

EL EFECTO ECOLÓGICO DE LA ROCA SERPENTINA A LA FLORA Y VEGETACIÓN DE CUBA

A. BORHIDI

Instituto de Ecología y Botánica de la Academia de Ciencia de Hungría,
H-2163, Vácraátót

(Llegado: 15 September, 1985)

A multidirectional approach for understanding the main ecological effects of the serpentine on the flora and vegetation is intended. For introduction a short survey of the soil types, their classifications and the main correlations between soils and vegetation types are given. The ecological importance of the different serpentine factors are widely discussed, then a dynamic concept about the mechanism of the complex serpentine effects on the flora and vegetation is proposed, with several concrete examples selected from the flora and vegetation of Cuba. Size, age and composition of serpentine areas as factors stimulating speciation and isolation of serpentine floras is dealt with, with a special emphasis to the evolution of serpentine endemics. A model of soil and flora evolution is also presented. The main effects of serpentine to tropical vegetation provoking sclerophyllous, microphyllous etc. plant communities of slow metabolism and low intensity of competitive activity are discussed, as well as the descendance or/and inversion of vegetation belts on serpentine. Influence of serpentine on the chorology and area types of cryptogams and phanerogams is also treated. Pseudoxeromorphism or peinomorphy of serpentine vegetation as a general adaptive response to different deficiency stresses is stressed.

BREVE RESEÑA DE LAS RELACIONES EXISTENTES ENTRE LOS SUELOS
Y VEGETACIÓN DE CUBA

Constitución geológica

La riqueza de la flora de Cuba y la variedad de su vegetación esta en correlación, en gran medida, con las considerablemente variadas condiciones edáficas del archipiélago cubano. Esto se explica por estar la Isla de Cuba constituida por muchos tipos de rocas (calizas de edad variada, dolomitas, serpentinitas, areniscas, pizarras, asi como de basaltos, granitos, granodioritas, dioritas, piroxeno-andesitas, andesitas, gabros etc.), sobre los cuales y a causa de un complejo pasado geológico, se

Akadémiai Kiadó, Budapest

realizaron variados procesos de desarrollo de los suelos, que tuvieron distinta duración. Por otra parte, unas áreas: como las sierras de Nipe, Cristal, Moa y Baracoa desde el oligoceno han estado constantemente aisladas, mientras una gran parte de las llanuras y de las zonas costeras es bastante joven, pues datan del periodo cuaternario. Es comprensible, que los diversos procesos de desarrollo a que estuvieron sometidos, causaran la formación de diversos tipos de suelos en variadas cantidades y extensión.

Clasificación de suelos de Cuba según Bennett y Allison

Se han preparado 3 obras sinópticas acerca de los suelos de Cuba, realizadas desde diversos puntos de vista. La primera es el libro de BENNETT y ALLISON (1928) que cuenta con un mapa edáfico anexo, realizado a escala 1:1 000 000, de BENNETT (1932). Esta clasificación se basa, principalmente, en caracteres morfológicos (color, estructura, consistencia, características químicas más importantes, presencia de mocarrero o de un horizonte gleyzado acementado, drenaje, origen geológico etc.). Los autores investigaron los suelos de las áreas agrícolas y agropecuarias; mientras los territorios de los bosques, en su mayor parte, quedaron fuera de sus estudios. Clasificaron los tipos de suelos en series y las series en familias parecidamente a un sistema taxonómico botánico o zoológico. El sistema de suelos de Cuba de acuerdo a BENNETT trata 15 familias y 108 series, las cuales llevan los nombres de las localidades geográficas, donde colectaron cada muestra típica del correspondiente suelo (p.e.: familia Matanzas, Nipe, Truffin, Bayamo, Esmeralda, Habana, Norfolk etc.). Su mapa contiene — con algunas integraciones — la distribución de 79 tipos.

El concepto genético de Zonn

ZONN (1968) y anteriormente ZONN, VÁZQUEZ y CABRER-MESTRE (1966) mediante sus análisis propios, apoyándose en los de otros autores, principalmente húngaros (KLIMES-SZMIK, SZABÉDI), elaboraron un sistema genético de los suelos que se basa en su estado de desarrollo evolutivo. Esto, ante todo, puede ser medido en las relaciones moleculares características del suelo y de la fracción arcillosa, en las proporciones moleculares de $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$, $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ y $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$. Su sistema consta de 6 grupos de los tipos de suelos y 17 tipos dentro de estos:

- I. Suelos ferralíticos rojos
 1. Suelos ferralíticos rojos carbonáticos
 2. Suelos ferralíticos rojos ácidos

- II. Suelos cuarzo-alíticos
 - 3. Suelos cuarzo-alíticos humificados
 - 4. Suelos cuarzo-alíticos lixiviados
 - 5. Suelos cuarzo-alíticos y pseudogleizados
 - 6. Latosoles pseudopodzólicos
 - 7. Suelos cuarzo-alítico-ferríticos amarillos pseudopodzólicos
- III. Suelos formados en serpentinita
 - 8. Suelos ferríticos
 - 9. Suelos ferralíticos
 - 10. Suelos pseudopodzólicos magnesio-sialíticos humificados
- IV. Suelos humico-carbonatados sialíticos
 - 11. Calizos humico-carbonatados
 - 12. Suelos ferralito-calcicos
- V. Suelos pardos sialíticos
 - 13. Suelos pardos carbonáticos
 - 14. Suelos pardos lixiviados
- VI. Suelos oscuros o aluviales
 - 15. Suelos oscuros carbonato-sulfáticos
 - 16. Suelos negros lavados
 - 17. Suelos humicos gleyizados

No se ha realizado el mapa sobre la distribución de los tipos de suelos antes listados.

Primera clasificación genética de los suelos confeccionada por
pedólogos cubanos

El Instituto de Suelos de la Academia de Ciencias de Cuba bajo la dirección de O. ASCANIO, J.N.P. JIMENEZ y A. HERNANDEZ elaboraron un sistema detallado de los tipos genéticos para los suelos de Cuba (1968), el cual, en su concepción, se parece al anterior, pero en el se da más importancia a las particularidades del génesis de los suelos a su morfología y a la calidad de la roca madre. Este sistema contiene 17 tipos principales, dentro de estos, 100 tipos genéticos, según el origen del tipo o la calidad de la roca madre. Estos son los siguientes (entre paréntesis se hace constar la cantidad de los tipos): 1. Latosoles (4), 2. Latosólicos (20), 3. Arenas grises débilmente gleyizadas (1), 4. Negros tropicales (4), 5. Pardos tropicales (18), 6. Calizos pardos y rojos (9), 7. Calizos humificados (8), 8. Praderas tropicales (17), 9. Suelos aluviales (1), 10. Mocarreros (4), 11. Suelos montañosos rojo-amarillentos (7), 12. Suelos montañosos amarillos (2), 13. Turba (1), 14. Suelos cenagosos (1), 15. Ciénaga costera (1), 16. Suelos salinos (1), 17. Carso llano o piedra hueca (diente de perro) (1).

En el año 1968 se realizó un mapa a escala de 1:250 000 y uno de 1:1 000 000 sobre la distribución de estos tipos.

Tipos de suelos que incluye

Las unidades de la 3 clasificaciones mencionadas, en parte son semejantes o coinciden; esto se demuestra en la tabla No. 1. en la cual presentamos algunos ejemplos de los correspondientes tipos

Tabla 1

BENNETT	ZONN	ASCANIO y otros
Matanzas	Suelos ferralíticos rojos ácidos	Latosólico rojo
Nipe	Suelos ferralíticos	Latosoles
Bayamo	Suelos humico-carbonático sialítico	Negro tropical
Guantánamo	Suelo carbonático pardo	Calizo pardo
Mocarrero	Latosoles pseudopodzólicos	Mocarrero
Guane	Suelos cuarzo-alíticos lixiviados	Latosólico amarillo

Dos clasificaciones de suelos más recientes

En el Primer Simposio del Instituto de Suelos de la Academia de Cuba (1975) presentaron dos clasificaciones nuevas. Una de ellas elaborada por TATEVOSIAN, HERNANDEZ, OBREGÓN y otros: "Segunda clasificación de suelos genética de Cuba" es más moderna, más detallada de la primera, sobre todo, en cuanto a la clasificación de los suelos esqueléticos, rendzinas, aluviales, cenagosas, vertisoles y pardos tropicales. La otra clasificación realizada por ASCANIO, sirve para la determinación diagnóstica muy aplicada y caracterización de suelos para la práctica de la agricultura. Esta última une en una forma explicativa la base teórica de la pedología genética con los requerimientos de la práctica agraria. También ayuda grandemente al ecólogo en el reconocimiento rápido de los mas importantes tipos de suelos.

Notas ecológicas sobre las clasificaciones de suelos de Cuba

Las clasificaciones mencionadas — basadas en análisis e investigaciones correctas y detalladas — indican al ecólogo y al pedólogo, que la gran mayoría de los tipos clasificados representa perfiles incompletos, decapitados, erosionados o por lo menos modificados por la influencia

antrópica de muchos siglos. Esto aparece muy significativamente, cuando comparamos perfiles en ecosistemas naturales con los descritos por BENNETT, ZONN etc. Estos perfiles descritos se encuentran muy raramente bajo una vegetación natural. TATEVOSIAN (Simposio del Instituto de Suelos, 1975) expresó que los suelos cubanos son mayormente tipos muy viejos, caracterizados por una permeabilidad lenta y escasa, por una acumulación grande, por la circulación de materiales disminuida y por una baja actividad microbiológica. Desde el punto de vista ecológico, estas características no indican necesariamente la vejez del suelo, A mi juicio, los bosques tropicales de distintos tipos predominaron originalmente en casi todo el territorio de Cuba (BORHIDI 1974, BORHIDI y HERRERA 1977, BORHIDI y MUÑIZ 1980, 1984) sobre suelos silvestres caracterizados por un horizonte A más o menos rico en materias orgánicas y humificadas. Después de la intensa tala y quema de los bosques este estrato superior se descompuso en parte y en su mayoría se perdió por la erosión. El horizonte A actual es el producto de una sucesión secundaria y se ha formado del estrato superior del horizonte B original que ocupó de esta manera la superficie y se ha reactivado debido a la larga sucesión secundaria provocada por la influencia de las sabanas semiantrópicas y antrópicas. Este nuevo horizonte A constituye una capa estrecha y más pobre en nutrientes y materias humificadas de lo que fue el original. Tiene características físicas y químicas menos favorables y más baja fertilidad, permeabilidad y actividad biológica. La diferencia entre los horizontes A actual y original es causada también por la menor producción de biomasa de las sabanas, y también por las consecuencias desfavorable pedozoológicas microbiológicas de la quema repetida. Pues tengo la opinión que los suelos de las llanuras cubanas deben considerarse como suelos deteriorados por el hombre, degradados o por lo menos modificados y no son suelos muy antiguos, — salvo algunos latosoles de serpentinita. Sobre los suelos de los bosques tenemos pocas informaciones todavía.”

ALGUNAS RELACIONES ENTRE SUELOS Y VEGETACIÓN

Tipos de suelos — tipos de vegetación

Al comparar el mapa genético de los suelos de Cuba y el mapa de vegetación potencial (BORHIDI y MUÑIZ 1980, 1984) se puede determinar muchas diferencias y paralelismos. Primeramente, que el número de los tipos de suelos es mucho mayor que el de tipos de vegetación, así pues, la

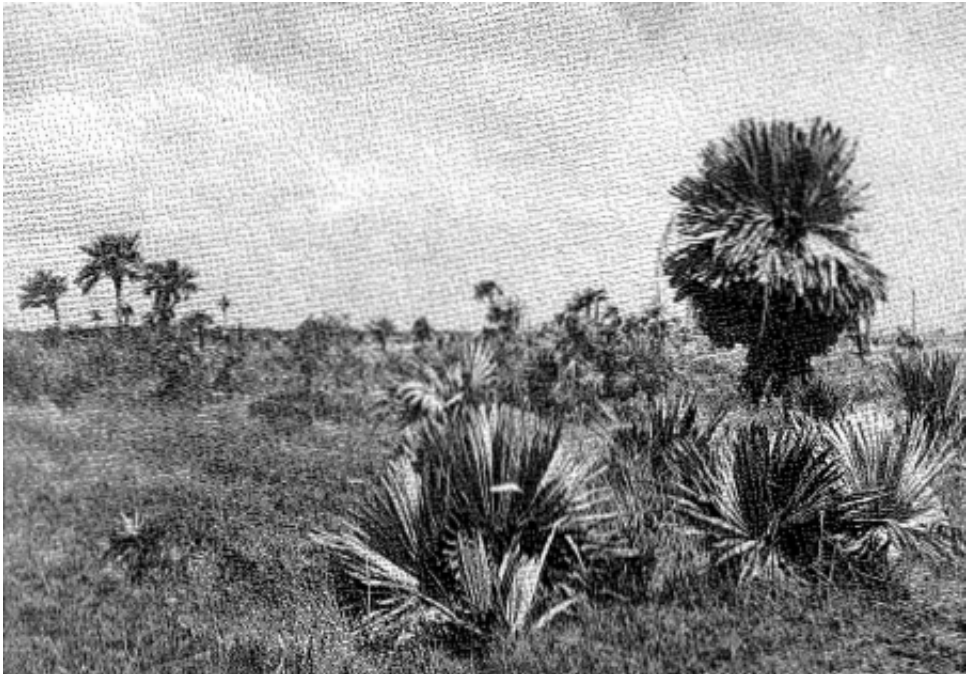


Fig. 1. Sabana serpentinoso secundaria, considerada por LEÓN como original, en San Serapio, prov. Camagüey, con palmas endémicas (Foto: A. BORHIDI)

calidad del suelo no siempre es el factor determinante en la formación de la vegetación. Los tipos de vegetación climax son sensibles solamente a cambios abruptos entre suelos muy diferentes. El climax es capaz de compensar diferencias edáficas menos notables.

Tipos de suelos sobre serpentinita

Se ve claramente que la serpentinita, dentro de cada tipo de suelo, forma un tipo de vegetación distinto respecto al que se desarrollaría en otra roca basal. La influencia de la serpentinita se manifiesta en todos los tipos genéticos de suelos, aunque poco en los pardos tropicales. Es de notar que en los suelos latosólicos se pueden formarse muy distintos tipos de vegetación, mientras algunas formaciones vegetales, como los bosques semidecíduos o los pinares pueden desarrollarse en tipos de suelos muy diferentes. Las relaciones suelo-vegetación resumidas en el párrafo siguiente, no son obligadas pero se presentan, con gran frecuencia.



Fig. 2. Matorral serpentinoso, la vegetación original en San Serapio, prov. Camagüey (Foto: A. BORHIDI)

Relaciones frecuentes entre suelos y vegetación

Se puede afirmar, que los pinares y las pluvisilvas montanas esclerófilas crecen con gran probabilidad en los latosoles y los suelos cuarzó-alíticos y arenosos grises, pobres en nutrientes, son cubiertos también mayormente por pinares. En los suelos serpentinosos sialíticos o alito-ferríticos (esqueléticos) crecen matorrales siempreverdes, o espinosos secos, mientras que en las calizas una vegetación de estructura similar crece sobre suelos húmicocarbonáticos pardos (rendzina tropical). En los suelos negros tropicales la vegetación original está formado por bosques aluviales, al igual que en las praderas tropicales – según esta clasificación – que originalmente también estaban cubiertas por bosques. Los suelos pardos tropicales, en su mayor parte, estuvieron cubiertos por bosques semidecíduos, mientras en los latosólicos rojos la vegetación original

típica era el bosque siempreverde estacional de llanura y el bosque semidecuido tropical. En los suelos rojo-amarillentos encontramos las pluvisilvas tropicales submontanas, mientras que las pluvisilvas montanas húmedas y los bosques nublados que corresponden a la ceja de los Andes viven, por lo general, en suelos tropicales amarillos. Los mocarreros, a pesar de sufrir la fluctuación intensa del nivel freático no estaban cubiertos por sabanas originales, como lo supusieron BENNETT y ALLISON (1928). La capa vegetal original de los mocarreros era un matorral o un bosque arbustoso espinoso decuido o semidecuido, que se convierte rápidamente en sábanas a consecuencia de la quema, y su repoblación por bosque se realiza muy lentamente. Por eso en los mocarreros, por lo general, encontramos sabanas semiantropicas con palmas de los géneros Sabal y Copernicia, o maniguas secundarias de marabú (Dichrostachys cinerea).

En las lomas del carso cónico (mogotes) dominan los bosques arbustosos deciduos especiales o los bosques semidecuidos micrófilos, que se denominan bosques de mogote. El tipo de carso llano desnudo, llamado piedra hueca o diente de perro, también, está cubierto por un mosaico de bosques semidecuidos, deciduos y esclerófilos secos. La vegetación costera está bastante rigurosamente determinada por la calidad geológica de la costa. En las playas arenosas encontramos una vegetación especial característica, mientras en las costas rocosas, altas (seborucos) crece un matorral espinoso, mayormente esclerófilo, con endémicos aislados. Las costas bajas, fangosas están cubiertas por manglares. En las cuencas bajas de mal drenaje se desarrolla una vegetación cenagosa, con herbazales de ciénaga, bosques de ciénaga siempreverdes y deciduos. A lo largo del borde interior de los manglares se extienden suelos extremadamente salinos, cubiertos por una vegetación baja formada por arbustos y semiarbustos suculentos y enanos. La tabla 2 muestra las relaciones más frecuentes entre las formaciones vegetales y tipos de suelos, teniendo en cuenta la nomenclatura de distintas clasificaciones de suelos de Cuba, publicados en 1973, 1975 y 1979 respectivamente (según CAPOTE y BERAZAIN 1985).

Tabla 2

Relaciones entre tipos de suelos y los de vegetación según
Capote y Berazain 1985

Formación vegetal	1973	1975	1979
1. Formaciones arbóreas:			
Bosques:			
I.1. Bosque pluvial:	Latosólico	Ferralítico	Ferralítico
I.1.1. de llanuras	Amarillo tropical	rojo	rojo
I.1.2. montano	Latosólico Amarillo tropi- cal	Ferralítico amarillento lixiviado Ferralítico rojo Ferrítico púrpura	Ferralítico amarillento lixiviado Ferralítico rojo Ferrítico púrpura
I.2. Bosque nublado	Latosólico Latosol Amarillo tropical	Ferrítico púrpura Ferralítico amarillento lixiviado	Ferrítico púrpura Ferralítico amarillento lixiviado
I.3. Bosque siempreverde			
I.3.1. mesófilo	Latosólico Amarillo tropical Pardos	Ferralítico rojo Fersialítico pardo-rojizo Pardo	Ferralítico rojo Fersialítico pardo-rojizo Fersialítico rojo-amari- llento Pardo con carbonatos
I.3.2. micrófilo	Calizos humi- ficados	Rendzina roja Rendzina negra	Rendzina roja Rendzina negra
I.4. Bosque semideciduo			
I.4.1. mesófilo	Calizos humi- ficados Pardos	Rendzina roja Rendzina negra Pardo con diferenciación de carbonatos	Rendzina roja Rendzina negra Pardo con carbonatos
I.4.2. micrófilo	Esquelético sobre piedra hueca	Esquelético	Protorendzina negra Protorendzina parda Esquelético

Tabla 2
(continuación-2)

Formación vegetal	1973	1975	1979
I.5. Bosque de ciénaga	Gley tropical	Pantanosos	Cenagosos (1)
I.6. Bosque de galería	Aluvial	Aluvial	Aluvial
I.7. Bosque de mangles	Gley tropical	Pantanosos	Cenagosos (1)
I.8. Bosque de pinos	Latosol Latosólico Amarillo tropical Pardo tropical	Ferrítico púrpura Ferralítico cuarcítico Esquelético	Ferrítico púrpura Arenoso cuarcítico Ferralítico cuarcítico amarillento Esquelético
II. Formaciones arbustosas:			
Matorrales:			
II.1. Matorral xeromorfo costero y sub-costero	Esquelético sobre piedra hueca Pardos	Esquelético Rendzina roja Rendzina negra Pardo con diferenciación de carbonatos	Esquelético Rendzina roja Rendzina negra Pardo con carbonatos
II.2. Matorral xeromorfo espinoso sobre serpentina	Pardo tropical	Fersialítico pardo-rojizo	Fersialítico pardo-rojizo
II.3. Matorral xeromorfo sub-espinoso sobre serpentina	Latosol Pardo tropical	Ferrítico púrpura Fersialítico pardo-rojizo	Ferrítico púrpura Fersialítico pardo-rojizo
II.4. Matorral sub-alpino	Pardo amarillento montañoso	(2)	(2)
III. Formaciones herbáceas:			
III.1. Comunidades acuáticas de aguas dulces (3)			
III.2. Comunidades halófitas	Suelos salinos	Solonchak Solonetz	Solonchak Solonetz
III.3. Herbazal de ciénaga	Gley tropical	Pantanosos	Cenagosos (1)
III.4. Herbazales de orillas de ríos y arroyos	Aluvial	Aluvial	Aluvial
IV. Complejos de Vegetación:			
IV.1. Mogotes	Esquelético sobre piedra hueca	Rendzina roja Rendzina	Rendzina roja Rendzina

Tabla 2
(continuación-3)

Formaciones vegetales	1973	1975	1979
IV.1. Mogotes	Calizos humificados Pardos latosólicos	negra Pardo con diferenciación de carbonatos Ferralítico rojo	negra Pardo con carbonatos Ferralítico rojo
IV.2. Vegetación de costa rocosa	Esquelético sobre piedra hueca Calizos humificados	Rendzina roja Rendzina negra	Rendzina roja Rendzina negra Protorendzina negra Protorendzina parda
IV.3. Vegetación de costa arenosa		arenoso carbonatado (4)	
V. Vegetación secundaria:			
V.1. Bosques secundarios (5)			
V.2. Matorrales secundarios (5)			
V.3. Sabanas	Negro tropical	Oscuros plásticos gleyzados Oscuros plásticos gleyzados Oscuros plásticos no gleyzados	Oscuros plásticos gleyzados Oscuros plásticos neoautomórficos Pardo grisáceo
V.4. Vegetación ruderal (5)			
V.5. Vegetación segetal (5)			
NOTAS: (1): Nivel de Agrupación (2): Unidades de suelos no descritas (3): No se encuentran sobre suelos (4): No comprendido en estas clasificaciones (5): Sobre todas o casi todas las unidades de suelos			

El efecto de la roca serpentina en la flora y la vegetación

El efecto ecológico que la roca serpentina ejercido sobre la flora ha sido analizado en todas las zonas climáticas de la tierra y se la determinado, que las áreas de serpentinita tienen una flora especial y en todas

partes constituyen territorios particularmente interesantes desde el punto de vista de la evolución de las especies y de la conservación de la flora antigua (relictas).

Serpentina y endemismo

RUNE (1953) planteó que las rocas de alto contenido de Ca y Mg (serpentina, magnesita, dolomita, caliza, yeso, gabro) favorecen la formación y conservación de especies paleoendémicas y relictas, mientras que en los suelos ricos en metales pesados se desarrollan, principalmente, los táxones neoendémicos. La serpentinita une estas dos particularidades químicas y por esto las floras de las áreas de serpentinita son ricas en paleoendémicos y en neoendémicos.

Riqueza de especies en las serpentinitas

Segun KITAMURA (1950), RUNE (1953) y WHITTAKER (1954) la riqueza de la flora serpentinicola depende de la extensión del área de la serpentina y de la riqueza florística de las zonas alledañas, o sea, del espacio y de la capacidad del almacén genético circundante.

La serpentinita como un complejo de los factores ecológicos

Al analizar los mecanismos de la influencia de la serpentinitas, la mayoría de los investigadores apoya la opinión (vea el resumen de KRAUSE, 1958) de que la serpentinita ejerce su influencia ecológica por la combinación de varios factores limitantes equivalentes, la llamada "combinación de serpentina". Esta combinación es producto de los siguientes factores:

a) Proporción Ca/Mg: BLACKSHAW (1920), NOVAK (1928), BECKETT (1965), PROCTOR (1971a, b), además LYON, PETERSON, BROOKS y BUTLER (1971), consideran determinante la baja proporción de Ca/Mg de los suelos de serpentinita, la que hace peligrar la estabilidad del equilibrio celular interno del calcio y magnesio de los organismos, o mas precisamente limita el desarrollo de este equilibrio. La proporción de Ca/Mg en los suelos jóvenes sobre serpentinita en Cuba es: 0.01-0.5, ni siquiera en los latosoles más maduros alcanza el valor de 1. Este factor es probablemente muy importante y aclara el por qué la serpentinita implica biótopos insoportables para otras plantas tolerantes al magnesio, que viven por ejemplo, en dolomita o yeso. A la vez se puede determinar que ni el alto contenido, ni el exceso de Mg son caracteres permanentes de los suelos de serpentina. BENNETT y ALLISON

(1928) además de ROBINSON, EDGINGTON y BYERS (1935) demostraron, que los latosoles y los latosólicos de serpentinita son prácticamente libres de magnesio. Es indudable que por la inestabilidad del equilibrio del calcio y magnesio, el carácter ultrabásico de los suelos jóvenes de serpentinita de contenido de SiO_2 relativamente bajo, puede cambiar rápidamente. Este cambio rápido causa, en muchos casos, el carácter ecológico bifacial de la serpentinita: que a la vez es relativamente básica y ácida.

b) Pobreza de nutrientes u oligotrofismo: GORDON y LIPMAN (1926) resaltan el papel de los valores altos de pH acompañados por la pobreza en N y P en los suelos de serpentinita. SPENCE y MILLAR (1963) acentúan la importancia ecológica del nivel bajo de K, N y P en el suelo. ROBINSON et al. (1935) llaman la atención sobre el lavado del Si durante la evolución del suelo, además de la pobre reserva de Al de las arcillas de la capacidad de absorción condicionada por la falta de Ca. BENNETT y ALLISON señalaron que la arcilla de los latosoles de serpentinita en Cuba tiene una capacidad de absorción 10 veces menor que la fracción arenosa de un loam arenoso. LIPMAN (1926) subraya la pobreza extraordinaria de la microflora de estos suelos.

c) Falta de calcio: KRUCKEBERG (1954) y WALKER (1954) consideran que el papel determinante que desempeña la falta del Ca como factor limitante y lo secundario que resulta el Mg. Sin embargo en el caso de la serpentinita los dos factores son inseparables.

d) El efecto tóxico del magnesio: PROCTOR en sus excelentes estudios (1970, 1971b) señala reiteradamente al fuerte efecto tóxico del Mg. Con sus experimentos comprobó que en proporción baja de Ca/Mg el efecto tóxico del Mg es lo que resulta decisivo. El efecto tóxico más fuerte lo produjo el Mg cuando el Ca faltaba por completo, y con una mínima adición del Ca el efecto toxicante disminuyó notablemente. Así PROCTOR, aproximando el problema al otro lado, reforzó la tesis de KRUCKEBERG y WALKER sobre la importancia de la falta de Ca.

Sin embargo, los estudios de BERAZAIN (1976, 1981) realizados en Cuba, señalan que las plantas serpentínicas logran el equilibrio de la baja proporción de Ca/Mg del suelo mediante un fuerte control de absorción. Ella analizó 6 especies serpentínicas y encontró que el índice en las hojas de todas las plantas estudiadas figuraba cerca o sobre de 1, a pesar de la proporción baja — 0.09–0.17 — de Ca/Mg en los suelos. Entre las 6 especies analizadas el Leucocroton havanensis Borhidi (L. flavicans auct. cub. non Muell. Arg.) se presentó como tolerante de serpentinita más eficiente, porque en sus hojas la proporción de Ca/Mg aproxima el óptimo fisiológico (Tabla 3).

Tabla 3

Análisis de contenido de elementos del suelo de serpentinita y de las plantas que viven en ella. Loma Galindo, Prov. Matanzas, Cuba; según BERAZAIN 1981

	Ni	Co	Mg	Fe	Ca	Cu	Zn	Ca/Mg
Latosólico de serpentinita								
Horizonte A:	1.58	0.03	5.81	12.1	1.04	0.00	0.00	0.17
Horizonte B+C	1.29	0.02	11.61	9.9	1.04	0.00	0.00	0.09
Plantas serpentínicas								
<u>Leucocroton</u> <u>havanensis</u>	11.45	0.05	7.13	0.18	26.58	0.02	0.05	3.72
<u>Buxus flavi-</u> <u>ramea</u>	6.34	0.02	13.75	0.26	18.36	0.02	0.04	1.26
<u>Myrtus matan-</u> <u>zasia</u>	0.89	0.03	12.50	0.50	11.60	0.04	0.03	0.92
<u>Neobrachea valen-</u> <u>zuelana</u>	0.12	0.01	14.50	0.38	20.78	0.03	0.04	1.43
<u>Ternstroemia</u> <u>peduncularis</u>	0.02	0.01	6.25	0.13	13.34	0.02	0.03	2.13
<u>Coccothrinax</u> <u>miraguama</u>	0.05	0.01	2.50	0.18	3.38	0.02	0.06	1.35

e) Falta de molibdeno: Está demostrado por JOHNSON, PEARSON y STOUT (1952) el papel ecológico de la pobreza de los suelos de serpentinita en microelementos fisiológicamente importante, principalmente en Mo.

f) Contenido alto de hierro: Según los análisis de SARASIN (1977), GÜHLERT (1928), MINGUZZI y VERGNANO (1953) este factor juega un importante papel en la provocación del nanismo de las plantas. Es cierto que una de las particularidades más visibles de las plantas serpentínicas es la estatura enana. En los suelos de serpentinita el contenido de Fe_2O_3 se puede elevar hasta 80%. WILTSHIRE (1974) demostró en Rodesia que en plantas resistentes a las serpentinas la acumulación de Al y Fe se elevó a un nivel que resulta tóxico causado por su nutrición con nitratos.

Todas las seis especies estudiadas por BERAZAIN (1981) se detectaron como acumuladores notables de Fe, sin embargo, ninguna de ellas mostró estatura enana en comparación con las demás especies de sus respectivos géneros. Según mis observaciones, el enanismo, en Cuba, se presenta sólo en los latosoles maduros de los territorios de serpentinita más antiguos, donde los suelos contienen más del 50% de Fe_2O_3 (Arcilla de Nipe).

g) El efecto tóxico del níquel: El efecto del alto contenido de Ni en los suelos fue estudiado recientemente por varios autores. HUNTER y VERGNANO (1952), CROOKE y INKSON (1955), CROOKE (1956), SOANE y SAUNDER (1959), PROCTOR (1971a, b), PROCTOR y WOODSELL (1971), BROOKS, LEE y JAFFRÉ (1974), WILTSHIRE (1974) y BERAZAIN (1981) estudiaron la tolerancia al Ni de plantas serpentinícolas de distintos orígenes. Esos autores concuerdan en afirmar que el efecto tóxico del Ni debe considerarse notable, sin embargo las plantas acumulan el Ni en grandes cantidades, además de que la intensidad de la absorción de Ni aumenta en suelos ácidos. HUNTER y VERGNANO suponen que en caso de plantas adaptadas al Ni (p.e. Alyssum Bertoloni) este elemento podría jugar un papel positivo en la fisiología de la planta, tal vez ellas substituyen la falta de Ca mediante el Ni. Esta teoría todavía no ha sido confirmada. Por otra parte WILTSHIRE señaló que la tolerancia no dependía de la cantidad acumulada de Ni sino de localización en las plantas. Las poblaciones más tolerantes acumulan igual cantidad de Ni que las menos tolerantes, pero las primeras lo acumulan principalmente en los raices y dejan pasar poco al tallo.

Las investigaciones de BERAZAIN revelan que las especies de pequeñas áreas acumulan más Ni que los táxones de gran área de distribución. Se sabe también que en las hojas de las palmas apenas se acumulan metales pesados (Tabla 3).

GREGORY y BRADSHAW (1965), PROCTOR (1971b) y WILTSHIRE afirman que la tolerancia al Ni es menos específica que la tolerancia al cobre, y que el cromo y el cobre influyen más efectivamente en el mecanismo de la evolución de las especies que el Ni. Este fue comprobado también por DUVIGNAUD (1959), DUVIGNAUD y PLANCKE (1959), DUVIGNAUD y TIMPERMANN (1959) en Katanga, por JACOBSEN (1967, 1968), WILD (1968, 1970), WILTSHIRE (1974) en Rhodesia y por DREW y REILLY (1974) en Zambia.

h) Efecto disgeógeno: Las serpentinitas condicionadas por su descomposición disgeógena, lentísima, crean formas geomorfológicas abruptas de diseño especial, que tienen espacios microclimáticos extremos y biótopos de competencia baja. De esta forma las serpentinitas ejercen un efecto parecido al de las dolomitas (GAMS 1930, ZÓLYOMI 1942) y de otras rocas disgeógenas, como por ejemplo, las cuarcitas, las areniscas, o las arenas sueltas.

i) Características físicas: Varios investigadores (NOVAK y PELISEK, 1940; BENNETT y ALLISON, 1928; RUBINSON et al., RUNE, LAM, 1927) resaltaron las particularidades físicas características de los suelos de serpentinita,