

realiza en forma de una diferenciación lenta. Para esta etapa la base genética está suministrada por la flora serpentínica formada ya con anterioridad en las condiciones ecológicas de la primera fase. Fuera de esta flora pionera pueden participar en la formación de la flora serpentínica de la segunda etapa, las plantas de las zonas de suelos ácidos circundantes, suelos cuarzo-alíticos, suelos montanos amarillos por invasión e intervención genética, refrescando de esta manera los recursos genéticos de las áreas de serpentinitas. Para estas plantas se abre una superficie de penetración en los lugares donde el ritmo de la lixiviación es más rápido que el de la adaptación de la flora local. Como la mayoría de las especies de los matorrales pioneros de serpentina no pueden adaptarse a los suelos sialíticos ácidos de la segunda etapa, las pluvisilvas esclerófilas de serpentina son más pobres en endémicos que los matorrales. Por otra parte la flora de las pluvisilvas esclerófilas se enriquecen con materiales genéticos nuevas las que pueden servir, en el próximo estado de la evolución del suelo, como puntos de partida de una nueva evolución florística; por ejemplo: Talauma minor ssp. minor → Talauma minor ssp. oblongifolia, Cyrilla racemiflora → C. nipensis, Cyrilla cubensis → C. nitidissima, Ilex macfadyenii → I. moana, etc.

c) Etapas de la latosolización. El efecto de los metales pesados. En la última fase de la latosolización, a consecuencia de la lixiviación intensa del SiO_2 y de Al_2O_3 , se desarrollan suelos ferríticos o latosoles, los que se acumulan gran cantidad de Fe_2O_3 , además de óxidos de Ni, Mn y Cr, los que pueden alcanzar un contenido del 60-70% de Fe_2O_3 y del 1.1-1.6% Ni. No es de dudar, que el enriquecimiento de los latosoles, en metales pesados, ejerza una nueva influencia de choque ecológico en las plantas, a pesar de no ser una influencia tan repentina e intensa como la de las rendzinas de serpentinita, sino una tensión ecológica paulatinamente desarrollada. Al ser los latosoles extremadamente pobres en básicos sustituibles (en la arcilla de Nipe es del 1.1%, según BENNETT y ALLISON, 1928), para las plantas es inevitable durante la absorción del agua y también de los nutrientes, al absorber los iones de metales pesados y luego neutralizarlos y almacenarlos, lo que provoca una nueva ola de adaptación. Este proceso se puede observar en el ejemplo siguiente: en los pinares sobre latosoles la frecuencia de los endémicos tiene una tendencia a ser mayor respecto a las pluvisilvas esclerófilas, que es la vegetación zonal de la etapa anterior. Veamos la siguiente tabla:



Fig. 10. Pluvisilva montana esclerófila en la Sierra de Nipe (Foto: A. BORHIDI)

Tabla 7

Frecuencia de endémicos en distintos tipos de la vegetación serpentínicola en el orden de la sucesión

	Matorrales pioneros (4 comunidades)	Pluvisilvas esclerófilas (3 comunidades)	Pinares (6 communi- dades)	Pinares degradados (3 comunidades)
Endémicos de serpentina en Fr%:	71.65	58.29	63.28	46.67

Como los latosoles tienen varios millones de años de edad pueden haber desarrollado lo que hoy son paleoendémicos y también conservar relictos, como los suelos pioneros ricos en Mg (por ejemplo: Shafera, Koehneola, Feddea, Dracaena cubensis). La tesis de RUNE (1953), que los suelos de los metales pesados inducen, principalmente, el desarrollo de neoendémicos, es válida mas bien en la zona templada holártica, donde la evolución de los suelos se empezó sólo después del último período glaciál. Sin embargo, en

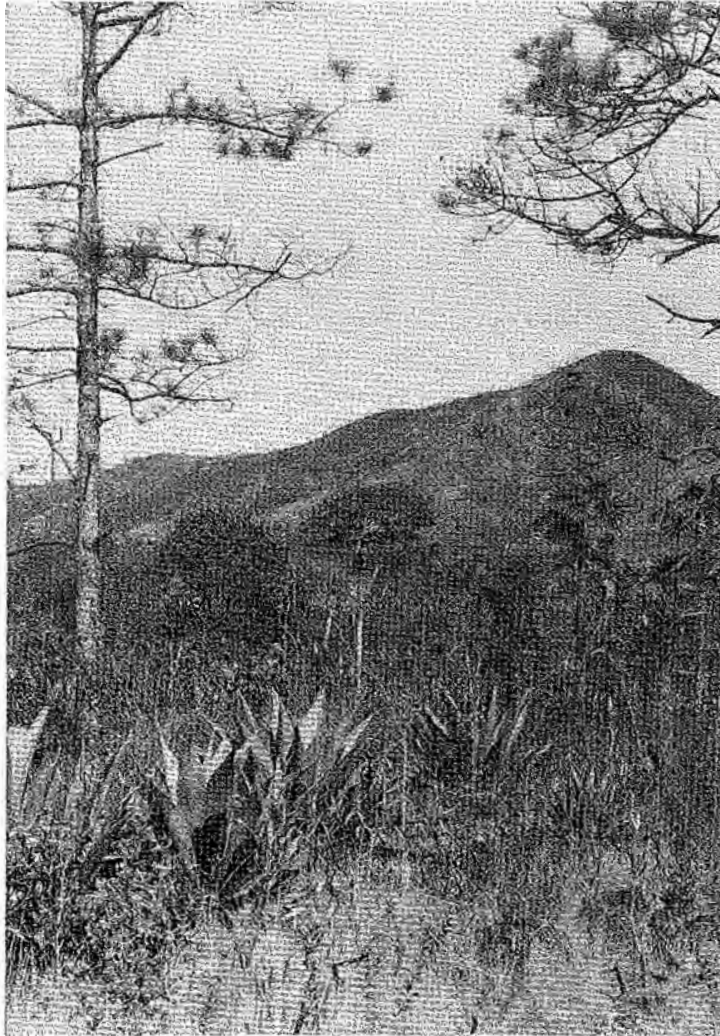


Fig. 11. Pinar abierto sobre serpentina de la Sierra de Nipe, al Norte de la Loma Mensura (Foto: A. BORHIDI)

los trópicos, donde los suelos con muchos metales pesados pueden tener un proceso evolutivo largo, de varias decenas de millones de años; así también sirven como áreas de evolución de una flora rica en paleoendémicos.

SERPENTINA Y COMPETENCIA

Analizando el problema de la competencia, parece que ésta es menos intensa en los latosoles. Los distintos efectos antrópicos, en especial en los pinares de los latosoles, conducen más rápidamente al crecimiento de las plantas indeseables y a la disminución de la flora endémica.

La deriva genética en la evolución de las floras serpentínícolas

Tenemos que señalar que en el mecanismo de evolución de la flora serpentínícola — por lo menos en las condiciones ecológicas de las islas tropicales — la deriva genética (genetical drift) desempeña un papel muy importante. El agotamiento de los bióticos es un proceso que ayuda mucho al aislamiento de los taxones serpentínícolas ya adaptados durante las distintas fases de la evolución del suelo. Pero en la evolución interior y en la diferenciación genética, o sea en la formación de la riqueza de la flora serpentínícola, la deriva genética juega un papel mucho más importante. Como la vegetación serpentínícola, en su mayor parte, está compuesta por poblaciones entomófilas dispersas, de pocos individuos, es grande la posibilidad y probabilidad de que el nuevo carácter evolucionado se derive de la población principal y se establezca aisladamente. Este proceso está presente en las flóculas particulares de los valles de la Sierra de Nipe, a partir de las poblaciones ancestrales de la meseta se desarrolla en distintas direcciones, así cada uno de los valles tiene sus especies endémicas locales de los géneros *Tabebuia*, *Gochnatia*, *Calyptanthus*, *Leucocroton*. En las Cuchillas de Moa y Toa, las distintas mesetas y grupos de lomas tienen sus respectivas florulas propias con abundancia de especies vicariantes de los géneros *Cordia*, *Ilex*, *Buxus*, *Phyllanthus*, etc.

SERPENTINITA Y VEGETACIÓN

WHITTAKER (1954) analizó la influencia de la roca serpentina en la vegetación en la zona templada, y la comparó con la vegetación de diorita del mismo clima y logró a los siguientes conclusiones:

Características de la vegetación de serpentinita

a) El xeromorfismo o pseudoxeromorfismo, esto consiste en que la vegetación de serpentinita, en cuanto a su aspecto fisionómico, es más

seca, que los tipos de vegetación existentes en otros sustratos geológicos, p.e. en caliza. Según WHITTAKER esto no es solamente consecuencia de las características físicas de los suelos de serpentinita, que frecuentemente pueden ser idénticas a los de otros suelos. La estructura de la vegetación es más abierta, lo que permite la mayor penetración de la insolación, el mayor calentamiento del hábitat, el aumento de la oscilación térmica y de la transpiración. Consecuentemente, la vegetación serpentínicola, en las mismas condiciones de temperatura, tiene una pérdida de agua notablemente más grande que la que crece en diorita.

b) Productividad disminuida. La altura, la densidad de la cobertura y por consiguiente, la producción de biomasa de la vegetación serpentínicola son significativamente más bajas que las de las vegetaciones de otros sustratos geológicos.

c) La disminución del número de los estratos verticales de la vegetación de serpentinita está relacionada con la transmisión de las superficies ecológicamente activas hacia niveles más bajos.

d) Las serpentinitas favorecen al desarrollo de ciertas formas eco-fisiológicas (formas de vida), como lo expusó KRÜCKEBERG (1954). Las gramíneas tienen ventaja en el establecimiento y distribución en la vegetación herbácea de las serpentinitas, frente a las demás familias; en los bosques, los pinos frente a los árboles deciduos; en las matorrales los arbustos siempreverdes esclerófilos frente a los arbustos caducifolios. Por lo general, la serpentinita favorece la evolución de un tipo de vegetación compuesta por pinos, arbustos siempreverdes y gramíneas.

SERPENTINITA Y SUCESIÓN

La roca de serpentinita influye profundamente en el proceso de sucesión de la vegetación, en las siguientes cuestiones:

a) La serpentinita tiene una serie sucesional especial y un climax propio, que difiere grandemente de los climax de otros sustratos geológicos, y del llamado climax climático.

b) El estado terminal de la sucesión de serpentinita — lo que podemos considerar como climax edáfico — nunca va a llegar a ser una vegetación de igual producción y valor que la de las áreas circundantes no serpentinosas.

El efecto de la serpentinita en la vegetación tropical. Las tesis antes mencionadas, en cuanto al efecto que ejerce la roca serpentinita en la vegetación, deben completarse con los siguientes ideas:

Es indudable, que la roca serpentina tiene series sucesionales y climax edáfico propios, los que se diferencian de las series y climax climáticos producidos por otras rocas basales en climas similares. Sin embargo, respecto a todas las sucesiones en roca serpentina se desarrollan series y tipos de vegetación equivalentes en cuanto a su fisionomías, estructuras y producciones, en otras rocas, pero en climas notablemente más secos. Esto quiere decir que una comunidad vegetal de serpentina representa un grado ecológico más seco respecto a una de caliza o diorita que vive en clima similar, por lo tanto que climas más secos en roca no serpentinosas, se suelen encontrar comunidades de semejantes estructuras, fisionomías y producciones a los de las rocas serpentinas. En Cuba, las series sucesionales de caliza que son equivalentes, desde el punto de vista fisionómico y de producción, a series de rocas serpentinas se desarrollan generalmente, en climas bixéricos, con un promedio de lluvia anual de 400-500 mm menos que las series pendientes en serpentinas y con estaciones secas de 2-3 meses más largas que aquellas. Esta diferencia ecológica causada por el efecto de las rocas serpentinas se manifiesta, en una forma muy ilustrativa, en un diagrama (Fig. 12.) donde comparamos el índice foliar (índice general del tamaño de hojas - I_f) de asociaciones serpentínícolas y de calizas, en relación al promedio anual de lluvia.

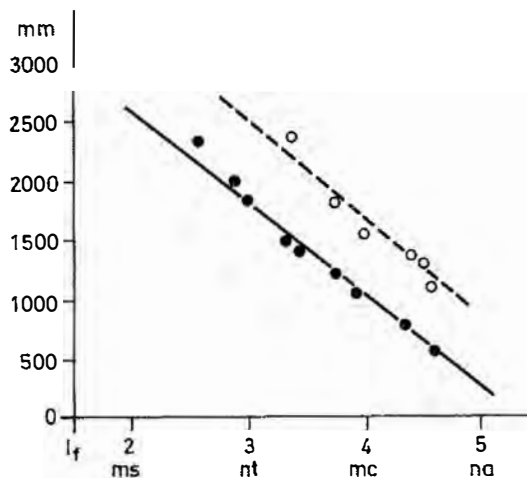


Fig. 12. Valores del índice foliar de distintas comunidades de bosques sobre caliza (puntos sólidos) y sobre serpentina (círculos), en climas húmedos y secos (BORHIDI, original)

Se puede determinar también que en sustratos geológicos ácidos y pobres en nutrientes las series sucesionales son más semejantes a las de las rocas serpentinas. Por ejemplo la vegetación de pizarra y la de arena blanca se desarrollan en respecto a las serpentinas climas más lluviosos, en unos 100-200 mm de precipitación anual y con un período seco solamente un mes más largo, que el de la vegetación de roca serpentina equivalente.

La xeromorfia de la vegetación de serpentina y su equivalencia climática

Esto significa, que el grado del xeromorfismo de la vegetación, de serpentina, o sea el de sequía fisiológica de los suelos de serpentina se puede expresar con bastante exactitud de acuerdo a su equivalencia al déficit de la lluvia y a la duración del período seco. Recalamos que la cantidad de lluvia antes mencionada no solo expresa teóricamente la diferencia en la humedad de los hábitats antes citados, sino que es capaz de compensar la sequía fisiológica de los ecotopos de serpentina. Esto explica la existencia de cayos extrazonales de las pluvisilvas esclerófilas montañas desarrolladas en la zona más seca de los pinares de las Sierras de Nipe y Moa, y también las pluvisilvas húmedas montañas mesoclimáticamente condicionadas en esas localidades de la zona de la pluvisilvas esclerófilas (semisecas) de la Sierra de Moa.

Con respecto a los equivalentes climáticos de la xeromorfia edáficamente condicionada de la vegetación de serpentina y a su compensación climática estudiamos la estructura de las asociaciones vegetales más frecuentes en caliza y serpentina existentes en varios climas, con énfasis especial en el índice general del tamaño de las hojas y en la frecuencia de las plantas espinosas, como características evidentes de xeromorfia de la vegetación. La Fig. 12 muestra las cantidades de lluvia anual que pueden compensar la sequía fisiológica de la roca serpentina, produciendo una vegetación equivalente a la de caliza.

Analizando la frecuencia relativa del clasificador de tamaño de hojas en las asociaciones crecidas en caliza y serpentina respectivamente, según RAUNKIAER, que muestra el grado del xeromorfismo de la vegetación, observamos, que la sequía fisiológica de la serpentina manifestada en el mayor grado del xeromorfismo — más correctamente, en la mayor frecuencia de los individuos micronano-, y leptófilos, es equivalente a un déficit anual de lluvia de 500-600 mm, con la temperatura correspondiente (promedio anual de 24-27 °C). La frecuencia de individuos espinosos, que se manifiesta en

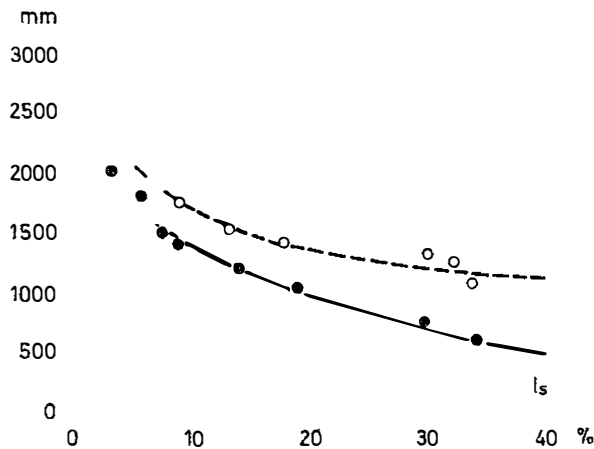


Fig. 13. Valores del índice de espinosidad de distintas comunidades de bosque en caliza (puntos sólidos) y sobre serpentina (círculos) condicionados por climas de lluvia anual diferente (BORHIDI, original)

el índice general de la espinosidad (I_s), demuestra también la xeromorfia elevada de la vegetación serpentínicola. La espinosidad aumenta cada vez más aceleradamente en función de la intensidad y duración de la sequía climática (Fig. 13).

Aprovechamiento del espacio de la vegetación serpentínicola

El deficiente aprovechamiento del espacio vertical y horizontal es característico de la estructura de la vegetación de roca serpentina. Las tesis de WHITTAKER relacionadas con este tema (1954), antes citadas pueden ser completadas con las siguientes observaciones realizadas acerca de la vegetación tropical de Cuba:

La estructura del climax edáfico de las serpentinitas tiene las características siguientes, diferentes de la vegetación del climax climático:

- a) El estrato superior arbóreo o arbustivo es más bajo, con 5-10 m de altura.
- b) El número de estratos de la vegetación es menor en uno.
- c) El estrato superior es siempre abierto.
- d) El estrato activo, cerrado, es el segundo, generalmente el estrato arbustivo.
- e) En la zona de las pluvisilvas se desarrollan pluvisilvas esclerófilas, la que llamamos también semisecas, porque su clima y ecótopos son

húmedos, pero la fisionomía de la vegetación es xeromorfa. La peculiaridad más visible de las pluvisilvas esclerófilas semisecas es que su estrato arbóreo superior es abierto, lo que da como resultado, la falta de algunos estratos inferiores de plantas exigentes a la sombra, por ejemplo el estrato de los epífitos esciófilos; son pobres en orquideas y helechos epífitos, y faltan casi completamente los musgos y hepáticas epífitos y epífilos, además también son pobres en musgos terrestres que están sustituidos, mayormente por líquenes. Al mismo tiempo tienen un estrato arbustivo muy desarrollado, compuesto por arbolitos y arbustos micrófilos (BORHIDI y MUÑIZ 1980).

La extrazonalidad edáfica de la vegetación serpentínicola

Como una conclusión muy importante, debemos plantear, que la vegetación de serpentina, por su estructura laxa y xeromórfica, por su poca productividad, puede considerarse como una representación extrazonal de una zona climática y vegetal más fría. No cabe duda que ciertos tipos de la vegetación serpentínicola, sobre todo los matorrales esclerófilos y los pinares asociados con arbustos siempreverdes esclerófilos, son fisionómicamente muy semejantes a las formaciones de maquis, chaparral y garriga del clima mediterráneo o a los pinares mediterráneos.

Bajada de las zonas vegetales en las montañas de serpentinita

La bajada de la vegetación zonal se hace sentir más claramente en la estratificación de las zonas verticales de la vegetación serpentínicola. LAM (1927), BAUMAN-BODENHEIM (1956) y YAMANAKA (1952) determinaron, que distintas especies de plantas alpinas y montanas son propensas a migrar hacia regiones más bajas en los suelos de serpentinita. Nuestras observaciones hechas en Cuba (BORHIDI y MUÑIZ 1980, 1984), demostraron que no se trata solamente del descenso migratorio de algunos elementos de las montañas altas, sino del descenso de zonas completas de vegetación — o sus variantes más secas; así vemos que en las montañas de serpentinita se desarrollan en una altura mucho más baja respecto al nivel del mar si los comparamos con las montañas que no son de serpentinita. Otro fenómeno interesante de la zonación vertical en la serpentinita es que vegetaciones de las áreas hiperhúmedas, aunque fueran condicionadas climáticamente como la zona del bosque nublado, no desarrollan en las montañas de serpentinita, así quedan completamente fuera de la zonación vertical. Los datos de la Tabla 8 y la figura 14 muestran la distribución de las zonas verticales de vegetación en dos sierras de Cuba oriental (BORHIDI y MUÑIZ 1980, 1984).

Tabla 8

Zonación vertical de la vegetación sobre granodiorita y serpentinita en Cuba

Sierra Maestra (granodiorita)	Sierra de Moa (serpentinita)
Bosque siempreverde estacional en alturas de 100–400 m	
Pluvisilva submontana en alturas de 400–800 m	Pluvisilva submontana en alturas de 100–400 m
Pluvisilva húmeda montana en alturas 800–1600 m	Pluvisilva esclerófila semiseca en alturas de 400–900 m
Monte nublado en altura de 1600–1900 m	
Matorral siempreverde subalpino en alturas de 1900–2000 m	Matorral siempreverde montano en alturas de 900–1100 m

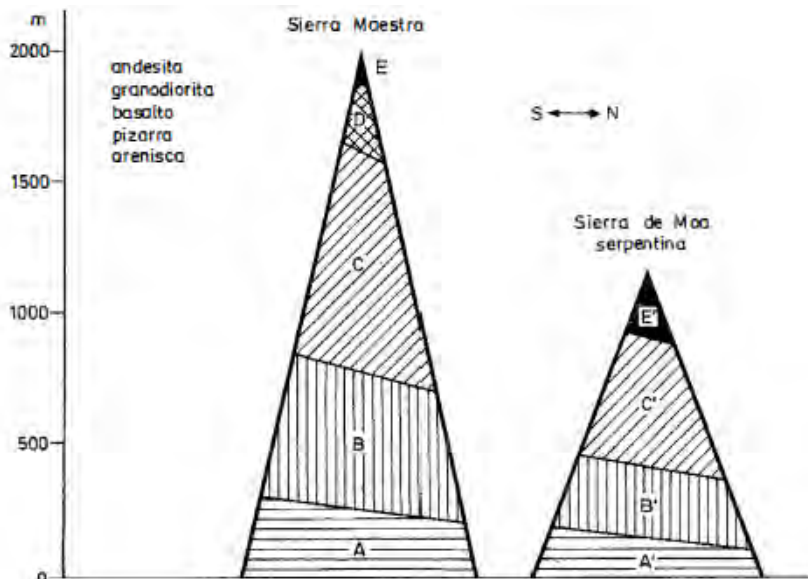


Fig. 14. La zonación vertical de la vegetación climax en dos montañas cubanas de sustrato geológico distinto. — A = Zona de llanos y colinas, B = Zona submontana, C = Zona montana, D = Zona del bosque enano, E = Zona del matorral subalpino

Preferencia de algunos táxones por las serpentinitas

Varios autores han determinado que los suelos de serpentina favorecen ciertos elementos xero-fotófilos y oligotróficos, pertenecientes a los géneros: Pinus, Vaccinium, Genista, Cytisus y a las familias: Myrtaceae, Caryophyllaceae y Gramineae. Según nuestras observaciones y de acuerdo con las de BERAZAIN (1979), en Cuba, los siguientes taxones muestran una preferencia significativa por las serpentinitas (entre paréntesis se brinda el tanto por ciento de las especies serpentínícolas pertenecientes a los géneros y familias relacionados): Podocarpus (4 especies, 80%), Buxus (26 especies, 79%), Harpalyce (16 especies, 94%), Leucocroton (26 especies, 96%), Cyrillaceae (12 especies, 86%), Spathelia (8 especies, 80%), Ossaea (27 especies, 60%), Calycogonium (13 especies, 60%), Ilex (16 especies, 57%).

Efecto de la serpentinita en la flora criptogámica

La serpentinita ejerce un efecto notablemente menor en la diferenciación de la flora criptogámica que en la diferenciación de las plantas fanerógamas. Entre los helechos la proporción de los endémicos es considerablemente menor, mientras que en el país el 30% de los pocos helechos endémicos son serpentínícolas. Algunos géneros de helechos juegan un papel notable en la vegetación de serpentina, como por ejemplo: Anemia, Lindsaya, Pteridium, Odontosoria, mayormente los helechos esclerófilos, rastreros. Frente a esto, el papel de los helechos higrófilos es muy pequeño en la vegetación serpentínícola, por ejemplo, es pequeño el número de helechos arbóreos, epífitos, así como el de las Hymenophyllaceae.

Por el momento, sabemos poco del efecto ejercido por la roca serpentina en los briófitos de Cuba. Estudios realizados en Asia (HATTORI, 1955) no mostraron correlaciones entre la distribución de los briófitos y la de los suelos de serpentinita. Se determinó que en la roca serpentina viven briófitos acidófilos (falta de Ca!), que la proporción de endémicos es relativamente alta, pero estos, en su mayor parte, no son endémicos de serpentina. También se preve para Cuba una tendencia semejante. La tabla 9 muestra las correlaciones de los endémicos con las áreas de serpentinitas. Las áreas de serpentinas no cubren más de 7% del territorio nacional de Cuba, mientras el 30% de los endémicos no se encuentran fuera de estas áreas, en cuanto a la flora fanerógama. De los pteridófitos 15% de los endémicos vive sobre serpentina, y sólo 10% de los musgos endémicos son serpentínícolas. Con respecto a las hepáticas, ninguno de los endémicos vive

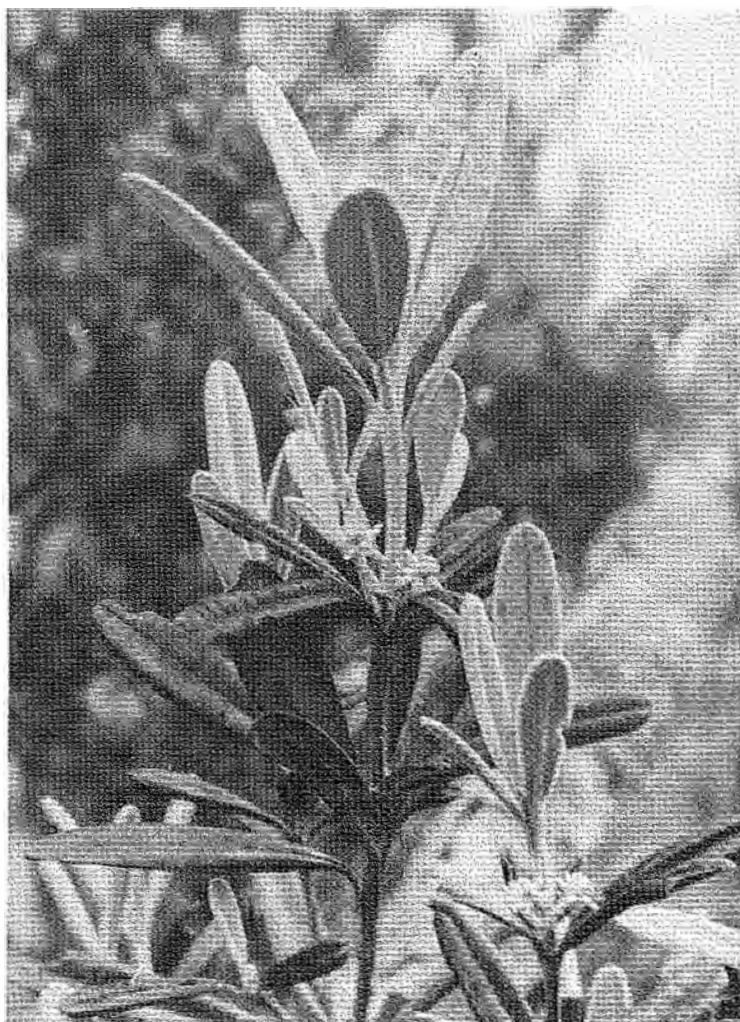


Fig. 15. Leucocroton moaënsis (Euphorbiaceae) una especie endémica de las serpentinas de Moa, vicariante del L. ekmanii de la serpentina de Baracca (Foto: A BORHIDI)

sobre serpentina. Al nivel genérico las diferencias son todavía más sobresalientes. La flora fanerógama está representada por 24 géneros y 920 especies endémicos de la serpentina, los musgos por ningún género endémico y sólo 4 especies endémicas de la serpentina. Todas las especies endémicas serpentínícolas de los musgos crecen en las áreas de serpentinas antiguas y ninguna en las áreas jóvenes.

Tabla 10

Número de especies criptógamas crecientes en pluvisilvas montañas serpentinas y non-serpentinas respectivamente basado en muestras fitosociológicas 10 de cada una de áreas de 0.25 hectarias (según BORHIDI in BORHIDI y PÓCS, 1985)

	Pluvisilvas montanas	
	areas non-serpentinas Sierra Maestra	areas serpentinas Sierra de Moa
Precipitación promedio anual	2000 — 2500 mm	3000 — 5000 mm
Número de especies		
criptógamas	186	95
helechos arbóreos	12	6
helechos herbáceos	26	16
helechos epifíticos	28	18
musgos	75	34
hepáticas	45	21

Tabla 11

Distribución altitudinal de algunas especies de musgos en áreas serpentinas y non-serpentinas de Cuba respectivamente (según BORHIDI y PÓCS, 1985)

	areas non-serpentinas Sierra Maestra	areas serpentinas Sierra de Moa
<i>Acroporium pungens</i>	1000 — 1900 m	300 — 470 m
<i>Campylopus porphyriodietion</i>	1800 — 1950 m	600 — 800 m
<i>C. saxatilis</i>	1500 — 1800 m	200 — 470 m
<i>Isopterygium micans</i>	1500 — 1800 m	500 — 800 m
<i>Leucobryum giganteum</i>	1000 — 1800 m	600 — 900 m
<i>L. polakowskyi</i>	1100 — 1950 m	600 — 800 m
<i>Mittenothamnium reptans</i>	1200 — 1950 m	700 — 800 m
<i>Philonotis sphaericarpa</i>	1600 — 1900 m	600 — 800 m
<i>Pogonatum tortile</i>	1000 — 1200 m	400 — 600 m
<i>Schlotheimia torquata</i>	1500 — 1800 m	200 — 800 m
<i>Syrrhopodon tenuifolius</i>	1700 — 1950 m	500 — 700 m

Por otra parte, áreas serpentinas antiguas son capaces de conservar elementos relictos de distribución extremadamente disyunta de épocas geológicas muy tempranas. En Cuba, las siguientes especies de hepáticas pueden

Tabla 9

Correlación entre taxones endémicos y áreas serpentinas con respecto a distintos niveles taxonómicos (según Borhidi y Pócs, 1985)

Superficie	Territorio nacional		áreas de serpentinas de Cuba	
	110 922 km ²		7 500 km ²	
Flora	número de especies	% de la flora	número de especies	% de los endémicos
Fanerógamos	6 350	100		
endémicos	3 153	50	920	30
Pteridófitos	500	100		
endémicos	53	11	8	15
Briófitos	723			
Musgos	386			
endémicos	39	10	4	10
Hepáticas	337			
endémicas	cc.17	5	?	?

En general, la flora de briófitos de los suelos de serpentinita es pobre en especies. El desarrollo de una capa terrestre continua de briófitos es muy raro en las serpentinitas incluso en la zona de las pluvisilvas húmedas. La mayoría de las especies serpentínícolas son acidófilas y es relativamente frecuente la presencia del género Sphagnum. Los briófitos epífilos y epífitos desempeñan un papel mucho menos relevante en las pluvisilvas esclerófilas de la serpentina, que de las de otros sustratos geológicos a pesar de que el clima de las áreas serpentinas puede ser más húmeda de lo de las non-serpentinas (Tablas 10 y 11).

considerarse como relictos de serpentina: *Calypogeia venezuelana*, *Plagiochila steyermarkii*, *Syrrophodon elongatus* (REYES, 1982).

Ya antes mencionamos una particularidad fitogeográfica importante de la serpentinita, que es el descenso de las zonas montañas de la vegetación y de las especies montañas y subalpinas a niveles altitudinales más bajas. Este fenómeno se manifiesta por la distribución altitudinal de una cantidad de musgos. La tabla 11 muestra la distribución altitudinal de algunas especies de musgos en distintas montañas serpentinas y non-serpentinas respectivamente. 11 especies de musgos seleccionadas están listadas que ocurren en las montañas serpentinosas en altitudes mucho más bajas que en las montañas non-serpentinosas. PÓCS explica este fenómeno (in BORHIDI et PÓCS, 1985) por el hecho que sobre serpentina las pluvisilvas montanas húmedas se desarrollan solo en los valles profundos, mientras los pendientes y crestas están cubiertos por bosques siempreverdes esclerófilos o bosques arbustosos más abiertos condicionados por suelos de serpentina secos y pobres en nutrientes. En las comunidades posteriormente mencionadas especies de las pluvisilvas húmedas crecen muy raramente y están reemplazadas mayormente por elementos xerotóxicos. Mucho de ellos son elementos de los bosques nublados y matorrales subalpinos o subpáramos de las zonas vegetales de mayor altitud, que ocurren en las zonas bajas como relictos. La tabla 12 muestra algunas especies que ocurren en los Andes y en las demás Antillas entre 2000 and 3000 metros de altura mientras en Cuba viven las mismas como relictos aislados en altura mucho más baja y exclusivamente sobre rocas de serpentinitas.

Tabla 12

Distribución altitudinal de algunas especies de briófitos en América Latina
(según PÓCS in BORHIDI et PÓCS, 1985)

	Antillas y Andes	en Cuba, sólo en serpentinitas
<i>Leskeodon andicola</i>	2000 — m	400 — 500 m
<i>Plagiochila steyermarkii</i>	2200 — m	1000 — 1100 m
<i>Drepanolejeunea suchaeta</i>	1000 — 2500 m	900 — 1100 m
<i>Leptoscyphus cuneifolius</i>	— 3000 m	800 — 1100 m
<i>Calypogeia venezuelana</i>	— 2000 m	400 — 1000 m

La vegetación esclerófila y serpentinitas

En el clima tropical, la roca serpentina favorece principalmente a la dominancia y distribución de los arbolitos y arbustos esclerófilos. Por este efecto de las serpentinitas podemos explicar el hecho, de que el 46% de la flora endémica de Cuba este compuesta por micro- y nanofanerófitos. El papel, que juegan las ciperáceas y gramíneas en la vegetación serpentínicola es mucho menos notable, que el desempeñado por ellos en la zona templada. Su presencia es una característica importante del estrato herbáceo de los pinares, aunque raramente es más importante en los claros de los matorrales. Por lo general, los extremos del clima tropical estacional y la compactación de los suelos favorecen su distribución, sin embargo, las gramíneas, en condiciones tropicales, se convierten en elementos dominantes solo cuando están apoyadas por influencias antrópicas.

Xeromorfismo como el síndrome adaptivo general de la vegetación

Tanto de acuerdo a nuestras observaciones ya mencionadas como a las numerosas afirmaciones contradictorias con respecto a la xeromorfía, hemos llegado a la conclusión siguiente: a pesar de que la xeromorfía de las plantas y de la vegetación se atribuye a razones ecológicas y fisiológicas extraordinariamente heterogéneas, esta se puede interpretar en forma unilateral.

La xeromorfía debe considerarse como un complejo de síntomas de adaptación — como un síndrome adaptivo general, como un cierto tipo del mecanismo de respuesta al stress — que se forma como consecuencia de una adaptación a los choques y tensiones ecológicos, causados por la falta de distintos factores necesarios; esto se fija genética- y morfológicamente en los organismos de las plantas y se manifiesta en la fisionomía de la flora y vegetación como un síndrome ecológico homogéneo. VALES expresó que en las plantas serpentínícolas las características morfológicas exteriores de xeromorfía no están correlacionadas completamente con las características anatómicas interiores provocadas por los habitats secos. En muchos casos (Myrica shaferi, Bucida ophiticola, Neomazaea phialanthoides) la estructura de los tejidos y los elementos del sistema vasoductorio muestran una combinación de características anatómicas xeromórficas y mesomórficas. Por esto, este tipo de la adaptación experimentado en las plantas serpentínícolas fue nominado "seudoxeromorfismo" (VALES et al. 1982, VALES et CARRERAS 1987). En algunos casos el carácter xeromórfico de la vegetación

de serpentina no refleja la sequía verdaderamente existente en la habitad, sino es una manifestación de la deficiencia del suelo en nutrientes y en micro-elementos indispensables, etc. Por esto, la xeromorfia de la vegetación de la serpentina puede ser considerada como "peinomorfía", que es la respuesta de las plantas general al estress de hambre provocado por la habitad, en nivel de la vegetación.

REFERENCIAS

- Alain, H. Liogier (1955): El endemismo en la flora de Cuba. Mem. Soc. Hist. Nat. Cubana 21/2: 187-193.
- Alain, H. Liogier (1958): La flora de Cuba: sus principales características, su origen probable. Rev. Soc. Bot. Cubana 15/2-3: 36-59.
- Antonovich, J., Bradshaw, A.D., Turner, R.G. (1971): Heavy metal tolerance in plants. Adv. Ecol. Res. 7: 1-85.
- Ascanio, O., Perez, J.M., Hernandez, A. (1968): Mapa Genético de los Suelos de Cuba 1:1 000 000. Inst. de Suelos Acad. Cien. Cuba.
- Atlas Nacional de Cuba - La Habana (1970) 132 pp.
- Atlas De Cuba (1978): La Habana, Inst. Cub. Geodes. Cart. 143 pp.
- Aubréville, A.M. (1965): Principes d'une systématique des formations végétales tropicales. Adansonia 5: 153-196.
- Basilevich, R. y otros (1969): Basic Theoretical Problems of Biological Productivity. Ed. Nauka Akad. Leningrad.
- Bauman-Bodenheim, M.G. (1955): Über die Beziehungen der neu-kaledonischen Flora zwischen tropischen und südhemisphärischen Bedingungen. Ber. Geobot. Inst. Rübel 64-71.
- Beard, J.S. (1944): Climax vegetation in tropical America. Ecology 25: 127-158.
- Beard, J.S. (1953): The Savanna Vegetation of Northern tropical America. Ecol. Mon. 23: 149-215.
- Beckett, P.H.T. (1965): The cation exchange equilibria of calcium and magnesium. Soil. Sci. 100: 118-123.
- Bennett, H.H., Allison, R.V. (1928): The Soils of Cuba. Washington, 410 pp.
- Bennett, H.H., Allison, R.V. (1966): Los Suelos de Cuba y Algunos Suelos Nuevos de Cuba. La Habana Ed. Rev. 375 pp.
- Berazain, R.I. (1976): Estudio preliminar de la flora serpentinicola de Cuba. Ciencias ser. 10. Botánica 12: 11-26.
- Berazain, R.I. (1981): Reporte preliminar de plantas serpentínicas acumuladoras e hiperacumuladoras de algunos elementos. Rev. Jard. Bot. Nac. Cuba 2: 48-59.
- Blackshaw, G.N. (1920): Magnesia impregnated soil. S. Afric. J. Sci. 17: 171-178.

- Borhidi, A. (1974): Curso de Geobotánica; Instituto de Botánica, Academia de Ciencias. La Habana.
- Borhidi, A. (1974): Mapificamos en Cuba (en Hungaro). Gondolat Budapest, 215 pp.
- Borhidi, A. (1975): The effects of serpentine soils on tropical flora and vegetation in Cuba. XII. Intern. Bot. Congr. Leningrad. Abstracts I: 110.
- Borhidi, A. (1976): Fundamentals of Geobotany of Cuba (in Hungarian). Summary of D. Sc. Theses. Budapest 1-16.
- Borhidi, A., Herrera, R. (1977): Génesis, característica y clasificación de los ecosistemas de sabana en Cuba. Cien. Biol. Acad. Cien. Cuba 1: 115-130.
- Borhidi, A., Muñiz, O. (1980): Die Vegetationskarte von Kuba. Acta Bot. Acad. Sci. Hung. 26: 25-53.
- Borhidi, A., Muñiz, O., Del-Risco, E. (1979): Clasificación fitocenológica de la vegetación de Cuba. Acta Bot. Acad. Sci. Hung. 25: 263-301.
- Borhidi, A., Pócs, T. (1985): Effects of serpentine on the distribution of Cryptogams in Cuba. Abstr. IAB Conf. of Bryoecology, Budapest-Vác-rátót, 1985. Abstracta Bot. 9. Suppl. 1:10.
- Brooks, R.R., Lee, J., Jaffré, T. (1974): Some New Zealand and New Caledonian plant accumulators of nickel. J. Ecol. 62: 493-499.
- Cabrer-Mestre, P. (1964): Introducción al estudio de las tierras aridas en la América Latina. Agrotechn. Cuba No. 1-2.
- Cain, S.A. (1939): The Climax and its complexities. Amer. Midland. Nat. 21: 146-181.
- Capote, R., Berzain, R. (1985): Clasificación de las formaciones vegetales de Cuba. Rev. Jard. Bot. Nac. Cuba 5/2: 27-76.
- Ciferri, R. (1936): Studio geobotanico dell'Isola Hispaniola. Atti Inst. Bot. Univ. Pavia 8: 3-336.
- Clements, F.E. (1916): Plant succession: an analysis of the development of vegetation. Carnegie Inst. Wash. Publ. 242: 1-512.
- Clements, F.E., Weaver, J.E. (1936): Plant Succession and Indicators. New York. 536 pp.
- Crooke, W.M. (1956): Effect of soil reaction on uptake of nickel from a serpentine soil. Soil. Sci. 81: 269-276.
- Crooke, W.M., Inkson, R.H.E. (1955): The relationship between nickel toxicity and major nutrient level. Pl. Soil. 6: 1-15.
- Dirección nacional de Suelos y Fertilizantes INRA: (ed.) (1975): Suelos de Cuba. Tomo I: Química del Suelo. Edit. Orbe, La Habana.
- Drewmann-Reilly, C. (1972): Observation on copper-tolerance in the vegetation of a Zambian copper clearing. J. Ecol. 60: 439-444.
- Duvigneaud, P. (1959): Plantes cobaltophytes dans le Haut-Katanga. Études sur la végétation du Katanga et de ses sols métallifères, 2. Bull. Soc. Roy. Bot. Belg. 91: 111-134.
- Duvigneaud, P. (1966): Note sur la biochimie des serpentines du sud-ouest de la France. Bull. Soc. Roy. Bot. Belg. 99: 271-329.

- Duvigneaud, P., Plancke, J. (1959): Les "Acrocephalus" arborescentes des plateaux Katagais. Études sur la végétation du Katanga et de ses sols métallifères, 5. Biol. Jaarb. Gand, 27: 214-257.
- Duvigneaud, P., Timperman, J. (1959): Études sur le genre Crotalaria. Bull. Soc. Roy. Bot. Belg. 91: 135-176.
- Eiten, G. (1972): The Cerrado Vegetation of Brasil. Bot. Rev. 38: 201-341.
- Finko, V.I., Korin, I.Z., Formell, C.F. (1967): Sobre la edad de la corteza de intemperismo y las lateritas de Cuba. Rev. Geol. Acad. Cien. Cuba 1(1): 29-47.
- Furazzola-Bermudez, P.J. y otros (1964): Geología de Cuba. Cons. Nac. Cuba, La Habana; 239 pp.
- Gams, H. (1930): Über die Reliktforstwälder und das Dolomitphänomen. Veröff. Geobot. Inst. Rübél 6: 32-80.
- Gigon, A., Rorison, I.H. (1972): The response of some ecologically distinct plant species to nitrate and to ammonium nitrogen. J. Ecol. 60: 93-102.
- Gregory, R.P.G., Bradshaw, A.D. (1965): Heavy metal tolerance in populations of Agrostis tenuis Sibth. and other grasses. New Phytol. 64: 131-143.
- Good, R. (1954): The Geography of the Flowering Plants. Longmans Green and Co. London. 452 pp.
- Gordon, A., Lipman, C.B. (1926): Why are serpentine and other magnesian soils unfertile? Soil. Sci. 22: 291-302.
- Göhlert, F. (1928): Die Flora über Eisenkarbonat. Biol. Gener. (Wien) 4: 333-336.
- Hardy, F. (1940): A provisional classification of the soils of Trinidad. Trop. Agr. (Trinidad) 17: 153-158.
- Hardy, F. (1945): The soils of South America. In: Verdoorn: Plants and Science in Latin America, 2: 322-326.
- Hattori, S. (1955): Hepaticae occurring on serpentine on Mt. Apoi (Hokkaido). Bot. Mag. Tokyo 68: 320-323.
- Hernandez, A. (1966): Importancia del estudio genético de los suelos: su aplicación en la prov. de Las Villas. Tecn. Agropec. No. 2.
- Hernandez, A. y otros (1975): Génesis y clasificación de los suelos de Cuba. Acad. Cien. Cuba, Inst. de Suelos. La Habana, 315 pp.
- Hewetson, C.E. (1956): A discussion on the climax concept in relation to the tropical rain and deciduous forest. Emp. For. Rev. 35: 274-291.
- Holdridge, L.R. (1967): Life Zone Ecology. San José, 206 pp.
- Howard, A.R. (1973): The Vegetation of the Antilles, In: Graham, A. (ed.): Vegetation and Vegetational History of Northern Latin America. Elsevier Sci. Publ. Co. Amsterdam 1: 38.
- Hunter, J.G., Vergnano, O. (1952): Nickel toxicity in plants. Ann. Appl. Biol. 39: 279-284.
- Ijzerman, R. (1931): Outline of the Geology and Petrology of Surinam.
- Jacobsen, W.B.G. (1967): The influence of the copper content of the soil on the vegetation at Silverside North Mangula area. Kirkia 5: 259-277.

- Jacobsen, W.B.G. (1968): The influence of the copper content of the soil on trees and shrubs at Molly South Hills, Mangula. Kirkia 6: 63-84.
- Johnson, C.M., Pearson, G.A., Stout, P.R. (1952): Molybdenum nutrition of crop plants. II. Plant and Soil 4: 178-196.
- Kitamura, S. (1950): Adaptation and isolation on the serpentine areas. Acta Phytotax. Geobot. 12: 178-185.
- Klimes-Szmik, A., Suarez Diaz, O., Mesa Nápoles, A., Peña Velez, J. (1980): Suelos de Cuba, Tomo II: Física del Suelo. Edit. Orbe, Ciudad de La Habana.
- Klinge, H. (1965): Podzol soils in the Amazon Basin. J. Soil Sci. 16: 95-103.
- Klinge, H., Rodriguez, W.A., Brunig, E., Fitthau, E.J. (1975): Biomass and Structure in a Central Amazonian Rain Forest. In: Golley, F.B., Medina, E. (eds): Tropical Ecological Systems. Ecol. Stud. 11: 115-122.
- Knapp, R. (1965): Die Vegetation von Nord- und Mittelamerika. Fischer, Stuttgart-Jena, 373 pp.
- Krause, W. (1958): Pflanzendecke und Standort auf Serpentin. Handb. d. Pflanzenphysiol. 4: 755-798.
- Krause, W. (1958b): Boden und Pflanzengesellschaften. Ibidem 807-850.
- Kruckeberg, A.R. (1954): The ecology of serpentine soils. III. Plant species in relation to serpentine soils. Ecology 35: 251-258.
- Lam, H.J. (1927): En plantengeografisch Dorado. Handlg. IV. Nederl. Ind. Naturw. Congr. 386-397.
- León, H. Sauget, Alain, H. Liogier (1946-1962): Flora de Cuba I-V. La Habana.
- Lyon, C.L., Peterson, P.J., Brooks, R.R., Butler, G.W. (1971): Calcium, Magnesium and trace elements in a New Zealand flora. J. Ecol. 59: 421-429.
- Marie-Victorin, H., León, H. Sauget (1942, 1944, 1956): Itinéraires botaniques dans l'île de Cuba. Contr. Inst. Bot. Univ. Montreal, No. 41. 496 pp., No. 50. 410 pp., No. 68. 227 pp.
- Mason, H.L. (1946): The edaphic factor in narrow endemisms. I. The nature of environmental influence. Madroño 8: 209-226.
- Maul, F. (1975): Introducción al conocimiento de los suelos tropicales y subtropicales (en húngaro). In: Pál, I. (ed.): Conocimientos botánicos y zoológicos de la zona caliente. Univ. Textbook, Gödöllő, 16-33.
- Minguzzi, C., Vergnano, O. (1953): Il contenuto di elementi inorganici delle piante della formazione ofiolitica dell'Impruneta. Nuovo Giorn. Bot. Ital. N.S. 60: 287-319.
- Muñiz, O. (1970): Endemismo en la flora de Cuba, In: Atlas Nac. de Cuba, p. 57, p. 60.
- Muñiz, O., Borhidi, A. (1983): Catálogo de las palmas Cubanas. Acta Bot. Acad. Sci. Hung. 28: 309-345.
- Novák, F.A. (1928): Quelques remarques relatives au probleme de la végétation sur les terrains serpentiniques. Preslia 6: 42-71.

- Novák, V., Pelisek, J. (1940): Rendzinaböden auf Serpentin gestein. Ann. Fac. Agron. Bucarest. 11.
- Nuñez-Jimenez, A. (1959): Geografia de Cuba. La Habana.
- Nuñez-Jimenez, A. (1967): Notas preliminares acerca del carso en peridotitas de la Sierra de Moa, Oriente. Rev. Geol. Acad. Cien. Cuba 1: 5-28.
- Odum, E.P. (1959): Fundamentals of Ecology. 2. ed. Saunders, New York, 546 pp.
- Proctor, J. (1970): Magnesium as a toxic element. Nature, 227: 742-743.
- Proctor, J. (1971a): The plant ecology of serpentine, II. Plant response to serpentine soils. J. Ecol. 59: 397-410.
- Proctor, J. (1971b): The plant ecology of serpentine, III. The influence of a high magnesium/calcium ratio and high nickel and chromium levels in some british and Swedish serpentine soils. J. Ecol. 59: 827-842.
- Proctor, J., Woodell, S.R.J. (1971): The plant ecology of serpentine, I. Serpentine vegetation of England and Scotland, J. Ecol. 59: 375-395.
- Raunkiaer, C. (1907): Livsformernes Statistik Som Grundlag for biologisk Platgeographi. Bot. Tidsker.
- Richards, P.W. (1952): The Tropical Rain Forest. Cambridge, 450 pp.
- Richards, P.W. (1955). The secondary succession in the tropical rain forest. Sci. Prog. 43: 45-57.
- Robinson, W.D., Edgington, G., Byers, H. (1935): Chemical studies on infertile soils derived from rocks high in magnesium and generally high in chromium and nickel. U.S. Pept. Agricult. Techn. Bull. 471.
- Rune, H. (1953): Plant life on serpentine and related rocks in the North of Sweden. Acta Phytogeogr. Succ. 36: 1-139.
- Samek, V. (1973): Regiones fitogeográficas de Cuba. Acad. Cien. Cuba, serie Forest, No. 15. 1-60.
- Sarasin, F. (1917): Neu-Caledonien un die Loyalty Inseln. Basel Georg and Co.
- Seifriz, W. (1942): The plant life of Cuba. Ecol. Mon. 13: 375-426.
- Severne, B.C., Brooks, R.R. (1972): A nickel-accumulating plant from Western Australia. Planta 103: (1): 91-94.
- Soane, B.D., Sauder, D.H. (1959): Nickel and chromium toxicity of serpentine soils in Southern Rhodesia. Soil Sci. 88: 322-329.
- Stark, N. (1970): The nutrient content of plants and soils from Brasil and Surinam. Biotropica 2: 51-60.
- Tüxen, R. (1933): Klimaxprobleme des NW-europäischer Festlandes. Ned. Kruidk. Arch. 43.
- Vales, M., Borhidi, A., Del-Risco, E. (1982): Anatomía de la madera de Myricaceae en Cuba: Consideraciones ecológicas. Acta Bot. Acad. Sci. Hung. 28: 241-253.
- Walker, R.B. (1954): Factors affecting plant growth on serpentine soils. Ecology 35: 259-266.
- Walter, H. (1970): Vegetationszonen und Klima. Fischer, Jena; 244 pp.
- Whittaker, R.H. (1954): The vegetational response to serpentine soils. Ecology 35: 275-288.

- Whittaker, R.H. (1965): Dominance and diversity in land plant communities. Science 147: 250-260.
- Wild, H. (1968): Geobotanical anomalies in Rhodesia, I. The vegetation of copper bearing soils. Kirkia 7: 1-71.
- Wild, H. (1970): Geobotanical anomalies in Rhodesia, III. The vegetation of nickel-bearing soils. Kirkia 7: (Suppl.) 1-62.
- Wiltshire, G.H. (1972): Growth of plants on soils from two metalliferous sites in Rhodesia. J. Ecol. 62: 501-525.
- Wiltshire, G.H. (1972): Effect of nitrogen source on translocation of nickel in some crop plants and weeds. Kirkia 8: 103-123.
- Zonn, S.V. (1968): Osobennosti pochvoobrasovaniya i glavniya tipi pochv Kubi. Genet. Geogr. Pchv. Dokl. IX. Meshdunarodn. Kongr. Pchvoved. Moskow. 53-152.
- Zonn, S.V., Vazquez, L.R., Cabrer-Mestre, P. (1966): Opit postreneniya geneticheskoy klassifikacii pochv Kubi. Pochvovedeniye, No. 12.
- Zólyomi, B. (1942): A Középdunai flóraválasztó és a dolomitjelenség. - Die Mittel-Donau Florenscheide und das Dolomitphänomen. Bot. Közlem. 39: 209-224.