

Biodiversidad del suelo: importancia para la rehabilitación de zonas degradadas por la minería*

María E. RODRÍGUEZ**, Ramona OVIEDO**, Ana A. SOCARRÁS**, Luis HERNÁNDEZ**,
Guillermina HERNÁNDEZ**, Yamir TORRES**, Luis DE ARMAS**,
Orquídea COTO*** y María Dolores DURRUTHY****

ABSTRACT. The region of Moa has one of the higher diversity indexes of the Cuban flora. This vegetation developed on ultramafic soils is adapted to oligotrophy and toxicity caused by heavy metals. The edaphic biota of these soils is almost unknown and the impact of mining activity in this territory is very high producing a great damage to the ecosystems. The study of some groups of soil biota has shown that concerning micro organisms - bacteria, Streptomyces group, arbuscular mycorrhizal fungi (VAM) and others- they could be used for agriculture and biotechnology with possible new species for science. Also edaphic fauna as different groups of Aracnida with interesting new species and genera and mesofauna, denotes the huge biodiversity of these ultramafic soils. It is stressed the need of soil conservation for the rehabilitation of areas damaged by mining activity and the promising use of the microbiota for biolixiviation, bioremediation, and phytopathogenic control

KEY WORDS. Edaphic biota, biodiversity, rehabilitation, mining activity.

INTRODUCCIÓN

En la región Noreste de las provincias orientales se encuentra la zona más extensa de rocas ultrabásicas serpentinizadas, donde aparecen los suelos más antiguos y evolucionados de Cuba (Hernández *et al.* 1999). Estos suelos, sustentan una flora adaptada a condiciones de oligotrofia y toxicidad por metales pesados en especial Ni, Cr, Co, entre otros (Berazaín, 1981). La región de Moa además sustenta la mayor diversidad y endemismo florístico de Cuba (López *et al.*, 1994; del Risco y Sotomayor, 1997; Berazaín, 2003). En estas áreas la minería del níquel, con su explotación a cielo abierto, causa graves daños a los ecosistemas y en general, la actividad minero metalúrgica produce impactos severos al medio ambiente arrasando con los bosques, afectando la biodiversidad que ellos contienen y sobre todo, causando un grave deterioro y pérdida de los suelos, que a su vez son la causa de la elevada contaminación del aire y las aguas en estos territorios, especialmente en Moa. (Rodríguez *et al.*, 1987). Estos suelos contienen una biota muy poco conocida y de gran interés, pues asumimos que debe existir una co-evolución de la biota edáfica y las plantas que crecen sobre estos suelos, entre las cuales existe un elevado endemismo.

El objetivo de este trabajo fué la caracterización de algunos componentes de la biota edáfica y del comportamiento de las propiedades fisicoquímicas del suelo en áreas conservadas, en áreas degradadas y en proceso de rehabilitación, que sirven como indicadores de la diversidad taxonómico-funcional de estos suelos y el estado de recuperación de los mismos en áreas rehabilitadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características del área de estudio. Según Borhidi (1996) la Sierra de Moa es una de las zonas más húmedas de Cuba con un promedio anual de precipitaciones entre

1 400 mm, en las áreas mas bajas, hasta 3 000 mm en las altas; con temperaturas entre 24 y 26°C. En el área de Mina Moa, Rodríguez *et al.* (1987) encontraron un promedio anual de 2 193 mm y 22.6°C siendo julio el mes más seco. Los suelos de esta zona, desarrollados sobre rocas ultrabásicas, pertenecen al tipo Ferrítico Rojo Oscuro (Hernández *et al.*, 1999); han evolucionado bajo un intenso régimen de lluvias y de radiación solar y presentan bajo contenido de nutrientes - K, P asimilables- y desbalance Ca: Mg; altos contenidos de cromo y níquel; así como baja Capacidad de Cambio Catiónico (CCC), con valores entre 3-10 cmol kg⁻¹. Presentan en general buen drenaje interno (Hernández *et al.*, 1999). La vegetación predominante en toda la zona de suelos Ferríticos del NE de las provincias orientales, es el pinar de *Pinus cubensis* Griseb. "pinar sobre lateritas", (*sensu* Borhidi 1996) que puede encontrarse mezclado con otras formaciones, presentando en general un estrato arbustivo denso y rico en endemismos que puede llegar a 68% (del Risco, 1995; Borhidi, 1996). Estos suelos sustentan una flora adaptada a condiciones de oligotrofia y toxicidad por metales pesados (Borhidi, 1996; Safford y Harrison, 2003), a una intensa evaporación y a sequía edáfica

Áreas de muestreo. Se llevó a cabo en la concesión minera de la Empresa Cmdte. "Ernesto Ché Guevara" (ECG), en áreas del yacimiento Punta Gorda, situado al noreste de la Ciudad de Moa. Se escogieron áreas de un bosque natural remanente (pinar de *Pinus cubensis*, llamado Pino de Moa), de aproximadamente 10 ha, ubicado del NE al ESE de la concesión (Informe Técnico, Proy. Rehabilitación ECG, 2004), quedando enmarcado por la vuelta que da el curso del Río Yagrumaje en esa zona; a 50-60 m snm, con pendientes hacia el río de 15° a 30°. Una descripción más detallada de la vegetación de esta área aparece en Rodríguez *et al.* (2005). Además, se seleccionaron tres áreas rehabilitadas con: *Pinus cubensis* Griseb (4 años de sembrada); *Casuarina*

*Manuscrito aprobado en Diciembre de 2007.

**Instituto de Ecología y Sistemática, A. P. 8029, C. P. 10800, La Habana, Cuba.

***Facultad de Biología, Universidad de La Habana, Calle 25 entre J e I, Vedado, La Habana, Cuba

****Instituto de Cibernética, Matemática y Física-CITMA, Calle 15 entre C y D, Vedado, La Habana, Cuba

equisetifolia Fors y *Anacardium occidentale* Lin, evaluadas a los 4 y 6 años de sembradas. Se siguió el mismo diseño en áreas seleccionadas de la Empresa Cmdte. "Pedro Soto Alba" (PSA-Moa Níquel), situada al sur del pueblo de Moa. Se escogió un área remanente de bosque natural llamado Vista Alegre y dos áreas rehabilitadas: con *C. equisetifolia* y con *P. cubensis*, ubicadas en el yacimiento Moa Occidental plantadas en 1987. En este caso se hicieron mediciones a los 4, 10 y 16 años de sembradas. Estas son las áreas reforestadas más antiguas de Moa, (Rodríguez et al. 2005).

En estas plantaciones se hicieron mediciones de crecimiento: diámetro, altura y se calculó el Incremento medio anual (IMA). Se evaluó en el suelo la actividad fosfatásica, carbono orgánico total, contenido de materia orgánica, densidad aparente y mineralización del carbono (C-CO₂ como respiración del suelo) según Anderson e Ingram (1993). La mesofauna del suelo se extrajo mediante embudos de Tullgren. Las esporas de hongos formadores de micorrizas vesículo-arbusculares (MVA) se extrajeron por tamizado húmedo del suelo según Sieverding, (1991). Los componentes de la microbiota: bacterias, hongos y actinomicetos, se aislaron mediante las técnicas de siembra por dilución en placa (Abin et al, 2002) y para el estudio y determinación de las comunidades de Streptomycetos del suelo, se utilizó la técnica de fragmentación del 16S rADN (Smalla, 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El comportamiento de algunas características físico-químico-biológicas del suelo en áreas degradadas por la

minería y evaluadas a distinto tiempo después de rehabilitadas con *Pinus cubensis* o con *Casuarina equisetifolia* denota la importancia de la interrelación planta-suelo y la influencia de las especies seleccionadas (Tabla 1). Cuando se comparan los valores con los del suelo del bosque natural remanente de Vista Alegre (VA), se constata el impacto que la minería ocasiona al suelo. En las áreas revegetadas de 4 años, tanto con Pino de Moa como con Casuarina, se observa que aunque el contenido de MO no se vió muy afectado, porque en estas plantaciones hubo fertilización orgánica, la densidad aparente (DA) del suelo en las etapas tempranas es alta y va disminuyendo en la medida que la plantación madura y el aporte de hojarasca se incrementa.

Con relación a la mesofauna (Tabla 1) se produce una alteración del balance de los grupos, lo que vemos por la abundancia relativa de oribátidos, descomponedores típicos e indicadores de fertilidad, que están muy relacionados con la acumulación de hojarasca (Socarrás y Rodríguez, 1999 y Socarrás et al., 2003). Sin embargo, el valor de la densidad total de mesofauna, no tuvo tantas variaciones porque ocurre el incremento de algunos grupos que reinician la colonización del suelo después de perturbado. También vemos los indicadores de crecimiento en los árboles, esencialmente unidos a todo el proceso de rehabilitación, en que además tenemos los valores de riqueza (S) y de diversidad (I_L) de la flora que ha retornado en las distintas etapas, lo cual ocurre por las transformaciones que se han ido sucediendo, y por la mejora del suelo que permite poco a poco el retorno de la flora nativa para dar inicio al proceso de restauración.

Tabla 1. Comportamiento de algunas características biológicas y físico-químicas del suelo en áreas de vegetación natural remanente y con distintos tiempos de rehabilitada en el área de Vista Alegre (VA), Moa. H=altura (m); D_{1.30} = diámetro (cm) a 1,30m de altura; IMA = incremento medio anual; S= número de especies; I_L=indicador de diversidad de López*; Ende.=% de endemismo; Mesofauna: T=Total individuos, Orib.=abundancia relativa de Oribátidos; C-Ho=carbono contenido en la hojarasca; MOS=Materia orgánica del suelo; DA=densidad aparente; C-CO₂=mineralización del carbono (respiración del suelo); n.d.= no determinado.

Áreas	H	IMA (m)	D _{1.30}	IMA (cm)	S	I _L	Ende. (%)	Mesofauna		C-Ho (Mg.ha ⁻¹)	MOS (%)	DA (Mg.m ⁻³)	C-CO ₂ (mg.100g ⁻¹ .d ⁻¹)
								T Ind. m ⁻²	Orib. (%)				
Bosque natural VA > 50años	15	0.30	14.0	0.29	77	8.98	69.6	41503	26.9	10.75	10.6	1.02	25.35
<i>P. cubensis</i>													
4 años	1.2	0.30	n.d.	-	0	-	0	44279	5.7	1.11	10.2	1.36	12.51
10 años	4.1	0.41	n.d.	-	3	-	0	39965	12.6	4.85	10.6	n.d.	n.d.
16 años	6.3	0.39	7.7	0.48	32	7.15	63.6	40479	30.3	7.75	11.2	1.13	20.5
<i>C. equisetifolia</i>													
4 años	3.3	0.82	n.d.	-	3	-	0	39097	6.5	4.85	3.45	1.26	25.3
10 años	4.5	0.45	n.d.	-	14	3.6	28.6	39193	15.6	13.1	8.68	n.d.	n.d.
16 años	5.8	0.37	8.95	0.56	31	5.51	50.0	40211	37.9	21.05	9.82	1.15	28.6

* según López et al. (1994).

En la Tabla 2 los valores comparados de las áreas de bosque remanente (BN) en la Empresa E. Che Guevara; suelo desnudo degradado por la minería y plantaciones de 4 y 6 años, muestran de nuevo, con las variables medidas en este caso, la afectación que la minería causa al suelo y que por ejemplo en relación a la estabilidad de agregados (EA), factor que incide en la erosionabilidad del mismo, a los 6 años de sembrado el marañón no había recuperado más que la mitad del valor del bosque natural, en tanto la

Casuarina presentó valores más próximos al mismo. En cuanto a las raíces y detritos en la fitomasa subterránea, las plantaciones quedan muy por debajo del BN. Este componente es una importante fuente-sumidero de carbono en los ecosistemas estudiados (Rodríguez *et al.*, 2001; Hernández *et al.* 2004).

Tabla 2. Comportamiento de algunas características físico-química-biológicas del suelo en áreas: de bosque natural, degradadas por la minería (suelo desnudo) y reforestadas de 4 y 6 años en áreas de la Empresa E. Ché Guevara, Moa (ECG). CE = conductividad eléctrica; DA = densidad aparente; EA = Estabilidad de agregados, y contenido de raíces y detritos en el suelo (0-10 cm); nd = no determinado.

Áreas		pH (H ₂ O)	CE (mS cm ⁻¹)	DA (Mg m ⁻³)	EA (%)	Raíces (g m ⁻²)	Detritos (g m ⁻²)
Bosque natural ECG		5.69a	194.0ab	1.09a	84.38d	647	275
Suelo desnudo		6.44d	251.5d	1.49d	35.7a	0	0
Rehabilitada: <i>Casuarina equisetifolia</i>	4 años	6.06b	296.0c	1.26b	56.3c	32	67
	6 años	6.07b	187.3 ^a	1.15ab	62.2c	75	243
Rehabilitada: <i>Anacardium occidentale</i>	4 años	6.21c	296.0c	1.36c	40.4b	nd	nd
	6 años	6.22c	205.0b	1.17ab	42.3b	nd	nd

Por otro lado el comportamiento de estas mismas áreas de la ECG, con relación al balance de carbono, (Tabla 3) muestra que la Casuarina y el marañón de 6 años tienen valores de mineralización o respiración del suelo casi iguales al BN, sin embargo el balance de la entrada de C en la hojarasca y la mineralización son diferentes. Rodríguez *et al.* (1987), registraron diferencias en la mineralización del carbono del suelo al comparar áreas con vegetación herbácea, un pinar de *P. cubensis* degradado por la minería y el suelo desnudo en Moa. Estos autores consideran que más importante que el valor absoluto de la mineralización del carbono, es el balance entre su aporte y mineralización lo que nos indica si existen ganancias o pérdidas de carbono en el ecosistema.

Tabla 3. Respiración del suelo (mg C 100g d⁻¹) a 0-10 cm de profundidad y biomasa de la hojarasca (Mg ha⁻¹) en áreas de la Empresa E. Ché Guevara: bosque natural, suelo desnudo y rehabilitadas (4 y 6 años) con *Casuarina equisetifolia* y *Anacardium occidentale* C₂/MO= índice de mineralización de carbono

Áreas		mg C-CO ₂ 100g d ⁻¹	Hojarasca (Mg ha ⁻¹)	CO ₂ /MO
Bosque natural	área remanente minería	35.52 ^a	24.8 ^a	0.03
<i>P. cubensis</i>	4 años de plantado	16.34 ^b	2.23 ^c	0.20
	4 años de plantado	20.4 ^b	9.7 ^b	0.05
<i>C. equisetifolia</i>	6 años de plantado	32.6 ^a	26.2 ^a	0.03
	4 años de plantado	6.26 ^c	1.5 ^c	0.12
<i>A. occidentale</i>	6 años de plantado	32.56 ^a	7.8 ^b	0.10

Letras iguales en las columnas no difieren significativamente para p<0.05

En todos los casos este balance está considerablemente alejado del valor uno, que teóricamente significaría un equilibrio entre la entrada de carbono y su mineralización (Tabla 3).

A los 6 años de plantada *C. equisetifolia* se mineralizó el 3 % del carbono presente en la hojarasca y se alcanzó el balance hallado para el bosque natural, mientras que con *A. occidentale* y *P. cubensis* se mineraliza entre 10 y 20 % del carbono. Esto indicó que en estos últimos ecosistemas se invierte o "gasta" más carbono que en la plantación de *C. equisetifolia*, lo cual no está compensado por los aportes provenientes de la hojarasca. Según este balance con *C. equisetifolia*, el ecosistema tiende a acumular carbono, no sólo por el aporte de hojarasca, sino también por el contenido de raíces y detritos (Tablas 1 y 2). Este comportamiento es coherente con la mayor actividad de la b-glucosidasa del suelo (Izquierdo *et al.*, 2004 y Hernández *et al.*, 2004) lo que sugiere una mayor incorporación del carbono al suelo, producido por esta especie. Abril (2003), señaló que el índice de mineralización del carbono, es un buen indicador de ecosistemas bajo impacto y restauración.

Analizados estos aspectos de funcionamiento, en las Tablas 4, 5 y 6, se muestran algunos valores de la riqueza de especies y la diversidad de la biota edáfica de Moa. En cuanto a los microorganismos, Abin *et al.* (2004), aislaron bacterias, hongos y levaduras de estos suelos (Tabla 4) con los cuales se hicieron ensayos de antagonismo y de resistencia a metales pesados, como Ni y Co. Algunos de las cepas aisladas resultaron de interés por sus potencialidades de uso en biolixiviación y en otros procesos biotecnológicos.

Tabla 4. Tipos de la microbiota aislados en suelos de Moa.

Microorganismos	Total	Géneros más representados
Bacterias	37	<i>Bacillus, Pseudomonas, Enterobacter, Aeromonas.</i>
Hongos	14	<i>Aspergillus, Penicillium, Basipetospora, Curvularia.</i>
Levaduras	4	<i>Aerobasidium, Rhodotorulla, Saccharomyces</i>
Total de aislamientos	55	

En los suelos estudiados se aislaron 62 especies de micorrizas VA, de las cuales más del 80% constituyen especies o morfoespecies nuevas para la ciencia y fueron consideradas como posibles “endémicos” por Herrera *et al.* (1999) y descritas por Herrera *et al.* (2005). En la Tabla 5, se muestra la coincidencia general de los valores más altos de riqueza y diversidad de las MVA, con los de la flora, en los

lugares estudiados. Inóculos nativos de Moa fueron ensayados con éxito en un experimento en casa de vegetación frente a dos especies de uso forestal. (Torres-Arias *et al.* 2005). Este resultado abre la posibilidad al uso de inóculos nativos en los viveros, lo que permite garantizar la reproducción y el establecimiento de plantas de Moa para la rehabilitación y restauración de áreas degradadas.

Tabla 5. Densidad (esporas/dm³); riqueza de especies (S¹) y diversidad (I_{Mg}) * de micorrizas VA y, Riqueza (S²) y Diversidad de la flora (I_{LÓPEZ})**en áreas de vegetación natural (BN) y rehabilitadas, de la Empresa E. Che Guevara (ECG) y BN de Vista Alegre (VA) en Moa.

Áreas		Densidad	S ¹	I _{Mg}	S ²	I _{López}
BN ECG		18 782	31	3. 05	50-46	8.43-7.57
BN VA		2 728	29	3. 54	70	8.98
Rehabilitadas	<i>Casuarina equisetifolia</i> 4 años	448	22	3. 44	2 ***	1.44
	<i>Pinus cubensis</i> 6 años	1 443	19	2. 48	6***	2.23
	<i>Anacardium occidentale</i> 6 años	197	4	0. 57	9***	1.82

*I_{Mg}= Índice de diversidad de Margalef

**según López, (1998)

***asociado a la MO que se añade al sembrar

El estudio de actinomicetos (*Streptomyces*) de suelos de Moa (Tabla 6), resultó en el aislamiento de 187 cepas, de las cuales 53% mostró actividad antagonista frente a los fitopatógenos de mayor interés para la agricultura.

De estos estudios a través de la técnica de amplificación del 16S rDNA se ha obtenido una sorprendente diversidad de ribotipos (Smalla *et al.*, 2004) que pueden resultar especies

nuevas. La diversidad funcional de los microorganismos del suelo ofrece un elevado potencial de uso para la agricultura y la biotecnología, en especial para la biolixiviación, la bioremediación y el biocontrol de fitopatógenos. (Herrera *et al.* 1999; Abin *et al.* 2002; Herrera *et al.* 2004; Smala *et al.* 2004).

Tabla 6. Número de cepas aislada de *Streptomyces* y cepas con actividad antagonista en áreas de vegetación natural (BN Empresa Che Guevara y BN Vista Alegre) y rehabilitadas en Moa.

Sitios	Total de cepas aisladas	Con Activ. Antagónica	% de antagonistas
BN ECG	93	60	64,5
BN VA	46	14	30,4
Rehabilitadas <i>Casuarina equisetifolia</i> 6 años	26	17	65,4
<i>Pinus cubensis</i> 4 años	22	8	36,4
Total	187	99	53

Por último, se realizó un muestreo de invertebrados del suelo y la hojarasca (Tabla 7), en un sitio del bosque remanente de la ECG, resultando en 26 especies de la clase Aracnida, pertenecientes a 6 órdenes, en los cuales se reportan 6 especies nuevas y 2 géneros nuevos para la ciencia (de Armas, 2004). Estos datos argumentan que en la zona minera de Moa, los suelos poseen una elevada diversidad de invertebrados, casi completamente desconocida.

El uso de indicadores del estado de recuperación taxonómico-funcional de las propiedades del suelo, contribuye al esfuerzo internacional de hallar indicadores del estado del suelo y constituye un aporte al proceso de determinación de indicadores en el Plan Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Sequía (CITMA, 2000). El balance de los grupos de la mesofauna resultó un buen indicador de la recuperación del suelo.

Tabla 7. Invertebrados del suelo y la hojarasca encontrados en un área del bosque remanente (Área de Incienso) de la Empresa E. Che Guevara de Moa.

Clase	Total	Orden	No. de especies	Spp nuevas	Género nuevo	Endemismo
Aracnida	26	Escorpiones	3	1		3
		Solifuga	1	1		X
		Esquizomida	1		X	X
		Opiliones	2	1		X
		Palpigrados	1	1		X
		Aranae	18	2	X	2

Aunque los resultados obtenidos son sólo un esbozo de la diversidad taxonómica y funcional que pueden contener los suelos sobre serpentina de Moa, justifican la importancia de la conservación de los mismos para la rehabilitación de las áreas degradadas por la minería. (Torres-Arias *et al.*, 2002 y Torres-Arias y Rodríguez, 2005).

CONCLUSIONES

- ◆ Se confirmó que en la microbiota de los suelos de las áreas naturales y rehabilitadas, existe una elevada diversidad apenas conocida y con potencialidades de uso para la agricultura, la salud, la industria minera, la bioremediación y otras.
- ◆ Por lo poco estudiados, dentro de la fauna edáfica existen elevadas posibilidades de encontrar especies nuevas para la ciencia especialmente en la aracnofauna, así como dentro de los grupos de la mesofauna.
- ◆ Estos resultados, aunque son un esbozo de la diversidad taxonómica y funcional que pueden contener los suelos ultramáficos de Moa, justifican la importancia de la conservación de los mismos para la rehabilitación y paulatina restauración de las áreas degradadas por la minería.

RECOMENDACIONES

Hacer un manejo adecuado del suelo que impida que ocurran procesos erosivos que llevan a la degradación de sus propiedades y de la valiosa biodiversidad que poseen. Esto evitaría la contaminación del medio ambiente y la pérdida de un recurso invaluable desde el punto de vista científico, económico, social y ambiental.

Agradecimientos. A María Ofelia Orozco y a René Izquierdo por la valiosa revisión del manuscrito y sus aportes para mejorar el formato del mismo.

REFERENCIAS

- Abín, L., O. Coto, Y. Gómez, S. Cortés, y J. Marrero. 2004. Caracterización de la microbiota autóctona de yacimientos níquelíferos ultramáficos de Moa, Cuba. En: R.S. Boyd, A.J.M. Baker & J. Proctor (Eds) "Memorias de la Cuarta Conferencia Internacional sobre Ecología de serpentina. *Science Reviews*": 205-207.
- Abril A. 2003. ¿Son los microorganismos edáficos buenos indicadores de impacto productivo en los ecosistemas? *Ecología Austral* 13:195-204.
- Anderson, J.M. y J.S.I. Ingram. 1993. *Tropical Soil Biology and Fertility. A Handbook of Methods*. CAB International, UK, 221 pp.
- Armas de, L. 2004. Lista de invertebrados colectados en el área de "Incienso", Moa; e Invertebrados colectados en el área de "Vista Alegre", Moa. En: Informe Final del Proyecto: "Implementación de ecotecnologías para la rehabilitación de áreas degradadas por la minería". PRCT: Conservación del Medio Ambiente Cubano. Instituto de Ecología y Sistemática, CITMA 84 pp. (Informes técnicos, Anexo 2.)
- Berazain, R. 1981. Reporte preliminar de plantas serpenticolas acumuladoras e hiperacumuladoras de algunos elementos. *Rev. Jard. Bot. Nac.* Vol 2: No 1: 48-59.
- Berazain, R. 2003. Moa: *Paraíso de la botánicos. Nota sobre su flora y vegetación*. Resúmenes, IV Conferencia Internacional sobre Serpentina, Jardín Botánico Nacional de Cuba, abril 2003.:70-80.
- CITMA 2000. *Programa Nacional de Lucha Contra la Desertificación y la Sequía en la República de Cuba*. La Habana, CCD / FAO / FIDA. 137 p.
- Hernández, A., J. M. Pérez, R. Marsán, M. Morales y R. López. 1999. "Correlación de la Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba", con Clasificaciones Internacionales (Soil Taxonomy y FAO-UNESCO) y Clasificaciones Nacionales (2da. Clasificación Genética y Clasificación de Series de Suelos), Inst. Suelos, MINAGRI, La Habana, 27 pp.
- Hernández G., I. Izquierdo, M. M. Alguacil, F. Caravaca y A. Roldán. 2004. Secuestro del carbono y rehabilitación de áreas degradadas por la minería en Moa. En: I Congreso de Biodiversidad y Ecología Tropical, (La Habana, 4-9 abril, 2004), *Memorias*, CD ROM, ISBN 959-7167-026
- Hernández, L., M.E. Rodríguez y Y. Torres-Arias 2004. Subterranean biomass in natural, polluted and reforested areas in the mining region of Moa, Cuba. En: R.S. Boyd, A.J.M. Baker & J. Proctor (Eds) *Memorias de la Cuarta Conferencia Internacional sobre Ecología de Serpentina. Science Reviews*: 235-238.
- Herrera-Peraza, R. A., Y. Torres-Arias, E. Furrázola, María O. Orozco y María E. Rodríguez 1999. "Comunidades de Glomeromycota (hongos micorrizógenos arbusculares) en algunos ecosistemas naturales o afectados por la

- minería en Moa, Cuba.” En: Informe Final del Proyecto: “*Influencia de la actividad minera en el funcionamiento y diversidad de bosques en Moa.*” PNCT: Desarrollo de la Montaña. Instituto de Ecología y Sistemática, CITMA. 54 pp.
- Herrera-Peraza, R. A., Y. Torres-Arias, E. Furrázola y R. Fernández-Valle 2005. “Estructura de las comunidades de Glomeromycota (hongos micorrizógenos arbusculares) en algunos ecosistemas naturales o afectados por la minería en Moa, Cuba”. En: Informe Final del Proyecto: “*Implementación de ecotecnologías para la rehabilitación de áreas degradadas por la minería.*” PRCT: Conservación del Medio Ambiente Cubano. Instituto de Ecología y Sistemática, CITMA. 84 pp.
- Informe Técnico del Proyecto de Rehabilitación 2004. Departamento Técnico. Unidad Básica Minera Empresa Ernesto Ché Guevara de Moa. 24 pp.
- Izquierdo I., G. Hernández, M. M. Alguacil, A. Caravaca, y A. Roldán. 2004. Indicadores de la calidad del suelo en áreas recultivadas de la zona minera de Moa, Cuba. En: *Memorias*. CDROM, ISBN 959-7167-026. I Congreso de Biodiversidad y Ecología Tropical, La Habana, 2004.
- López, A., M. Rodríguez y A. Cárdenas, 1994. El endemismo vegetal en Moa-Baracoa, Cuba Oriental. *Fontqueria*, 39: 433-473.
- Risco, E. del, y A. I. Sotomayor. 1997. Los recursos boscosos de Cuba. *Rev. Flora y Fauna*. Año 1(1): 45-47.
- Rodríguez, M. E.; O. Mercado y M. A. Martínez 1987. Actividad biológica y degradación del suelo en algunas áreas de la zona minera de Moa. *Rev. Jard. Bot. Nac.* 8 (3):77-108.
- Rodríguez, M. E., L. Hernández, I. Izquierdo y Y. Torres. 2001. Aporte de las raíces a la materia orgánica del suelo en bosques de Moa. En: Memorias del VII Taller de la Cátedra de Medio Ambiente de la Universidad de La Habana, *CD-ROM*. Universidad de La Habana, ISBN-Biblioteca IES.
- Rodríguez M. E., Y. Torres, R. Oviedo, L. Hernández, A. A. Socarrás, G. Hernández, R.A. Herrera, G. Herrero y otros. 2005. Informe Final del Proyecto: “*Implementación de ecotecnologías para la rehabilitación de áreas degradadas por la minería.*” PRCT: Conservación del Medio Ambiente Cubano. Instituto de Ecología y Sistemática, CITMA 84 pp.
- Sieverding, E. 1991. *Vesicular-arbuscular mycorrhiza and management of tropical agrosystems*. Deutche Gesellschaft fur Technitche Zusammenarbeit (GTZ) GMBH, Germany, 371 p.
- Smalla, K. 2004. Informe Final de Tareas del Proyecto de Colaboración 00/019 “*Análisis molecular y aplicación biotecnológica de la diversidad bacteriana de suelos cubanos.*” Centro de Química Farmacéutica,(CQF) MinSap.
- Smalla, K., E. Schnober, L. Garmendia, C. Vallín, M. E. Rodríguez, T. Strumpf y W. Pestemer. 2004. *Characterization of serpentine soils from reforestation areas of a nickel mine and adjacent natural forest.* Ponencia presentada en el evento CINAREM 2004, ISMM, Moa, Cuba.
- Socarrás A. A., M. E. Rodríguez, A. Avila e I. Izquierdo. 2003. Utilización de la Mesofauna Edáfica como indicador biológico del estado de los suelos. I. Suelos afectados por la Minería en Moa, Cuba. *Rev. Cocuyo* 13:11-14.
- Torres-Arias, Y., M. E. Rodríguez, R. Oviedo y R.A. Herrera.2002. Ecotecnologías para la rehabilitación de áreas afectadas por la minería en Moa. *Acta Bot. Cub.* 163-167: 7-12.
- Torres-Arias Y. y M.E. Rodríguez. 2005. Propuesta de metodología para la Rehabilitación Ecológica Integral (REI) de áreas afectadas por la minería. En: Informe Final del Proyecto: “*Implementación de ecotecnologías para la rehailitación de áreas degradadas por la minería.*” PRCT: Conservación del Medio Ambiente Cubano. Instituto de Ecología y Sistemática, CITMA (Anexos, Resultado 2.1).