorporación de estrategias de conservación de los suelos relacionadas con los procesos productivos/extractivos. Una de las soluciones propuestas en el Proyecto del Milenio por Naciones Unidas, es el desarrollo agrícola, optimizando la protección del suelo y su manejo sostenible (Sachs, 2005). Ello significa tener en cuenta sus funciones ecológicas y sus usos, pero también los peligros de la pérdida de fertilidad (Altieri, 2001) y de su posible contaminación local o difusa, que pueden amplificar los problemas de erosión. Con el objetivo de ahondar en estas cuestiones, se presenta el estudio en un escenario idóneo como es la región de Pedernales, transfronteriza entre República Dominicana y Haití. El conocimiento de sus agroecosistemas es totalmente necesario para determinar los sistemas eficaces en

agricultura (Mäder *et al.*, 2002), por lo que se aborda el estudio de las principales características químicas de sus suelos.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Geología y litología. La isla, también en su parte dominicana, forma parte del arco antillano, que va desde América del Norte a la del Sur. Del continente parten tres hileras de montañas, ahora sumergidas. La que viene de América Central penetra en Santo Domingo, emerge en la península de Tiburón en Haití y se desvía un poco hacia el Sur al llegar a la República Dominicana, denominándose Sierra de Bahoruco.

La isla se formó hace aproximadamente 10 millones de años con la colisión de dos "paleo-islas". La Paleo isla Sur incluye esta Sierra. Antes, durante el Mioceno tardío, el área completa estaba cubierta por un mar poco profundo. Es por ello que casi todo el Suroeste está cubierto por formaciones calizas de diferentes épocas.

La Sierra de Bahoruco es un sistema montañoso, resultado de fuerzas tectónicas, originadas por el desplazamiento de las placas continentales de América del Norte sobre la placa del Caribe. El procurrente consta de calizas de origen arrecifal, que presentan amplias fracturas rellenas por óxido férrico. Es un área abrupta, rica en minerales. En la ladera norte existen grandes depósitos de sal y yeso, en la sur hay profundas capas de tierras rojas, ricas en alúmina de donde se extrae bauxita.

Las calizas son sedimentarias. La complejidad de la geología se debe al gran tectonismo presente, donde se localiza el más amplio sistema de fallas, dando origen a la formación de medianos y pequeños valles, cabalgamientos de calizas ecólicas sobre calizas oligocénicas y grandes hundimientos cársticos. Este tectonismo regional es el

producto de los efectos compresionales provenientes de la parte occidental. Las rocas del complejo ígneo son de origen volcánico, principalmente basaltos, piroclastos y gabros.

Se pueden diferenciar diversos tipos de litología, desde sustrato lítico con coluviones de calizas, pasando por suelo de descalcificación de calizas de color rojizo con alto contenido en hierro, hasta un suelo carbonatado, formado sobre unas dolomías. En la zona baja predominan las calizas margosas del Oligoceno. En algunos lugares colindantes, se encuentran cantos sueltos rodados carbonatados con manchas de óxidos de unas calizas margosas, oquerosas con huella de disolución, lo que indica que en esa zona es abundante la arcilla. Por ello percibimos suelos carbonatado de color rojo y muy ricos en hierro. Mientras que en la parte del bosque seco hacia los manglares, se pueden observar unos abanicos aluviales y unas calizas de arrecifes coralinos; de bolos con mezclas detríticas y restos de conchas.

En la parte media de la cuenca del río de Pedernales se aprecian unas calizas sobre alteritas y limonita, mientras que en otra zona se pueden observar calizas margosas cristalinas y caliza silicificada de nódulos de sílex, en un paquete carbonatado. Sin embargo, en la parte alta se pueden apreciar suelos de coluviones de calizas y cantos rodados, con restos de arcillas rojizas por efectos de la laterización intensa y unos suelos carbonatados de calcio, que apuntan a unas calizas dolomíticas, pero evidentemente con más carbonato cálcico

Las rocas sedimentarias calizas son la litología predominante, aunque podemos decir que los coluviones de calizas, son mayoritarios en el área del bosque de coníferas y del bosque nublado; las calizas cristalinas en el bosque latifoliado y las rocas detríticas y arrecifes del cuaternario (carbonatadas sobre alteritas) en el bosque seco. A partir de los

14 m sobre el nivel del mar, se inician las terrazas kársticas hasta alcanzar una elevación entre los 50-60 m. Se encuentran yacimientos de bauxita sobre los 365 m en Las Mercedes y a partir de 1.280 m hasta los 1.645 m. Todo este origen geológico puede causar la presencia de metales en los suelos, ya Hernández *et al.* (1997) detectaron presencia frecuente de metales pesados en los suelos agrícolas del área.

**Área de estudio:** Se trata de un paisaje rural en el que se sitúa la cuenca del Pedernales. Constituye una de las principales zonas transfronterizas entre estos países y, al ser el área de la isla más afectada por los huracanes y tormentas tropicales, posee un alto nivel de pobreza (en el país dominicano afecta a un 75% de las familias y no se tienen datos para la parte haitiana, aunque sabemos que es aún mayor).

Un total de 130 fincas han sido evaluadas para conocer estas características (Tabla 1). Sus sistemas de manejo corresponden a monocultivos, especialmente en la cuenca alta; policultivos en la cuenca media y baja, además de pastos y rotación de cultivos en la baja. Se utiliza indistintamente el labrar el suelo y añadir abono orgánico. Muy frecuentemente se deforesta, tala y quema para labrar, añadiendo frecuentemente herbicidas; en algunas fincas se añade abono orgánico proveniente de restos de cosechas. En la cuenca baja los cultivos mayoritarios son de regadío. Muchas de las fincas en la cuenca alta y media, están ubicadas en terrenos con pendientes acusadas y en buena parte son de naturaleza mixta, agricultura y pasto (ovino y caprino).

**Muestreo y análisis químico de suelos:** Un total de 30 muestras de la capa superficial, se recogieron al azar en cada sistema de uso, desde los 1300 hasta los 5 m. sobre el nivel del mar. Se ha considerado como cuenca alta al territorio comprendido entre 700 y 1.300 m; cuenca media, desde los 300

**Tabla 1.** N° total de fincas estudiadas en cada una de las zonas de la cuenca (alta, media y baja).

Zona geográfica	Bosque tropical manejado		
	Coníferas y Nublado	Latifoliado	Seco
	Cuenca Alta	Cuenca Media	Cuenca Baja
República Dominicana	14	41	14
Haití	26	14	21

a los 700 m y cuenca baja, a menos de 300 m. Las muestras se recogieron en una de las estaciones secas del territorio (febrero-marzo). Tamizados los suelos, los análisis se realizaron en la fracción menor de 2 mm, mediante las técnicas analíticas que se exponen en Hernández y Pastor (1989). Se determinaron: pH, MO., N total, % de carbonatos, nutrientes como P, K, Ca, Mg y Na, micronutrientes esenciales para las plantas (Fe, Cu, Zn y Mn). El exceso en el

suelo, de algunos, puede provocar problemas de toxicidad. Los niveles pseudototales y disponibles de los metales se han determinado por espectroscopia de emisión de plasma, tras moler los suelos con mortero de ágata y someterlos a ataque ácido con HNO<sub>3</sub> y HClO<sub>4</sub> en proporción 4:1, en el caso de los contenidos pseudototales, y los contenidos disponibles de Al, Cd, Cr, Ni y Pb, se determinaron según Lakanen y Ervicio (1971).

**Tabla 2a.** Altitud, pendiente, MO., N total, CO<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y contenidos medios (mg/100g), y desviaciones típicas de cationes cambiables, en los suelos de los agroecosistemas de la provincia, agrupados por unidades de paisaje (Bosques latifoliado y nublado).

Agroecosistemas (n°)	Alt m	Pend. %	MO %	N %	pH	CO <sub>3</sub> %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/100g	Ca camb. mg/100g	Mg camb. mg/100g	K camb. mg/100g	Na camb. mg/100g
<b>B. latifoliado</b>											
Pastos	640,0	13,0	12,1	0,433	7,4	28,0	21,4	643,6	34,1	24,8	3,2
(4)	427,2	6,3	4,2	0,245	0,5	34,0	23,2	146,6	32,4	19,3	0,7
Habichuelas	656,6	26,9	11,1	0,629	6,9	6,1	12,2	589,6	32,6	18,9	3,2
(7)	72,2	7,4	4,3	0,222	0,6	7,0	12,0	234,3	29,7	12,3	0,7
Plátano & Guineo	652,3	36,3	11,32	0,691	7,6	15,1	17,3	643,3	27,0	17,0	2,8
(3)	67,4	26,1	3,8	0,247	0,5	13,4	9,3	271,2	14,5	2,6	0,8
Café	677,7	18,0	11,7	0,726	6,9	6,6	12,3	473,3	35,8	23,7	3,0
(3)	53,3	3,5	2,5	0,119	1,0	11,4	8,0	196,6	10,4	16,7	1,0
Maíz	806,0	18,8	8,4	0,616	6,7	2,3	8,3	545,9	20,2	18,1	3,6
(6)	281,5	5,8	2,2	0,140	0,8	3,5	11,4	259,1	15,5	10,4	1,1
Sorgo	620,0	25,0	4,7	0,415	6,2	10,5	3,5	296,7	5,1	5,3	4,0
(1)											
Frutales	1125,0	33,3	17,9	0,873	5,6	0,0	12,2	221	31,9	26,2	6,0
(3)	337,7	11,5	4,5	0,223	0,8	0,0	14,0	276	51,6	5,1	5,2
Tubérculos	621,25	28,75	12,3	0,691	6,6	4,7	10,0	462,6	35,5	23,3	3,6
(4)	90,4	10,3	5,1	0,228	0,4	9,4	12,2	255,9	38,7	15,1	1,6
<b>B. nublado</b>											
Tubérculos	1260,7	30,0	7,65	0,427	4,6	0,0	3,3	173,6	7,1	19,7	5,6
(3)	95,9	10,0	5,06	0,166	0,5	0,0	3,5	214,0	3,3	13,2	5,6

**Tabla 2b.** Altitud, pendiente, MO., N total, CO<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y contenidos medios (mg/100g) y desviaciones típicas de cationes cambiables, en los suelos de los agroecosistemas de la provincia, agrupados por unidades de paisaje (Bosque seco).

Agroecosistemas (n°)	Alt m	Pend. %	MO %	N %	pH	CO <sub>3</sub> %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/100g	Ca camb. mg/100g	Mg camb. mg/100g	K camb. mg/100g	Na camb. mg/100g
<b>B. seco</b>											
Pastos (2)	17,0 11,3	3,0 0	7,7 4,2	0,380 0,240	6,9 0,8	32,5 45,9	12,8 11,7	607,5 10,6	41,5 19,7	119,0 86,3	3,3 2,5
Habichuelas (5)	25,4 15,4	2,2 1,3	3,1 2,0	0,257 0,183	8,1 0,3	62,6 23,4	10,7 8,5	482,0 57,9	8,1 6,1	16,3 20,0	2,2 1,4
Plátano & Guineo (4)	26,0 22,4	3,0 2,2	2,9 1,6	0,285 0,177	8,1 0,2	54,0 25,7	21,1 20,3	444,8 77,6	10,5 7,5	20,1 22,3	2,7 1,2
Maíz (29)	17,5 3,5	1,5 0,7	1,9 2,0	0,365 0,262	8,1 0,2	50,9 35,2	4,5 6,4	426,5 37,5	6,8 8,2	5,4 2,6	3,1 2,0
Sorgo (1)	100,0	2,0	6,3	0,409	8,1	67,5	17,0	550,0	19,0	66,0	2,0
Frutales (2)	25,0 7,07	3,5 2,12	3,94 4,9	0,408 0,202	8,0 0,40	42,0 22,6	5,3 7,4	540,0 198,0	16,9 22,6	34,8 44,2	3,25 1,8

Existe muy escasa información de estudios agrícolas publicados, tanto en República Dominicana (Antonini *et al.*, 1985; Peña, 2000) como en Haití, especialmente en lo referente al análisis de datos edáficos, y no hemos encontrado ninguna para el área de estudio (Alexis, 2008). Por ello se aborda el análisis de características edáficas de importancia fundamental, si queremos encaminarnos hacia una agricultura sostenible en un área que goza de pertenecer a la única reserva de la biosfera en el país.

Desde el punto de vista de las propiedades químicas en los suelos de los agroecosistemas, los contenidos de MO., N y P son imprescindibles para evaluar su fertilidad (Tablas 2a y 2b), así como otros elementos que constituyen nutrientes básicos para las plantas. Pero también se hace imprescindible el conocimiento del status de oligoelementos importantes (Cu y Zn), tanto para saber si existen deficiencias o toxicidad, y ésto también sucede para otros metales (Tablas 3a y 3b). Los

valores de pH de los suelos, fueron únicamente muy ácidos en los suelos de cultivos de tubérculo localizados en el bosque nublado (4, 6), osciló de 5,6 a 7,6 en los cultivos del bosque latifoliado, y entre 6,9 y 8,1 en los del bosque seco. Es decir, son suelos de pH más elevado que los de la mayoría de los suelos tropicales, como los evaluados por Templer *et al.* (2005) y Slocum *et al.* (2006) en dos áreas protegidas del este y norte del país dominicano. Debido al pH, los niveles de los compuestos inorgánicos en el suelo varían considerablemente.

Los contenidos de MO y N total son adecuados, excepto en el caso del cultivo del sorgo. Los valores más elevados se alcanzan en los suelos de frutales y los más bajos en el mencionado cultivo de sorgo. La evaluación de los contenidos de P del suelo suele ser un tema controvertido. En este estudio, el contenido de P asimilable (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) es bajo en los suelos donde se sembró sorgo y tubérculo en el área del Bosque latifoliado-nublado y también en los suelos de cultivo del maíz

**Tabla 3a.** Contenidos medios (mg/kg) y d. típicas, de metales pseudototales en los suelos de los agroecosistemas de la provincia, agrupados por unidades de paisaje (B. latifoliado y nublado).

Agro-ecosistemas (n°)	Al	Fe	Mn	Zn	Cu	Cd	Cr	Ni	Pb
<b>B. latifoliado</b>									
Pastos	67507,5	43036,8	1925,8	211,5	74,1	8,5	90,6	74,3	17,6
(4)	46572,1	28052,7	1268,9	96,3	70,9	4,6	94,3	62,9	13,4
Habichuelas	95680,1	54158,5	2790,4	303,5	132,5	14,0	95,1	122,4	27,2
(7)	56803,2	35701,8	1001,8	127,9	89,3	10,0	95,3	89,1	19,5
Plátano&Guineo	101343,3	58986,7	3013,3	302,0	144,5	16,9	118,7	138,6	19,8
(3)	64747,4	39831,8	245,1	138,4	72,1	9,8	151,4	111,4	17,6
Café	139676,7	69366,7	5270,8	421,5	190,8	33,5	113,3	177,8	26,0
(3)	63211,5	38049,6	2273,5	201,0	97,8	23,3	81,8	114,3	16,9
Maíz	94010,2	44319,0	2639,3	318,9	117,9	11,2	60,2	101,4	17,1
(6)	41752,9	31768,3	501,8	102,1	87,3	9,3	31,3	67,1	11,3
Sorgo (1)	63885,0	29002,5	1602,15	301,3	54,7	3,8	122,1	61,3	60,2
Frutales	59290,0	29283,3	2977,8	153,7	47,3	5,7	62,3	35,6	9,0
(3)	20013,5	14044,4	1430,5	29,3	9,6	6,3	38,7	6,2	5,1
Tubérculos	94058,8	45642,8	3167,9	300,5	101,8	12,5	113,2	110,3	18,3
(4)	59131,3	39189,5	963,4	126,2	80,7	9,8	120,7	103,5	14,6
<b>B. nublado</b>									
Tubérculos	67493,7	30698,7	847,7	112,9	50,3	2,3	53,9	34,4	12,9
(3)	56971,2	19782,7	954,1	65,4	42,4	2,5	46,0	26,6	6,2
Niv. ref. S. agrícolas (WHO)				140	36	0,8	100	35	-
Niv. ref. Suelos (Holanda)				200	50	1,0	100	50	50
Niv. ref. S. (Brasil) calidad				60	35	< 0,5	40	13	17
prevención				300	60	1,3	75	30	72
intervención				450	200	3	150	70	180

en el Bosque seco, mientras que los contenidos fueron aceptables para el resto de los suelos.

Al estudiar además el contenido de P disponible (Tabla 2), vemos que sus valores son bajos en los cultivos ubicados en los tres tipos de bosque, excepto en los de maíz, frutales y tubérculos en el caso del B. latifoliado-nublado y en el del sorgo en el B. seco, probablemente porque fue abonado. Esta cuestión está íntimamente relacionada con la evolución del P en suelos ricos en óxidos e hidróxidos de Fe y Al, como parece ocurrir en este territorio, ya que son capaces de inmovilizar este elemento. Por otra parte, los contenidos medios de K cambiante van

desde niveles medios a elevados en todos los agroecosistemas. Los de Ca y Mg cambiables son igualmente elevados en todos los suelos, mientras que los del Na son del mismo orden en todos los casos. Para el comentario de los datos edáficos que acabamos de realizar, nos hemos basado en los estudios de diferentes autores, de los que destacamos los trabajos de Young, 1976; Martin, 1984; Buringh, 1986, Fasbender & Bornesmiza, 1987 y Sánchez, 2003.

En las Tablas 3a y 3b nos ha interesado especialmente poder ver si existen en los suelos de cultivo, niveles elevados de metales potencialmente dañinos, que puedan dificultar o impedir el empleo de los mismos

**Tabla 3b.** Contenidos medios (mg/kg) y desviaciones típicas, de metales pseudototales en los suelos de los agroecosistemas de la provincia, agrupados por unidades de paisaje (Bosque seco).

Agroecosistemas		Al	Fe	Mn	Zn	Cu	Cd	Cr	Ni	Pb
(n°)										
<b>B. seco</b>										
Pastos	53287,5	33225,0	1244,8	53,0	46,5	0,54	42,7	49,7	10,5	
(2)	52060,7	32208,7	993,8	42,4	37,5	0,6	49,8	51,2	13,4	
Habichuelas	46048,4	26641,0	989,1	71,3	73,3	13,6	54,8	61,2	9,4	
(5)	61181,3	29653,7	1219,1	66,7	107,0	24,8	69,9	76,0	13,6	
Plátano&Guineo	55187,5	32288,3	1257,5	93,6	91,7	17,2	65,5	74,4	11,3	
(4)	66627,9	31147,9	1251,8	59,1	114,7	27,1	75,8	81,1	14,9	
Maiz	84645,8	43911,5	1541,2	91,8	138,2	29,6	92,3	100,0	15,8	
(2)	92654,0	40430,2	1975,4	79,5	170,8	39,5	112,0	116,6	22,3	
Sorgo (1)	20440,0	16030,0	638,0	30,5	21,0	0,0	9,91	15,2	2,5	
Frutales	89424,5	49206,0	1953,5	96,5	148,0	28,8	94,0	114,8	16,3	
(2)	85895,8	32942,7	1392,3	72,8	156,98	40,59	109,60	95,8	21,6	
Nivel ref. S. agrícolas (WHO)				140	36	0,8	100	35	-	
Nivel ref. Suelos (Holanda)				200	50	1,0	100	50	50	
Niv. ref. S. (Brasil) calidad				60	35	< 0,5	40	13	17	
prevención				300	60	1,3	75	30	72	
intervención				450	200	3	150	70	180	

**Tabla 4a.** Contenidos medios (mg/kg) y desviaciones típicas, de Al, metales pesados disponibles, P y B (Método de Lakanen&Ervio), en los suelos de los agroecosistemas de la provincia, agrupados por unidades de paisaje (Bosques latifoliado y nublado).

Agroecosistemas		Al	Mn	Fe	Zn	Cu	Cd	Ni	Pb	Cr	B	P
(n°)												
<b>B. latifoliado</b>												
Pastos	279,0	775,6	275,0	20,6	14,5	6,6	10,8	3,86	0,5	8,5	5,02	
(4)	202,1	688,4	268,7	15,9	14,1	4,27	11,9	2,96	0,35	6,7	10,1	
Habichuelas	501,2	699,1	223,8	13,2	13,8	9,1	6,2	1,5	0,27	9,8	19,0	
(7)	426,0	469,4	210,7	10,3	10,6	7,9	7,3	1,05	0,3	5,4	44,3	
Café	825,3	1145,5	438,3	28,4	25,86	23,1	16,6	2,11	0,52	11,8	0,0	
(3)	428,9	686,4	298,5	15,5	11,9	18,8	16,8	1,38	0,36	2,0	0,0	
Plátano&Guineo	536,3	734,9	225,9	18,0	21,1	10,9	7,6	1,47	0,32	12,2	0,0	
(3)	523,6	384,6	181,3	7,5	7,0	8,4	7,8	1,31	0,31	0,95	0,0	
Maiz	222,7	374,3	81,2	12,2	9,8	5,9	3,8	7,19	0,11	6,5	29,1	
(6)	279,2	452,1	114,0	10,4	11,0	7,5	6,8	15,14	0,2	6,2	59,9	
Sorgo (1)	79,8	55,6	79,8	5,4	2,6	0,72	0,2	0,0	0,0		12,2	
Frutales	3069,3	542,4	383,	17,1	12,1	3,9	1,66	0,68	0,97	17,3	39,6	
(3)	1856,9	592,0	188,0	11,2	2,8	5,3	0,62	1,18	0,61	6,0	68,7	
Tubérculos	706,6	675,5	265,9	13,0	11,5	7,8	5,41	1,34	0,31	13,2	31,2	
(4)	397,5	593,6	273,5	13,2	10,4	8,7	7,19	1,42	0,36	1,8	58,5	
<b>B. nublado</b>												
Tubérculos	1472,5	90,2	155,1	5,8	6,1	0,87	0,57	0,35	0,61	6,68	6,3	
(3)	2043,4	90,5	213,9	3,7	5,5	1,03	0,45	0,32	0,93	9,22	10,9	

**Tabla 4b.** Contenidos medios (mg/kg) y desviaciones típicas, de Al, metales pesados disponibles, P y B (Método de Lakanen&Ervio) en los suelos de los agroecosistemas de la provincia, agrupados por unidades de paisaje (Bosque seco).

Agroecosistemas (n°)	Al	Mn	Fe	Zn	Cu	Cd	Ni	Pb	Cr	B asi	P
<b>B. seco</b>											
Pastos (2)	529,5 748,8	464,3 652,1	129,1 174,8	2,3 2,1	14,3 17,1	0,75 0,35	11,7 15,7	3,18 3,51	0,36 0,22	7,8 8,3	0,0 0,0
Habichuelas (5)	20,7 25,7	86,6 111,4	25,7 29,6	5,8 6,3	8,1 8,7	10,6 20,1	1,4 1,15	1,1 1,62	0,37 0,16	3,3 5,4	1,1 2,5
Platano&Guineo (4)	24,3 26,7	125,3 124,2	24,2 22,4	11,5 7,1	13,5 5,4	13,2 22,2	2,1 1,65	1,28 1,79	0,25 0,17	7,5 6,4	11,4 17,7
Maiz (2)	3,0 2,4	25,1 0,7	6,7 5,8	6,1 3,8	12,6 0,27	23,6 32,2	0,67 0,19	0,65 0,92	0,31 0,27	0,40 0,27	0,0 0,0
Sorgo (1)	16,0	204,0	23,9	5,0	6,1	0,0	2,9	0,0	0,0	11,1	20,1
Frutales (2)	0,8 0,28	31,6 9,8	3,8 1,6	2,7 1,1	8,7 5,87	23,4 32,6	1,15 0,49	0,95 0,49	0,35 0,21	1,4 1,3	0,0 0,0

con fines agrícolas. Destaca en primer lugar, un hecho muy preocupante, los valores medios de Cd de los suelos son en casi todos los grupos suficientemente elevados para excluir a muchos de ellos para su uso agrícola; y no sólo eso, los contenidos medios de Cu son también relativamente elevados, así como los de Ni. En algunos agroecosistemas también son elevados ciertos contenidos de Zn y Cr, y en un caso los de Pb. Los valores medios de Mn y Al son también notablemente elevados. Los niveles de referencia de los metales en los suelos de Holanda han sido consultados en M.H.P.P. (Netherlands), 1991 y en los suelos de Brasil en Fadigas *et al.* (2006).

Todos estos datos ponen claramente de manifiesto el origen claramente litogénico de procedencia de los mismos (Hernández *et al.*, 2006). Comparando los resultados con otros de suelos tropicales latinoamericanos, diremos que los valores alcanzados para los metales pesados son superiores a los observados por Davies *et al.* (1999) en 162 suelos estudiados a lo largo de Venezuela. Otros autores (Wilcke *et al.*, 1998), al estudiar el

contenido de metales pesados en 16 suelos de Costa Rica con cultivo del café y con bosques naturales encontraron valores todavía menores a los hallados en Venezuela. La excepción fue el Cu, más elevado que el que se encontró en Venezuela y también en los suelos de Pedernales.

También se ha expuesto en Hernández *et al.* (2006) que, independientemente de la erosión y movimientos de tierras por la acción de los huracanes, los dos procesos antrópicos que más influyen en los procesos edáficos de los suelos de sus ecosistemas tropicales (agricultura y explotación de bauxita y caliza) se implican entre sí; los metales litogénicos se asocian con minerales primarios y pueden estar disponibles en el sistema suelo-planta, por lo que pensamos que la cuantificación de todos estos parámetros debe ser tomada en cuenta a escala local y regional.

En las Tablas 5a y 5b podemos observar las medias y desviaciones típicas de los contenidos de metales solubles, aquellos que son más fácilmente disponibles para las plantas. Finalmente, al estudiar los



**Tabla 5a.** Contenidos medios de metales solubles (mg/kg) y d. típicas en los suelos de los agroecosistemas de la provincia, agrupados por unidades de paisaje (B. latifoliado y nublado).

Agroecosistemas (n°)	Ca	Mg	K	Na	P	Fe	Mn	Zn	Cu	Cr	Al
<b>B. latifoliado</b>											
Pastos (4)	224,23 <i>92,24</i>	24,70 <i>20,07</i>	35,17 <i>19,64</i>	22,66 <i>14,81</i>	0,21 <i>0,42</i>	1,67 <i>1,80</i>	1,22 <i>1,54</i>	0,03 <i>0,05</i>	0,09 <i>0,04</i>	0,002 <i>0,004</i>	2,63 <i>2,98</i>
Habichuelas (7)	199,73 <i>90,37</i>	22,67 <i>22,56</i>	28,72 <i>18,94</i>	39,85 <i>64,11</i>	0,98 <i>1,12</i>	5,52 <i>14,00</i>	2,45 <i>3,33</i>	0,07 <i>0,06</i>	0,13 <i>0,02</i>	0,003 <i>0,003</i>	10,18 <i>26,32</i>
Platano&Guineo (3)	208,41 <i>123,96</i>	19,36 <i>13,45</i>	33,46 <i>26,53</i>	74,23 <i>96,32</i>	0,78 <i>0,92</i>	13,36 <i>20,73</i>	0,52 <i>0,61</i>	0,05 <i>0,08</i>	0,13 <i>0,05</i>	0,003 <i>0,004</i>	24,83 <i>39,04</i>
Café (3)	198,95 <i>25,72</i>	24,30 <i>17,87</i>	16,78 <i>4,50</i>	12,14 <i>5,76</i>	1,30 <i>0,69</i>	0,23 <i>0,08</i>	6,36 <i>9,00</i>	0,10 <i>0,05</i>	0,20 <i>0,01</i>	0,008 <i>0,000</i>	0,27 <i>0,25</i>
Maíz (6)	110,63 <i>95,53</i>	8,72 <i>11,30</i>	12,58 <i>7,22</i>	14,48 <i>4,78</i>	0,88 <i>0,74</i>	1,62 <i>1,87</i>	1,16 <i>1,21</i>	0,06 <i>0,05</i>	0,11 <i>0,02</i>	0,002 <i>0,003</i>	3,68 <i>4,39</i>
Sorgo (1)	163,38	5,6	14,14	25,65	0,95	0,82	4,54	0,06	0,14	0,0	1,06
Frutales (3)	110,22 <i>115,13</i>	29,15 <i>35,28</i>	42,65 <i>14,54</i>	29,23 <i>31,22</i>	1,12 <i>1,94</i>	5,49 <i>7,73</i>	1,17 <i>1,04</i>	0,01 <i>0,01</i>	0,06 <i>0,05</i>	0,003 <i>0,004</i>	9,83 <i>11,67</i>
Tubérculos (4)	175,38 <i>146,80</i>	26,81 <i>29,82</i>	35,48 <i>24,02</i>	57,70 <i>84,70</i>	1,56 <i>1,24</i>	10,29 <i>18,05</i>	2,88 <i>4,10</i>	0,05 <i>0,07</i>	0,12 <i>0,03</i>	0,0	19,46 <i>33,78</i>
<b>B. nublado</b>											
Tubérculos (3)	40,03 <i>22,57</i>	9,39 <i>7,50</i>	28,92 <i>25,56</i>	33,30 <i>27,98</i>	0,72 <i>0,77</i>	5,40 <i>7,76</i>	2,31 <i>1,43</i>	0,11 <i>0,10</i>	0,11 <i>0,05</i>	0,0	9,42 <i>11,53</i>

**Tabla 5b.** Contenidos medios de metales solubles (mg/kg) y desviaciones típicas en los suelos de los agroecosistemas de la provincia, agrupados por unidades de paisaje (Bosque seco).

Agroecosistemas (n°)	Ca	Mg	K	Na	P	Fe	Mn	Zn	Cu	Cr	Al
<b>B. seco</b>											
Pastos (2)	177,0 <i>52,07</i>	23,10 <i>11,26</i>	78,75 <i>16,88</i>	42,01 <i>46,16</i>	1,31 <i>1,31</i>	0,30 <i>0,35</i>	0,0	0,03 <i>0,04</i>	0,130 <i>0,01</i>	0,008 <i>0,004</i>	0,33 <i>0,47</i>
Habichuelas (5)	122,57 <i>55,32</i>	6,44 <i>3,92</i>	30,705 <i>32,11</i>	14,31 <i>10,45</i>	0,17 <i>0,18</i>	2,50 <i>4,40</i>	0,14 <i>0,20</i>	0,03 <i>0,04</i>	0,08 <i>0,03</i>	0,029 <i>0,05</i>	4,66 <i>8,58</i>
Platano&Guineo (4)	136,52 <i>86,77</i>	7,82 <i>5,32</i>	37,50 <i>34,80</i>	17,58 <i>10,03</i>	0,0	3,75 <i>4,86</i>	0,15 <i>0,17</i>	0,0	0,06 <i>0,04</i>	0,030 <i>0,05</i>	7,05 <i>9,41</i>
Maíz (2)	101,39 <i>82,75</i>	4,07 <i>5,38</i>	12,37 <i>11,33</i>	18,53 <i>17,31</i>	0,0	1,44 <i>2,00</i>	0,0	0,0	0,03 <i>0,02</i>	0,055 <i>0,08</i>	2,71 <i>3,83</i>
Sorgo (1)	174,39	11,23	113,83	8,16	0,41	0,21	0,0	0,03	0,125	0,008	0,11
Frutales (2)	113,03 <i>99,20</i>	9,59 <i>13,18</i>	45,40 <i>35,39</i>	20,44 <i>14,61</i>	0,79 <i>1,12</i>	0,25 <i>0,32</i>	0,0	0,04 <i>0,05</i>	0,11 <i>0,08</i>	0,060 <i>0,07</i>	0,31 <i>0,43</i>

**Tabla 6a.** Conductividad eléctrica, contenidos medios de aniones solubles (mg/kg) y desviaciones típicas, en los suelos de los agroecosistemas de la provincia, agrupados por unidades de paisaje (Bosques latifoliado y nublado).

Agroecosistemas (n°)	F	Cl	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	C. E. μS/cm
<b>B. latifoliado</b>							
Pastos	0,18	28,7	6,1	83,4	3,1	43,4	396,8
(4)	0,20	18,3	3,9	56,0	5,4	16,6	103,5
Habichuelas	0,09	39,3	10,1	120,3	0,4	44,9	420,4
(7)	0,2	44,0	13,0	97,4	0,7	26,7	137,9
Plátano&Guineo	0,0	78,1	90,2	30,7	1,98	60,4	500,7
(3)	0,0	55,6	122,2	38,0	3,44	9,7	138,9
Café	0,0	29,1	82,7	86,6	1,0	70,2	678,0
(3)	0,0	4,2	127,8	81,4	1,8	31,0	352,0
Maíz	0,10	19,5	4,2	83,3	0,23	19,3	227,0
(6)	0,2	7,2	6,1	29,0	0,6	14,0	130,6
Sorgo (1)	0,0	20,8	1,8	125,1	0,0	15,9	285,0
Frutales	0,0	35,9	2,6	180,8	0,48	56,3	474,7
(3)	0,0	10,9	1,1	135,3	0,82	38,0	171,6
Tubérculos	0,0	53,9	12,8	133,1	0,4	54,0	436,3
(4)	0,0	56,3	16,3	130,6	0,7	34,3	234,5
<b>B. nublado</b>							
Tubérculos	0,23	21,5	1,2	248,1	0,0	25,1	324,7
3	0,40	5,0	0,25	94,2	0,0	30,8	124,7

**Tabla 6b.** Conductividad eléctrica, contenidos medios (mg/kg) y d. típicas de aniones solubles, en los suelos de los agrosistemas de la provincia, agrupados por unidades de paisaje (B. seco).

Agroecosistemas (n°)	F	Cl	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	C. E. μS/cm
<b>B. seco</b>							
Pastos	1,18	20,2	15,8	75,35	0,76	59,3	422,0
(2)	1,24	13,8	18,1	43,98	1,08	28,7	72,1
Habichuelas	0,3	20,0	2,0	29,2	0,0	22,1	291,4
(5)	0,3	5,4	0,4	26,9	0,0	7,0	81,3
Plátano&Guineo	0,16	26,0	1,9	24,4	0,0	20,3	303,3
(4)	0,18	2,3	0,4	26,7	0,0	9,1	91,5
Maíz	0,4	18,5	3,1	7,6	0,0	13,7	280,0
(2)	0,2	10,1	2,4	0,2	0,0	0,4	148,5
Sorgo (1)	0,65	15,4	1,4	70,43	1,6	52,1	451,0
Frutales	0,63	23,1	5,3	89,04	0,0	27,0	311,0
(2)	0,49	3,6	5,5	115,35	0,0	18,4	192,3

aniones (Tablas 6a y 6b) y carbonatos (Tabla 2a y 2b), son de destacar los contenidos medios de sulfatos, así como los contenidos medio-bajos, muy bajos o indetectables de fosfatos. Los contenidos más destacables de nitratos se encuentran en los suelos de habichuela (lo que no es de extrañar), así como en los de sorgo, frutales y tubérculos del área del B. latifoliado-nublado, mientras que los niveles medios más bajos se presentan en los suelos del B. seco, aunque parece existir un abonado nitrogenado en suelos con sorgo y frutales, igual sucede con estos mismos cultivos en la zona del B. latifoliado, así como en los suelos de cultivo de tubérculos.

Llama la atención los valores bajos de nitratos de los suelos de plátano-guineo tanto en el B. latifoliado como en el seco. Los contenidos de carbonatos oscilan mucho, desde indetectables en los suelos de frutales y tubérculos del B. latifoliado-nublado, a bajos en los del café, habichuela, maíz y tubérculos, y son elevados en los suelos de pastos y agroecosistemas del bosque seco.

De los resultados expuestos son evidentes las deficiencias de P, con la dificultad de la presencia importante del Al y Fe en los suelos, así como el hecho de enorme trascendencia de niveles preocupantes de metales pesados peligrosos. Por ello es necesario investigar cómo gestionar estos suelos y acertar con cultivos que no acumulen metales pesados, no solo en las semillas y frutos comestibles, sino también en hojas y tallos que se utilicen como abono orgánico y forraje.

## CONCLUSIONES

Se ha realizado una cuantificación de los principales parámetros químicos de los suelos de agroecosistemas, representativos de

los usos más frecuentes en los bosques de la provincia de Pedernales. Destacan los preocupantes valores de Cd, suficientemente elevados para excluir a muchos suelos del uso agrícola. Además, los contenidos de Cu, Ni, Mn y Al son también destacables o notablemente elevados. En cuanto al Fe disponible, es en general elevado, aunque es bajo en los suelos de maíz y frutales. Los contenidos de Mn disponible son elevados o medios, y los de Zn son medios. Los de B son todos elevados. En relación a los aniones, destacan los contenidos medios de sulfatos y los contenidos bajos o indetectables de fosfatos. Los niveles de nitratos de los suelos agrícolas del bosque seco, son los más bajos.

La tala y quema de los bosques, que se realiza para una agricultura y ganadería intensiva, implica que los suelos deban ser manejados atendiendo a la dinámica de los importantes contenidos de metales pesados, atrapados en su materia orgánica. La agricultura intensiva, generalmente con regadío, y la deposición de basuras en las áreas ocupadas por el bosque tropical seco, alteran también los suelos.

De estos resultados se deduce la necesidad de capacitar a los agricultores de conocimientos más ecológicos, que eleven la productividad de sus tierras, sin dañar la calidad de los productos que ofrecen los agroecosistemas y lograr con ello un mantenimiento sostenible de la cuenca, tan importante para la subsistencia de la zona.

## AGRADECIMIENTOS

A los Proyectos CTM2008-04827/TECNO del MCEI, al Programa EIADES de la CAM y al Proyecto "Promoción de la calidad educativa y el desarrollo local en la provincia de Pedernales, R. Dominicana" financiado por la CAM y llevado a cabo por el Centro Cul-

tural Poveda de Sto. Domingo (R. Dominicana).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antonini, G.A., Zobler, L. & Ryder, R. 1985. Una evaluación del cambio en el uso de la tierra y el potencial de los recursos naturales en laderas tropicales: metodología y aplicaciones. Memoria Academia Ciencias República Dominicana, 9: 173-238.
- Alexis, S. 2008. Estrategias de Desarrollo Sostenible en la Provincia y Cuenca Transfronteriza de Pedernales (R. Dominicana-Haití): Disponibilidad de Servicios Ambientales y Explotación de los Recursos. Tesis doctoral, U. de Alcalá (Madrid).
- Altieri M. A. 2001. Agroecología y Desarrollo. Aproximación a los Fundamentos Agro-Ecológicos para la Gestión Sustentable de Agrosistemas. Mundi-Prensa, Madrid.
- Antonini, G.A., Zobler, L. & Ryder, R. 1985. Una evaluación del cambio en el uso de la tierra y el potencial de los recursos naturales en laderas tropicales: metodología y aplicaciones. Memoria de la Academia de Ciencias de República Dominicana, 9: 173-238.
- Buringh, P. 1986. Land evaluation for agriculture in the tropics: a comparison of some new methods. In Lal, R., Sánchez, P. A. and Cummings Jr. R. W. (eds.). Land clearing and development in the tropics, pp. 29-36. Rotterdam. A.A. Balkema.
- Davies B.E, Bifano C, Phillips K. M, Mogolon J. L., & Torres M. 1999. Aqua regia extractable trace elements in surface soils of Venezuela. Environ. Geochem. Health, 21: 227-256.
- Fadigas, F. de S., Amaral Sobrinho, N. M. B., Mazur, N., Anjos L. H. C., Freixo, A. A. 2006. Prosição de valores de referência para a concentração de metais pesados em solos brasileiros. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 10: 699-705.
- F.A.O. 1976. A framework for land evaluation. Rome, FAO Soils Bulletin nº 32.
- Fassbender, H. W. & Bornesmiza, E. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América latina. Servicio editorial del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José, Costa Rica, 2ª edición.
- Hernández, A. J. & Pastor. J. 1989. Técnicas analíticas para la interacción suelo-planta. Henares, Revista de Geología 3: 67-102.
- Hernández, A. J., Alexis, S. & Pastor. J. 2007. Soil degradation in the tropical forests of the Dominican Republic's Pedernales province in relation to heavy metal contents. Science of the Total Environment, 378: 36-41.
- Hernández A. J., Vizcayno, C., Alexis, S. & Pastor, J. 2006. Procesos antropodálicos frecuentes en la reserva de la biosfera Jaragua-Bahoruco-Enriquillo (República Dominicana). In J. F. Gallardo (ed.) Medioambiente en Iberoamérica. Visión desde la Física y la Química en los albores del Siglo XXI, pp. 223-229. CIFY-QUA, Diputación de Badajoz (España).
- Lakanen, E. & Ervio, R. 1971. A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. Acta Agricultura Fennica, 123: 223-232.
- Mäder P., Fliebach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P. & Niggli, U. 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. Science, 296: 1694-1697.
- Martin, F. W. 1984. CRC Handbook of Tropical Food Crops. Boca Raton, Fla. CRC Press.
- M.H.P.P. (Netherlands). Ministry of Housing, Physical Planning and Environment Directorate General for Environmental

- Protection 1991. Environmental Standards for soil and water, Leidschendam.
- Osumade, M A. A. 1988. Soil suitability classification by small farmers. Prof. Geogr., 40: 194-201.
- Peña, A. 2000. Plantaciones de Café (*Coffea arabica*) Bajo Maderables en la Cuenca Alta del Rio Yaque del Norte: Su Impacto Económico y Ambiental. Tesis de Maestría. República Dominicana.
- Ryder, R. 1994. Land Evaluation for Steepland Agriculture in the Dominican Agriculture.
- Sachs J. 2005. El fin de la pobreza, ¿Cómo conseguirlo en nuestro mundo?, Debate, Barcelona (España).
- Salas, Gonzalo de las, 1987. Suelos y ecosistemas forestales con énfasis en América tropical. Servicio editorial del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José, Costa Rica.
- Sánchez, P. A., Palm, C. A. & Buol, S. W. 2003. Fertility capability soil classification: a tool to help assess soil quality in the tropics. Geoderma, 114: 157-185.
- Slocum, M. G., Mitchell, T., Zimmerman, J. K. & Navarro, L. 2006. A strategy for restoration of montane forest in anthropogenic fern thickets in the Dominican Republic. Restoration Ecology, 14: 526-536.
- Templer, P.H., Groffman, P. M., Fleker, A S. & Power, G. 2005. Land use change and soil nutrient transformations in the Los Haitises region of the Dominican Republic. Soil Biology and Biochemistry, 37: 215-225.
- Wilcke, W., Kretzschmar, S., Bundt, M., Saborio, G., & Zech, W. 1998. Aluminum and heavy metal partitioning in A horizons of soils in Costa Rican coffee plantations. Soil Science, 163: 463-471.
- Young, A. 1976. Tropical Soils and soil Survey, C.U.P., Cambridge.