

¿Mientras más piedras, mejor? Materiales gruesos, relieve y nutrientes en suelos de la vertiente norte de la Cordillera Central Dominicana

¿The stonier, the better? Coarse materials, relief and nutrients in soils of the northern slope of the central mountain range of the Dominican Republic.

En quanto mais pedras melhor? Materiais grossos, relevo e nutrientes nos solos das ladeiras septentrionais da Cordillera Central da República Dominicana.

Thomas May

Biólogo, Doctor en Ciencias Naturales

Universidad Estatal Amazónica, Vía Napo km 2 ½,
Paso lateral, Puyo, Provincia de Pastaza, Ecuador

may_gutierreztr@yahoo.es

Resumen

En la vertiente norte de la Cordillera Central de la República Dominicana, campesinos afirman que la fertilidad natural es mayor en suelos pedregosos que en suelos sin piedras o con pocas piedras. Esto es confirmado en esta investigación en el sentido de que para los parámetros químicos pH, saturación de aluminio, concentraciones de Ca y Mg, existen correlaciones significativas con el contenido de materiales gruesos, en una muestra de 36 suelos de la zona. La mayoría de las correlaciones son más estrechas cuando se analizan solamente los suelos en interfluvios, y específicamente cuando se toman en cuenta solamente 17 suelos a altitudes por debajo de 2000 msnm. Además, existen correlaciones de los parámetros químicos mencionados y la inclinación de los terrenos, la cual, también, está correlacionada positivamente con el contenido de materiales gruesos. Existe el dilema de que los suelos con mayor fertilidad natural tienden a ser los suelos más ex-

puestos a los procesos de erosión, por la inclinación del terreno.

Palabras clave: fertilidad, materiales pedregosos, pendientes, interfluvios, conocimiento local.

Abstract

Inhabitants of rural areas on the northern slope of the Dominican Republic central mountain range affirm that natural fertility is higher on soils rich in skeleton than in soils without stones or with few stones. This local belief is confirmed by the present study, showing that for chemical parameters related to natural soil fertility such as pH, Al saturation, Mg and Ca, significant correlations exist with the content of coarse material in 36 soil samples from the above mentioned area. Most of these correlations are higher when only soils from areas outside of riparian influence are analyzed, especially when only soils

from altitudes below 2000 masl are considered. Furthermore, there are correlations between the chemical parameters mentioned and the inclination of the slopes, which are also positively correlated with the content of coarse material. The results show that soils with higher natural fertility tend to be more exposed to erosion processes, due to the higher inclination of slopes.

Key-words: natural fertility, stony materials, slopes, riparian and non-riparian environments, local knowledge

Resumo

Na opinião dos habitantes de áreas situadas nas ladeiras septentrionais da Cordillera Central da República Dominicana, a fertilidade natural é maior em solo rochoso do que no solo sem pedras ou com poucas pedras. Essa percepção é confirmado no presente estudo, no sentido de

que para os parâmetros químicos pH, saturação de alumínio, Ca e Mg, correlações significativas existem com o conteúdo do material grosso em 36 amostras de solos na área. Os coeficientes de correlação na maior parte são melhores quando apenas são analisados os dados dos solos que ficam fora do ambiente fluvial, e especificamente quando apenas 17 solos em altitudes abaixo de 2000 m são levados em conta. Além disso, existem correlações entre os parâmetros químicos mencionados e a inclinação das ladeiras, a qual também mostra correlações positivas com o teor de materiais grossos. Existe o dilema do que os solos com níveis maiores de fertilidade natural também tendem a ser mais expostos aos processos de erosão, pelo maior declive do terreno.

Palavras-chave: fertilidade, materiais grossos, declives, ambientes com ou sem influencia fluvial, conhecimentos locais

Introducción

Generalmente, los suelos profundos, sin piedras o con muy pocas piedras, ubicados en sitios llanos o con pendientes suaves, se consideran los mejores suelos para la producción agrícola. La alta capacidad de retención de agua de estos suelos, el espacio que ellos ofrecen para el sistema radicular de las plantas, las facilidades que presentan para la mecanización, y el bajo riesgo de erosión parecen ser buenas razones para esto. Estos criterios se reflejan también en las *clases agrológicas de uso de suelos* (*land capability classification*), desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos del Ministerio de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), donde los suelos profundos, sin piedras y en relieve llano o suave, pertenecen a las dos primeras clases de uso (I y II), mientras que los suelos poco profundos, pedregosos, situados en pendientes y por lo tanto expuestos a procesos erosivos, se consideran de calidad inferior para el uso agrícola o no aptos para la agricultura, y se encuentran en las clases IV y VI (Klingebiel & Montgomery, 1961).

Durante los trabajos de campo de un estudio de los ecosistemas del parque nacional J. A. Bermúdez, en la Cordillera Central de la República Dominicana (SEMARN/Fundación Moscoso Puello, 2007), unos guías locales repetidas veces expresaron su opinión que “mientras más piedras tienen, mejores son los suelos”. Este punto de vista está basado en su experiencia como agricultores de subsistencia en las tierras montañosas de la zona, sembrando cultivos como habichuelas, maíz, yuca y batata. En otras ocasiones, campesinos de la Cordillera Central Dominicana confirmaron al autor este punto de vista en conversaciones informales, y en una ocasión, hablando sobre sus tierras bajo uso agrícola, pedregosas en pendientes fuertes, un agricultor comentó que “esas son tierras santas para habichuelas”.

Este modo de ver, obviamente, es contrario a los criterios expuestos arriba y a las formas convencionales de clasificación de la capacidad de uso de los suelos. Sin embargo, estudios en diferentes

regiones del mundo como Togo en África Occidental (Faust, 1987; Faust, 1991), la cordillera de los Andes en Colombia (Oberthür, Barrios, Cook, Usma & Escobar, 2004), y las tierras altas de África oriental (Barrios *et al.*, 2006), han demostrado que los conocimientos locales de los suelos, basados en las experiencias de las personas que los utilizan, suelen ser útiles para el manejo, y que los conocimientos y las clasificaciones locales en muchos casos tienen su analogía técnico-científica.

En condiciones climáticas tropicales húmedas de elevaciones bajas, los suelos de edad avanzada de desarrollo, intensamente meteorizados y lavados, desprovistos de materiales gruesos, generalmente son ácidos y pobres en determinados nutrientes por debajo de los horizontes superficiales. Estos horizontes suelen ser ricos en materia orgánica y en nutrientes, con un pH más elevado que los horizontes subyacentes, pero delgados (Fölster, 1994), mientras que en las mismas condiciones climáticas, los suelos desarrollados a partir de materiales de sedimentos fluviales recientes, con menor edad de desarrollo, por lo general son más ricos en nutrientes.

La hipótesis inicial de la presente investigación es que en la Cordillera Central Dominicana, un macizo montañoso tropical de origen volcánico del Cretáceo, con clima húmedo, pero con temperaturas sensiblemente más bajas que en las zonas tropicales calientes, existe una situación hasta cierto punto análoga: en los suelos de edad de desarrollo elevado, con pocos materiales gruesos, las concentraciones de los principales nutrientes y el pH suelen ser bajos, mientras que la saturación de aluminio generalmente es alta. Todas estas condiciones limitan la fertilidad natural en estos sitios. Por otro lado existen, también, suelos de edad de desarrollo menos avanzada, en muchos casos pedregosos, relativamente ricos en nutrientes, con valores de pH más altos y porcentajes de saturación de aluminio más bajos, y por lo tanto con una fertilidad natural mayor. Estos suelos se encuentran en sitios sometidos a procesos de erosión y acumulación, sea en ambientes

ribereños con aportes de sedimentos fluviales, sea en pendientes fuertes, expuestas a movimientos de masa y erosión por escorrentía. Estas relaciones concuerdan con las afirmaciones de los campesinos de la Cordillera Central Dominicana, de que los suelos pedregosos suelen ser de mejor calidad para cultivos agrícolas.

El estudio mencionado sobre los suelos del parque nacional J. A. Bermúdez arrojó datos de campo y laboratorio sobre las características de los suelos de esta zona en la vertiente norte de la Cordillera Central Dominicana (May, 2007). Con la presente investigación se pretende aprovechar la oportunidad de contrastar las afirmaciones de los campesinos de la zona con los datos levantados en el estudio mencionado, poniendo a prueba la hipótesis enunciada arriba.

Zona de estudio

El parque nacional J. A. Bermúdez cubre un área de 766 km², con altitudes desde 600 msnm hasta 3085 msnm. El substrato geológico consiste en la mayor parte del área de materiales volcánicos y volcano-sedimentarias del Cretáceo, y en una pequeña parte de dioritas (SEIC, 1991). El relieve es diseccionado, con pendientes mayores de 30° grados en muchos sitios. Arriba de 2000 msnm aproximadamente, la vegetación natural es un pinar dominado por *Pinus occidentalis* Sw., y por debajo de este nivel, se encuentra un mosaico de pinares y bosques de árboles de hojas anchas, con predominancia de los últimos (Hager & Zanoni, 1993; Tolentino & Peña, 1998).

No existen estaciones climatológicas dentro del área, pero extrapolando los datos de estaciones cercanas (Lora Salcedo, Czerwenka & Bolay, 1983) se pueden estimar las temperaturas medias anuales en aproximadamente 22°C en las elevaciones más bajas y en 5 - 8°C en las cumbres más altas (Hager & Zanoni, 1993). Estos autores estiman las precipitaciones medias anuales entre

1500 y 2000 mm por debajo de 1500 msnm y entre 2000 y 2500 mm en el rango de altitudes entre 1500 y 2000 msnm. Es difícil estimar las precipitaciones medias anuales por arriba de los 2000 msnm a través de una simple extrapolación, ya que en muchas montañas no existe un aumento lineal de las precipitaciones con la altitud (Richter, 1996). Algunos comentarios de habitantes de los alrededores del parque nacional J. A. Bermúdez indican que en las altitudes por arriba de los 2000 msnm las precipitaciones son menores que en las altitudes que se encuentran por debajo de este nivel. Específicamente en la vertiente norte de este macizo montañoso, observaciones indican que es bien posible que las elevaciones altas de la Cordillera Central se encuentren por arriba del nivel máximo de la nubosidad, y por lo tanto reciban menos precipitaciones que las zonas de altitudes intermedias, expuestas a los vientos alisios del este y noreste.

Según indican los diagramas climáticos (Lora Salcedo, Czerwenka & Bolay, 1983) no hay estación seca en las estaciones cercanas a la vertiente norte de la Cordillera Central, pero sí existe un mínimo de precipitaciones durante los meses de febrero y marzo. Esto en muchos años se traduce en períodos de varias semanas sin lluvias, los cuales son la época con mayor riesgo de incendios. Se encontraron índices de que hubo incendios en la zona de pinares de la Cordillera Central Dominicana aún antes del momento cuando los primeros humanos habían comenzado a poblar la isla (Horn. Orvis, Kennedy & Clark, 2000). Esto significa que el fuego, aunque seguramente su frecuencia aumentó de forma marcada como consecuencia de la presencia humana, es un factor ecológico natural en esta zona.

El parque nacional J. A. Bermúdez fue declarado en 1956. Antes de esta fecha, y de forma clandestina todavía hasta la década de los años ochenta, se estaba criando ganado en la zona, se estaba aprovechando la madera de los pinos, se estaba practicando agricultura de subsistencia, y en algunos sitios se estaba cultivando café

bajo sombra de *Inga vera* Willd. Según testimonios de personas que viven en la zona, ninguna de estas actividades, con excepción de algunos cortes de madera esporádicos, pasaba de altitudes que corresponden a la franja de 1700 – 2000 msnm aproximadamente.

Materiales y métodos

En 36 sitios ubicados dentro de los límites legales del parque nacional J. A. Bermúdez se excavaron secciones de suelo hasta profundidades de 0.5 – 1.0 m, dependiendo de la presencia de materiales duros, impenetrables con pala de corte o machete. Estos sitios están ubicados en los mismos lugares donde en el estudio arriba mencionado se realizaron los inventarios de vegetación. En principio, estos sitios se eligieron según el criterio de que no hubiera indicios de perturbaciones en tiempos recientes en la vegetación, como la presencia de especies de plantas típicas para fases tempranas de sucesión (May, 1994) o vestigios de incendios. Ya que en la franja de los pinares de alta montaña, a elevaciones mayores de 2000 msnm hubiera sido difícil encontrar sitios sin vestigios de incendios, se incluyeron dos sitios ubicados en estas altitudes, a pesar de que una carbonización parcial de la corteza de los pinos en la parte baja del tronco, hasta la altura de aproximadamente 0.8 m, indicaba que habían ocurrido incendios en el estrato inferior de la vegetación.

Del total de estos 36 sitios, 20 se encontraban en interfluvios, fuera de influencia de corrientes de agua. Doce de estos 20 sitios estaban cubiertos por bosques de árboles de hojas anchas, de composición variable, y ocho por pinares de *Pinus occidentalis* Sw.. Los 16 sitios restantes que se encontraban en ambientes con influencia ribereña, en aluviones, terrazas fluviales o cerca de pequeños arroyos, estaban cubiertos por bosques de especies de árboles de hojas anchas.

Los límites de los horizontes de suelo se determinaron visualmente. Para cada horizonte se estimó

el contenido de materiales gruesos, con diámetro mayor de 2 mm, con base en las tablas de comparación en los Munsell Soil Color Charts. Con clinómetro y brújula se tomaron los ángulos de pendiente, y con un GPS la altura sobre el nivel del mar. Se tomaron muestras de cada horizonte, las cuales fueron analizadas por el laboratorio de la Junta Agroempresarial Dominicana (JAD).

Por su importancia en los cultivos agrícolas, fueron tomados en cuenta los siguientes parámetros químicos como indicadores de la fertilidad natural: el pH, las concentraciones de Ca, K, Mg y P intercambiables, y la saturación de aluminio. El nutriente N no se tomó en cuenta, por la complejidad de su dinámica entre la atmósfera, la materia orgánica del suelo y la mineralización, en los ecosistemas de bosques, a pesar de que en muchos casos tiene una influencia importante en la productividad de los ecosistemas tropicales naturales (Vitousek & Sanford, 1986)

Las extracciones de los elementos químicos analizados se hicieron de la siguiente forma, según los procedimientos estándar del laboratorio de la JAD: K con acetato de amonio a un pH de 7.0, Ca y Mg con acetato de amonio y solución de KCl 1 N a un pH de 7.0, P con EDTA y bicarbonato de Na a un pH de 8.0, y aluminio con solución de KCl 1N. El pH se midió en agua destilada.

Ya que el objetivo del estudio de evaluación ecológica, cuyos datos se están utilizando en el presente estudio, era una descripción de los suelos, las muestras para los análisis químicos se habían tomado por horizontes. Considerando que el enfoque de la presente investigación es la fertilidad natural de los suelos, es decir, las condiciones de crecimiento y desarrollo que ofrecen a las plantas, y que el espesor de los diferentes horizontes varía mucho de un lugar al otro, no parecía adecuado comparar los datos químicos y las estimaciones del contenido de materiales gruesos de los respectivos horizontes de los suelos de las diferentes secciones. Un suelo con un horizonte superficial rico en nutrientes pero de

pocos centímetros de profundidad, y con horizontes subyacentes pobres, puede ofrecer condiciones de crecimiento menos favorables para determinados cultivos agrícolas que un horizonte con niveles regulares de nutrientes en un horizonte superficial de más profundidad.

Por esta razón, en cada sección de suelo se tomaron en cuenta los valores de los parámetros mencionados que corresponden a una profundidad de 30 cm. A esta profundidad las condiciones químicas del suelo deben ser relevantes para los cultivos agrícolas, sin que influya mucho la materia orgánica, cuyo contenido en nutrientes y cuyo pH puede variar según su origen botánico (pinos o árboles latifoliados).

Se determinaron los valores promedios de los parámetros químicos y del contenido de materiales gruesos para los suelos de los interfluvios y para los suelos de ambientes ribereños. Evaluaciones preliminares mostraron que la distribución de los dos parámetros saturación de Al y el contenido de materiales gruesos era altamente asimétrica y no se asemejaba a una distribución normal. Además, en el caso del contenido de materiales gruesos se trata de datos obtenidos por estimaciones visuales y no por medidas exactas. Por lo tanto, para evaluar si las diferencias de los parámetros químicos y del contenido de materiales gruesos entre interfluvios y ambientes de influencia ribereña eran estadísticamente significativas, se aplicó el test U de Mann-Whitney, que es una prueba no paramétrica, aplicable a datos en escalas ordinales, y no requiere la suposición de una distribución normal de los datos.

Por la misma razón, para determinar las correlaciones entre los diferentes parámetros químicos, el contenido de materiales gruesos y el ángulo de pendiente, no fue aplicado el coeficiente de correlación de Pearson, sino se calculó el coeficiente de correlación de rangos de Spearman (R). Como límite de confiabilidad se adoptó un nivel de probabilidad de error de $p = 0.05$ en todos las pruebas estadísticas.

Resultados

Comparación entre interfluvios y sitios de influencia ribereña

Como se refleja en los valores promedios, el contenido de materiales gruesos de ambos grupos tiende a ser mayor que en los suelos ribereños, aunque las diferencias entre ambos grupos no son significativas según el test U de Mann-Whitney (Tabla 1).

Los promedios del pH y de las concentraciones de Ca, Mg y K son más bajos en los suelos ubicados en interfluvios que en los suelos de los sitios ribereños, así como el promedio de la saturación de Al es mayor en los suelos de los interfluvios, con diferencias significativas en el test U de Mann y Whitney. El promedio de la concentración de P también es más alto en los suelos de los ambientes ribereños que en los suelos de los interfluvios, pero la diferencia no es estadísticamente significativa (Tabla 2).

Tabla 1. Altitud, inclinación y materiales gruesos a 30 cm de profundidad

No. Interfluvios	altitud (msnm)	inclinación (°)	materiales gruesos (%)
1	1550	6	0
2	1360	14	0
3	2180	20	60
4	1580	35	60
5	1730	28	10
6	790	12	10
7	980	10	0
8	970	13	10
9	820	21	10
10	950	26	10
11	1290	6	10
12	1350	16	0
13	1740	4	0
14	1370	25	70
15	1520	28	10
16	1330	36	40
17	1580	6	30
18	3000	26	50
19	2200	7	10
20	920	26	10
Promedio			21

...continuacion Tabla 1

No. Interfluvios	altitud (msnm)	inclinación (°)	materiales gruesos (%)
21	1300	4	50
22	1160	2	10
23	1350	8	40
24	1270	5	50
25	1440	7	10
26	1610	5	70
27	1600	7	10
28	1180	1	50
29	1110	2	0
30	1400	3	0
31	830	5	10
32	820	11	10
33	720	3	70
34	950	5	10
35	810	1	10
36	1310	10	0
Promedio			25

Tabla 2. Valores de los parámetros químicos a 30 cm de profundidad

interfluvios	pH	AI (%)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	K (meq/100g)	P (ppm)
1	4.1	80.1	0.40	0.11	0.04	7
2	5.1	12.5	2.89	1.96	0.03	12
3	4.9	40.5	0.95	0.49	0.03	24
4	5.6	3.9	4.90	2.40	0.09	5
5	6.0	0.0	2.10	0.68	0.05	4
6	5.1	12.3	3.52	2.61	0.04	12
7	4.4	50.0	0.33	0.18	0.02	2
8	4.2	87.5	0.16	0.14	0.03	3
9	6.0	0.0	3.42	2.07	0.29	4
10	4.6	37.6	0.76	0.22	0.05	19
11	4.2	45.0	0.92	0.17	0.02	8
12	4.4	60.9	0.95	0.11	0.02	9
13	4.5	58.4	0.60	0.25	0.21	24
14	5.5	1.0	6.90	12.9	0.27	5
15	4.6	79.9	0.40	0.14	0.05	7
16	6.4	0.0	6.91	6.59	0.03	12
17	5.8	0.0	3.50	1.53	0.06	15
18	5.2	36.1	1.18	0.90	0.04	14
19	5.1	74.8	0.15	0.09	0.02	3
20	5.0	43.9	0.79	0.27	0.04	12
promedio	5.0	36.2	2.09	1.69	0.07	10

...continuacion Tabla 2

interfluvios	pH	AI (%)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	K (meq/100g)	P (ppm)
21	5.7	0.0	2.30	0.86	0.18	8
22	5.8	0.0	9.70	3.61	0.04	7
23	5.2	4.2	9.74	6.38	0.05	9
24	5.6	0.0	10.10	7.14	0.06	10
25	6.3	0.0	6.21	2.67	0.07	14
26	5.1	28.0	2.99	1.29	0.04	19
27	5.3	15.8	2.06	0.80	0.05	29
28	5.1	16.3	2.81	1.02	0.05	20
29	5.3	10.5	3.68	1.41	0.03	10
30	6.7	0.0	4.84	7.06	0.05	2
31	5.0	11.8	2.25	2.69	0.07	9
32	6.0	0.0	8.75	2.37	0.33	13
33	5.4	5.4	3.63	1.42	0.05	9
34	5.9	0.0	2.74	2.82	0.05	11
35	5.4	6.5	4.56	1.55	0.06	19
36	4.5	44.7	0.99	0.20	0.06	15
promedio	5.5	9.0	5.09	2.72	0.08	13
p	*	**	**	**	*	ns

p <0.05: *, p < 0.01: **

Correlaciones entre parámetros químicos y materiales gruesos

Analizando todos los sitios, se encontraron correlaciones significativas con el contenido de materiales gruesos para las variables pH, Ca, Mg y saturación de aluminio. Para el pH, Ca y Mg, las correlaciones son positivas, y para la saturación de aluminio las correlaciones son negativas. En el caso de K y de P se encontraron correlaciones estadísticamente no significativas, con bajos valores positivos de los coeficientes de correlación R (Tabla 3).

Considerando solamente los suelos de los interfluvios, se observa el mismo patrón, con coeficientes de correlación más altos para las variables pH, Ca y Mg y un valor más bajo de R para la saturación de aluminio, indicando correlaciones más estrechas en todos los casos. Lo mismo es cierto cuando se contemplan solamente los suelos de los interfluvios ubicadas a altitudes menores de 2000 msnm y en este caso, los valores de R son mayores que en el caso anterior, alcanzando en todos los casos valores por arriba de 0.60 (Tabla 3) o por debajo de -0.6 en el caso de la saturación de aluminio.

Tabla 3. Correlaciones (R de Spearman) entre parámetros químicos y materiales gruesos

	pH	AI (%)	Ca	Mg	K	P
todos los sitios	0.31	-0.31	0.34	0.29	(0.24 ns)	(0.13 ns)
solos interfluvios	0.54	-0.45	0.44	0.45	(0.30 ns)	(-0.19 ns)
solos interfluvios >2000 m	0.62	-0.62	0.65	0.64	(0.34 ns)	(-0.06 ns)

ns: las correlaciones no son significativas estadísticamente

En ambos casos, las correlaciones con el contenido de materiales gruesos no son estadísticamente significativas para las variables K y P, con bajos valores de R. Ciertamente, mientras que en el caso de P los valores de R son bajos y negativos, en el caso de K se encuentran en 0.30 o ligeramente arriba de este valor, lo que indica cierta tendencia de correlación positiva.

Parámetros químicos y pendientes

Mientras que para el conjunto de todos los 36 sitios no hay correlación entre ninguno de los parámetros químicos y el ángulo de pendiente, para los 20 sitios

en interfluvios se encontraron correlaciones significativas positivas entre los ángulos de pendiente y el pH, las concentraciones de Ca y Mg así como con los valores de saturación de aluminio. Para los 17 sitios debajo de los 2000 msnm, se detectó una correlación significativa positiva con el ángulo de pendiente solamente para el pH, mientras que para Ca, Mg y la concentración de aluminio se encontraron tendencias, estadísticamente no significativas, con una p ligeramente fuera del límite de confianza de $p = 0.05$. Para K y P no existen correlaciones significativas con el ángulo de pendiente, si bien para Mg se visualiza una ligera tendencia que no es significativa (Tabla 4).

Tabla 4. Correlaciones (R de Spearman) entre parámetros químicos y ángulos de pendiente

	pH	AI (%)	Ca	Mg	K	P
interfluvios	0.53	-0.41	0.41	0.41	(0.25 ns)	(0.04 ns)
interfluvios>2000 m	0.57	(-0.38 ns)	(0.38 ns)	(0.36 ns)	(0.25 ns)	(-0.17 ns)

ns: las correlaciones no son significativas estadísticamente

Pendiente y materiales gruesos

No se detectaron correlaciones significativas entre el ángulo de pendiente y el contenido de materiales gruesos, tomando en cuenta todos los 36 sitios. Para los 20 sitios en interfluvios se detectó una correlación significativa positiva entre el ángulo de pendiente y el contenido de materiales gruesos ($R = 0.51$), así como para los 17 sitios en interfluvios de elevaciones menores de los 2000 msnm ($R = 0.53$).

Discusión

Tomando como parámetros el pH, la saturación de aluminio y las concentraciones de Ca y Mg, los valores promedios indican una mayor fertilidad natural en los suelos de ambientes ribereños y en los suelos en interfluvios con pendientes

fuertes, en contraste con los suelos en interfluvios con pendientes suaves. A pesar de que en varios casos las correlaciones no son muy estrechas, el análisis estadístico de los datos de los parámetros mencionados apoya la hipótesis inicial, que las afirmaciones de los campesinos son ciertas, y que los suelos con más piedras tienden a ser de una mayor fertilidad natural. El hecho de que las correlaciones son más estrechas cuando se limita el análisis a los tipos de sitios que se asemejan a los que anteriormente se estaban usando para agricultura – en interfluvios y por debajo de los 2000 msnm – confirma esta interpretación.

Sin embargo, para K, que es un nutriente importante, las correlaciones con el contenido de materiales gruesos son bastante débiles y estadísticamente no significativas. Para P, otro elemento importante para la nutrición de las plantas, las correlaciones con el contenido de materiales

gruesos en todos los casos son débiles, y en la gran mayoría de los casos no son significativas. Una posible interpretación sería que en la zona del estudio presente, el bajo pH, los altos valores de saturación de aluminio, y los bajos contenidos de Ca y Mg probablemente sean los mayores limitantes para la fertilidad natural de los suelos, de mayor incidencia que los niveles de los nutrientes K y P. Los parámetros antes mencionados, efectivamente son más favorables para la agricultura en los suelos más pedregosos. El rol importante de la toxicidad de aluminio de los suelos tropicales es reconocido por diferentes autores (Casierras & Aguilar, 2007; Poschenrieder, Gunsé. Corrales & Barceló, 2008).

Los resultados presentados aquí aparentemente contrastan con el concepto de una limitación de la productividad de los ecosistemas tropicales por la disponibilidad de fósforo (Vitousek, 1984). De todos modos, hay que tener en cuenta que en la zona del presente estudio, en una gran mayoría de los suelos los niveles de fósforo son bastante bajos: a los 20 cm de profundidad, solamente en 9 de los 36 suelos, o sea en 25% del total, las concentraciones de este nutriente son mayores de 15 ppm. En cambio, en 69% de los suelos, el pH se encuentra por arriba de 5.0, y en 61% de los suelos la saturación de aluminio se encuentra por debajo de 25%. Posiblemente, en muchos suelos de la zona, la fertilidad natural sí es limitada también por las bajas concentraciones de fósforo, pero esto no se refleja en correlaciones estadísticas significativas con el contenido de materiales gruesos, porque hay muy pocos suelos en la zona donde las concentraciones de este elemento son mayores.

Las correlaciones existentes para los suelos de los interfluvios entre el ángulo de pendiente y las variables químicas pH, Ca, Mg y saturación de aluminio, como también las correlaciones entre los contenidos de materiales gruesos y el ángulo de pendiente, indican que los procesos morfodinámicos – movimientos de masas y erosión por escorrentía - juegan un rol importante en los suelos de estos

sitios. Relaciones parecidas, de que los valores de los cationes básicos como Ca, Mg y K son mayores en suelos con altos contenidos de materiales gruesos, expuestos a procesos geomorfodinámicos, se han encontrado en otras zonas montañosas tropicales: En una zona de montaña del sur de Ecuador se detectaron valores más elevados de los cationes básicos en suelos desarrollados sobre deslizamientos (Schrumpf, Guggenberger, Valarezo & Zech, 2001). Hay ejemplos en zonas montañosas de África oriental, donde las condiciones para el crecimiento de plantas en áreas de deslizamientos a mediano plazo habían mejorado, debido al aporte de nutrientes provenientes de minerales alterables en los materiales que fueron movilizados (Westerberg & Christiansson, 1999). Los patrones de distribución en transectos de suelos en paisajes de origen volcánico en Hawaii (Beinroth, Uehara & Ikawa, 1974) encajan también con este concepto: los oxisoles e ultisoles, pobres en nutrientes, generalmente están ubicados en sitios geomorfológicamente estables, mientras que en las laderas se encuentran suelos menos desarrollados y más ricos en nutrientes.

Ciertamente, la afirmación de que “mientras más piedras, mejor!” no se puede llevar al extremo. Para la productividad natural de un sitio, no solamente importan las concentraciones de determinados nutrientes, el pH y la ausencia de toxicidad de aluminio. Si el suelo es altamente pedregoso, el espacio que queda para el sistema radicular es muy pequeño, y también lo es la capacidad de retención de agua. Este último aspecto, si bien es cierto que siempre tiene su relevancia para cultivos agrícolas, es menos importante en condiciones de clima húmedo, como la Cordillera Central Dominicana, que en zonas con estaciones secas intensas y prolongadas,

Conclusiones

En la Cordillera Central Dominicana, desde el punto de vista agronómico y ecológico existe un dilema que, según sugieren las referencias

bibliográficas citadas, no es ajeno a otras zonas montañosas tropicales: Los suelos con mayor fertilidad natural en sus horizontes minerales tienden a encontrarse o en sitios con influencia de dinámica fluvial, o bien en sitios con pendientes más fuertes, con mayor riesgo de erosión. Los suelos ubicados en lugares donde por la situación topográfica la estabilidad geomorfológica es mayor y el riesgo de erosión es más bajo, tienden a tener mayores edades de desarrollo y, por esta razón, menores contenidos en minerales residuales, con la consecuencia de que su contenido en bases suele ser bajo, mientras que en muchos casos se observan altos niveles de aluminio, causando problemas de fitotoxicidad.

Esto implica que los campesinos de escasos recursos en la Cordillera Central Dominicana y en zonas colindantes del país vecino de Haití posiblemente no actúan de forma tan irracional como podría parecer, cuando cultivan tierras inclinadas y pedregosas de montaña, por lo menos desde su punto de vista cortoplacista, a lo cual están empujados por la necesidad de ganarse la vida de forma precaria. Sembrar cultivos agrícolas en este tipo de terrenos, situados en pendientes y expuestos a procesos de erosión, las así llamadas "tierras santas para habichuelas", puede ser una estrategia desarrollada a raíz de experiencias interactuando con el terreno, para aprovechar los bajos niveles de saturación de aluminio en estos terrenos y las condiciones favorables del pH y de las concentraciones de Ca, Mg y K.

Claro está, de todos modos, que esta práctica no es sustentable durante tiempos prolongados. Utilizar las laderas inclinadas de forma permanente para la siembra de cultivos de ciclo corto que requieren la remoción frecuente del suelo, inevitablemente origina procesos de erosión, a menos que se apliquen medidas eficientes de conservación de suelo. Entre estas técnicas se pueden

incluir la siembra de barreras vivas en franjas utilizando especies que además de retener el suelo dan otro tipo de uso, como hierbas de corte que sirven para alimentar el ganado (Stocking, 1993), la introducción de cultivos de cobertura y abono verde (Bunch, 2004, Ayala, Krishnamurthy & Basulto, 2009), cultivos permanentes como café y determinados frutales como aguacate o guayaba (Montiel-Aguirre *et al.*, 2008), o la siembra en callejones de determinadas especies leñosas con alta capacidad de reciclar nutrientes. En un mundo que cada día requiere más alimentos y otros productos de plantas como fibras, madera y energía, puede ser una buena estrategia aprovechar cuidadosamente la fertilidad natural de los sitios ubicados en las laderas de las montañas, en los lugares que perdieron su cobertura natural de vegetación hace tiempo.

Agradecimientos

El autor agradece a los colegas del equipo de vegetación y suelos quienes trabajaron juntos con él en el proyecto de Evaluación Ecológica Rápida del Parque Nacional J. A. Bermúdez: Teodoro Clase, Ángela Guerrero, Tomás Montilla y Brígido Peguero. Así mismo agradece a PROGRESSIO Fundación para el Mejoramiento Humano, cuyas aportaciones hicieron posible realizar los análisis de suelos.

Nota aclaratoria

Este trabajo fue realizado cuando el autor estaba afiliado como asistente técnico de la Cooperación Alemana a la Fundación para el Desarrollo Azua, San Juan y Elías Piña (FUNDASEP), c/San Juan Bautista 49, San Juan de la Maguana, República Dominicana. Se publica con la afiliación institucional actual del autor para facilitar su ubicación a los interesados en contactarle.

Literatura citada

1. Ayala, S., Krishnamurthy, L. & Basulto, J. A. (2009). Leguminosas de cobertura para mejorar y sostener la productividad de maíz en el sur de Yucatán. *Terra Latinoamericana* 27 (1): 63 – 69.
2. Barrios, E., Delve, R. J., Bekunda, M., Mowo, J. Agunda, J., Ramisch, J., Trejo, M. T. & Thomas, R. J. (2006). Indicators of soil quality: a South-South development of a methodological guide for linking local and technical knowledge. *Geoderma* 135: 248 – 259
3. Beinroth, F. H., Uehara, G. & Ikawa, H. (1974). Geomorphic relations of oxisols and ultisols of Kauai, Hawaii. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 38: 128 – 131.
4. Bunch, R. (2004). Adopción de abonos verdes y cultivos de cobertura. *LEISA Revista de Agroecología* 19 (4): 194 – 199.
5. Casierras, F. & Aguilar, O. (2007). Estrés por aluminio en plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 1 (2): 246 – 257.
6. Faust, D. (1987). Traditionelle Bodennutzung in den Monts Kabyé, N-Togo. *Zeitschrift für Agrargeographie* 5 (4): 336 – 351.
7. Faust, D. (1991). Die Böden der Monts Kabyé (N-Togo). Eigenschaften, Genese und Aspekte ihrer agrarischen Nutzung. *Frankfurter Geowissenschaftliche Arbeiten, Serie D: Physische Geographie*, 13. Frankfurt am Main, Alemania.
8. Fölster, H. (1994). Stability of forest ecosystems in the humid tropics. *Interciencia* 19 (6): 291 – 296.
9. Hager, J. & Zanoni, T. (1993). La vegetación natural de República Dominicana: una nueva clasificación. *Moscosoa* 7: 39 – 81.
10. Horn, S., Orvis, K. H., Kennedy, L. M. & Clark, G. M. (2000). Prehistoric fires in the highlands of the Dominican Republic: Evidence in charcoal from soils and sediments. *Caribbean Journal of Science* 36 (1-2): 10 – 18.
11. Klingebiel, A. A. & Montgomery, P. H. (1961). *Land capability classification*. Washington D. C., U. S. Government Printing Office.
12. Lora R., Czerwenka, J. & Bolay, E. (1983). *Diagramas climáticos de República Dominicana*. Santo Domingo: DVS/SEA.
13. May, T. (1994). Regeneración de la vegetación arbórea y arbustiva en un terreno de cultivos abandonado durante 12 años en la zona de bosques húmedos de montaña (Reserva Científica Ebano Verde, Cordillera Central, República Dominicana). *Moscosoa* (Santo Domingo) 9: 117 – 144.
14. May, T. (2007). Los suelos del Parque Nacional Armando Bermúdez. En: Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARN), ed. Francisco Nuñez, *Evaluación integrada del Parque Nacional Armando Bermúdez*: 12 – 22.
15. Montiel-Aguirre, G., Krishnamurthy, L., Vázquez-Alarcón, A. & Uribe-Gómez, M. (2008). Opciones agroforestales para productores de aguacate. *Terra Latinoamericana* 26 (1): 85 – 90.
16. Oberthür, T., Barrios, E., Cook, S., Usma, H. & Escobar, G. (2004). Increasing the relevance of scientific information in hillside environments through understanding of local soil management in a small watershed of the Colombian Andes. *Soil Use and Management* 20: 23 – 31.
17. Poschenrieder, C., Gunsé, B., Corrales, I. & Barceló, J. (2008). A glance into aluminium toxicity and resistance in plants. *Science of the Total Environment* 400: 356 – 368.
18. Richter, M. (1996). Klimatologische und pflanzensoziologische Vertikalgradienten in tropischen Hochgebirgen. *Erdkunde* 50: 205 – 238.
19. Schrumpf, M., Guggenberger, G., Valarezo, C. & Zech, W. (2001). Tropical montane rain forest soils. Development and nutrient status along an altitudinal gradient in the South Ecuadorian Andes. *Die Erde* 132: 43 – 59.
20. SEIC/DGM/IGU (1991). *Mapa geológico de la República Dominicana*. Mapa geológico general. Santo Domingo.
21. SEMARN/Fundación Moscoso Puello (2007). *Evaluación Ecológica Integrada del Parque Nacional Armando Bermúdez*, Ed. Francisco Nuñez. Santo Domingo, 164 pp.
22. Stocking, M. (1993). Soil and water conservation for ressource pour farmers: Designing acceptable technologies for rainfed conditions in Eastern India. In: E. Baum, P. Wolff & M. A. Zoebisch (eds.), *Acceptance of soil and water conservation. Strategies and technologies. Topics in applied resource management in the Tropics* (Vol. 3, pp. 291 – 305). Witzenhausen, Germany: Deutsches Institut für Tropische und Subtropische Landwirtschaft.
23. Tolentino, L. & Peña, M. (1998). Inventario de la vegetación y uso de la tierra en la República Dominicana. *Moscosoa* 10: 179 – 202.
24. Vitousek, P. M. (1984). Litterfall, nutrient cycling and nutrient limitation in tropical forests. *Ecology* 65: 285 – 298.
25. Vitousek, P. M. & Sanford, R. L. (1986). Nutrient cycling in moist tropical forest. *Annual Review of Ecology and Systematics* 17: 137 – 167.
26. Westerberg, L. O. & Christiansson, C. (1999). Unstable slopes, unstable environments? *AMBIO* 28: 419 – 429.

Recibido: 18 de abril de 2014
Aceptado: 20 de mayo de 2014