

tales como la poca profundidad, el caracter pedregoso, caliente y seco de la rendzina de serpentinita y al mismo tiempo la elasticidad, gran profundidad y gran capacidad de retención de agua de los latosoles de serpentina etc. Sin embargo, se puede ver, que estas particularidades físicas no explican la baja fertilidad de la serpentinita. Por otra parte, durante la evolución del suelo de serpentinitas sus características físicas cambian profundamente sin que se disminuya la influencia ecológica intensa que ejerce sobre la flora.

j) Papel de la baja competencia: Según KRUCKEBERG (1954) este factor desempeña un papel importante en la evolución de las especies serpentínícolas. Las poblaciones no serpentínícolas de las especies que son capaces de vivir igualmente en serpentinitas y en otras rocas también se agotan y desaparecen más rápido por la competencia reñida, que sufren, mientras que las poblaciones serpentínícolas subsisten aisladamente en las condiciones competitivas disminuidas de la vegetación de las serpentinitas. Se supone que evolucionan muchos endémicos a consecuencia de estos agotamientos de biótupos. Las poblaciones adaptadas a las serpentinitas, por lo general, no son capaces de "regresar" a otras rocas, porque no son capaces de soportar la competencia más aguda que domina en otros suelos. Por esto, en la mayoría de los casos la adaptación a la serpentina es un proceso irreversible. Por esto las áreas de serpentinitas pueden considerarse, mayormente, como islas edáficas terrestres, las que poseen una flora endémica de evolución propia (MASON, 1946).

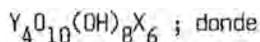
### Conclusiones

Basándonos en las observaciones mencionadas, no se puede llegar a una conclusión general acerca del caracter del mecanismo del efecto de las serpentinitas. Las observaciones válidas limitadas para zonas y factores distintos, por el momento, no permiten hacer una conclusión sintética. Sólo se puede asegurar, según KRAUSE (1958), que todos los efectos de las serpentinitas no son caudados por un solo factor destacado, sino por varios. Hay que aceptar la validez, como punto de partida, de una combinación de factores que son fundamentalmente diferentes y en todo caso, hay que escoger y determinar uno por uno sus relaciones de acuerdo con las condiciones del área.

De acuerdo a nuestras observaciones, la determinación antes mencionada puede formularse de manera más concreta: entre todos los factores de

las serpentinitas, lo que efectivamente influye, el factor (o los factores) realmente limitantes, es distinto en dependencia del lugar y del tiempo. Desde el punto de vista del lugar es importante tanto la composición de la roca serpentina (proporción de los minerales arcillosos) como la materia básica de la formación del suelo, y el clima como el factor determinante de la dirección, velocidad y los estadios de evolución del suelo.

La composición química de las serpentinitas es muy compleja y variada, que se refleja de su fórmula química general siguiente:



X = Mg<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Co<sup>+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Mn<sup>3+</sup>, Cr<sup>3+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, Tl<sup>4+</sup>, y

Y = Si<sup>4+</sup>, Al<sup>3+</sup>, B<sup>3+</sup>, Fe<sup>3+</sup>,

además, el OH<sup>-</sup> puede ser sustituido por el Cl<sup>-</sup>.

La composición de las serpentinitas depende de las relaciones cuantitativas y cualitativas de los minerales arcillosos, que contienen. Los minerales arcillosos más comunes de las serpentinitas son los siguientes:

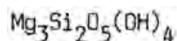
antigorita: 2SiO<sub>2</sub> . 3MgO . 2H<sub>2</sub>O

gentita: 2NiO . 2MgO . 3SiO<sub>2</sub> . 6H<sub>2</sub>O

garnierita: (NiMg)O . SiO<sub>2</sub> . H<sub>2</sub>O

nepouita: 3(NiMg)O . SiO<sub>2</sub> . 2H<sub>2</sub>O

Las serpentinitas de Oriente — por ejemplo — tienen un mayor contenido de garnierita y nepouita, que las de las demás provincias cubanas (M. FODOR, 1976, comm. pers.). La fórmula general de los minerales arcillosos de serpentinitas es:



Teniendo en cuenta el número grande de los minerales que constituyen las serpentinitas y la cantidad enorme de los elementos que pueden sustituirse en la composición química, podemos concluir, que prácticamente no hay dos formaciones de serpentinitas completamente iguales en cuanto a su composición. En consecuencia de esto los suelos derivados de ellas representan una gran variabilidad también. Mediante esta variabilidad puede explicarse el hecho, que áreas de serpentinitas vecinas, donde el aislamiento geográfica no puede jugar un papel muy importante, tienen floras bastante diferentes también, caracterizadas por numerosos endémicos particulares,

como en el caso de las Sierras de Nipe, Cristal y Moa en Norte de Oriente.

El tiempo es importante porque la evolución del suelo se efectúa en el tiempo y en las distintas etapas de la evolución del suelo cambian los factores determinantes de los mecanismos de la limitación y la adaptación.

El único grupo de factores que se mantiene más o menos invariable, independientemente del lugar y el tiempo, es la pobreza en nutrientes. Este factor tiene un gran papel pues el metabolismo de las plantas serpentínícolas es significativamente más lento que el de las plantas crecidas en otras rocas y suelos. Este metabolismo lento es un carácter de adaptación irreversible de las plantas serpentínícolas. Se puede considerar, como una consecuencia de la pobreza en nutrientes, que el aspecto general de la vegetación serpentínícola sea bastante uniforme, a pesar de que los factores ecológicos limitantes pueden ser muy distintos. Sin embargo la oligotrofia de las serpentinitas no puede ser aceptada como el único factor limitante, porque otras rocas oligotróficas pueden producir también una vegetación de fisionomía semejante, pero ninguno es capaz de desarrollar un banco genético tan rico como las serpentinitas. Sin embargo, no se puede menospreciar la importancia del carácter oligotrófico de los suelos de serpentinita, como factor ecológico. Esto fortalece la efectividad de cada uno de los demás factores limitantes que ejercen su influencia ecológica durante las distintas etapas de la evolución del suelo, obligando a las plantas que subsisten a absorber los materiales venenosos y a tolerarlos.

#### UN CONCEPTO DINÁMICO ACERCA DEL EFECTO DEL COMPLEJO ECOLÓGICO DE LAS SERPENTINITAS SOBRE LA FLORA Y VEGETACIÓN TROPICALES

A continuación trataremos de lograr un concepto general sobre la importancia y orden consecutivo de los diferentes factores ecológicos en cuanto a sus efectos en el mecanismo de evolución de la flora y vegetación tropicales en las áreas de serpentinitas de diferentes climas, extensiones y edades.

#### Las áreas de serpentinitas de Cuba

El territorio de Cuba es extraordinariamente favorable para el estudio de la evolución y adaptación de las floras serpentínícolas. Encontramos en ella 3 grandes sierras de serpentinitas además de 9 regiones

llanas o colinosas aisladas y de distintas extensiones, con una superficie total de 7500 km<sup>2</sup>. Estos territorios se difieren entre sí, en su mayor parte, por tener distintas condiciones climáticas, orográficas, históricas y edáficas. Por esto son útiles para hacer diversas observaciones comparativas. Más adelante daremos un resumen de ellas y al mismo tiempo, ampliaremos o rectificamos las definiciones citadas.

#### Géneros endémicos de la serpentina de Cuba

Las áreas de serpentinita han resultado los talleres más eficientes de especiación en Cuba. Una tercera parte de la flora endémica de Cuba (920 especies, 31.2%) se evolucionó en las áreas de serpentinitas y viven hoy exclusivamente en estas áreas, que ocupan sólo el 7% del total del territorio de Cuba. De la flora fanerogámica de Cuba, el 14.6% es endémica de las serpentinitas. De los 72 géneros fanerogámicos endémicos de Cuba actualmente conocidos, 24, o sea el 33.3%, son exclusivamente serpentini-colas, que son los siguientes: Sauvallella (Fabaceae), Kodalyodendron (Rutaceae), Moacrotan (Euphorbiaceae), Tetralix (Sterculiaceae), Adenoa (Turneraceae), Phidiasia, Sapphoa, Dasytropis (Acanthaceae), Ceuthocarpus, Schmidtottia, Acunaeanthus, Neomazaea, Ariadne, Phyllomelia, Eosante, Shaferocharis (Rubiaceae), Koehneola, Lescaillea, Harnackia, Shafera, Ciceronia, Fedcea (Asteraceae), Ekmanochloa (Poaceae); así el 75% (3 géneros) de los géneros endémicos de Acanthaceae el 66% (8 géneros) de los géneros endémicos de Rubiaceae y el 50% (6 géneros) de los géneros endémicos de las compuestas son exclusivamente serpentini-colas.

#### CAUSAS DE LA RIQUEZA FLORAL DE LAS SERPENTINITAS

La riqueza de la flora serpentini-cola, según nuestras observaciones, depende de los factores, que a continuación se relacionan en orden de importancia decreciente:

- a) Edad del territorio de serpentinita.
  - b) Extensión del territorio de serpentinita.
  - c) Número de grandes cambios climáticos ocurridos durante los tiempos geológicos.
  - d) Especialización de la flora circunvecina.
  - e) Riqueza de la flora circunvecina.
- a) La riqueza de la flora serpentini-cola depende, ante todo, de la



Fig. 3. *Adenoa*, un género monotípico endémico en las lomas serpentinosas del Norte de Oriente (Foto: A. BORHIDI)

edad del área, como superficie terrestre interrumpidamente expuesta a la atmósfera (no de la edad de la roca). Más exactamente, del tiempo disponible para la evolución de la flora. De las 12 áreas de serpentinitas de Cuba, 4 son superficies muy antiguas: las lomas de Cajálbana y las sierras orientales de Nipe, Cristal y Moa (incluidas las Cuchillas de Toa y Baracoa).

En estas áreas, como consecuencia del proceso de la evolución del suelo durante varios millones de años, dominan los suelos en estado avanzado de la latosolización, que están considerados por muchos autores, como suelos viejísimos, fósiles.

La edad de los latosoles de Cuba, según FINKÓ, KORIN y FORMELL (1967) ha sido estimada en 30 millones de años. Las áreas restantes de serpentinita se encuentran en las regiones llanas y colinosas de Cuba central, las que tienen más o menos 1 millón de años o son más jóvenes. Los suelos de estos son magnesio-sialíticos hómicos o suelos alítico-ferríticos



Fig. 4. Ariadne (Rubiaceae), un género endémico de la área serpentinoso del Norte de Oriente (Foto: A. BORHIDI)

poco evolucionados. Las áreas antiguas de serpentinita suman cerca de 4800 km<sup>2</sup>, es decir, el 64% del total de las superficies de serpentinita, mientras que las áreas jóvenes cubren en total 2700 km<sup>2</sup>, o sea, el 36%.

Comparando la flora de las áreas antiguas y jóvenes de serpentinita (Tabla 4), se hace notar que de los 24 géneros endémicos serpentínícolos 22 son particularmente exclusivas de las regiones antiguas de serpentinita. Solamente los géneros Moacroton y Acunaeanthus son comunes; las áreas jóvenes no tienen género endémico propio. De las 920 especies serpentínícolas endémicas, 792, el 86%, viven en las áreas antiguas, de estos, 750, el 81%, son exclusivamente propias, mientras 42 especies, el 5%, son comunes con

las áreas jóvenes. Frente a esto, las especies endémicas propias de las áreas jóvenes suman el 14% en total.

Tabla 4

Proporción de géneros y especies serpentinícolas endémicos en las áreas antiguas y jóvenes

	Extensión		Géneros endémicos		Especies endémicas	
	km <sup>2</sup>	%	número	%	número	%
Áreas antiguas	4800	64	22	91.7	750	81
Áreas jóvenes	2700	36	0	0	128	14
Común			2	8.3	42	5
Total:	7500	100	24	100.0	920	100



Fig. 5. *Neobraccia valenzuelana* (Apocynaceae), endémico pancubano, característico para la vegetación de todas serpentinícolas en Cuba (Foto: A. BORHIDI)



Fig. 6. *Melocactus matanzanus* (Cactaceae), un endémico local de los matorrales serpentinosos, cerca de Matanzas (Foto: A. BORHIDI)

b) La extensión de la región de serpentina desde el punto de vista de la riqueza de la flora; es importante solamente en ciertos casos extremos; esto ocurre cuando es tan pequeña que así se convierte en un obstáculo al aislamiento de las poblaciones nuevas. En las áreas de serpentina mayores de 500 km<sup>2</sup> y de la misma edad, las diferencias que presentan los climas, orografías y biótopos, pueden ocasionar efectos mucho más eficientes en cuanto a la riqueza de la flora, que la extensión del área. Así pues, la extensión del área es eficiente cuando está acompañada de una gran variación orográfica, que produce una elevada cantidad de biótopos diferentes. Los datos de la tabla 3 se pueden interpretar, de forma tal que se concluya que además de la edad de las áreas, su tamaño también puede jugar un importante papel en la formación de la riqueza de la flora; pero en realidad la importancia de la extensión de la región es pequeña si se compara con la de la edad.

Esta afirmación está ilustrada por la tabla 5 en que se ve que el área de serpentinita antigua de Cajálbana tiene, en su superficie de 70 km<sup>2</sup>,

dos veces especies endémicas propias que la zona joven de Camagüey, territorialmente 11 veces mayor. La diferencia se hace más significativa por tener la primera 3 géneros endémicos y varios paleoendémicos aislados, mientras los endémicos del área joven son, casi sin excepción, neoendémicos vicariantes.

Tabla 5

Área de serpentinita	Extensión km <sup>2</sup>	Géneros endémicos propios	Especies endémicas propias
antigua: Cajálbana	70	3	35
jóven: Camagüey	800	0	16

c) En la evolución y diversificación de la flora juegan un papel muy importante los cambios climáticos, principalmente los cambios frecuentes de épocas climáticas húmedas y secas.

Puede servir como ejemplo la flora de las dos áreas antiguas de serpentinita de las Sierras de Nipe y Moa. El clima de Moa es notablemente más húmedo que el de la Sierra de Nipe. Pero teniendo en cuenta la existencia de los latosoles profundos y de las pluvisilvas montañas extrazonales en la Sierra de Nipe, tenemos que suponer que esta sierra también tenía antes un clima tropical húmedo. Además, los estratos de mocarrero que se presentan en muchas partes en el perfil profundo de la arcilla Nipe, indican cambios repetidos de épocas climáticas húmedas y secas. A este factor histórico se debe que la riqueza florística de la Sierra de Nipe, aunque se la desarrolló en un área notablemente menor en extensión, se acerca a la riqueza asombrosa de la flora de Moa (vea Tabla 6).

Tabla 6

Área	Extensión km <sup>2</sup>	Promedio de lluvia anual mm	Géneros endémicos	Especies endémicas
Sierra de Nipe	500	1617	5	151
Sierra de Moa	2500	2314	5	190
Comunes			6	263



Fig. 7. *Euphorbia munizii* (Euphorbiaceae) un endémico local de las serpentinas antiguas de la Sierra de Moa (Foto: A. BORHIDI)

Tenemos que plantear que la sequía en Cuba es un factor muy importante para la evolución de las especies. Esta relación no es particular de Cuba ya que la dirección principal de la evolución en el reino vegetal es la adaptación a tolerar la sequía. La influencia decisiva de la sequía en la especiación de la flora de Cuba está muy bien demostrada por la figura 9, la cual aclara en cuanto a Cuba que el 68% de los árboles y arbustos nanófilos y el 75% de los leptófilos son endémicos. En las regiones de serpentinita la especiación provocada por la sequía es más notable todavía, porque la sequía fisiológica de los suelos de serpentinita aumenta, de manera notable, la sequía climática.

d) Es natural que las áreas de serpentinita formadas por denudación, desarrollen su propia flora distinta respecto a la flora de las zonas circundantes, como que funciona de una "flora básica" que es fuente del material genético para las serpentinitas y por esto la riqueza genética de esta

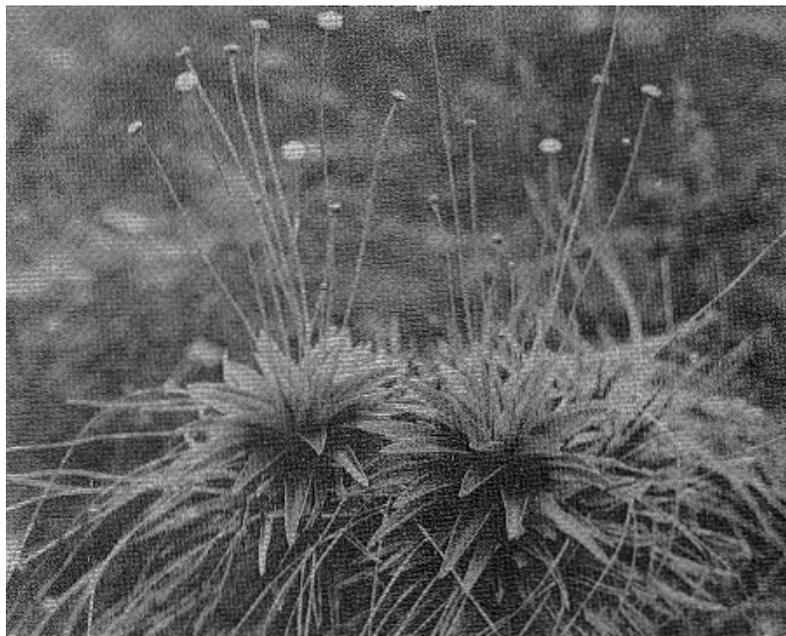


Fig. 8. Paepalanthus brittonii (Eriocaulaceae) un subarbusto dominante del estrato herbáceo de los pinares de Moa (Foto: A. BORHIDI)

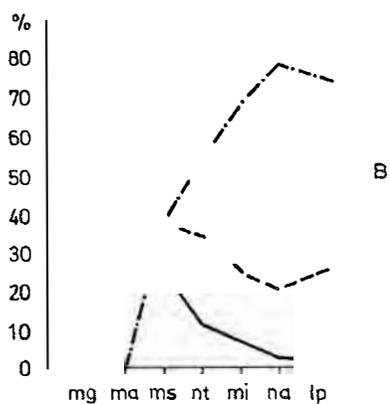


Fig. 9. Repartición porcentual de los árboles y arbustos de la flora de Cuba, según el tamaño de las hojas. — mg = megáfilos, ma = macrófilos, ms mesófilos, nt = notófilos, mi = micrófilos, na = nanófilos, lp = leptófilos y áfilos; A = especies tropicales, B = especies del Caribe, C = endémicos cubanos

flora básica no carece de importancia. Sin embargo, el grado de especialización de la flora básica, es un factor muy importante respecto a la riqueza en especies de las áreas de serpentinitas receptoras. De una flora básica pobre en especies, pero adaptable, compuesta de taxones genéticamente plásticos se puede desarrollar una flora de serpentinita más rica aún que la flora básica rica, pero ya demasiado especializada. Un ejemplo para esto en Cuba lo tenemos en las lomas de Cajálbana, que están rodeadas por el Sureste, por la zona de calizas del Pan de Guajaibón y por el Sur por los mogotes de la Sierra de los Organos, que están formando superficies terrestres desde la época Cretácica, mientras que las serpentinitas de Cajálbana pueden considerarse como una superficie terrestre existente desde el Mioceno inferior o medio. Así, en esta época la zona caliza ya había tenido una flora especializada durante un largo proceso de adaptación, y sus miembros, en su mayor parte, estaban inhabilitados para la conquista de la región de serpentinita. Por esto Cajálbana no recibió su flora de allí, sino de las Alturas de Pizarra, más pobres en especies; de ellas se desarrollo en Cajálbana, desde entonces, una flora que compite en riqueza y especialización con la flora relictas, antigua de carso cónico de la Sierra de los Organos.

#### IMPORTANCIA DEL NIVEL DE CALCIO Y MAGNESIO EN LOS SUELOS

Analizando los factores ecológicos que influyen en la evolución de la flora serpentínica y los que causan su adaptación morfológica característica llamada por "serpentinomorfosis" encontramos, de acuerdo con PROCTOR (1971a, b), que los factores más determinantes son la proporción baja de Ca/Mg y el efecto tóxico de los metales pesados, principalmente, el del Ni. Sin embargo, recalamos, que estos dos factores generalmente no efectúan sus influencias ecológicas simultáneamente, pues la misma población vegetal, en general, tolera el Mg y el Ni de manera distinta. PROCTOR (1971b: 839), KRUCKEBERG y WALKER (1954) consideran la falta de Ca como el efecto ecológico determinante de la flora de las serpentinitas, luego, la pobreza en nutrientes y finalmente, el contenido alto de Mg y la competencia disminuida. Pero de acuerdo a esto, se convierten en problemáticas las respuestas a varias preguntas, como son, por ejemplo:

a) Por qué podemos encontrar la mayor cantidad de endémicos en los matorrales pioneros crecidos sobre las rendzinas de las áreas antiguas de serpentinita, que aún no son pobres en Ca?

b) Por qué queda aislada genéticamente la flora de las áreas de

serpentinita en los casos en que las circundan zonas de rocas carentes de Ca (como: granita, diorita, arenisca)? Obviamente por el alto nivel de Mg.

Según nuestras experiencias, en las áreas serpentinosas tropicales, — si la composición mineral de la serpentina es conveniente —, la falta de Ca se presenta solamente en los suelos ferralíticos y ferríticos maduros y no en la fase inicial de la evolución del suelo, mientras que el momento determinante de la especialización de la flora serpentínica se realiza, precisamente, en estos suelos esqueléticos jóvenes, que no son pobres en calcio (contenido de CaO 3—10%) y son ricos en Mg. De aquí que a la falta del Ca, a pesar de ser una particularidad muy notable de los suelos maduros de serpentinita, tenemos que considerarla como de orden secundario o terciario, desde el punto de vista de la evolución de la flora. Es indudable que las especies adaptadas a la falta de Ca son las más apropiadas para establecerse posteriormente en las áreas de serpentinita, — frecuentemente hasta sin cambio biotípico (por ejemplo. Pinus, Poaceae, Ericaceae). Por otra parte las especies acidófilas una vez adaptadas a las serpentinitas formando un biotipo nuevo, mayormente no son capaces de regresar a las áreas con roca basal original, aunque la falta de Ca no sea el obstáculo.

#### ADAPTACIÓN IRREVERSIBLE Y EL EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN EN LA SERPENTINA

La especialización de los árboles y arbustos en la serpentina es mayormente un proceso irreversible, que va acompañando de cambios importantes de sus metabolismos. El obstáculo de la subsistencia de las especies serpentínicas en suelos de otras rocas no radica solamente en la competencia más elevada que existe en estos suelos. Las experiencias de Julián ACUNA (comm. pers.) y más las mías propias indican que en el suelo ferrítico de origen no serpentinoso de la antigua Estación Experimental de Agronomía de Santiago de las Vegas, en condiciones exentas de competencia, los endémicos de serpentina transplantados se extinguieron después de un año o dos de vida precaria. Con este mismo asunto se relacionan los experimentos de fertilización con K, N y P realizados en suelos de serpentinita con el objetivo de eliminar su pobreza en nutrientes y alcanzar una mayor productividad de la vegetación. Los fertilizantes provocan aceleración del metabolismo de las plantas causando anomalías en su crecimiento e irregularidades en su desarrollo ontogénico, deshoje y muerte.

Los experimentos de fertilización realizados con gramíneas en suelos de serpentinita, mostraron que el aumento de la cantidad de nutrientes

no era seguido por un aumento significativo de los rendimientos, además, debilita la tolerancia de las plantas a las sustancias tóxicas. La fertilización con Ca resultó la más efectiva (WALKER 1954, PROCTOR 1971b) pero esto en los trópicos puede ser útil solamente en los suelos jóvenes y poco profundos, todavía ricos en Mg. SIMON (1971) encontró en Rodesia, en suelos de alto contenido de Ni y Cr, que las gramíneas utilizadas en el experimento de fertilización no mostraron un mejor, crecimiento a pesar de su absorción intensa de Ca. CROOKE (1956) afirmó que los valores bajos del pH incrementaron el efecto tóxico de los metales pesados. CROOKE e INKSON subrayaron que el efecto tóxico del níquel era más grande en presencia de mucho P, acompañado por un nivel bajo de Ca y K. WILTSHIRE (1974) encontró que las fertilizaciones con N no tuvieron efectos en los suelos de alto contenido de Mg, porque el nitrógeno no modifica la proporción de Ca/Mg. La fertilización con N se ha resultado negativa también en los suelos ricos en Ni porque el amoníaco como fuente de N aumentó el ácido del suelo provocando así una absorción elevada de los metales pesados y el aumento del efecto tóxico (ANTONOVICH, BRADSHAW y TURNER 1971, GIGON y RORISON 1972). Por otra parte, del uso de los nitratos como fertilizantes resultó un aumento de la absorción del aluminio y del hierro hasta un grado tóxico. Además, debemos fijarnos en que estas respuestas vegetales fueron obtenidas estudiando gramíneas de gran adaptabilidad y no en árboles o arbustos menos tolerantes, los que constituyen el 75% de la flora serpentínica de Cuba.

#### LAS ETAPAS DEL DESARROLLO DE LA FLORA SERPENTÍNICA Y SUS FACTORES ECOLÓGICOS CONTROLADORES

Tomando como base los análisis de la flora serpentínica antigua y extraordinariamente rica de Cuba Oriental, consideramos posible delinear el proceso y las etapas principales de su evolución — si aceptamos por ejemplo un caso simple, donde tenemos un clima húmedo tropical lluvioso durante todo el año, que no ha variado notablemente en el transcurso de la evolución del suelo.

a) Etapas pioneras. En esta etapa el factor controlador es la proporción baja de Ca/Mg, o sea el efecto tóxico del Mg. El contenido de CaO de las rendzinas jóvenes de serpentinita es del 3-8%, el de MgO puede llegar al 10-40% y la proporción de Ca/Mg varía entre 0.01-0.5. Estos suelos son muy pobres en nutrientes, principalmente en P, y el hábitat se calienta fuertemente, a causa de la estructura abierta de esta vegetación por la

intensa insolación así las plantas tendrían que mover grandes cantidades de agua a través de sus organismos para satisfacer sus requerimientos de nutrición y de transpiración, lo que hace inevitable la admisión de sales de Mg. Puesto que el Mg es un veneno celular que daña el metabolismo y en la serpentinita el biótopo no dispone de la cantidad necesaria de reservas de Ca necesario para lograr equilibrar su efecto, las plantas serpentínícolas tienen que llegar a estructurar un mecanismo interior para un control metabólico riguroso, que hace posible la neutralización del Mg, su eliminación del metabolismo y su almacenamiento. Las plantas que viven en las rendzinas de serpentinita reciben esta suprabundancia del Mg como un verdadero choque ecológico, al cual no tienen posibilidad alguna de acostumbrarse gradualmente; o se adaptan con cambios biotípicos, o se exterminan. Este es el que tenemos que considerar como el momento determinante en la formación de la flora serpentínícola, puesto que por el número y frecuencia de endémicos los matorrales siempreverdes pioneros que cubren las rendzinas de serpentinita (Tabla 6) son los que alcanzan los valores más altos.

Hacemos notar que las plantas ubicuistas, relativamente indiferentes al carácter del suelo, solamente pocas veces son capaces de invadir o establecerse en estos ecótopos pioneros de serpentinita. Para ellos los "ecótopos pioneros" secundariamente formados mediante un proceso de degradación, significan los habitats aptos para conquistar, como podemos verlo en Cuba, en el caso de las invasiones de Dichrostachys cinerea, Rhynchelytrum roseum etc.

b) Etapa de sialitización; efecto de la lixiviación. Durante la evolución ulterior de los suelos de serpentinita, consistente en la sialitización y luego la latosolización, se lixivian gradualmente de Ca y de Mg en los estratos superiores, además disminuye intensamente el contenido de  $\text{SiO}_2$  del suelo, y este se acidula. Los minerales arcillosos de tipo montmorillonita van siendo sustituidos por los de caolinita, mientras en el complejo de absorción el  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  siguen dominando.

El problema del control metabólico de la toxicidad del Mg anteriormente expuesto será sustituido por el de la tolerancia y eliminación de la toxicidad del Al. Es fácil de comprender, que los suelos sialíticos, ferralíticos y sialítico-ferríticos evolucionados en esta forma, tienen características ecológicas fundamentalmente nuevas para la flora serpentínícola ya adaptada a las condiciones de la primera etapa, cuando se habían desarrollando muchos táxones endémicos. Así pues, la nueva etapa de la evolución del suelo, impulsa necesariamente a un otro desarrollo de la flora, que se