

Reseña bibliográfica EL NÍQUEL EN SUELOS Y PLANTAS DE CUBA

Review Nickel in soils and plants of Cuba

**Olegario Muñiz Ugarte^{1✉}, Mirelys Rodríguez Alfaro¹,
Alfredo Montero Álvarez², Juan Estévez Álvarez²,
Adriana M. de Aguiar Accioly³ y Clístenes W. Araujo Do Nascimento⁴**

ABSTRACT. Soil Nickel (Ni) content is very dependant of the parental material that originated it. Besides, Ni in the soil surface could reveal also its contamination. The international bibliography shows total Ni values in soils of the world between 0,2 and 450 mg kg⁻¹. At present it is known that despite Ni is essential for higher plants, an excess in available forms could be toxic and it is considered a Heavy Metal. In Cuba, studies indicate a total Ni mean content of 122,3 mg kg⁻¹, much higher than the one pointed out by the bibliography and extreme values up to 2850,0 mg kg⁻¹ in soils developed over ultrabasic rock (serpentinite). Nevertheless, there are no reports of high values (toxic) in crops. In present paper, it is discussed the origin and forms of Ni in Cuban soils, and its possible toxic effect for plants and animals that feed with them. Finally, it was concluded that it is necessary to establish Permissible Limits of Ni in soils, according to the soil type and use.

RESUMEN. El contenido de Níquel (Ni) en el suelo es muy dependiente del material parental que le dio origen. Por otra parte, el Ni existente en su superficie, puede ser también un reflejo de su contaminación. La literatura internacional señala valores de Ni total en los suelos del mundo entre 0,2 y 450 mg kg⁻¹. Se conoce en la actualidad, que aunque el Ni es esencial para las plantas superiores, su exceso en forma disponible puede ser tóxico, por lo que se considera un Metal Pesado. En Cuba las encuestas realizadas reflejan un contenido medio de 122,3 mg kg⁻¹ de Ni total, muy superior al señalado por la literatura internacional y valores extremos de hasta 2850,0 mg kg⁻¹ en suelos desarrollados sobre rocas ultrabásicas (serpentinita). Sin embargo, no existen reportes de valores elevados (tóxicos) del elemento en los cultivos. En el trabajo se discute el origen y formas en que se encuentra el Ni en los suelos cubanos; así como su posible efecto tóxico para las plantas y animales que se alimentan de ellas. Finalmente, se concluyó planteando la necesidad de establecer Límites Permisibles de Ni en el suelo, diferenciados de acuerdo al tipo de suelo y su uso.

Key words: pollution, heavy metals, soil

Palabras clave: contaminación, metales pesados, suelo

INTRODUCCIÓN

El Níquel (Ni) como elemento químico, tiene número atómico 28; masa atómica 58,69; densidad

8,20 g cm⁻³ y su principal estado de oxidación es +2. El Ni pertenece a la familia del Hierro (Fe), que incluye al Cobalto (Co), ambos de característica geológica del tipo siderofílica, por lo que se combina fácilmente con el Fe metálico. Además, forma con facilidad compuestos de sulfuro y sulfo arseniuros (1). La abundancia media del Ni en la corteza terrestre se estima en alrededor de 20 mg kg⁻¹, mientras que en las rocas ultrabásicas (ultramáficas)

como es el caso de la serpentinita, varía entre 1 400 y 2 000 mg kg⁻¹ y su concentración disminuye con el incremento de la acidez de la roca; en el granito contiene entre 5 y 20 mg kg⁻¹. Las rocas sedimentarias contienen el Ni en el rango entre 5 y 90 mg kg⁻¹, con el mayor valor en los sedimentos arcillosos (1, 2, 3, 4).

El primer artículo conocido sobre la importancia del Ni, Cr y Co data del año 1935 (5) cuando se estudiaron los suelos ultrabásicos

¹ Instituto de Suelos, Autopista Costa-Costa, km 8½, Apdo. 8022, CP 10 800, Capdevila, Boyeros, La Habana.

² Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear, La Habana.

³ EMBRAPA. Mandioca y Fruticultura Tropical, Cruz Das Almas, Bahía, Brasil

⁴ Universidad Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil.

✉ olemuniz@ceniai.inf.cu

de Cuba, Puerto Rico y Estados Unidos, con el fin de explicar su infertilidad sobre la base de los altos contenidos de estos metales en dichos suelos. Sin embargo, hoy se conoce, que esto es debido más a los altos contenidos de Mg, mayores que los de Ca. Más aun, los contenidos de esos metales en las plantas que crecieron en los mismos, son menores a los encontrados en otros lugares (6).

Las rocas ultrabásicas (ultramáficas) son rocas ígneas constituidas esencialmente por minerales ferromagnesianos. En la parte oriental de Cuba existen áreas significativas de suelos desarrollados sobre este tipo de roca (5). Los afloramientos de rocas ultramáficas (serpentininas) de Cuba son los más extensos del Caribe, abarcando aproximadamente el 7 % de la superficie total del país (7).

El contenido total de Ni en el suelo es altamente dependiente de su contenido en el material parental (roca formadora) del mismo. No obstante, la concentración del Ni en su superficie, puede reflejar el impacto tanto del proceso de formación del suelo como de la contaminación (1, 3, 8, 9). Se reporta que el Ni total en los suelos del mundo varía entre 0,2 y 450 mg kg⁻¹ y su contenido medio entre 19 y 22 mg kg⁻¹ (1); pero otros autores señalan que éste último se encuentra entre 20 y 40 mg kg⁻¹ (8).

Se conoce en la actualidad, que aunque el Ni es esencial para las plantas superiores, como cofactor de la enzima ureasa y por su efecto en la nodulación de las leguminosas y en la nitrificación y mineralización del N; su exceso en forma disponible a las plantas puede ser tóxico (1, 2, 3, 8), de ahí que sea considerado como Metal Pesado (MP). Las investigaciones indican que los efectos de la toxicidad del Ni en el hombre, son neurológicos, reproductivos y carcinogénicos (10, 11). Se deben tomar particulares cuidados en la industria del Ni, ya que

es sumamente tóxico cuando se inhala. De tal forma que los procesos industriales en que se utiliza este metal, así como el carbón y el petróleo, se consideran fuentes contaminantes (1, 3, 12).

El presente trabajo, se propone reseñar de forma coherente y cronológica, la información emanada de diferentes trabajos y proyectos realizados en Cuba acerca del origen, contenido y formas del Ni en los suelos cubanos; así como, su posible efecto tóxico en las plantas y como consecuencia en el hombre. Resulta conveniente aclarar, que al nombrar los tipos de suelos, se empleó la Clasificación Cubana existente en el momento que se realizó el trabajo. No obstante, existen correlaciones con las otras Clasificaciones Nacionales previas o posteriores y con las internacionales (13, 14).

MÉTODOS ANALÍTICOS EMPLEADOS

Se estudió el contenido de Ni total o semi total en el suelo, por ser las formas usualmente empleadas para evaluar contaminación del suelo por MP. En el tiempo, el método utilizado para la mineralización de la muestra ha ido cambiando, lo cual se aclara en cada caso particular. En todos los casos se empleó la espectrofotometría de absorción atómica con llama o la de plasma acoplada (ICP) como técnica analítica instrumental (12, 15, 16).

EL NI EN LOS SUELOS DE CUBA

Existe una tesis de doctorado realizada en la desaparecida Unión Soviética, no publicada, en la cual se estudiaron microelementos, entre ellos el Ni, en perfiles de suelos cubanos cultivados con caña de azúcar^A. Pocos años después, se realizó una encuesta sobre el contenido de algunos MP en los suelos (17, 18). Las

determinaciones se realizaron durante 1987 en colaboración con el IPE JENA de la desaparecida República Democrática Alemana (RDA). Se utilizaron 85 muestras de suelo provenientes de la capa arable de perfiles típicos de 10 provincias del país y el municipio especial Isla de la Juventud, las que fueron procesadas mediante extracción con HNO₃ 1,5 N (18). Los resultados (Tabla I) reflejaron un contenido medio de 122,3 mg kg⁻¹ de Ni total, y valores extremos de hasta 2850,0 mg kg⁻¹, muy superior a los señalados por la literatura internacional de la época (1, 8); los cuales correspondieron principalmente a los suelos Fersialítico Rojo Pardusco Ferromagnesianal, desarrollados sobre serpentinita (13, 14), de la provincia de Holguín, donde existen grandes yacimientos niquelíferos.

No obstante, en el mismo trabajo se tomaron muestras foliares de los cultivos que crecían en algunos de los suelos estudiados de Holguín, y en todos los casos los contenidos de Ni, fueron adecuados (Tabla II), por lo que los autores concluyeron que los mismos provienen del material parental que dio origen al suelo (litogénico) y se encuentran, en su mayor extensión, en formas no disponibles a las plantas.

Además, se encontró que los suelos Ferralítico Rojo (13, 14), de particular importancia agrícola en las actuales provincias de Mayabeque, Artemisa, Matanzas y Ciego de Ávila, desarrollados sobre rocas sedimentarias calizas, poseen contenidos totales de Ni altos, en el entorno de los 200 mg kg⁻¹, aunque no tan elevados como los anteriores, sí son superiores a los reportados en la literatura internacional de la época.

^A Companioni, N. *Formas de los compuestos de los microelementos en los suelos de las plantaciones de caña de la República de Cuba*. [Tesis de Doctorado], Moscú, URSS, 1981, 110 p.

De igual forma, se encontró que la mayor parte del Ni estaba en forma no disponible a las plantas, por lo que se concluyó que su origen también es litogénico (17, 18). Estos suelos se caracterizan por la formación de minerales arcillosos del tipo 1:1 y acumulación de óxidos e hidróxidos de Fe y Al. El Ni del suelo está fuertemente asociado con los óxidos de Fe y Mn (1). Los óxidos de Fe y los minerales contienen Ni en el rango entre 100 y 170 mg kg⁻¹, mientras que las concreciones de Fe-Mn acumulan hasta 680 mg kg⁻¹ (1, 9). Téngase en cuenta, que alrededor del 70 % de los suelos cubanos, están desarrollados sobre rocas sedimentarias calizas y se plantea que las mismas en su

formación se enriquecieron en Ni y Cr proveniente de las zonas ricas en rocas ultrabásicas (19, 20, 21).

Posteriormente, se corroboró lo antes planteado^B y se demostró que las adiciones de elevadas cantidades de Ni en forma asimilable, a los dos tipos de suelos (Fersialítico Rojo Pardusco Ferromagnésial y Ferralítico Rojo), son fijadas rápidamente en el mismo y no asimiladas por la planta, por lo que los altos contenidos totales de Ni no constituyen causa de contaminación en los cultivos que crecen en ellos (9).

En otros trabajos, se estudió la determinación de las llamadas formas disponibles con diferentes soluciones extractivas (1, 4, 6), la más empleada, el DTPA (22).

No obstante, los resultados no han permitido arribar a resultados concluyentes (1, 2, 3, 6).

La Tabla III muestra que aunque con frecuencia se plantea la mayor acumulación de los MP en la capa arable del suelo, resulta evidente la distribución uniforme del Ni total a lo largo del perfil de suelo, lo que ratifica el carácter litológico del mismo. Obsérvese además, que la fracción disponible o asimilable, resulta una muy pequeña fracción del total, lo que coincide con los bajos contenidos de Ni foliares obtenidos en diferentes estudios^C (23, 24).

Existen otros tipos de suelos cubanos, que con frecuencia presentan contenidos de Ni total entre 100 y 200 mg kg⁻¹, este es el caso de los Ferríticos, Vertisoles, Fluvisoles y muchos Pardo Sialíticos; sin embargo, los de textura arenosa de Pinar del Río y la Isla de la Juventud usualmente tienen bajos o muy bajos contenidos de este metal^D (17).

Tabla I. Contenidos de Ni y Cr (mg kg⁻¹) en suelos cubanos

Elemento	Valor medio	Rango	± s
Ni	122,30	0,5-2850,0	35,56

Tabla II. Contenido de Ni en suelos de la provincia Holguín y en muestras foliares de cultivos que crecen en los mismos

Suelo				Planta	
Clasificación	Municipio	Profundidad (cm)	mg kg ⁻¹ de Ni	Cultivo	mg kg ⁻¹ de Ni
Fersialítico Pardo Rojizo	Banes	0-20	75	Plátano	1,3
		20-45	74		
Fluvisol	Mayarí	0-20	208	Yuca	13,0
		20-40	302		
Vertisuelo	Banes	0-20	153	Caña de azúcar	2,0
		20-45	152		
Fluvisol	Mayarí	0-20	420	Caña de azúcar	12,0
		20-40	426		
Fersialítico Rojo Pardusco Ferromagnésial	Mayarí	0-20	670	Pasto	14,0
		20-40	490		
Fersialítico Rojo Pardusco Ferromagnésial	R. Freyre	0-20	914	Caña de azúcar	1,6
		20-40	856		
Fersialítico Rojo Pardusco Ferromagnésial	R. Freyre	0-20	372	Caña de azúcar	2,3
		20-50	376		

La concentración crítica en plantas está entre 10-100 mg kg⁻¹ de Ni, en dependencia del cultivo (3).

Tabla III. Contenido de Ni total y asimilable (DTPA) (mg kg⁻¹) en áreas de suelos Ferralítico Rojo Compactado de la provincia Mayabeque cultivadas con vegetales, tubérculos y raíces

Localidad	Profundidad (cm)	Ni	
		Total	DTPA
Quivicán	0-20	229	0,15
	20-40	239	0,15
	40-60	232	0,15
	60-80	238	0,15
Güira de Melena	0-20	241	0,20
	20-40	230	0,18
	40-60	233	0,16
	60-80	233	0,16

FITOTOXICIDAD DEL NI EN TRES SUELOS CUBANOS

En otro proyecto^D, durante la segunda parte de los años 90, se estudió en tres tipos de suelos cubanos, Ferralítico Rojo, Alítico de Baja Actividad Arcillosa (ABAA) y Vertisol Pélico (13, 14), la adición de dosis crecientes de Ni (0, 100, 200, 400 y 800 mg kg⁻¹) en la forma de sal soluble, utilizando macetas plásticas conteniendo 1 kg de suelo, con el fin de provocar toxicidad en plantas crecidas en esos suelos. Una vez adicionado el Ni, se dejó la maceta en reposo durante 30 días y se sembró sorgo (seis plantas

por maceta) el que se cosechó a los 45 días de germinado. Se evaluó el rendimiento (como materia seca producida), el contenido del metal pesado en los cultivos y por cálculo, la extracción correspondiente del mismo, con el fin de evaluar la Fitotoxicidad del Ni, para lo cual se definió el Nivel Crítico de Fitotoxicidad en el suelo, como aquél que dio lugar a una disminución estadísticamente significativa del rendimiento.

En el caso del suelo Ferralítico Rojo (13, 14), la aplicación de hasta 800 mg kg⁻¹ de Ni al suelo, dio lugar a un tenor en el mismo de 1131,8 mg kg⁻¹ de Ni total, pero no afectó de forma significativa el rendimiento del cultivo considerado, ni dio lugar a síntomas visuales en las plantas. Además, los contenidos en planta fueron inferiores a 30 mg kg⁻¹, valor considerado como Criterio de Fitotoxicidad en planta para este elemento metálico (25). Lo que permite inferir que este tipo de suelo, se caracteriza por poseer minerales del tipo 1:1 e hidróxidos de hierro y aluminio con una elevada capacidad de fijación de este metal.

Sin embargo, en el caso del suelo de textura arenosa Alítico de Baja Actividad Arcillosa (ABAA) (13, 14), por sus características químicas y físicas, mantienen en forma disponible a las plantas una

mayor proporción del Ni aplicado, que el suelo Ferralítico Rojo, por lo que la planta lo absorbe en mayor proporción. De tal forma que se obtuvo una caída significativa del rendimiento para un contenido de Ni total en el suelo de 407 mg kg⁻¹, tenor al que correspondió un contenido en planta de 49,30 mg kg⁻¹ de Ni, superior a los 30 mg kg⁻¹ considerado como fitotóxico (25).

Por último, en el caso del Vertisol Pélico, la disminución significativa del rendimiento se obtuvo para un tenor total de Ni en el suelo de 451 mg kg⁻¹, al cual correspondió un contenido en planta también superior al fitotóxico anteriormente mencionado. Los resultados se resumen en la Tabla IV.

Se reporta que el síntoma visual más común de la fitotoxicidad por Ni es la clorosis seguida por el amarillamiento y la necrosis de las hojas. Lo cual está inducido principalmente por la interacción Fe-Ni, es decir, baja concentración foliar de Fe debida a concentraciones elevadas de Ni en el medio (3). No obstante, estos síntomas no se observaron en los experimentos anteriores.

DISTRIBUCIÓN DEL NI EN LA PLANTA

Se estudió la extracción de Ni por órganos de la planta en los cultivos frijol, tomate, papa y tabaco crecidos sobre suelo Ferralítico Rojo Compactado en áreas de agricultura intensiva; así como pimiento, melón y col en casas de cultivo, todos de las provincias Mayabeque y Artemisa. Algunos resultados se muestran en las Figuras 1 y 2. De forma general, los resultados indican que los contenidos de Ni en los órganos comestibles de los cultivos estudiados no constituyen un riesgo para la salud humana, ya que la mayor parte del metal no es traslocado al fruto^C (23, 24).

^B Irigoyen, H. y Muñiz, O. Contenido de Ni, Cr, Cd, Pb, Cu y Zn en suelos Ferralítico Rojo y Ferralítico Rojo Parduzco Ferromagnésico cubanos. edit. Archivos del Instituto de Suelos, La Habana, 1989, 15 p.

^C Muñiz, O. Contenido de metales pesados en áreas de agricultura intensiva de La Habana y Pinar del Río. Informe Final del Proyecto 07 perteneciente al PR-11: Recursos Naturales, Inst. Archivos del Instituto de Suelos, La Habana, Cuba, 2004, 37 p.

^D Muñiz, O.; Molina, J.; Estévez, J.; Quicute, S.; Vega, E.; Montero, A.; Pupo, I. y Padilla, R. Contaminación por metales pesados en algunos de los principales agroecosistemas cubanos. Informe Final del Proyecto 002.042 perteneciente al PNCT Producción de Alimentos por Métodos Sostenibles, Inst. Archivos del CITMA, La Habana, Cuba, 2000, 25 p.

Tabla IV. Niveles críticos de fitotoxicidad de Ni (mg kg⁻¹) obtenidos en tres tipos de suelos cubanos

	Ferralítico Rojo*	Suelos ABAA	Vertisol Pélico
Ni total en suelo	-	407	451
Ni en planta	< 24	49,3	> 30,0

*Un contenido de Ni total en el suelo de 1131,8 mg kg⁻¹, no afectó el rendimiento del cultivo.

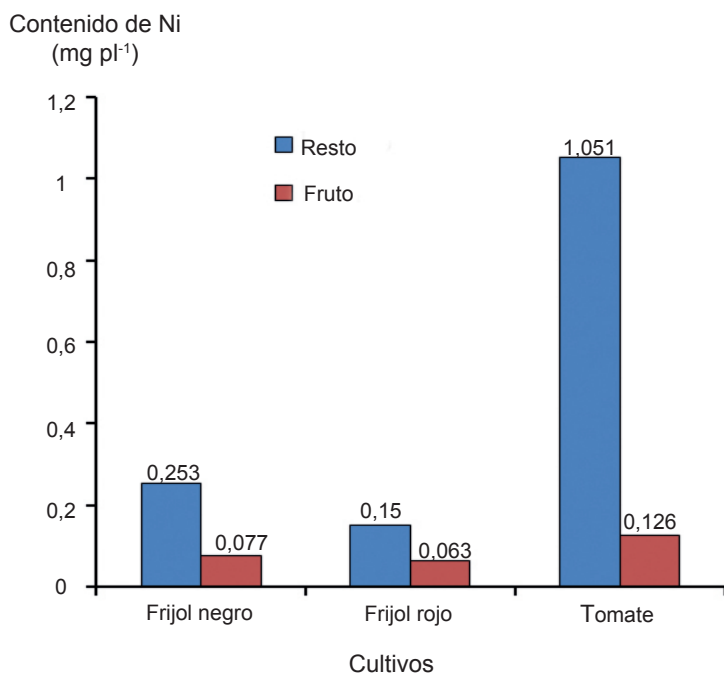


Figura 1. Extracción de Ni (mg planta⁻¹) por frijol y tomate en suelo Ferralítico Rojo

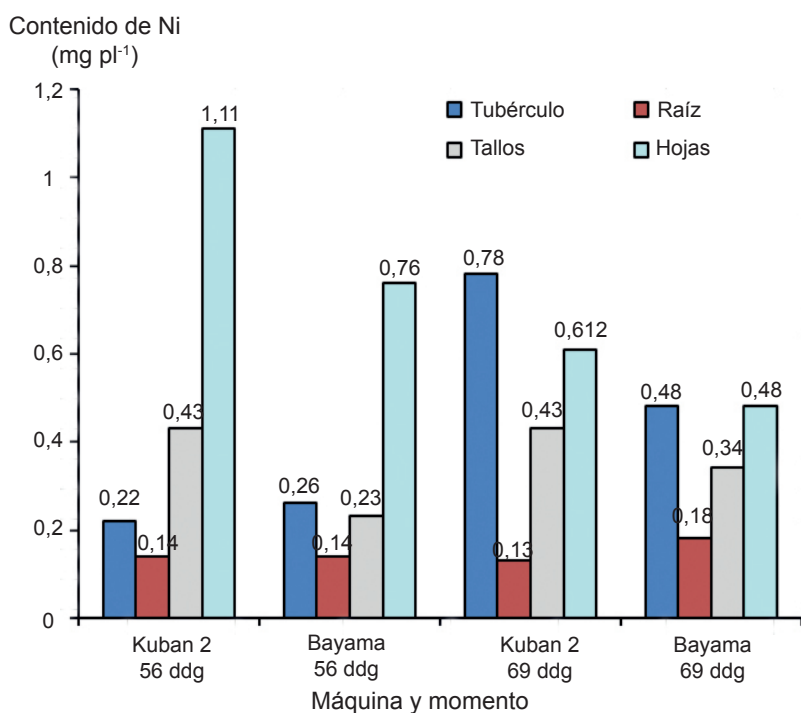


Figura 2. Extracción de Ni (mg planta⁻¹) en dos momentos del ciclo de la papa en suelo Ferralítico Rojo

No obstante, debe aclararse que, a diferencia de lo que ocurre para MP como el Arsénico (As), Cadmio (Cd), Plomo (Pb) y Mercurio (Hg), el Codex Alimentario no establece límites permisibles para el Ni en los alimentos frescos o en conserva (26).

Las formas del Ni en el suelo son diversas y van desde las muy móviles hasta las no reactivas (4, 12, 27). El contenido de Ni en las plantas es muy dependiente de su origen y de las propiedades del suelo, que como el contenido de arcilla, de materia orgánica y el pH, controlan el comportamiento del Ni y su disponibilidad a las plantas (1, 3, 9). En los cereales varía entre 0,34 y 14,6 mg kg⁻¹ y los valores medios, en dependencia del cultivo, usualmente no sobrepasan 1,28 mg kg⁻¹ (3).

Existen además metodologías que permiten la extracción secuencial (fraccionamiento) de los MP en el suelo. De forma general, todas comienzan con la extracción de la fracción soluble en agua, y le siguen la intercambiable, la adsorbida u ocluida en carbonatos, y las ocluidas en la materia orgánica, óxidos de Mn, óxidos amorfos y cristalinos de Fe y finalmente, la residual (28, 29, 30, 31). Resulta lógico que las formas predominantes en cada caso, dependerán del equilibrio que exista entre factores como el pH, mineralogía, tenor y tipo de humus. Los resultados obtenidos al profundizar en las formas en que se encuentra el Ni en los suelos Ferralítico Rojo y Gley Ferralítico de La Habana y Pinar del Río, respectivamente, indican que la mayor parte del mismo se encuentra en formas no asimilables por las plantas (24).

Por otra parte, se reporta un gran número de plantas (317 Taxas y 37 Familias) catalogadas como acumuladoras e hiperacumuladoras de Ni que pueden extraer 10 000 mg kg⁻¹ de Ni o más. Las más conocidas son las *Alyssum* sps.

Estas especies pueden extraer hasta 400 kg de Ni de una hectárea. El mecanismo de la hiperacumulación del Ni por las plantas no es bien conocido, pero se considera asociado a los complejos órgano-metálicos que transportan el metal dentro de la planta (7, 32, 33, 34). Estas plantas son características de los suelos desarrollados sobre serpentinita. Cuba posee los afloramientos de rocas ultramáficas (serpentininas) más extensos del Caribe, abarcando aproximadamente 5 300 km² que representan el 7 % de la superficie total del país, siendo el país de las Antillas que mayor número de especies hiperacumuladoras posee (35, 36, 37).

Una de las alternativas para remediar las áreas contaminadas es la extracción de los metales pesados por las plantas hiperacumuladoras. Esta técnica es conocida como Fitorremediación, Fitoextracción o Biorremediación, técnica que involucra a plantas y microorganismos en el saneamiento ambiental (12, 38, 39, 40, 41).

EL Ni EN LOS ABONOS ORGÁNICOS

En Cuba, la desaparición del campo socialista europeo dio lugar a la abrupta disminución en el consumo de los fertilizantes minerales y otros insumos con el consiguiente efecto negativo en la producción agrícola. Sin embargo, el empleo de las diferentes fuentes de abonos orgánicos (AO) ha resultado una alternativa para la recuperación de la producción agrícola (42, 43). En ocasiones se considera que todo AO es adecuado, pero no es así. Se requiere la previa evaluación de su calidad, lo que incluye el posible contenido de patógenos y de MP. Esto reviste mayor importancia, al considerar las fuertes cargas de AO que sustentan la Agricultura Urbana y

en especial los Organopónicos. De tal forma que durante los últimos 10 años, se realizaron estudios que incluyeron el monitoreo de los MP en las diferentes fuentes orgánicas (44).

En el caso del Ni, los valores obtenidos son usualmente mayores a los reflejados en la literatura internacional, de forma análoga a lo ocurrido en las muestras de suelo; lo que indica la influencia del suelo en el sistema suelo-planta-animal: a contenidos altos de Ni en el suelo, corresponden usualmente, contenidos también altos en los diferentes AO producidos. No obstante los tenores de Ni en los cultivos crecidos con el uso de los mismos, son bajos, lo que denota una vez más, que el mismo se encuentra en forma no asimilable por las plantas. Algo similar ocurre con los sustratos que se emplean en los Organopónicos, que se obtienen a partir de los AO (44).

El Ministerio de Agricultura, Pecuaria y Abastecimiento de Brasil fija como Límite Máximo Permisible de los fertilizantes orgánicos para su uso agrícola 70 mg kg⁻¹ de Ni como peso seco. En Cuba se trabaja actualmente con este fin.

Como fue discutido, el Ni en el suelo es poco móvil y se encuentra principalmente en su fracción residual. Existe evidencia de que en el horizonte superficial, el Ni puede estar fuertemente ligado a la forma orgánica y por tanto, es poco móvil. No obstante, su removilización parece posible mediante la presencia de ácidos húmicos y fúlvicos (1).

ESTUDIOS EN DESARROLLO

Se trabaja actualmente, con la colaboración y experiencia de instituciones brasileñas, en el desarrollo de investigaciones que posibilitarán elaborar una Legislación contentiva de los Límites Permisibles de Metales Pesados, inclusive el Ni, en

los suelos de Cuba, basada en metodologías internacionales que incluyen el empleo de la modelación y el Análisis de Riesgo (45, 46).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

Muchos suelos cubanos se caracterizan por altos valores de Ni total. Sin embargo, no existe evidencia de la existencia de contenidos tóxicos (para el hombre) o fitotóxicos, en los cultivos que en ellos crecen, ya que en el suelo la mayor parte del Ni se encuentra en formas no disponibles a las plantas. Los valores más elevados son característicos de los suelos Ferralítico Rojo Pardusco Ferromagnésico (más de 2 000 mg kg⁻¹), desarrollados sobre roca serpentinita, suelos poco productivos debido, más que al elevado tenor de Ni, a la inversa relación Mg/Ca, entre otros factores limitantes.

La industria del Ni constituye la principal fuente de contaminación de los suelos en este metal. Como quiera que la misma es de primordial importancia para la economía cubana, se deben tomar particulares cuidados, ya que el Ni es sumamente tóxico cuando se inhala.

Otros suelos de gran importancia agrícola, como los Ferralítico Rojo, abundantes en la llanura Habana-Matanzas y en Ciego de Ávila, también tienen altos contenidos de Ni, aunque con valores no tan elevados (100 y 200 mg kg⁻¹). Los suelos Ferríticos, Vertisoles, Fluvisoles y muchos Pardo Sialíticos, con frecuencia presentan valores en este rango. Aunque las investigaciones realizadas indican que en los cultivos de importancia económica, los contenidos de Ni en la parte comestible de los mismos son bajos, resulta conveniente estudiar el posible efecto de propiedades

del suelo, como el pH y el contenido de materia orgánica y de arcilla, sobre el incremento de las formas disponibles a las plantas. En este sentido, la extracción secuencial (fraccionamiento) de las diferentes formas existentes en el suelo, arrojará nuevos elementos.

Los contenidos de Ni en las fuentes orgánicas que se emplean como abono, resultan superiores a los reportados por muchos países, en lo que sin lugar a dudas incide, los correspondientes elevados valores en los suelos, pero tampoco se han detectado efectos tóxicos del mismo en el hombre. No obstante, debe tenerse en cuenta que el Ni, no es de los elementos regulados por el Codex Alimentario, por lo que no existe criterio internacional al respecto. Sin embargo, resulta imprescindible que se mantenga el monitoreo del contenido de los MP (no solo del Ni) en todas las fuentes orgánicas en uso. De igual forma, resulta aconsejable continuar estudios sobre las potencialidades de la Fitoextracción o Fitorremediación como técnica promisoría para el saneamiento y recuperación de suelos contaminados por metales como el Ni.

Finalmente, se recomienda profundizar en las investigaciones con este y el resto de los MP, con el fin de lograr una primera versión de Legislación cubana sobre Límites Permisibles de Metales Pesados en los suelos cubanos.

BIBLIOGRAFÍA

- Kabata-Pendias, A. y Mukherjee, A. B. *Trace Elements from Soil to Human* [en línea]. edit. Springer Berlin Heidelberg, 2007, 519 p., ISBN 978-3-540-32713-4, DOI <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-32714-1>, [Consultado: 28 de noviembre de 2015], Disponible en: http://link.springer.com/ptcr/10.1007/978-3-540-32714-1_1.
- Alloway, B. J. "The Origin of Heavy Metals in Soils". En: *Heavy Metals in Soils*, edit. Springer Science & Business Media, 1995, pp. 38-57, ISBN 978-0-7514-0198-1, DOI http://dx.doi.org/10.1007/978-94-011-1344-1_3.
- Kabata-Pendias, A. *Trace Elements in Soils and Plants* [en línea]. 4.^a ed., edit. CRC Press, 2010, 407 p., ISBN 978-1-4200-9368-1, DOI <http://dx.doi.org/10.1201/b10158>, [Consultado: 28 de noviembre de 2015], Disponible en: <http://www.crcnetbase.com/doi/book/10.1201/b10158>.
- Alloway, B. J. *Heavy Metals in Soils* [en línea]. (ed. Alloway B. J.), (ser. Environmental Pollution, no. ser. 22), 3.^a ed., edit. Springer Netherlands, 2013, 613 p., ISBN 978-94-007-4469-1, DOI <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7>, [Consultado: 28 de noviembre de 2015], Disponible en: http://link.springer.com/ptcr/10.1007/978-94-007-4470-7_1.
- Robinson, W. O. y Edgington, H. G. "Chemical studies of infertile soils derived from rocks high in Magnesium and generally high in Chromium and Nickel". *Technical Bulletin of the United States Department of Agriculture*, no. 471, 1935, pp. 1-29.
- Proctor, J. y Baker, A. J. M. *The importance of nickel for plant growth in ultramafic (Serpentine) soils*. [en línea]. (ed. Ross S. M.), 1.^a ed., edit. John Wiley & Sons Ltd, 1994, ISBN 978-0-471-94279-5, [Consultado: 28 de noviembre de 2015], Disponible en: <http://www.cabdirect.org/abstracts/19940706052.html>.
- Glaría, A. V.; González-Torres, L. R.; Iturralde, R. B. y Granados, E. B. "Flora de la región ultramáfica (serpentinícola) de Guamuhaya". *Revista del Jardín Botánico Nacional*, vol. 27-28, 2006, pp. 75-84, ISSN 0253-5696.
- Adriano, D. C. *Trace elements in the terrestrial environment* [en línea]. 2.^a ed., edit. Springer New York, 2001, 867 p., ISBN 978-1-4684-9505-8, DOI <http://dx.doi.org/10.1007/978-0-387-21510-5>, [Consultado: 28 de noviembre de 2015], Disponible en: http://link.springer.com/ptcr/10.1007/978-0-387-21510-5_1.
- Sherameti, I. y Varma, A. *Soil Heavy Metals* [en línea]. (ser. Soil Biology), vol. 19, edit. Springer Berlin Heidelberg, 2010, 477 p., ISBN 978-3-642-02435-1, [Consultado: 28 de noviembre de 2015], Disponible en: http://link.springer.com/ptcr/10.1007/978-3-642-02436-8_1.
- Sunderman, F. W. *Elements and Their Compounds in the Environment* [en línea]. (eds. Merian E., Anke M., Ihnat M., y Stoeppeler M.), edit. Wiley-VCH Verlag GmbH, 2004, ISBN 978-3-527-61963-4, DOI <http://dx.doi.org/10.1002/9783527619634.ch34c>, [Consultado: 28 de noviembre de 2015], Disponible en: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9783527619634.ch34c/summary>.
- Marmioli, N. y Maestri, E. "Health Implications of Trace Elements in the Environment and the Food Chain" [en línea]. En: ed. Prasad M. N. V., *Trace Elements as Contaminants and Nutrients*, edit. John Wiley & Sons, Inc., 2008, pp. 23-53, ISBN 978-0-470-37012-4, DOI <http://dx.doi.org/10.1002/9780470370124.ch2>, [Consultado: 28 de noviembre de 2015], Disponible en: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9780470370124.ch2/summary>.
- Muñiz, U. O. *Los microelementos en la agricultura* [en línea]. edit. Agencia de Información y Comunicación para la Agricultura (Agrinfor), 2008, 132 p., ISBN 978-959-246-201-4, [Consultado: 28 de noviembre de 2015], Disponible en: <http://www.libreonline.com/cuba/libros/7050/olegario-muniz-ugarte/los-microelementos-en-la-agricultura.html>.
- Hernández, A.; Ascanio, M. O.; Morales, M. y Cabrera, A. "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)". En: *VI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo*, edit. Instituto de Suelos, Ministerio de la Agricultura y Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo, La Habana, Cuba, 2006, p. 62, ISBN 959-7023-35-0.

14. Hernández, A.; Pérez, J.; Bosch, D. y Castro, N. *Clasificación de los suelos de Cuba 2015*. edit. Ediciones INCA, Mayabeque, Cuba, 2015, 93 p., ISBN 978-959-7023-77-7.
15. Alvarez, J. R. E.; Montero, A. A.; Jiménez, N. H.; Muñiz, U. O.; Padilla, A. R.; Molina, R. J. y Vera, S. Q. de. "Nuclear and related analytical methods applied to the determination of Cr, Ni, Cu, Zn, Cd and Pb in a red ferralitic soil and Sorghum samples". *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, vol. 247, no. 3, marzo de 2001, pp. 479-486, ISSN 0236-5731, 1588-2780, DOI 10.1023/A:1010640009301.
16. CEADEN. *Determinación de metales por espectrofotometría de absorción atómica en suelo y abono orgánico*. no. IA 6746: 11-1999, Inst. CEADEN, 2010, p. 6.
17. Muñiz, O.; Arozarena, N. y Grün, M. "Contenido de Cd, Pb, Cu, Zn, Ni y Cr en los principales suelos cubanos". En: *Resúmenes del 1er Congreso de la Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo*, La Habana, Cuba, 1988, p. 224.
18. Muniz, O.; Arozarena, N.; Gonzalez, M. y Irigoyen, H. "Availability of micronutrients in Cuban soils". *Tagungsbericht - Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der Deutschen Demokratischen Republik*, vol. 267, 1988, pp. 321-326, ISSN 0138-2659.
19. Camacho, E. y Paulín, J. R. "Génesis de un suelo ferralítico Rojo con predominio de boehmita sobre caliza en la provincia Habana, Cuba". *Ciencias de la Agricultura*, vol. 15, 1983, pp. 49-57, ISSN 0122-8420.
20. Ruiz, J. y Perez, J. J. M. "Algunas consideraciones sobre la formación de los suelos rojos de la región de San Miguel de los Baños, Cuba". *Ciencias de la Agricultura*, no. 18, 1984, pp. 81-89, ISSN 0122-8420.
21. Cárdenas, A.; Baisre, J. y Ortega, F. "El suelo ferrítico púrpura de Cuba". *Ciencias de la Agricultura*, no. 29, 1986, pp. 70-83, ISSN 0122-8420.
22. Lindsay, W. L. y Norvell, W. A. "Development of a DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese, and Copper". *Soil Science Society of America Journal*, vol. 42, no. 3, 1978, p. 421, ISSN 0361-5995, DOI 10.2136/aj1978.03615995004200030009x.
23. Muñiz, O.; Molina, J.; Quicute, S. y Estevez, J. "Heavy metal pollution in a rhodic ferralsol of Cuba" [en línea]. En: eds. Horst W. J., Schenk M. K., Bürkert A., Claassen N., Flessa H., Frommer W. B., Goldbach H., Olf H.-W., Römheld V., Sattelmacher B., Schmidhalter U., Schubert S., Wirén N. v. y Wittenmayer L., *Plant Nutrition*, edit. Springer Netherlands, 2001, pp. 994-995, ISBN 978-0-7923-7105-2, [Consultado: 28 de noviembre de 2015], Disponible en: <http://link.springer.com/chapter/10.1007/0-306-47624-X_484>.
24. Muñiz, O.; Estévez, J.; Quicute, S.; Montero, A.; Fraser, T. y Vega, E. "Extracción de Ni y Cd por la patata cultivada sobre suelo Ferralítico Rojo de la provincia Habana". En: Fernández J., Nogales R., y Romero E., ed. *Gallardo L. J. F., Medioambiente en Iberoamérica. Visión desde la física y química en los albores del Siglo XXI*, edit. Graficas Diputación de Badajoz, España, 2006, pp. 261-266, ISBN 978-84-611-0352-2.
25. Grün, M.; Machelett, B. y Podlesak, W. "Heavy metal limiting values in soils based on the extraction with boiling 1.5 N nitric acid". En: eds. Welte E. y Szabolcs I., *Proceedings of the 4th International CIEC Symposium*, edit. Fed. Rep. of Germany, Germany, 1987, pp. 401-408.
26. CODEX. *Norma General del CODEX para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos*. no. Codex Stan 193-1995, Inst. CODEX, p. 50.
27. Selim, H. M. *Dynamics and Bioavailability of Heavy Metals in the Rootzone*. edit. CRC Press, 15 de marzo de 2011, 308 p., ISBN 978-1-4398-2623-2.
28. Adriano, D. C. *Biogeochemistry of trace metals*. edit. Lewis Publishers, 16 de junio de 1992, 536 p., ISBN 978-0-87371-523-2.
29. Reimann, C. y Caritat, P. de. *Chemical Elements in the Environment* [en línea]. edit. Springer Berlin Heidelberg, 1998, 398 p., ISBN 978-3-642-72018-5, <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-72016-1>, [Consultado: 28 de noviembre de 2015], Disponible en: <http://link.springer.com/ptcr/10.1007/978-3-642-72016-1_1>.
30. Wasserman, M. A.; Bartoly, F.; Poquet, I. y Perez, D. V. "Assessment of the mobility and bioavailability of ⁶⁰Co and ¹³⁷Cs in contaminated soils" [en línea]. En: *Proceedings of the 5. Regional congress on radiation protection and safety; 2. Iberian and Latin American Congress on Radiological Protection Societies; Regional IRPA Congress*, edit. Sociedade Brasileira de Protecao Radiologica, Recife, PE (Brazil); International Radiation Protection Association (IRPA), Washington, DC (United States), Brasil, 2001, p. 1776, [Consultado: 28 de noviembre de 2015], Disponible en: <http://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:33034452>.
31. Rékási, M. y Filep, T. "Fractions and background concentrations of potentially toxic elements in Hungarian surface soils". *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 184, no. 12, 21 de febrero de 2012, pp. 7461-7471, ISSN 0167-6369, 1573-2959, DOI 10.1007/s10661-011-2513-9.
32. Chaney, R. L.; Malik, M.; Li, Y. M.; Brown, S. L.; Brewer, E. P.; Angle, J. S. y Baker, A. J. "Phytoremediation of soil metals". *Current Opinion in Biotechnology*, vol. 8, no. 3, junio de 1997, pp. 279-284, ISSN 0958-1669, DOI 10.1016/S0958-1669(97)80004-3.
33. Yang, X.; Feng, Y.; He, Z. y Stoffella, P. J. "Molecular mechanisms of heavy metal hyperaccumulation and phytoremediation". *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, vol. 18, no. 4, 27 de junio de 2005, pp. 339-353, ISSN 0946-672X, DOI 10.1016/j.jtemb.2005.02.007.

34. Galardi, F.; Corrales, I.; Mengoni, A.; Pucci, S.; Barletti, L.; Barzanti, R.; Arnetoli, M.; Gabbrielli, R. y Gonnelli, C. "Intra-specific differences in nickel tolerance and accumulation in the Ni-hyperaccumulator *Alyssum bertolonii*". *Environmental and Experimental Botany*, vol. 60, no. 3, julio de 2007, pp. 377-384, ISSN 0098-8472, DOI 10.1016/j.envepb.2006.12.011.
35. Berazaín, I. R. "Estudios en plantas acumuladoras e hiperacumuladoras de níquel en las serpentinas del Caribe". *Revista del Jardín Botánico Nacional*, vol. 20, 1999, pp. 17-30, ISSN 0253-5696.
36. Berazain, I. R. "The influence of ultramafic soils on plants in Cuba". *South African Journal of Science*, vol. 97, no. 11-12, 2001, pp. 510-512, ISSN 0038-2353, 0038-2353.
37. Berazaín, R.; Fuente, V. de la; Sánchez-Mata, D.; Rufo, L.; Rodríguez, N. y Amils, R. "Nickel localization on tissues of hyperaccumulator species of *Phyllanthus* L. (euphorbiaceae) from Ultramafic Areas of Cuba". *Biological Trace Element Research*, vol. 115, no. 1, 2007, pp. 67-86, ISSN 0163-4984, 1559-0720, DOI 10.1385/BTER:115:1:67.
38. Martínez, C. M.; Lestón, M. G.; Castro, C. B. y Kidd, P. "Aplicación de plantas hiperacumuladoras de níquel en la fitoextracción natural: el género *Alyssum* L.". *Ecosistemas: Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, vol. 16, no. 2, 2007, pp. 26-43, ISSN 1697-2473.
39. Marrero, C. J.; Amores, S. I. y Coto, P. O. "Fitorremediación, una tecnología que involucra a plantas y microorganismos en el saneamiento ambiental". *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, vol. 46, no. 3, 2012, pp. 52-61, ISSN 0138-620, 1025-3076.
40. *Plant-Based Remediation Processes* [en línea]. (ed. Gupta D. K.), (ser. Soil Biology), vol. 35, edit. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2013, 299 p., ISBN 978-3-642-35563-9, DOI <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-35564-6>, [Consultado: 28 de noviembre de 2015], Disponible en: <<http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-35564-6>>.
41. Meuser, H. *Soil Remediation and Rehabilitation* [en línea]. (ser. Environmental Pollution), vol. 23, edit. Springer Netherlands, Dordrecht, 2013, 406 p., ISBN 978-94-007-5750-9, DOI <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-5751-6>, [Consultado: 28 de noviembre de 2015], Disponible en: <<http://link.springer.com/10.1007/978-94-007-5751-6>>.
42. Treto, E.; García, M.; Viera, R. M. y Febles, J. M. "Advances in organic soil management.". En: *Sustainable agriculture and resistance: transforming food production in Cuba*, edit. ACTAF, Cuba, 2002, pp. 164-189, ISBN 0-935028-87-0, CABDirect2.
43. Berc, J.; Muñiz, O. y Calero, B. "Vermiculture Offers A New Agricultural Paradigm". *BioCycle*, vol. 45, no. 6, 2004, pp. 56-57, ISSN 0276-5055.
44. Rodríguez, A. M.; Muñiz, U. O.; Calero, M. B.; Martínez, R. F.; Montero, Á. A.; Limeres, J. T.; Orphee, M. M. y Aguilar, A. A. M. de. "Contenido de metales pesados en abonos orgánicos, sustratos y plantas cultivadas en organopónicos". *Cultivos Tropicales*, vol. 33, no. 2, junio de 2012, pp. 05-12, ISSN 0258-5936.
45. da Silva, A. C. M. A.; Marker, A.; Figueirinha, F. R. F. R. y da Silva, F. A. N. *Guia para avaliação do potencial de contaminação em imóveis*. edit. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo, Brasil, 2003, 80 p., ISBN 85-86624-25-X.
46. Swartjes, F. A.; Rutgers, M.; Lijzen, J. P. A.; Janssen, P. J. C. M.; Otte, P. F.; Wintersen, A.; Brand, E. y Posthuma, L. "State of the art of contaminated site management in The Netherlands: Policy framework and risk assessment tools". *Science of The Total Environment*, vol. 427-428, 15 de junio de 2012, pp. 1-10, ISSN 0048-9697, DOI 10.1016/j.scitotenv.2012.02.078.

Recibido: 2 de septiembre de 2014

Aceptado: 8 de agosto de 2015

¿Cómo citar?

Muñiz Ugarte, O.; Rodríguez Alfaro, M.; Montero Álvarez, A.; Estévez Álvarez, J.; de Aguiar Accioly, A. M. y Araujo Do Nascimento, C. W. El níquel en suelos y plantas de Cuba. [en línea]. *Cultivos Tropicales*, 2015, vol. 36, no. especial, pp. 27-35. ISSN 1819-4087. [Consultado: ____]. Disponible en: <----->.