

Parámetros cuantitativos para la evaluación de la susceptibilidad a la erosión de suelos tropicales dominicanos

Quantitative parameters for assessing susceptibility to erosion in tropical Dominican soils

A. J. Hernández^{1,3}, C. Vizcayno², S. Alexis³ & J. Pastor^{2,3}

RESUMEN

La capa superficial de los suelos de diferentes tipos de bosques tropicales húmedos y secos presentes en la provincia de Pedernales (República Dominicana), ha sido evaluada mediante diferentes parámetros relacionados con el proceso de erosión: tamaño de partículas, cociente limo/arcilla y un estimador de la posibilidad de pérdida de suelo. Algunos de los ecosistemas más valiosos están amenazados por talas y quemas y por la implantación de cafetales, de ahí el interés y objetivo de este trabajo, para ver como estos usos y manejos afectan a los suelos. Los resultados se presentan comparando los parámetros estudiados en 79 muestras analizadas según las unidades paisajísticas (bosques con y sin usos agropascícolas), así como según las litologías predominantes en las mismas: calizas cristalinas, calizas carbonatadas sobre alteritas y calizas coralinas. El trabajo muestra por vez primera para esta región, parámetros cuantitativos respecto a procesos edáficos vinculados a la erosión en dicho territorio. Otro dato relativamente no-

vedoso es el utilizar la metodología láser para los análisis del tamaño de partículas.

Palabras-clave: análisis láser tamaño partículas, suelos naturales y erosionados, agregados del suelo.

ABSTRACT

The topsoil layers (0-20 cm) of different types of wet and dry tropical forests of the Pedernales province (Dominican Republic), both natural and cultivated, were assessed in terms of different parameters related to the erosion processes: particle size, silt/clay ratio, and an estimate of the possible soil loss. Some of the soils of the most valuable ecosystems are threatened by the introduction of coffee and hence the interest and objective of this work.

We present these data for 79 soil samples according to the corresponding landscape units (forests) along with their dominant lithologies (crystalline limestones, carbonated limestones on alterites and coral lime-

¹ ¹Dpto. de Ecología, Universidad de Alcalá, Edificio de Ciencias, Campus Universitario, 28871 Madrid. e-mail: anaj.hernandez@uah.es; ²Dptos. de Ecología de Sistemas y Suelos, CCMA, IRN, CSIC, 28002 Madrid. e-mail: jpastor@ccma.csic.es; ³I.N.S.E. Instituto de Investigación Socio-Educativa de Santo Domingo.

stones). The novelty of this study is that it uses quantitative variables to describe edaphic processes linked to erosion in this region, that had never been quantitatively studied the soils. Another relatively new fact is the methodology uses of the laser for particle size analysis.

Key-words: laser particle size analysis, natural and eroded soils, soil aggregates.

INTRODUCCIÓN

La adopción de estrategias que aseguren el uso sostenible del suelo es hoy un objetivo bien definido y el problema de la erosión de los suelos se considera como un tipo de su degradación en términos ambientales globales; problema que genera impactos sobre la calidad del agua, la productividad agrícola, el movimiento de contaminantes, la diversidad ecológica, la modificación de los cauces fluviales y en los efectos de las inundaciones (Morgan, 1997).

Según Moreira (1991), la erosión es un fenómeno que puede ser evaluado de forma cuantitativa o cualitativa. En el primer caso, se utilizan ecuaciones que estiman las pérdidas en Tm/ha/año, con diferente adaptación de sus parámetros a las particularidades locales (USLE). En el segundo caso, los métodos están dirigidos fundamentalmente a establecer una gradación del estado de erosión de una zona, con objeto de habilitar estrategias de protección.

Es desde esta perspectiva en la que se sitúa este trabajo, aún siendo una aproximación inicial en un área desconocida, lindante con otra enormemente deforestada en el país fronterizo, Haití. Para ello estamos teniendo en cuenta que los procesos de erosión conocen una inherente variabilidad, que puede ser atribuida a factores que dependen del azar en una escala regional (Govers, 1991),

se han distinguido en líneas generales factores erosivos externos relacionados con la erosividad y el clima, intrínsecos en el contexto de la erodibilidad y del paisaje (pendientes y cobertura vegetal), según se expone en el trabajo de Rocha (1991). Realmente, la erosión resulta según Finkel (1986) de la interacción entre el poder erosivo del agua y la erodibilidad. Esta última, junto con la erosividad causada por aguaceros, son dos factores físicos importantes porque afectan a la magnitud de la erosión (Lal & Elliot, 1994). Actualmente resulta evidente, que la causa fundamental de la erosión es la actuación de las lluvias sobre distintos tipos y condiciones del suelo. Es lo que en términos cuantitativos se expresa diciendo que la erosión es una función de la erosividad y la erodibilidad (Hudson, 1982).

MATERIAL Y MÉTODOS

Los descriptores del área de estudio pueden encontrarse en Hernández *et al.* (2007). Las muestras de suelo corresponden a las unidades de paisaje natural (bosques tropicales de coníferas, húmedos, latifoliados y secos, en su gran mayoría), así como a los agroecosistemas representativos de los usos que se dan después de la deforestación y quema de esos bosques (para implantar en ellos pastos y cultivos) o para la extracción de bauxita y caliza. Exponemos a continuación su descriptiva.

Los suelos del área de estudio. Los suelos de ecosistemas tropicales son conocidos de forma muy general y, en la mayoría de los casos se trata de estudios de casos de países diferentes a los que se enmarcan en este trabajo (UNESCO, 1980). No obstante, estudios sobre los recursos naturales del país, los vemos en OEA (1967) y en la Enciclopedia Ilustrada de República Dominicana (2003). Otro trabajo de interés, centrado en la vege-

tación y usos del suelo, es el de Tolentino y Peña (1998).

Ya dedicado a los recursos naturales de la provincia de Pedernales está el Plan de Ordenación de los mismos (Onoplan & AEI, 2003). Centrándose ya en los suelos, los estudios de la OEA (1967), dicen que la mayoría de los del área estudiada están sobre calizas, exceptuando las cotas más bajas de la cuenca del río Pedernales, que corresponderían a suelos aluviales recientes. En dicho estudio se dan como unidades, asociaciones que adoptan nombres locales de los lugares estudiados. Un 2º estudio "*Características de los suelos de la República Dominicana por URP y ASDS*" (1985) fue realizado por el Dpto. de Inventario y Ordenamiento de los Recursos Naturales de la S.E.A. de República Dominicana. Así mismo, podemos citar el trabajo de síntesis realizado por Cámara *et al.* (2006), basado en los estudios citados anteriormente, ampliados con una cartografía a escala 1:250000, basada en los suelos dominantes. En el trabajo, a la taxonomía de cada tipo de suelo se aportan: localización, características edáficas, posición topográfica, sustrato, régimen climático, formaciones vegetales, usos agropascícolas y suelos asociados.

Podemos así decir que en el territorio, donde se enmarca el trabajo, se encuentran los siguientes tipos de suelos (FAO, 2006) sobre sustrato calizo terciario, *cambisoles eútricos* (que presentan un horizonte A ócrico y saturación en bases de más del 50% entre los 20 a 25 cms superiores, pero sin llegar a ser suelos calcáreos). Las condiciones ambientales son húmedas y subhúmedas; su aprovechamiento son cultivos arbóreos y cultivos de subsistencia. Los suelos correspondientes a la sierra y zonas alta y media de la cuenca del Pedernales, quedarían clasificados como *ultisoles*, según la OEA, los de carácter ácido, y *cambisoles eútricos*, los de carácter básico (Cámara *et al.*, 2006). En

varias zonas montañosas (vocación forestal) las condiciones de los suelos ofrecen oportunidad para cultivos perennes.

Las zonas tropicales semiáridas están bordeadas hacia la sierra por *luvisoles* forestales. En el bosque seco se encuentran, suelos propios de regiones secas o áridas. Los horizontes de diagnóstico son epipedones ócrico, arcilloso con <35% de arcilla, cambriano, con yeso cálcico, petrocálcico o duripán. Muchos de ellos, no muy evolucionados, se clasifican como *leptosoles*, junto con *fluvisoles* y *regosoles*. La mayoría de estos suelos, correspondientes a la cuenca baja del Pedernales son de tipo *leptosoles*. En dicho bosque seco y en la zona de transición con el bosque latifoliado, la formación de los suelos está relacionada con el sustrato geológico calizo, donde se producen los fenómenos kársticos, relacionados con la roca madre y el microclima local. Los suelos son rojos, arcillosos, llenan las cavidades y fisuras del *lapiaz cárstico*, originado por la acción corrosiva del agua sobre rocas calizas duras, dando lugar a suelos discontinuos, como parches o un mosaico, apareciendo grandes extensiones de roca caliza desnuda. En gran parte, son suelos poco profundos. En cañadas y fisuras profundas se forman bolsones de *luvisoles crómicos* donde disminuye, por la humedad, el proceso de rubificación, dejando un suelo de color pardo.

En los llanos costeros se han desarrollado suelos de aluvión, asociados a lagunas, ciénagas y charcas temporales. En estos suelos areno-arcillosos, sometidos a inundaciones temporales, la textura y color varían según el predominio de Ca y Na.

Preparación y análisis de las muestras de suelo. Una vez secadas al aire y tamizadas las 79 muestras de suelos recogidas, se ha realizado el estudio granulométrico por un método tradicional (Boyucos) para luego realizar el cálculo del "Índice de inestabilidad estructural". Pero también

hemos medido el volumen de las diferentes partículas del suelo con un equipo Mastersizer-S de banco largo, que utiliza una metodología de difracción y dispersión de luz láser. Este análisis, cuyos resultados mostramos, se realiza por vía seca y húmeda y su metodología es análoga a la que se describe en Beuselinck *et al.* (1999). Por vía seca se pueden utilizar muestras menores de 3,2 mm y por vía húmeda sólo se admiten muestras tamizadas por 2 mm. El rango de medida es de 0,05 a 3500µm y dispone de un tanque de dispersión que permite realizar este proceso mediante un agitador rotatorio y un ultrasonido con control de intensidades y tiempo, añadiéndose a la cubeta de dispersión 10 cm³ de una solución de hexametáfosfato y carbonato sódico en las proporciones estándar, dejándolo actuar durante 5 minutos antes de realizar la medida. Anteriormente se procede a la determinación del tiempo necesario para conseguir una completa dispersión de la muestra. Los resultados obtenidos no son de tipo conteo, sino acumulativos respecto a cada uno de los rangos determinados por el conjunto de sensores que dispone el aparato. Pero también puede usarse, por vía húmeda, sin añadir hexametáfosfato y carbonato sódico y sin ultrasonidos. En este caso quedan más agregados de suelo sin deshacer.

Una estimación aproximativa de las posibilidades de pérdida de suelo por procesos erosivos, se ha calculado mediante la expresión siguiente, en la que S es la pendiente (en porcentaje) $\frac{0,43 + 0,30 S + 0,043 S^2}{6,613}$

Empleamos el cociente entre limo y arcilla, calculado después de realizar el análisis granulométrico tradicional (técnica de Bouyoucos), como parámetro indicativo de las posibilidades de los suelos de sufrir en mayor o menor grado procesos erosivos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todos los resultados obtenidos muestran por vez primera parámetros cuantitativos respecto a procesos edáficos relacionados con la erosión y la degradación de los suelos en dicho territorio.

El equipo Mastersizer-S que hemos utilizado nos ha dado la posibilidad de analizar las muestras por vía húmeda, Tabla 1 (a, b, c, d y e) y por vía seca, Tabla 2 (a, b, c, d y e). La vía húmeda es siempre preferible cuando se trata de muestras de tamaño muy pequeño (de 1 µ o menos), o cuando el medio acuoso (que se acompaña a veces de un dispersante, y como en nuestro caso, de ultrasonidos) es necesario para romper los agregados. Es pues la técnica más pertinente para estudiar la granulometría de suelos.

La vía seca es adecuada cuando no se necesita, o no interesa, una acción dispersante adicional. La muestra, tamizada previamente por el tamiz de 2 o 3 mm, se mide durante su caída libre, y por ello lee tanto tamaños de partículas individuales dispersas, como posibles microagregados (<76µm) y macroagregados existentes (2000-194 µm).

Es un hecho que la distribución del tamaño efectivo (no dispersado) de los materiales edáficos, juega un importante papel en relación al transporte por el agua o por el viento, y su conocimiento nos puede dar luz sobre los procesos erosivos sufridos. Los resultados obtenidos con esta técnica, deberán ser estudiados con más detalle, en relación a una mejor interpretación de los mismos. No obstante, coincidimos con Slattery & Burt (1995), en que la mayoría de los sedimentos erosionados de los suelos agrícolas, pueden estar originados y compuestos por pérdidas de agregados. Beuselinck *et al.* (1999), evaluaron metodológicamente la microagregación usando también difracción láser. Westerhof *et al.* (1999), estudiaron por esta misma

Tabla 1. Porcentajes y nº de muestras de fracciones granulométricas obtenidas por vía húmeda para los suelos de las distintas unidades paisajísticas.

Fracciones Granulométricas	1a Bosque de Coníferas	
	SIN USO (n° = 9)	CON USO (n° = 4)
Arcilla <0,002	11,04±1,42	30,21±9,87
Limo 0,002-0,02	22,90±0,96	36,89±8,04
Arena Fina 0,02-0,05	17,90±3,50	20,36±6,32
Arena fina A 0,05-0,1	8,15±2,76	4,04±0,12
Arena fina B 0,1-0,2	2,62±1,07	1,82±1,27
Arena Med. 0,2-0,5	4,41±2,29	3,27±2,02
Arena Grue. 0,5-1	15,00±1,85	1,79±0,86
Arena muy Gr. 1-3,2	16,97±10,71	0,13±0,10
Fracciones Granulométricas	1b Bosque Nublado	
	SIN USO (n° = 5)	CON USO (n° = 7)
Arcilla <0,002	15,17± 12,04	8,75 ± 2,05
Limo 0,002-0,02	30,16 ± 14,89	23,94 ± 2,55
Arena Fina 0,02-0,05	12,20 ± 4,23	18,41 ± 0,36
Arena fina A 0,05-0,1	3,49 ± 1,65	9,52 ± 1,29
Arena fina B 0,1-0,2	2,97 ± 3,04	2,54 ± 0,77
Arena Med. 0,2-0,5	10,40 ± 12,48	4,39 ± 1,84
Arena Grue 0,5-1	15,65 ± 10,65	20,06 ± 3,63
Arena muy Gr. 1-3,2	11,40 ± 9,94	11,80 ± 5,61
Fracciones Granulométricas	1c Bosque Latifoliado	
	SIN USO (n° = 5)	CON USO (n° = 17)
Arcilla <0,002	14,04±8,98	15,81±3,91
Limo 0,002-0,02	35,11±14,11	37,70±4,24
Arena Fina 0,02-0,05	15,48±6,15	26,40±3,70
Arena fina A 0,05-0,1	4,42±1,59	7,02±7,02
Arena fina B 0,1-0,2	1,89±1,47	1,18±0,57
Arena Med. 0,2-0,5	6,75±7,40	2,78±2,12
Arena Gr. 0,5-1	10,22±9,39	4,84±3,54
Arena muy Gr. 1-3,2	8,38±7,76	3,33±6,11
Fracciones Granulométricas	1d Bosque Seco	
	SIN USO (n° = 9)	CON USO (n° = 16)
Arcilla <0,002	8,81±5,24	13,36±8,78
Limo 0,002-0,02	31,65±6,56	33,55±12,79
Arena Fina 0,02-0,05	21,19±5,83	15,09±7,68
Arena fina 0,05-0,1	6,98±2,70	3,94±0,99
Arena fina 0,1-0,2	1,96±1,59	2,24±1,24
Arena Med. 0,2-0,5	4,22±2,18	9,00±7,07
Arena Gr 0,5-1	11,24±5,23	15,63±11,60
Arena muy Gr. 1-3,2	10,47±6,30	6,32±7,61
Fracciones Granulométricas	1e Humedales (n° = 7)	
Arcilla <0,002	14,26±7,98	
Limo 0,002-0,02	24,71±8,99	
Arena Fina 0,02-0,05	8,53±1,59	
Arena fina A 0,05-0,1	3,88±1,35	
Arena fina B 0,1-0,2	2,42±1,46	
Arena Med. 0,2-0,5	11,12±0,71	
Arena Gr. 0,5-1	17,90±7,03	
Arena muy Gr. 1-3,2	16,16±11,51	

Tabla 2. Porcentajes y nº de muestras de las fracciones granulométricas obtenidas por vía seca para los suelos de las distintas unidades paisajísticas.

Fracciones (Tamaños)	2a Bosque Coníferas	
	SIN USO (n° = 9)	CON USO (n° = 4)
<0,002	0,02±0,02	0,01±0,01
0,002-0,02	7,01±2,86	3,45±1,70
0,02-0,05	5,42±0,43	3,75±0,97
0,05-0,1	6,68±0,17	9,41±0,09
0,1-0,2	16,945±0,225	25,52±2,01
0,2-0,5	31,92±3,49	33,00±1,13
0,5-1	17,645±0,075	13,60±1,21
1-3,2	14,255±0,395	11,27±0,83
Fracciones (Tamaños)	2b Bosque Nublado	
	SIN USO (n° = 5)	CON USO (n° = 7)
<0,002	0,06±0,05	0,02±0,01
0,002-0,02	7,68±2,63	7,39±0,78
0,02-0,05	5,17±1,63	4,90±0,93
0,05-0,1	7,52±3,71	8,63±1,79
0,1-0,2	17,38±7,58	21,01±2,00
0,2-0,5	26,10±8,07	32,89±2,36
0,5-1	15,52±6,76	15,67±2,50
1-3,2	20,52±12,05	9,48±2,64
Fracciones (Tamaños)	2c Bosque Latifoliado	
	SIN USO (n° = 5)	CON USO (n° = 17)
<0,002	0,03±0,04	0,01±0,00
0,002-0,02	8,24±4,14	7,07±3,19
0,02-0,05	7,11±4,41	6,22±4,71
0,05-0,1	9,69±4,16	11,43±3,31
0,1-0,2	17,41±6,17	22,75±6,85
0,2-0,5	24,47±5,45	26,67±5,76
0,5-1	14,52±5,30	13,63±3,43
1-3,2	18,41±11,38	12,13±8,03
Fracciones (Tamaños)	2d Bosque Seco	
	SIN USO (n° = 9)	CON USO (n° = 16)
<0,002	0,07±0,10	0,04±0,05
0,002-0,02	8,14±2,75	4,90±2,75
0,02-0,05	5,40±0,45	4,05±1,60
0,05-0,1	11,97±1,00	8,91±2,80
0,1-0,2	23,29±4,77	22,37±2,59
0,2-0,5	25,12±3,38	34,93±6,73
0,5-1	13,16±2,40	16,17±2,30
1-3,2	12,81±4,14	8,63±4,15
Fracciones (Tamaños)	2e Humedales (n° = 7)	
<0,002	0,02±0,01	
0,002-0,02	3,81±0,68	
0,02-0,05	3,96±1,09	
0,05-0,1	7,50±0,80	
0,1-0,2	21,16±1,24	
0,2-0,5	40,54±2,35	
0,5-1	16,88±0,44	
1-3,2	6,13±1,01	

técnica la agregación de partículas en relación al encharcamiento y al encalado de suelos en la región del Cerrado (Brasil). Teniendo en cuenta los principales tipos de litologías presentes en las distintas unidades del paisaje de Pedernales (Hernández *et al.*, 2008), se muestran los valores de los agregados de partículas del suelo en agua (Figura 1), así como en las distintas unidades paisajísticas del territorio (Figura 2).

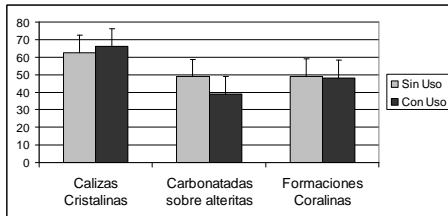


Figura 1. Porcentaje medio de agregados de partículas de suelo en agua según las principales litologías del territorio.

Los resultados obtenidos con el láser, por vía seca, recogen indistintamente partículas edáficas de microagregados y macroagregados, Tabla 2 (a, b, c, d y e). Los agregados menores de 0,5 mm son los más susceptibles a la pérdida por erosión pluvial, por lo tanto también puede ser un posible indicador de la estabilidad estructural de un suelo. Esto se origina especialmente por el uso y manejo que los agricultores dan a los mismos. De acuerdo con Lal (1982), este manejo está relacionado con el tipo e intensidad de las labores de cultivo. La erodibilidad del suelo es un factor complejo, que refleja un hecho evidente, que diferentes suelos se erosionan a diferentes velocidades cuando se mantienen constantes sobre ellos el resto de condiciones que afectan a la erosión. Es a esta característica, condicionada por las particularidades físicas del suelo, a la que se dirigen numerosos estudios que pretenden definir paramétricamente su comportamiento y su relación con la erosión tal como se mide

en campo (Moreira, 1991, Giordano 1994, Estalrich, 1994).

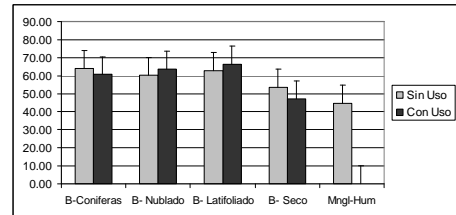


Figura 2. Porcentaje medios de agregados de partículas de suelo en agua según las unidades paisajísticas.

Comparando valores relacionados con la pérdida de suelo en el territorio de estudio, en los suelos de bosques naturales y con uso agropascícola (Figura 3), los suelos del bosque tropical de coníferas, el bosque seco y los manglares, muestran valores más bajos. Mientras que los suelos de los bosques nublados y latifoliados, presentan valores más elevados, pero las diferencias a esta escala de trabajo son leves. Estos últimos suelos, exhiben una mayor alteración debido a que se encuentran en las zonas de mayor altitud de la provincia de Pedernales, tienen pendientes superiores al 20% y en las épocas de lluvia la precipitación media es de unos 2000 mm. Todos estos factores hacen que los suelos de dichos bosques sufran más. Sin embargo, cuando comparamos los resultados organizados según los principales tipos de litologías (Figura 4), observamos que los suelos que se encuentran sobre calizas carbonatadas sobre alteritas y formaciones coralinas, presentan valores bajos; mientras que los suelos sobre calizas cristalinas, tienen valores más altos. Estalrich (1994), observó también que las valoraciones asignadas a grupos de litofacies, así como la jerarquización de tipos de litofacies, son función de las posibilidades que presentan de pérdida de suelo. En nuestro caso los valores más altos estimados, corresponden a sue-

los de ecosistemas ubicados en litologías blandas: margas, yesos y margas arcillosas.

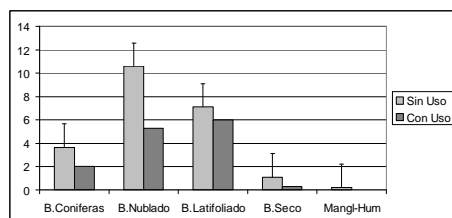


Figura 3. Aproximación a las posibilidades de pérdidas de suelo (medias y desviaciones típicas) según las unidades paisajísticas donde ellos se ubican.

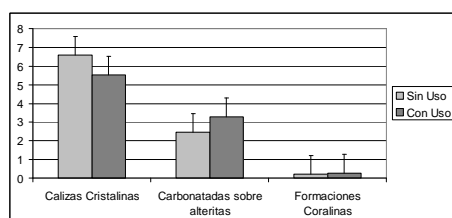


Figura 4. Estimación de las posibilidades de pérdida de suelo (medias y desviaciones típicas) según los grandes grupos litológicos donde éstos se desarrollan.

Dadas las litologías de los sustratos donde se sitúan nuestras muestras, parece lógico pues que tengan más posibilidades de pérdida de suelos, aquellos desarrollados sobre calizas cristalinas. Los resultados de las posibilidades de pérdida de suelo, obtenidas para las 79 muestras de la capa superficial edáfica de los diferentes sistemas ecológicos de las unidades paisajísticas aludidas, así como clasificados según los tipos de litologías, quedan reflejados en las Figuras 5 y 6. Como la pendiente del terreno es la característica fisiográfica que más influye en la erosionabilidad del suelo, cuando mayor es la inclinación de las laderas, menor es la posibilidad de que se infiltre el agua en el mismo, incrementando la velocidad de la escorrentía superficial. Es también en la zona

del bosque nublado, que además de los factores indicados anteriormente para la misma, donde la acción humana ha alterado bastante más sus correspondientes suelos, incrementando el proceso erosivo.

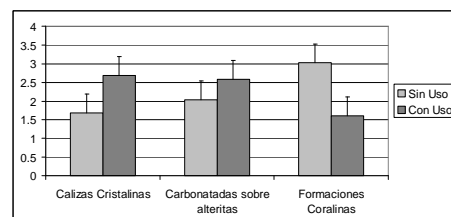


Figura 5. Cociente limo/arcilla (valores medios y desviaciones típicas) de los suelos agrupados según los grandes grupos litológicos donde se desarrollan.

En los diferentes ecosistemas de la zona, se observa una marcada diferencia entre los naturales y los deforestados para distintos tipos de uso, en la que necesitaremos profundizar en el futuro teniendo en cuenta los trabajos de FAO (1980) y otros posteriores. No obstante, de lo observado nos parece que los suelos naturales correspondientes a las calizas cristalinas y carbonatadas, además de los ubicados sobre las formaciones coralinas con usos agrícolas, parecen ser menos dados a padecer procesos erosivos. El peligro de que esto ocurra es más alto en los suelos con usos pascícolas de los sistemas ubicados en esos mismos sustratos.

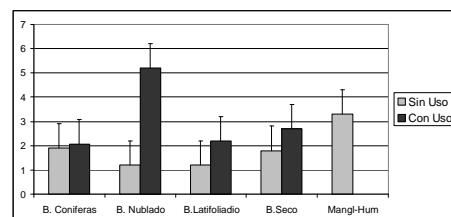


Figura 6. Cociente limo/arcilla (valores medios y desviaciones típicas) de los suelos agrupados según las unidades paisajísticas donde ellos se ubican.

Tabla 3. Fracciones granulométricas según los tramos de la cuenca: alta (1), media (2) y baja (3) del río Pedernales en la isla “La Hispaniola” (República de Haití y República Dominicana).

Granulometría	Haití-1	Haití-2	Haití-3	R.D.-1	R.D.-2	R.D.-3
Arcilla <0,002	7,9 ± 2,9	6,9 ± 2,0	12,2 ± 6,5	12,6 ± 6,4	15,7 ± 5,7	15,5 ± 9,2
Limo 0,002-0,02	40,5 ± 15,1	38,2 ± 8,0	31,2 ± 11,5	36,1 ± 11,9	36,1 ± 7,9	30, ± 8,49
Ar. Fina 0,02-0,05	21,3 ± 2,0	21,0 ± 2,6	10,9 ± 3,2	20,9 ± 6,3	22,9 ± 5,5	12,9 ± 3,0
Ar. Fina 0,05-0,1	6,9 ± 2,4	8,1 ± 1,8	5,5 ± 0,4	6,7 ± 3,2	6,3 ± 1,4	5,3 ± 1,1
Ar. Fina 0,1-0,2	2,4 ± 1,5	3,2 ± 0,8	4,2 ± 0,5	1,7 ± 1,1	1,4 ± 1,2	3,1 ± 1,5
Ar. Med 0,2-0,5	3,2 ± 2,8	5,1 ± 1,2	11,6 ± 6,7	4,1 ± 2,3	3,5 ± 3,5	12,7 ± 6,9
Ar. Grue 0,5-1	11,7 ± 9,9	10,8 ± 6,3	18,5 ± 12,4	10,7 ± 8,4	7,4 ± 8,4	16,3 ± 7,1
Ar. muy Grue 1-3,2	5,7 ± 5,6	6,5 ± 4,1	4,5 ± 4,8	6,4 ± 7,9	5,4 ± 6,9	3,1 ± 1,7

Parece notarse que los parámetros indicadores de procesos erosivos que hemos considerado son más elevados en las zonas de uso agrícola, pero ello nos requiere ir profundizando en el estudio. La reducción progresiva de los bosques con estos fines, especialmente para establecer cafetales, afecta a la calidad del suelo, ya que se altera la capacidad de infiltración del agua en el mismo, sobre todo en laderas con pendientes mayores de 20%. A estos efectos se suma la eliminación de la capa protectora del suelo frente a la erosión (Morgan, 1997; FAO; 2001). Así, puede observarse en la Tabla 3, los porcentajes medios de partículas obtenidas por vía húmeda con el equipo láser, para los suelos de los distintos tramos de la cuenca transfronteriza del río Pedernales (alta, media y baja que corresponden a 1, 2 y 3) y por país (Haití y República Dominicana). Las distintas partes de esta cuenca siguen un gradiente de uso agrícola, sin y con regadío, desde las zonas altas a las bajas, y en las partes altas y media se cultiva bastante en las laderas. En esta tabla se observa que excepto las arcillas, que tienen el nivel menor en la parte alta de la cuenca haitiana, el resto de partículas no muestra grandes variaciones.

CONCLUSIONES

Se han obtenido por vez primera resultados de tipo cuantitativo en relación a la problemática, aún incipiente, relacionada con la erosión de los suelos de la provincia de Pedernales (República Dominicana) junto con los suelos de algunas localidades haitianas y han sido comparados según las principales unidades de paisaje de este territorio, así como a los tipos de litologías donde se ubican. Así mismo se muestran los resultados teniendo en cuenta si se trata de suelos de bosques naturales sin alterar antrópicamente o con diferentes tipos de usos.

Entre los resultados hasta ahora más destacables, se encuentra la pérdida de arcilla y limo, cuando se deforesta el bosque nublado, ecológicamente el ecosistema forestal más valioso y muy amenazado por los cafetales, así como el hecho de que presenta una mayor posibilidad de pérdida de suelo por procesos erosivos, que los suelos del bosque de coníferas y del bosque seco.

Agradecimientos: Al Proyecto del M^o de Ciencia e Innovación (CTM2008-04827/TECNO) y al Programa EIADES de la Comunidad de Madrid (2008-2013).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Beuselinck, L., Govers, G. & Poesen, J. 1999. Assessment of micro-agregation using laser diffractometry. *Earth Surface Processes and Landforms*, 24: 41-49.
- Cámara, R.; Martínez, J. R. & Díaz del Olmo, F. 2006. Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente en República Dominicana. CSIC-E.E.H., Univ. de Sevilla, España
- Dpto. de Inventario y Ordenamiento de los Recursos Naturales de la S.E.A. de República Dominicana 1985. Características de los suelos de la República Dominicana por URP y ASDS.
- Enciclopedia Ilustrada de República Dominicana 2003. Eduprogreso, S.A., Sto. Domingo, R. Dominicana.
- Estalrich, E. 1994. Estudio Ecológico de Taludes de Carretera. Tesis doctoral, Universidad de Alcalá, Madrid, España.
- FAO. 1980. Metodología Provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. FAO-UNESCO, Roma, Italia.
- FAO. 2001. Tierras boscosas siguen disminuyendo. Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y el Medio Ambiente. Naciones Unidas.
- FAO. 2006. World reference base for soil resources 2006. A framework for international classification, correlation and communication. *World Soil Resources Reports*, 103, 145 pp. Rome, Italy.
- Finkel, H. J. 1986. The Soil Erosion Process. *Semiarid Soil and Water Conservation*. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, USA.
- Giordano, A. 1994. L'Erosion et la lutte contre l'érosion en forêts méditerranéenne. *Forêts Méditerranéennes*, XV: 12-19.
- Govers, G. 1991. Rill Erosion on arable land in central Belgium: rates, controls and predictability. *Catena*, 18: 133-155.
- Hernández, A. J. & Pastor, J. 1989. Técnicas analíticas para el estudio de 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., Alexis, S., Castelló R. & Pastor, J. 2008. Componentes del paisaje en la reserva de la biosfera Jaragua-Bahoruco-Enriquillo. En: *Reserva de la biosfera Jaragua-Bahoruco-Enriquillo, Itinerarios Ecológicos*. C. C. Poveda, Sto. Domingo, R. Dominicana.
- Hudson, N. 1982. *Conservación del Suelo*. Reserté S.A, Barcelona, España.
- Lal, R. 1982. Effects of slope length and terracing on runoff and erosion in a tropical soil. *IAHS Publ.*, 137: 23-31.
- Lal, R. & Elliot, W. 1994. Erodibility and Erosivity. In: Lal, R (ed.), *Soil Erosion Research Methods*, pp. 181-208. Soil and Water Conservation Society, USA.
- OEA. 1967. Reconocimiento y evaluación de los recursos naturales de República Dominicana, Unión Panamericana, Washington, USA.
- ONOPLAN & AECI. 2003. Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de la Provincia de Pedernales, Araucaria Proyecto Bahoruco, Sto. Domingo, República Dominicana
- Moreira, J. M. 1991. Capacidad de uso y erosión de suelo. Una aproximación a la evaluación de las tierras de Andalucía. Junta de Andalucía, Agencia del Medio Ambiente, Sevilla, España.
- Morgan, R. P. C. 1997. *Erosión y conservación del suelo*. Mundi Prensa, España.
- Tolentino, L. & Peña, M^a. 1998. Inventario de la vegetación y uso de la tierra en República Dominicana. *Moscosa*, 10:

- 179-203.
- Rocha, J. S. 1991. Erosion and sedimentación processes and evaluation. In Almeida-Teixeira et al. (eds.). Prevention and control of landslides and other mass movement, pp. 21-34. Report EUR 12918.
- Slattery, M. C. & Burt, T. P. 1997. Particle size characteristics of suspended sediment in hillslope runoff and stream flow. *Earth Surface Proces. & Landforms*, 22: 705-719.
- UNESCO, 1980. Ecosistemas de los bosques tropicales, UNESCO/CIFCA, Madrid, España.
- Valentin, CH., Hoogmoed, W. & Andriesse, W. 1991. Maintenance and enhancement of low-fertility soils. Proceedings International Workshop on Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World, pp. 159-187. Chiang Rai, Thailand.
- Westerhof, R., Buurman, P., Griethuyesen, C., Vilela, L. & Rech, W. 1999. Aggregation studied by laser diffraction in relation to plowing and liming in the cerrado region in Brazil. *Geoderma*, 90: 277-290.