

# Estudios en plantas acumuladoras e hiperacumuladoras de níquel en las serpentinas del Caribe.

Rosalina Berazaín Iturralde

Jardín Botánico Nacional, Universidad de La Habana

## RESUMEN

Se realiza una compilación de los reportes sobre plantas acumuladoras de níquel (entre 100 y 1000  $\mu\text{g/g}$  en tejidos vegetales en base a materia seca) e hiperacumuladoras (más de 1000  $\mu\text{g/g}$ ) que se han realizado para la zona del Caribe. Como resultados se reportan 12 familias, 30 géneros y 157 especies con esta propiedad, de ellas 35 son acumuladoras y 122 especies hiperacumuladoras; las familias que más contribuyen son: Asteraceae, Euphorbiaceae y Rubiaceae, con el 68 % de las especies y los géneros con mayor cantidad de especies son: *Buxus*, *Leucocroton*, *Phyllanthus*, *Pentacalia*, *Mosiera*, *Psychotria*, *Senecio*, *Gochnatia*, *Tetralix*. En cuanto a la distribución todos los taxones son caribeños, 152 taxones son cubanos, (todos menos uno, endémicos) dos taxa de República Dominicana (ambos endémicos) y tres taxones de Puerto Rico (ninguno endémico). Cuba es la isla que más especies de este tipo posee a causa de mayor superficie de serpentina y mayor desarrollo de la flora serpentínica. Se concluye que con respecto a los reportes mundiales la región del Caribe es la que más especies acumuladoras e hiperacumuladoras posee.

**Palabras clave:** plantas acumuladoras e hiperacumuladoras de níquel, Caribe, serpentina.

## ABSTRACT

A compilation of the reports on accumulator plants of nickel (between 100 and 1000  $\mu\text{g/g}$  in plant tissues based on dry matter) and hyperaccumulator plants (more than 1000  $\mu\text{g/g}$ ) have been carried out for the area of the Caribbean. As results 12 families, 30 genera, and 157 species with this property are reported; from them, 35 species are accumulators and 122 species are hyperaccumulators; the families that more contribute are: Asteraceae, Euphorbiaceae and Rubiaceae, with 68% of the species, and the genera with high quantity of species are: *Buxus*, *Leucocroton*, *Phyllanthus*, *Pentacalia*, *Mosiera*, *Psychotria*, *Senecio*, *Gochnatia*, *Tetralix*. Concerning to the distribution, all taxa are caribbean; 152 taxa are Cuban, (except one, all species are endemics), two belong to the Dominican Republic (both species are endemics) and three taxa are from Puerto Rico (none species are endemics). Cuba is the island with more species of this type because their bigger serpentine area and high development of the serpentinic flora. It concludes that with regard to the world reports, the region of the Caribbean is the one that more accumulator and hyperaccumulator species possess.

**Key words:** nickel-accumulator and nickel- hyperaccumulator plants, Caribbean, serpentine.

## INTRODUCCIÓN

Los suelos derivados de las rocas serpentinitas y conocidos popularmente como suelos de serpentinas poseen concentraciones altas de metales pesados como Ni, Cr, Co, alta concentración de Mg, y bajas concentraciones de nutrientes importantes como Ca, N, P, K, en un pH ligeramente ácido. Es conocido que sustentan una flora muy especializada y la vegetación que presentan posee una fisionomía xeromorfa típica.

Una respuesta de las plantas a la presencia de níquel en el sustrato es la acumulación de este elemento tóxico en sus tejidos, empleándose el término acumulador para designar a las plantas que poseen entre 100 y 1000  $\mu\text{g/g}$  en base a materia seca, para las plantas que poseen concentraciones superiores a 1000  $\mu\text{g/g}$  se emplea el término hiperacumulador. En la tabla I se presentan los diferentes valores en plantas y suelos.

**TABLA I**

Diferentes concentraciones de níquel ( $\mu\text{g/g}$  en base a materia seca para las plantas).

Concentraciones	$\mu\text{g/g}$ Ni
Planta normal	0,5-10
Plantas de serpentina no acumuladoras	5-100
Plantas de serpentina acumuladoras	100-1000
Plantas de serpentina hiperacumuladoras	más de 1000
Suelo normal	10-50
Suelo de serpentina	500-5000

El primer reporte sobre una notable concentración de níquel en las plantas fue en 1948, en Italia, en *Alyssum bertolonii* (Crucifera), a partir de ese momento se suceden estudios más o menos aislados y dispersos; en 1987 se publica una compilación, (Brooks, 1987) con 22 familias, 38 géneros y 144 especies; posteriormente, Reeves, 1992, publica un listado con 30 familias, 58 géneros y alrededor de 190 especies, poseyendo Nueva Caledonia la mayor cantidad de especies hiperacumuladoras (alrededor de 50). La distribución mundial es: escasa en altas latitudes templadas (Canadá), más frecuentemente en zonas templadas de latitudes más bajas (California, Mediterráneo) y tropicales (Cuba, Brasil, islas de Indonesia, Filipinas, Nueva Caledonia, Australia), (Fig.1).

Los mecanismos fisiológicos del metabolismo de estas plantas por el cual el níquel es absorbido, transportado y acumulado, aún no se explican del todo; los estudios realizados plantean que está asociado con citratos y/o malatos (acción con los ácidos cítrico, málico y malónico, y otros ácidos carboxílicos); se encuentra acumulado preferentemente en tejidos fotosintéticos, sin embargo hay

plantas con altísimas concentraciones en el látex que al parecer sirve de vehículo entre las raíces y el resto de la planta. Es posible que la acumulación de níquel en las hojas sea una forma de eliminación del mismo a la caída de ellas; existe un mecanismo propuesto para explicar la entrada-transporte-deposición en las vacuolas para especies del género *Alyssum* (Brooks, 1987).

El área del Caribe posee importantes afloramientos de roca de serpentina y existen estudios sobre la flora y vegetación de estas áreas (Berazaín, 1976, 1986; Borhidi, 1988, 1992; Cedeño-Maldonado y Breckon, 1996; García 1991), por lo que potencialmente posee las condiciones para realizar estudios en plantas acumuladoras e hiperacumuladoras (Fig. 2).

Como reportes se encuentran en la literatura varios trabajos sobre plantas acumuladoras e hiperacumuladoras en la región (Berazaín, 1984, 1992; Borhidi *et al.*, 1992; Bordács y Borhidi, 1993-94; Brooks, 1977; Medina *et al.* 1994; Reeves *et al.* 1996; Reeves *et al.* -en prensa-). En la tabla II se ofrece un resumen de las familias, géneros y especies reportadas para el área.

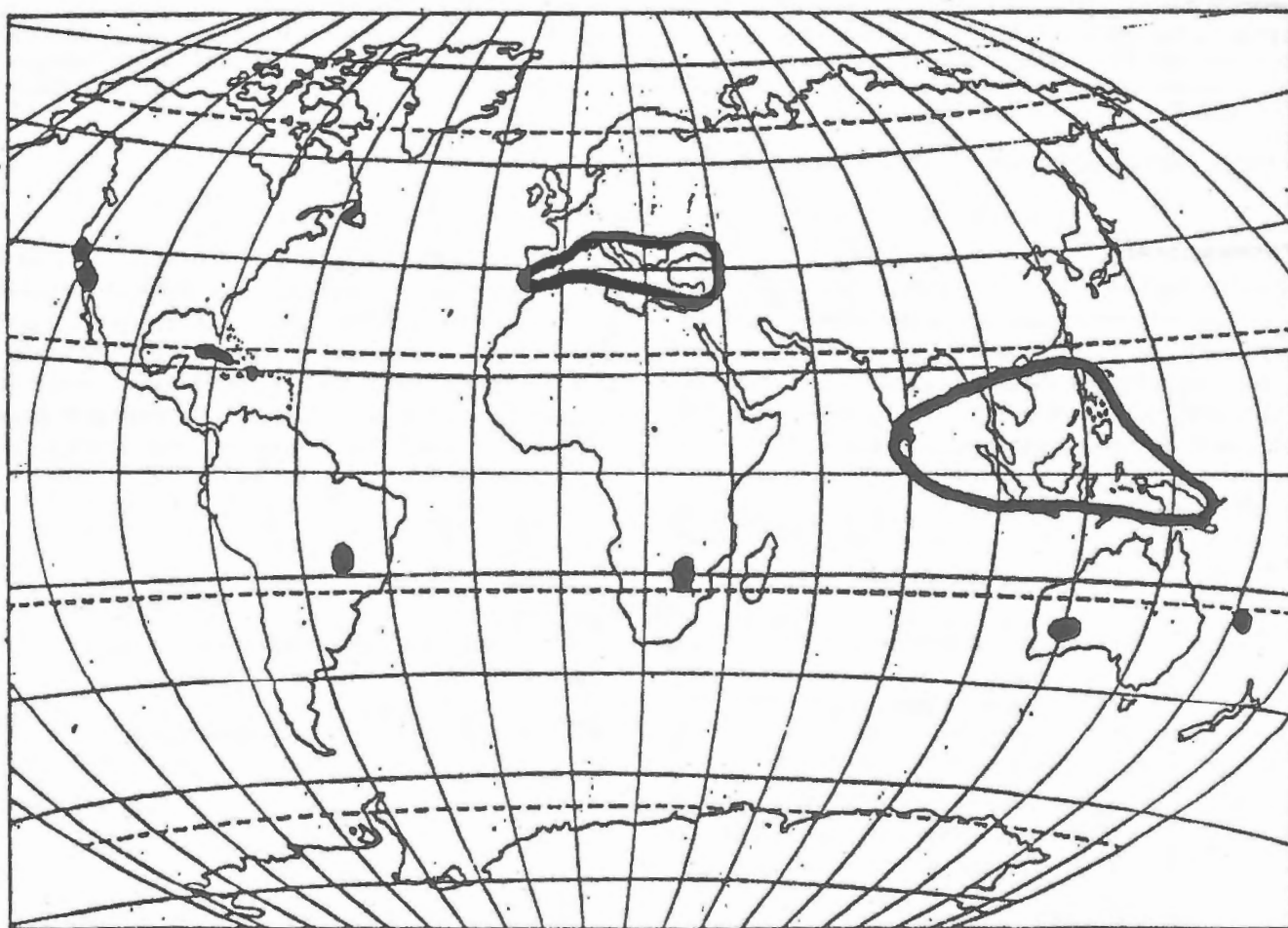


Fig. 1. Distribución mundial de especies acumuladoras e hiperacumuladoras de níquel.

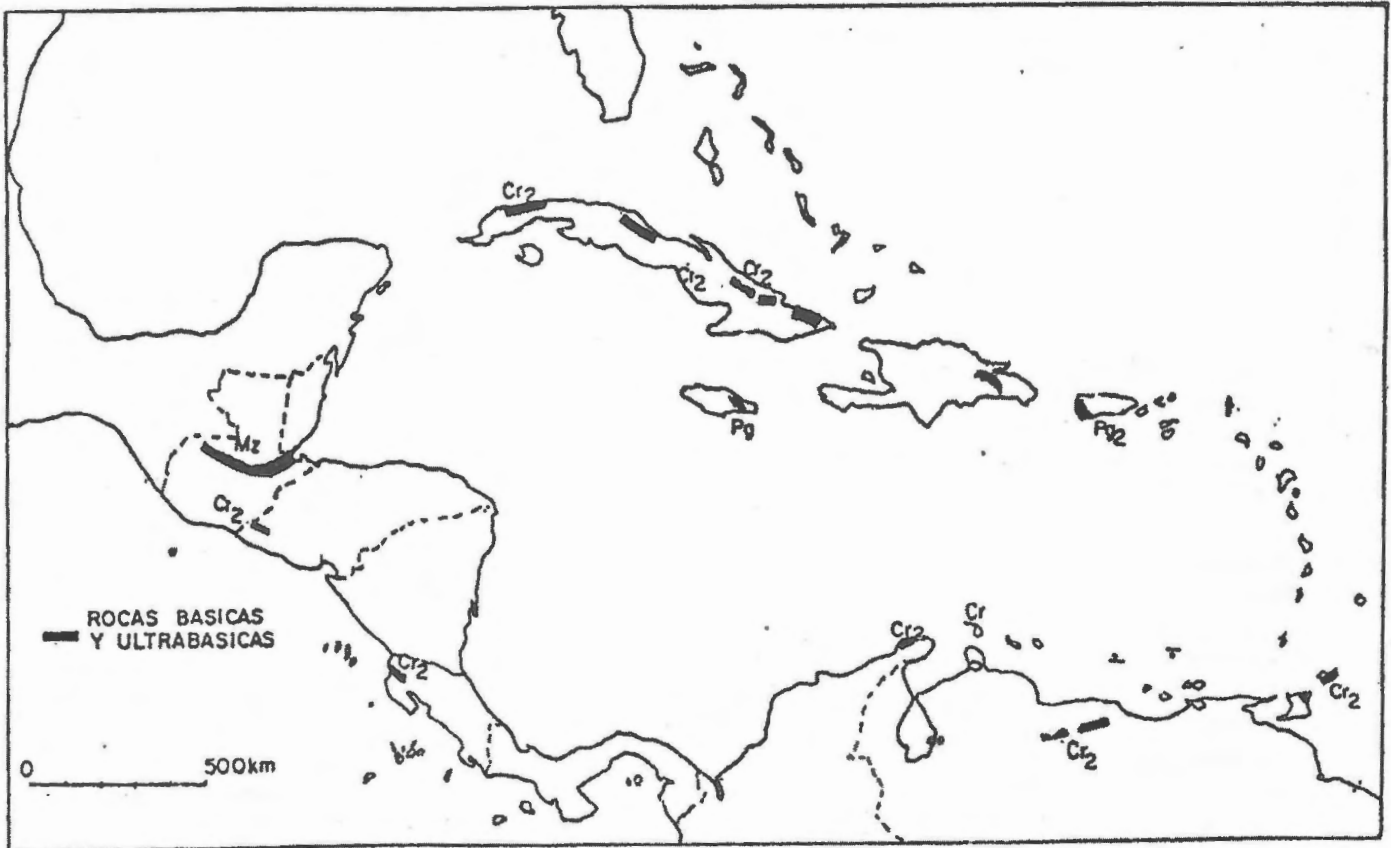


Fig. 2. Esquema de la distribución de las intrusiones Meso-cenozoicas en el Caribe: M2- Mesozoico, Cr2- Cretácico Superior, Pg- Paleógeno (depósitos indeterminados), Pg2- Eoceno (basado en: Geología del área del Caribe y la Costa del Golfo de México, Judoley y Furrázola-Bermúdez, 1971).

TABLA II

Plantas acumuladoras e hiperacumuladoras de níquel (Brooks, 1987; Reeves, 1992; Reeves *et al.* -en prensa-). Entre paréntesis las plantas del Caribe.

Familias	Géneros	Especies
Acanthaceae	5(2)	5(2)
Adiantaceae	1	varias
Asteraceae	10(7)	37(31)
Boraginaceae	1	1
Brassicaceae	8	82
Buxaceae	(1)	(21)
Campanulaceae	1	1
Caryophyllaceae	2	5
Clusiaceae	(1)	(4)
Convolvulaceae	1	1
Cunoniaceae	2	8
Dichapetalaceae	1	2
Dipterocarpaceae	1	1
Escalloniaceae	1	2
Euphorbiaceae	10(7)	79(66)
Fabaceae	3	3

TABLA II

Plantas acumuladoras e hiperacumuladoras de níquel (Brooks, 1987, Reeves, 1992, Reeves *et al.* -en prensa-). Entre paréntesis las plantas del Caribe (continuación).

Familias	Géneros	Especies
Flacourtiaceae	3(1)	20(1)
Juncaceae	1	1
Meliaceae	1	1
Myristicaceae	1	1
Myrtaceae	(2)	(9)
Ochnaceae	2(1)	3(2)
Oleaceae	(1)	(1)
Oncothecaceae	1	1
Poaceae	1	1
Ranunculaceae	1	1
Rubiaceae	5(4)	24(22)
Sapotaceae	1	1
Saxifragaceae	1	1
Scrophulariaceae	2	2
Stackhousiaceae	1	1
Tiliaceae	2(1)	6(5)
Turneraceae	1	1
Velloziaceae	1	varias
Violaceae	3(1)	8(3)

**MATERIALES Y MÉTODOS**

Los métodos empleados están basados en utilizar hojas o fragmentos de hojas frescas o de material de herbario (previamente hidratado) que fueron probadas con un simple test semicuantitativo presionándolas con un papel de filtro indicador impregnado en dimetilglioxina (1% en solución de etanol) el cual como reacción positiva de níquel se mancha de rojo (Fig.3).

En casos positivos o en especies pertenecientes a familias o géneros de interés por reportes previos, pequeñas porciones de hojas (en material de herbario menos de 30 mg para no dañar las colecciones) fueron analizadas por absorción atómica o espectrometría de emisión (ver métodos en Reeves *et al.*, 1996).

**RESULTADOS**

Del análisis de los reportes de la bibliografía se encontraron las especies que se presentan resumidas en la tabla III; el listado completo de las especies se presenta en el anexo I.

Del análisis de los datos de la tabla III pueden discutirse los siguientes aspectos:

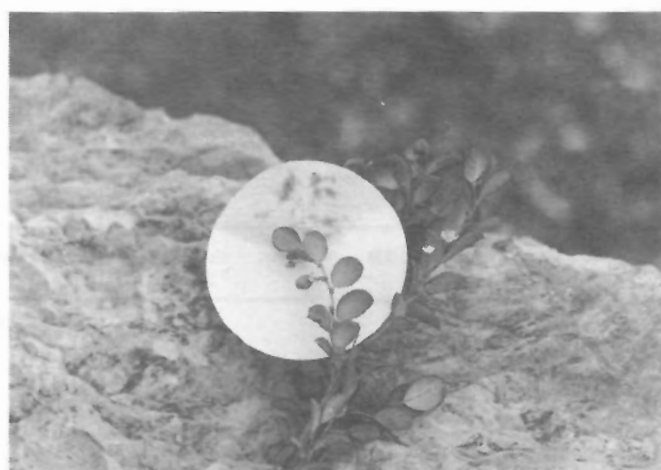


Fig.3. *Phyllanthus discolor* Poepp., con papel indicador manchado de rojo, Yateras, Provincia de Guantánamo, Cuba.

Existen 12 familias, 30 géneros y 157 especies, de ellas hay 35 especies acumuladoras (23 %) y 122 especies hiperacumuladoras (77 %).

Sobre la composición florística: se destacan tres de las mayores familias: Asteraceae, Euphorbiaceae y Rubiaceae que comprenden el 68 % de estas plantas, los

**TABLA III**

Resumen de familias, géneros y especies acumuladoras e hiperacumuladoras encontradas en el Caribe.

Familias	Géneros	Número de especies acumuladoras/ hiperacumuladoras		Distribución
Acanthaceae	Phidiasia (*)	—	1	Cuba
	Sapphoa (*)	1	—	Cuba
Asteraceae	Gochnatia	5	2	Cuba
	Heptanthus	1	—	Cuba
	Koanophyllum	3	2	Cuba
	Pentacalia	—	10	Cuba
	Phania	1	—	Cuba
	Senecio	—	6	Cuba
	Shafera (*)	—	1	Cuba
Buxaceae	Buxus	4	17	Cuba
Clusiaceae	Garcinia	—	4	Cuba
Euphorbiaceae	Bonania	—	3	Cuba
	Euphorbia	—	2	Cuba
	Gymnanthes	—	1	Cuba
	Leucocroton	—	28	Cuba
	Phyllanthus	4	20	Cuba, República Dominicana
	Sapium	—	1	Cuba
	Savia	—	3	Cuba
Flacourtiaceae	Homalium	1	—	Puerto Rico
Myrtaceae	Calyptranthes	1	—	Cuba
	Mosiera	6	4	Cuba
Ochnaceae	Ouratea	—	2	Cuba
Oleaceae	Chionanthus (1)	—	1	Cuba, Puerto Rico
	Linociera	1	—	Cuba
Rubiaceae	Ariadne (*)	—	1	Cuba
	Phyllomelia (*)	—	1	Cuba
	Psychotria	4	5	Cuba, República Dominicana
	Rondeletia	1	2	Cuba
Tiliaceae	Tetralix (*)	—	5	Cuba
Violaceae	Hybanthus	2	—	Cuba, Puerto Rico

(\*) géneros endémicos de serpentina de Cuba.

(1) es la misma especie reportada como hiperacumuladora para Cuba y acumuladora para Puerto Rico, se tomó el mayor valor.

géneros más significativos son, *Leucocroton* (28 especies), *Phyllanthus* (24 especies), *Buxus* (21 especies), *Pentacalia* (10 especies), *Mosiara* (10 especies), *Psychotria* (9 especies), *Gochnatia* (7 especies), *Senecio* (6 especies), *Tetralix* (5 especies). Sin embargo de los 24 géneros endémicos de serpentina de Cuba sólo seis poseen la capacidad de la acumulación.

Un aspecto curioso es que la capacidad de acumular níquel al parecer está ligada a cierto nivel taxonómico como es el infraespecífico, ya que las subespecies o variedades de una especie que crezcan sobre serpentina se comportan similarmente, es decir todos estos niveles infraespecíficos reaccionan por igual, o son acumuladores o no lo son.

En cuanto a la distribución y endemismo se destaca el endemismo de estas especies (100 %), ya que todas son de distribución caribeña; para el caso de Cuba se presentan 152 especies, todas menos una (*Chionanthus domingensis*, también reportada como acumuladora en Puerto Rico) son endémicas de serpentina, por lo que el índice de endemismo es de 99 %; en relación con las especies endémicas de serpentina de Cuba, alrededor de 920, de un aproximado de 6 350 especies de fanerógamas (Borhidi, 1996) para la flora total, las 31 especies

acumuladoras y las 121 especies hiperacumuladoras constituyen el 14 %. La distribución de estas plantas coincide notablemente con el endemismo de cada afloramiento de serpentina de la isla (Fig. 4).

En República Dominicana se encuentran dos especies: una reportada como acumuladora (endémica, pero no exclusiva de serpentina) y otra como hiperacumuladora (endémica de serpentina), para un 100 % de endemismo, comparando con el total de la flora, aproximadamente 5000 especies y unas 1800 endémicas (García, 1991) el porcentaje de estas especies es muy bajo. Ambas especies se presentan en la misma área (Fig. 5).

Puerto Rico presenta tres especies como acumuladoras, y ninguna de ellas es endémica de serpentina de la isla. Si se tiene en cuenta que la flora de Puerto Rico posee 3039 especies y de ellas 234 endémicas (García, 1991), el porcentaje de especies acumuladoras es muy bajo. Estas especies se encuentran en la misma área (Fig. 6).

Como se observa la mayoría de las especies acumuladoras e hiperacumuladoras son cubanas, esto puede deberse a:

- mayor extensión de las superficies de serpentina (7 500 km<sup>2</sup>)

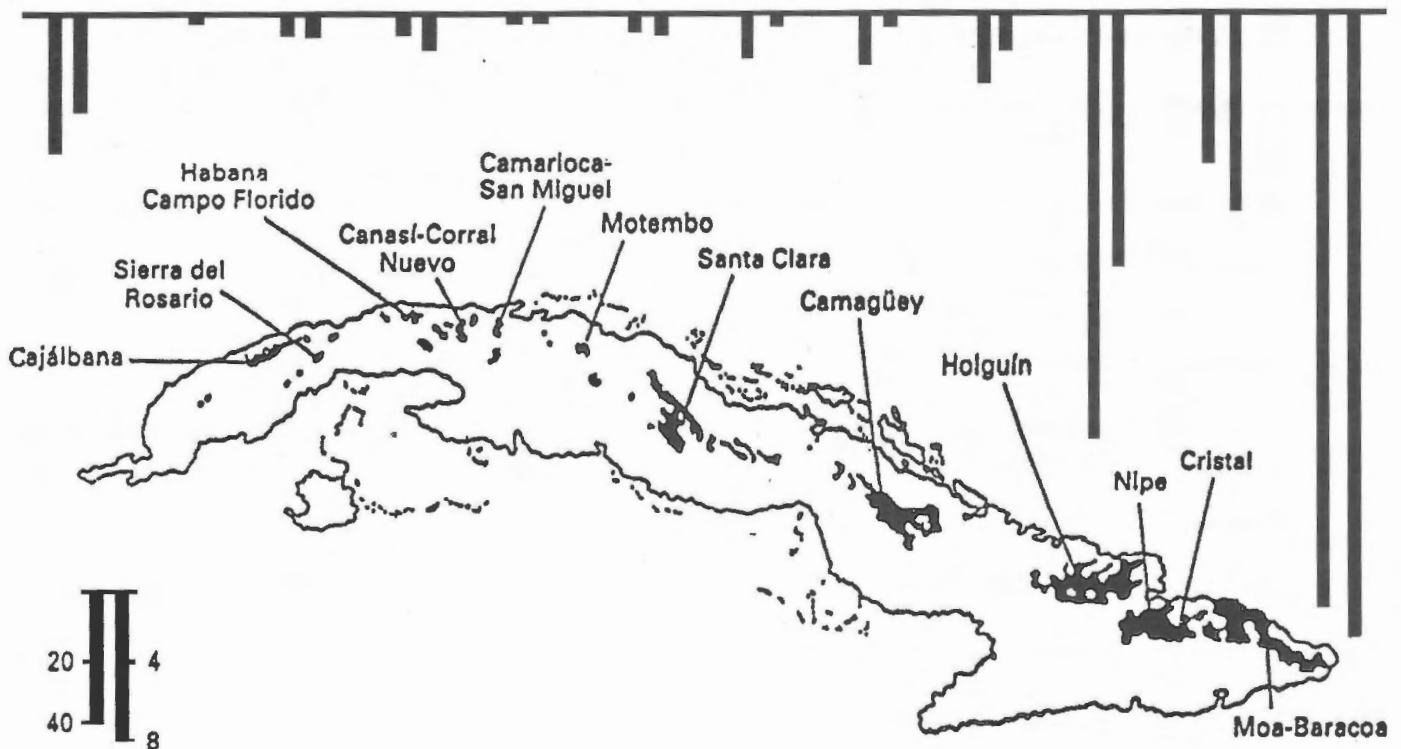


Fig.4. Distribución de plantas acumuladoras e hiperacumuladoras en Cuba en los afloramientos de serpentina, la barra de la izquierda representa el número de especies endémicas, la barra de la derecha el número de especies hiperacumuladoras (tomado de Reeves *et al.*, 1996).



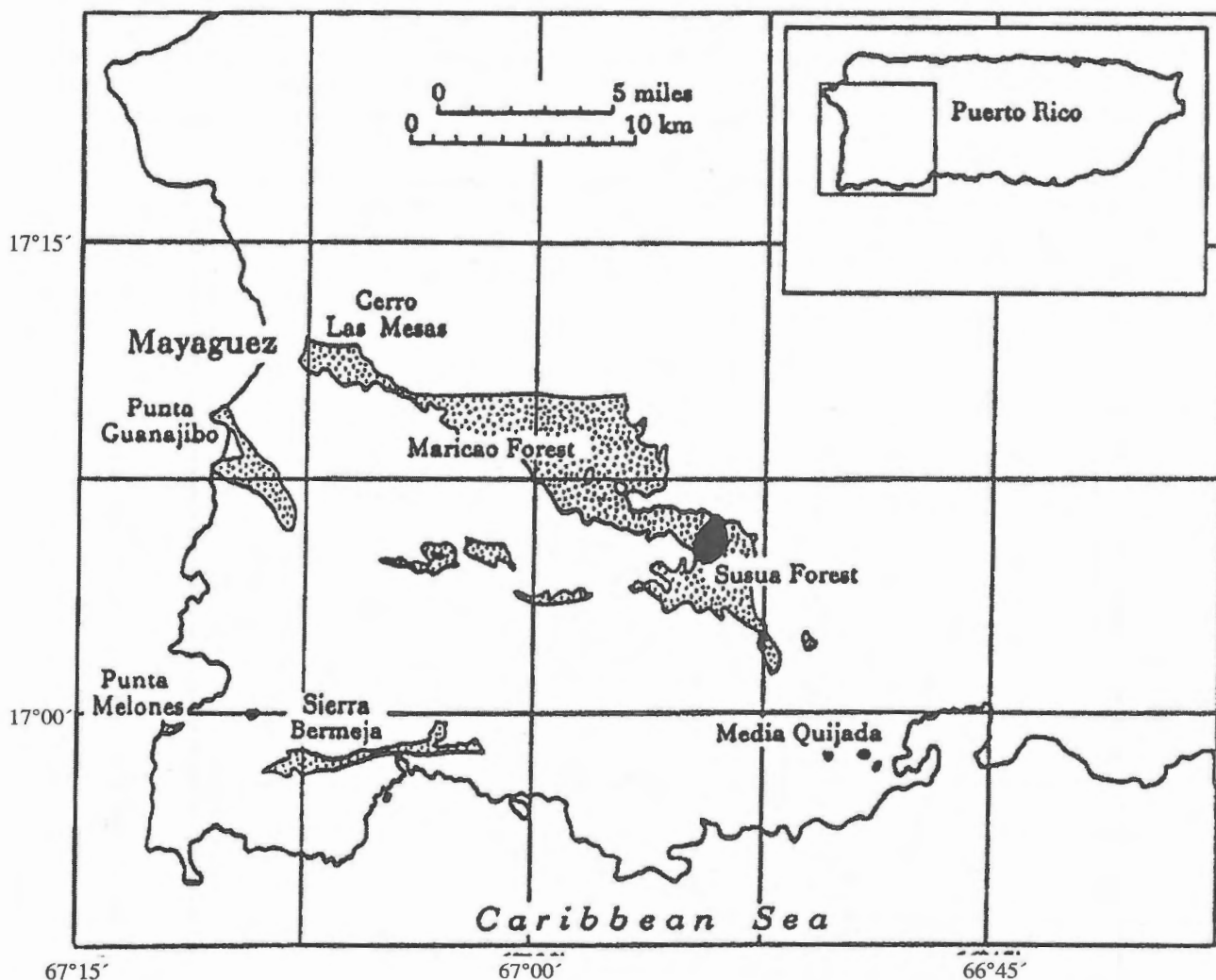


Fig. 6. Distribución de las tres especies acumuladoras en Susúa, Puerto Rico (tomado de Cedeño-Maldonado y Breckon, 1996).

a lo largo de la Isla y muy estrechamente asociada a la distribución de las especies endémicas, destacándose la abundancia hacia los extremos de la Isla, donde se encuentran suelos muy antiguos, con una evolución entre 10 y 30 millones de años (sobre todo hacia la parte oriental), al parecer la habilidad de la acumulación de níquel en los tejidos se desarrolla por algunas plantas en el largo proceso de la evolución (Fig. 4).

Lo anterior expuesto no resta importancia a la continuidad de los estudios en otras áreas pues por supuesto aportarán nuevos reportes.

En cuanto a los valores cuantitativos de la concentración de níquel de las plantas se observa que la mayoría (77 %) de estas especies son hiperacumuladoras, lo que coincide con lo reportado en la literatura de que hay mayor frecuencia de valores altos. Existen géneros cuyos valores poseen un rango muy amplio, generalmente son aquellos

que poseen más especies hiperacumuladoras (Fig. 7).

La propiedad de la acumulación del níquel ha sido considerada por algunos autores como una defensa química de la planta (Martens y Boyd, 1994).

**CONCLUSIONES**

La Región del Caribe es el área que más plantas acumuladoras e hiperacumuladoras posee: 157 especies, destacándose Cuba con 152 especies (96 %): 31 acumuladoras, 121 hiperacumuladoras; República Dominicana posee dos especies (una acumuladora y una hiperacumuladora); Puerto Rico presenta tres especies acumuladoras. Futuros estudios aportarán nuevos reportes, pues no están agotadas todas las posibilidades.

Las grandes familias como Asteraceae, Euphorbiaceae y Rubiaceae contribuyen con más especies (68 %).

Todas las especies son endémicas del Caribe, para Cuba el endemismo es de 99 %, para República Dominicana es de 100 % mientras que en Puerto Rico ninguna especie es endémica. La riqueza de estas especies en Cuba está relacionada con una mayor superficie de las áreas de serpentina y mayor desarrollo de la flora en las mismas.

La habilidad de acumular níquel puede tener implicaciones taxonómicas ya que este carácter puede estar fijado a nivel infraespecífico.

Abundan notablemente las especies hiperacumuladoras (77 %) en la región del Caribe con respecto a las plantas acumuladoras.

Estas especies no deben ser vistas como una simple curiosidad biológica, prácticamente todas son endémicas de afloramientos de serpentina con contenido de níquel y obviamente tienen valor como bioindicadoras, potencialmente pueden ser usadas para extraer níquel de suelos contaminados ya que poseen el material genético para ello.

#### BIBLIOGRAFÍA

Berazaín R. 1976. Estudio preliminar de la Flora serpentínica de Cuba. *Ciencias*, ser. 10, *Botánica* 12: 11-26

\_\_\_\_\_. 1984. Reporte preliminar de plantas acumuladoras e hiperacumuladoras de algunos elementos. *Revista Jard. Bot. Nac. Univ. Habana*. 2(1): 49-59.

\_\_\_\_\_. 1986. Algunos aspectos fitogeográficos de plantas serpentínicas cubanas. *Feddes Rep.* 97 (1-2): 49-58.

\_\_\_\_\_. A note of soil/plant relationship. En: Baker AJM, Proctor J, Reeves R., eds. *The Vegetation of the Ultramafic (serpentine) soils*. Intercept, U.K. 1992.

Borhidi A. 1988. El efecto ecológico de la roca serpentina a la flora y vegetación de Cuba. *Acta Bot. Hung.* 34 (1-2): 123-174.

\_\_\_\_\_. The serpentine flora and vegetation of Cuba. En: Baker AJM, Proctor J, Reeves R., eds. *The Vegetation of the Ultramafic (serpentine) soils*. Intercept, U.K. 1992.

\_\_\_\_\_. 1996. *Phytogeography and Vegetation Ecology of Cuba*. Akadémiai Kiadó, Budapest.

\_\_\_\_\_, Baker AJM, Fernández M, Oviedo R. 1992. Preliminary studies on possible Ni-hiperacumulador plants in Cuba. *Acta Bot. Hung.* 37(1-4): 279-286.

Bordács MM, Borhidi A. 1993-94. Preliminary studies of possible Ni-hyperaccumulators in the serpentine flora of Cuba. *Acta Bot. Hung.* 38 (1-4): 447-454.

Brooks RR. 1987. *Serpentine and its vegetation*. Dioscorides Press. U.S.A.

\_\_\_\_\_, Lee J, Reeves RD, Jaffré T. 1977. Detection of nickeliferous rocks by analysis of herbarium specimens of indicator plants. *J. Geoch. Expl.* 7: 49-57.

Cedeño-Maldonado J, Breckon GJ. 1996. Serpentine Endemism in the Flora of Puerto Rico, Caribbean J. Sc. 32(4): 348-356.

García R. 1991. *Relaciones Taxonómicas y Fitogeográficas entre la Flora endémica de serpentina en Susúa, Puerto Rico y Río Piedras*, Gaspar Hernández, República Dominicana. Tesis por el Grado de Maestro en Ciencias en Biología, Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayaguez, Facultad de Artes y Ciencias, Departamento de Biología.

Martens SN, Boyd RS. 1994. The ecological significance of nickel hyperaccumulation: a plant chemical defense. *OEcología* 98: 379-384.

Medina E, Cuevas E, Figueroa J, Lugo AE. 1994. Mineral content of leaves from trees growing on serpentine soils under contrasting rainfall regimes in Puerto Rico. *Plant and Soil*, 158: 13-21.

Reeves RD. The hyperaccumulation of nickel by serpentine plants. En: Baker, Proctor, Reeves, (eds.). *The Vegetation of Ultramafic (Serpentine) soils*. Intercept, U.K. 1992.

Reeves RD, Baker AJM, Borhidi A, Berazaín R. 1996. Nickel-accumulating plants from the ancient serpentine soils of Cuba. *New Phytologist* 133: 217-224.

Reeves RD, Baker AJM, Borhidi A, Berazaín R. 1998. Nickel accumulation in the serpentine Flora of Cuba. *Annals of Botany*. 83: 29-38.

**Recibido:** 3 de julio de 1998.

**Direcc. del autor:** Jardín Botánico Nacional, Carretera "El Rocío" km 3½, Calabazar, Boyeros. CP. 19230, Ciudad de La Habana, Cuba.

## ANEXO I

Listado de especies y valores encontrados en la Flora de serpentina del Caribe.

Familias, especies	µg/g	Localidad	Fuentes
<b>Acanthaceae</b>			
<i>Phiadasia lindavii</i>	1853	Cuba	5
<i>Sapphoa ekmanii</i>	581	Cuba	5
<b>Asteraceae</b>			
<i>Gochnatia attenuata</i>	425	Cuba	5
<i>Gochnatia crassifolia</i>	1124	Cuba	5
<i>Gochnatia cubensis</i>	281	Cuba	5
<i>Gochnatia intertexta</i>	317	Cuba	5
<i>Gochnatia obtusifolia</i>	239	Cuba	5
<i>Gochnatia recurva</i>	1005	Cuba	5
<i>Gochnatia shaferi</i>	200	Cuba	5
<i>Heptanthus ranunculoides</i>	108	Cuba	5
<i>Koanophyllon grandiceps</i>	6244	Cuba	5
<i>Koanophyllum grisebachianum</i>	541	Cuba	5
<i>Koanophyllum minutifolium</i>	206	Cuba	5
<i>Koanophyllum polystictum</i>	280	Cuba	5
<i>Koanophyllon prinoides</i>	6167	Cuba	5
<i>Pentacalia almironcillo</i>	5504	Cuba	5
<i>Pentacalia cristalensis</i>	5846	Cuba	5
<i>Pentacalia cubensis</i>	5576	Cuba	5
<i>Pentacalia eriocarpha</i>	16600	Cuba	5
<i>Pentacalia leucolepis</i>	3347	Cuba	5
<i>Pentacalia moaensis</i>	5315	Cuba	5
<i>Pentacalia pachypoda</i>	7220	Cuba	5
<i>Pentacalia polyphlebia</i>	8748	Cuba	5
<i>Pentacalia shaferi</i>	3010	Cuba	5
<i>Pentacalia trichotoma</i>	4833	Cuba	5
<i>Phania multicaulis</i>	940	Cuba	5
<i>Senecio azulensis</i>	6459	Cuba	5
<i>Senecio biseriatus</i>	11000	Cuba	5
<i>Senecio ekmanii</i>	5596	Cuba	5
<i>Senecio plumbeus</i>	10640	Cuba	5
<i>Senecio rivalis</i>	1506	Cuba	5
<i>Senecio subsquarrosus</i>	2723	Cuba	5
<i>Shafera platyphylla</i>	1892	Cuba	5
<b>Buxaceae</b>			
<i>Buxus aneura</i>	1450	Cuba	4
<i>Buxus baracoensis</i>	1590	Cuba	4
<i>Buxus crassifolia</i>	12250	Cuba	4
<i>Buxus excisa</i>	2150	Cuba	4
<i>Buxus flaviramea</i>	8360	Cuba	4
<i>Buxus foliosa</i>	1320	Cuba	4
<i>Buxus gonoclada</i>	2610	Cuba	2,4
<i>Buxus heterophylla</i>	8740	Cuba	4
<i>Buxus historica</i>	4810	Cuba	4
<i>Buxus imbricata</i>	1940	Cuba	4
<i>Buxus leivae</i>	104	Cuba	4
<i>Buxus marginalis</i>	333	Cuba	4
<i>Buxus moana</i>	1760	Cuba	4
<i>Buxus muelleriana</i>	133	Cuba	4

## ANEXO I

Listado de especies y valores encontrados en la Flora de serpentina del Caribe (Continuación).

Familias, especies	µg/g	Localidad	Fuentes
<b>Buxaceae</b> (Continuación)			
<i>Buxus pilosula</i>	9200	Cuba	4
<i>Buxus pseudoaneura</i>	1240	Cuba	4
<i>Buxus retusa</i>	10310	Cuba	4
<i>Buxus revoluta</i>	15630	Cuba	4
<i>Buxus serpentinicola</i>	10410	Cuba	4
<i>Buxus shaferi</i>	140	Cuba	4
<i>Buxus vaccinioides</i>	25420	Cuba	4
<b>Clusiaceae</b>			
<i>Garcinia bakeriana</i>	7443	Cuba	5
<i>Garcinia polyneura</i>	1281	Cuba	5
<i>Garcinia revoluta</i>	1248	Cuba	5
<i>Garcinia ruscifolia</i>	1638	Cuba	5
<b>Euphorbiaceae</b>			
<i>Bonania emarginata</i>	1620	Cuba	4
<i>Bonania nipensis</i>	1850	Cuba	4
<i>Bonania suborbiculata</i>	1760	Cuba	4
<i>Euphorbia cubensis</i>	5840	Cuba	4
<i>Euphorbia helenae</i> ssp. <i>grandifolia</i>	9340	Cuba	4
<i>Euphorbia helenae</i> ssp. <i>helenae</i>	4430	Cuba	4
<i>Gymnanthes recurva</i>	4070	Cuba	4
<i>Leucocroton acunae</i>	10140	Cuba	4
<i>Leucocroton angustifolius</i>	19160	Cuba	4
<i>Leucocroton anomalus</i>	13330	Cuba	4
<i>Leucocroton baracoensis</i>	2260	Cuba	4
<i>Leucocroton bracteosus</i>	11660	Cuba	4
<i>Leucocroton brittonii</i>	5800	Cuba	4
<i>Leucocroton comosus</i>	11740	Cuba	4
<i>Leucocroton cordifolius</i>	19620	Cuba	4
<i>Leucocroton cristalensis</i>	8070	Cuba	4
<i>Leucocroton discolor</i>	7670	Cuba	4
<i>Leucocroton ekmanii</i>	8550	Cuba	4
<i>Leucocroton flavicans</i>	15500	Cuba	2,4
<i>Leucocroton incrustatus</i>	4260	Cuba	4
<i>Leucocroton linearifolius</i>	27240	Cuba	4
<i>Leucocroton longibracteatus</i>	3850	Cuba	4
<i>Leucocroton moaensis</i>	15510	Cuba	4
<i>Leucocroton moncadae</i>	15330	Cuba	4
<i>Leucocroton obovatus</i>	9980	Cuba	4
<i>Leucocroton pachyphylloides</i>	18050	Cuba	4
<i>Leucocroton pachyphyllus</i>	9220	Cuba	4
<i>Leucocroton pallidus</i>	10760	Cuba	4
<i>Leucocroton revolutus</i>	17240	Cuba	4
<i>Leucocroton sameki</i>	13080	Cuba	4
<i>Leucocroton saxicola</i>	18480	Cuba	4
<i>Leucocroton stenophyllus</i>	24500	Cuba	4
<i>Leucocroton subpeltatus</i>	13890	Cuba	4
<i>Leucocroton virens</i>	24360	Cuba	4
<i>Leucocroton wrightii</i>	12600	Cuba	4
<i>Gymnanthes recurva</i>	4070	Cuba	4

ANEXO I

Listado de especies y valores encontrados en la Flora de serpentina del Caribe (Continuación).

Familias, especies	µg/g	Localidad	Fuentes
<b>Euphorbiaceae (Continuación)</b>			
<i>Phyllanthus carolinensis</i> ssp. <i>saxicola</i>	235	Cuba	4
<i>Phyllanthus chamaecristoides</i> ssp. <i>chamaecristoides</i>	18530	Cuba	4
<i>Phyllanthus chamaecristoides</i> ssp. <i>baracoensis</i>	31750	Cuba	4
<i>Phyllanthus chryseus</i>	13790	Cuba	4
<i>Phyllanthus cinctus</i>	21870	Cuba	4
<i>Phyllanthus comosus</i>	19380	Cuba	4
<i>Phyllanthus comptus</i>	7260	Cuba	4
<i>Phyllanthus cristalensis</i>	8750	Cuba	4
<i>Phyllanthus discolor</i>	31490	Cuba	4
<i>Phyllanthus echinospermus</i>	122	Cuba	4
<i>Phyllanthus ekmanii</i>	19060	Cuba	4
<i>Phyllanthus excisus</i>	442	Cuba	4
<i>Phyllanthus formosus</i>	7400	Cuba	4
<i>Phyllanthus incrustatus</i>	1580	Cuba	4
<i>Phyllanthus microdyctius</i>	19750	Cuba	4
<i>Phyllanthus mirificus</i>	7690	Cuba	4
<i>Phyllanthus myrtilloides</i> ssp. <i>alainii</i>	14330	Cuba	4
<i>Phyllanthus myrtilloides</i> ssp. <i>erythrinus</i>	33240	Cuba	4
<i>Phyllanthus myrtilloides</i> ssp. <i>myrtilloides</i>	9970	Cuba	4
<i>Phyllanthus myrtilloides</i> ssp. <i>shaferi</i>	21710	Cuba	4
<i>Phyllanthus myrtilloides</i> ssp. <i>spathulifolius</i>	8900	Cuba	4
<i>Phyllanthus nummularioides</i>	22930	República Dominicana	4
<i>Phyllanthus orbicularis</i>	10950	Cuba	4
<i>Phyllanthus pachystylus</i>	269	Cuba	4
<i>Phyllanthus x pallidus</i>	60170	Cuba	4
<i>Phyllanthus phlebocarpus</i>	19400	Cuba	4
<i>Phyllanthus pseudocicca</i>	22670	Cuba	4
<i>Phyllanthus scopulorum</i>	21930	Cuba	4
<i>Phyllanthus williamioides</i>	18100	Cuba	4
<i>Sapium erythrospermum</i>	1000	Cuba	4
<i>Savia clusiifolia</i>	2940	Cuba	4
<i>Savia cuneifolia</i>	4890	Cuba	4
<i>Savia maculata</i>	4660	Cuba	4
<b>Flacourtiaceae</b>			
<i>Homalium pleiandrum</i>	343	Puerto Rico	1
<b>Myrtaceae</b>			
<i>Calyptranthes monocarpa</i>	179	Cuba	5
<i>Mosiera acunae</i>	677	Cuba	5
<i>Mosiera araneosum</i>	5025	Cuba	5
<i>Mosiera bullata</i> ssp. <i>leiophloeum</i>	571	Cuba	5
<i>Mosiera cabanensis</i> ssp. <i>flavicans</i>	750	Cuba	5
<i>Mosiera ekmanii</i>	1461	Cuba	5
<i>Mosiera elliptica</i>	108	Cuba	5
<i>Mosiera havanensis</i>	532	Cuba	5
<i>Mosiera x miraflorensis</i>	1210	Cuba	5
<i>Mosiera moaensis</i>	993	Cuba	5
<i>Mosiera ophiticola</i>	1799	Cuba	5
<b>Ochnaceae</b>			
<i>Ouratea nitida</i>	1702	Cuba	5
<i>Ouratea striata</i>	8190	Cuba	5

## ANEXO I

Listado de especies y valores encontrados en la Flora de serpentina del Caribe (Continuación).

Familias, especies	µg/g	Localidad	Fuentes
<b>Oleaceae</b>			
<i>Chionanthus domingensis</i> (*)	1574	Cuba, Puerto Rico	3,5
<i>Linociera axillaris</i>	174	Cuba	5
<b>Rubiaceae</b>			
<i>Ariadne shaferii</i> ssp. <i>moaensis</i>	22360	Cuba	5
<i>Ariadne shaferii</i> ssp. <i>shaferii</i>	13070	Cuba	5
<i>Phyllomelia coronata</i>	25540	Cuba	5
<i>Psychotria alainii</i>	109	Cuba	5
<i>Psychotria androsaemifolia</i>	445	Cuba	5
<i>Psychotria cathetoneura</i>	121	Cuba	5
<i>Psychotria clementis</i>	19090	Cuba	5
<i>Psychotria costivenia</i>	38530	Cuba	5
<i>Psychotria glomerata</i>	10250	Cuba	5
<i>Psychotria osseana</i>	12780	Cuba	5
<i>Psychotria plumieri</i>	160	República Dominicana	5
<i>Psychotria vanhermanii</i>	35720	Cuba	5
<i>Rondeletia odorata</i> ssp. <i>bullata</i>	132	Cuba	5
<i>Rondeletia</i> sp. A	8727	Cuba	5
<i>Rondeletia</i> sp. B	6075	Cuba	5
<b>Tiliaceae</b>			
<i>Tetralix brachypetalus</i>	13610	Cuba	5
<i>Tetralix cristalensis</i>	9014	Cuba	5
<i>Tetralix jaucoensis</i>	3276	Cuba	5
<i>Tetralix moaensis</i>	3382	Cuba	5
<i>Tetralix nipensis</i>	2674	Cuba	5
<b>Violaceae</b>			
<i>Hybanthus linearifolius</i>	107	Puerto Rico	1
<i>Hybanthus wrightii</i>	350	Cuba	1

**Nota:** en los casos de varias muestras de la misma especie sólo se tomaron los máximos valores.

Fuentes:

1- Brooks R., 1977

2- Berzaín R., 1984

3- Medina *et al.*, 1994

4- Reeves *et al.*, 1996

5- Reeves *et al.*, -en prensa-

(\*) al tomar el valor máximo se considera como hiperacumuladora para Cuba, en Puerto Rico presenta valores más bajos.

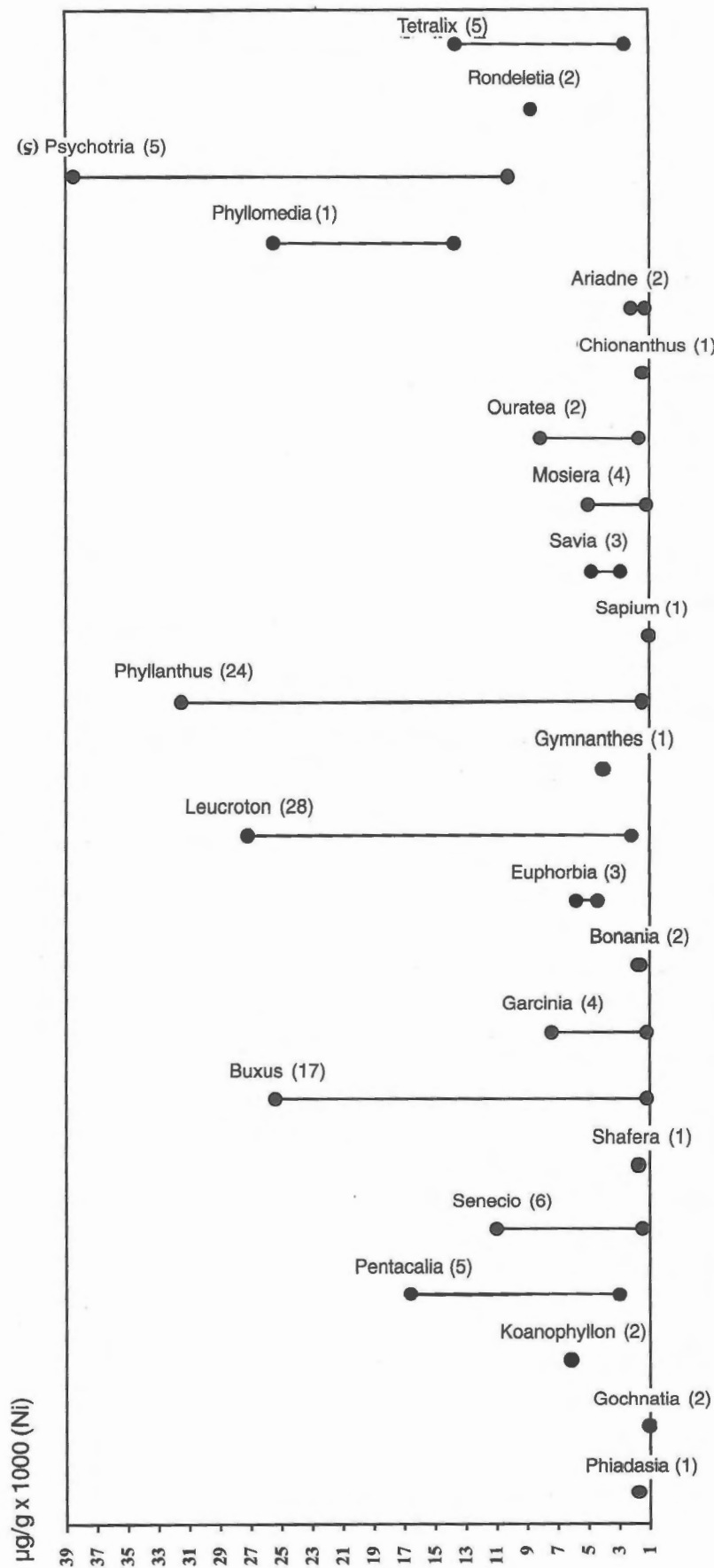


Fig.7. Valores de la concentración de níquel en hojas de géneros que poseen especies hiperacumuladoras (entre paréntesis el número de especies para cada género). En el caso del género *Phyllanthus* no se incluyó el valor de 60170 µg/g de *Phyllanthus x pallidus* por una cuestión de escala.