

La sucesión vegetal primaria en una región de vulcanismo reciente en el Volcán Arenal y sus alrededores, Costa Rica.

Gilbert Vargas Ulate

Departamento de Geografía, Universidad de Costa Rica.

(Recibido para su publicación el 17 de julio de 1985)

Abstract: The different stages of primary plant succession over recent materials on the Arenal Volcano and surrounding areas varies in development, physiognomy and floristic composition according to the age of the volcanic material, soil evolution and climatic conditions. Consequently, the most evolved soils are formed over the oldest materials and support the most advanced stages of plant succession.

La actividad volcánica ofrece al fitogeógrafo y al ecólogo la ocasión de estudiar la sucesión vegetal primaria de secuencia catastrófica cíclica. Es decir, observar el poblamiento de espacios vacíos, vírgenes de vegetación y seguir su evolución en los diversos estados del proceso de sucesión. La secuencia catastrófica volcánica trae como consecuencia el depósito de lavas de diferentes tipos (andesíticas, basálticas) en diversos períodos históricos. Los estudios de sucesión vegetal primaria en la zona tropical son escasos. Penzing (1902) hizo una descripción de la conquista vegetal de las lavas del volcán Krakatoa (Java) y Robyns (1932) para el volcán Rumoka, Africa Oriental. Skötberg (1941) estudió la dinámica de la vegetación sobre las lavas de la isla Hawaii. Beard (1945) la analizó en el volcán La Soufrière, de la isla San Vicente en las Antillas Menores y Egger (1959) lo realizó para los volcanes Paracutín y Jorullo en México. Ninguno de los anteriores se interesó por establecer una relación y comparación de la vegetación pionera que conquista las lavas, con respecto a las comunidades que se encuentran en las lavas depositadas con anterioridad y por lo tanto ocupan estados más avanzados en la dinámica de la sucesión. La edad de los depósitos y la evolución pedogenética tienen una gran influencia en la sucesión, por lo tanto, en la fisonomía, y en la distribución espacial de las diferentes comunidades sucesionales.

Los eventos volcánicos de tipo catastrófico como el del Arenal no son únicos. En la zona intertropical, se han presentado varios casos, en donde se destruyeron los ecosistemas, originándose un proceso de sucesión. No obstante, y dado que la temática es de interés y no ha sido analizada dentro de la perspectiva que presenta este estudio, hemos definido los siguientes objetivos: describir y analizar la sucesión vegetal primaria sobre materiales volcánicos recientes. Estudiar su fisonomía y composición florística. Establecer la diferenciación fisonómica y espacial de los diferentes estados de la dinámica de la vegetación en función de la edad de los depósitos, la evolución de los suelos, y las condiciones climatológicas.

MATERIAL Y METODOS

La región de estudio se ubica en el sector noroeste de Costa Rica, Provincia de Alajuela, sobre la cordillera de Tilarán. Comprende una zona de vulcanismo reciente constituida por los volcanes Arenal y Cerro Chato, Cerro Los Perdidos y un sector hacia el sureste, afectado por sus actividades (Fig. 1). Bioclimatológicamente, la región está incluida en el bosque muy húmedo tropical transicional a premontano (Tosi, 1982). Hemos denominado vulcanismo reciente a toda aquella actividad volcánica de lavas,

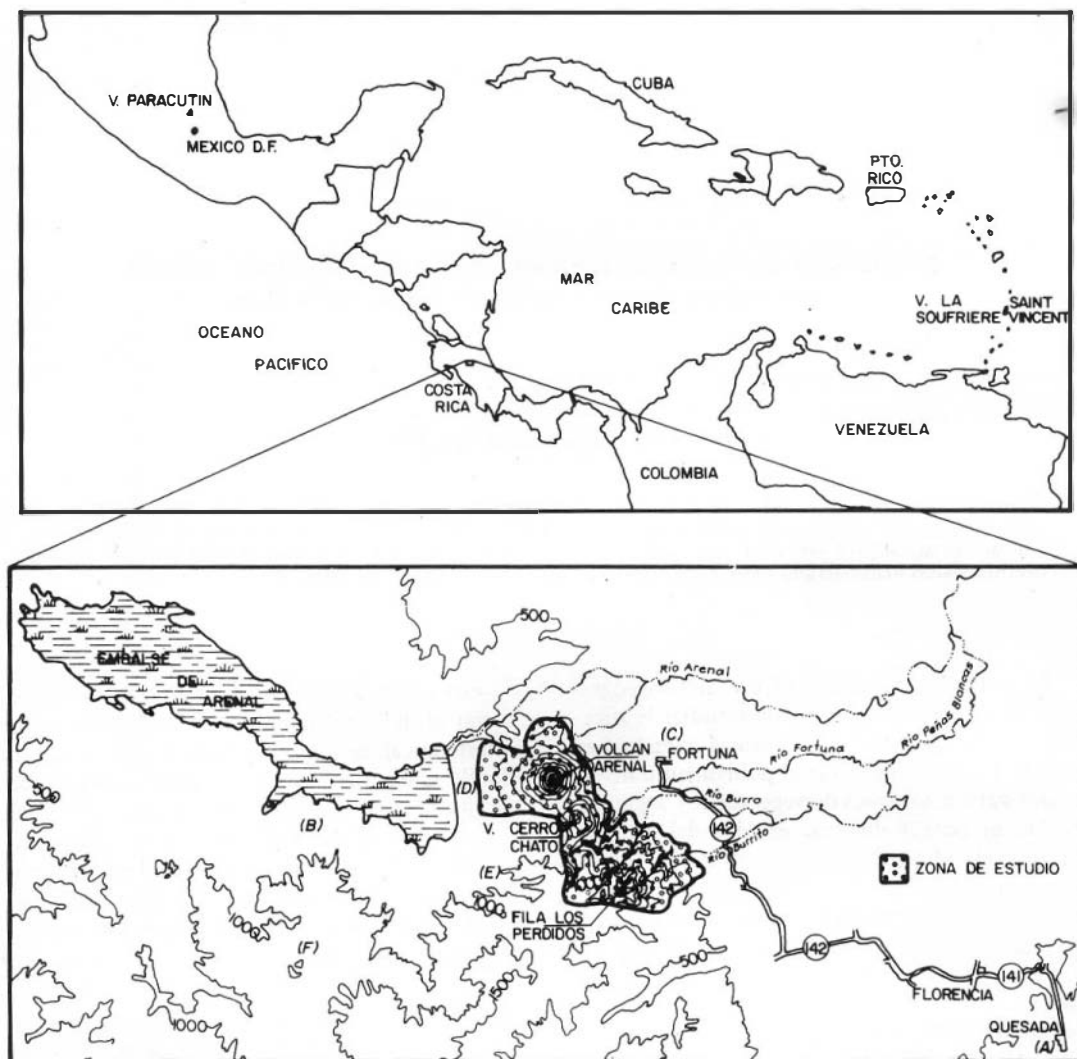


Fig. 1. Area de estudio.

piroclastos y cenizas depositadas a partir del Pleistoceno Medio (1.3 millones a 700 mil años). Comprende las actividades de los volcanes Arenal, Cerro Chato y Cerro Los Perdidos a partir del Pleistoceno Medio. Se incluye parte de la cordillera de Tilarán por ser la más antigua (Terciario: Mioceno Superior, 10 millones de años), el material volcánico tiene las mismas características que el de la región de vulcanismo reciente, la pedogénesis se encuentra muy evolucionada y mantiene una vegetación en estado clímax, lo que permite analizar la dinámica vegetal desde el estado pionero hasta este último. Para el análisis de la vegetación se incluyó características geográficas y biológicas.

Con el propósito de distinguir fisonómicamente los diferentes estados de la dinámica de la vegetación se utilizó fotografías aéreas a escala 1:10 000 del año 1980 (Instituto Geográfico Nacional), siguiendo el método fotogramétrico de eliminación convergente (Cabaussel, 1967) y la pirámide de percepción de relaciones entre la vegetación y el medio (Long, 1969). También se utilizó una imagen en infrarrojo ampliada a escala 1:80 000 para delimitar el campo de lavas y el bosque clímax.

En terreno y mediante la observación directa se describió la vegetación aplicando el sistema fisonómico-estructural de Dansereau (1972) y además se comprobó los límites de las comu-

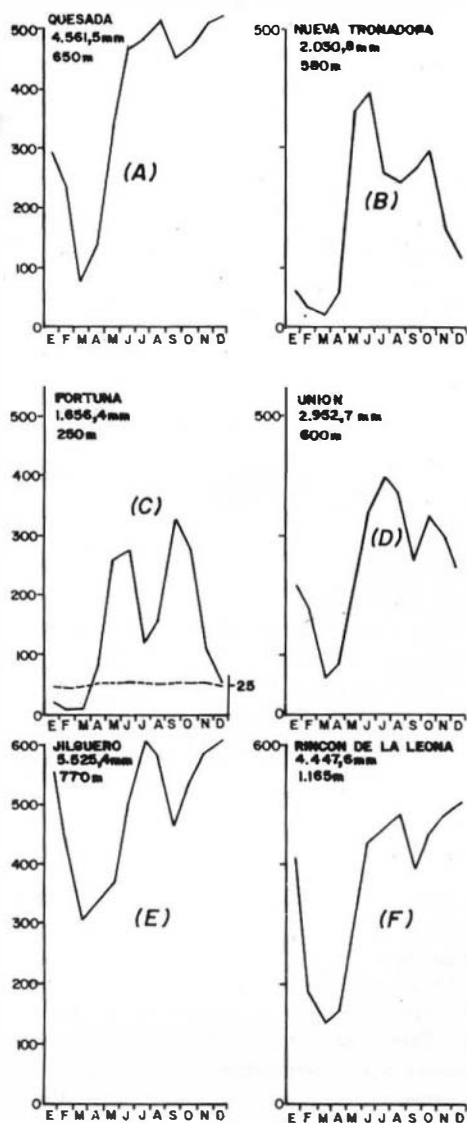


Fig. 2. Precipitación en estaciones aledañas durante el período 1970-1984.

nidades obtenidos mediante la fotointerpretación. Se realizó también un muestreo de vegetación y una apreciación visual de frecuencia, dominancia y cobertura no sistemática de apoyo al análisis fisonómico. Para el análisis del suelo se realizó un muestreo dentro de las diferentes unidades de vegetación obtenidas por fotointerpretación y correlacionadas con las unidades geológicas (Cháves y Sáenz, 1974; Malavassi, 1979; Wadge, 1982; Alvarado Induni, 1984 y Estrada del Llano, 1984). En total se tomó 10 muestras de suelo con barreno cilíndrico de 40

cm de largo y dos muestras del material retenido por los musgos y hepáticas en las grietas de las lavas de 1968. A todas se les realizó un análisis granulométrico para determinar el porcentaje de arcilla, arenas y materia orgánica humificada según el método de la pipeta Robinson (Theuret, 1976). Se determinó el pH por medio de un potenciómetro (Coleman, Metrian III) en agua y en una proporción de 1: 2,5. Posteriormente se clasificaron según la sétima aproximación americana. Para el análisis climatológico se utilizó los datos pluviométricos de las estaciones de Nueva Tronadora, Fortuna, Jilguero, Rincón de la Leona, Unión y Quesada, por un período de 14 años (1970-1984), interpolando los datos de precipitación a la región de estudio (Fig. 2). La temperatura se obtuvo por gradiente según la correlación altitud-temperatura del Instituto Meteorológico Nacional a partir de la estación Fortuna. Por medio de una estación meteorológica portátil (Weather Station), se obtuvo 4 datos de humedad relativa, intensidad y dirección de vientos en el año de 1983.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los depósitos volcánicos (geología), suelo, clima y vegetación están relacionados. Los depósitos recientes de origen volcánico originan suelos poco evolucionados y éstos, según su grado de evolución, son capaces de sostener comunidades vegetales cada vez más evolucionadas en la dinámica primaria. Hay 4 estados sucesionales en la zona de vida del bosque muy húmedo tropical transicional a submontado: en estado clímax, en estado tardío superior, en estado temprano superior, en estado pionero (Fig. 3). La nomenclatura utilizada fue elaborada a partir de los estudios de Sgatt-Smith (1949); Küchler (1960) y Gausson y Rey (1971).

Bosque muy húmedo tropical transicional a Submontano*

En la figura 3 se representa una pequeña superficie de este bosque, sin embargo, éste se en-

* Utilizo el término de Submontano en lugar de premontano, normalmente utilizado, por considerar que la preposición "SUB" se adapta mejor en términos de pisos altitudinales, pues significa debajo en un plano vertical, mientras que la preposición "PRE" denota una antelación en un plano horizontal.

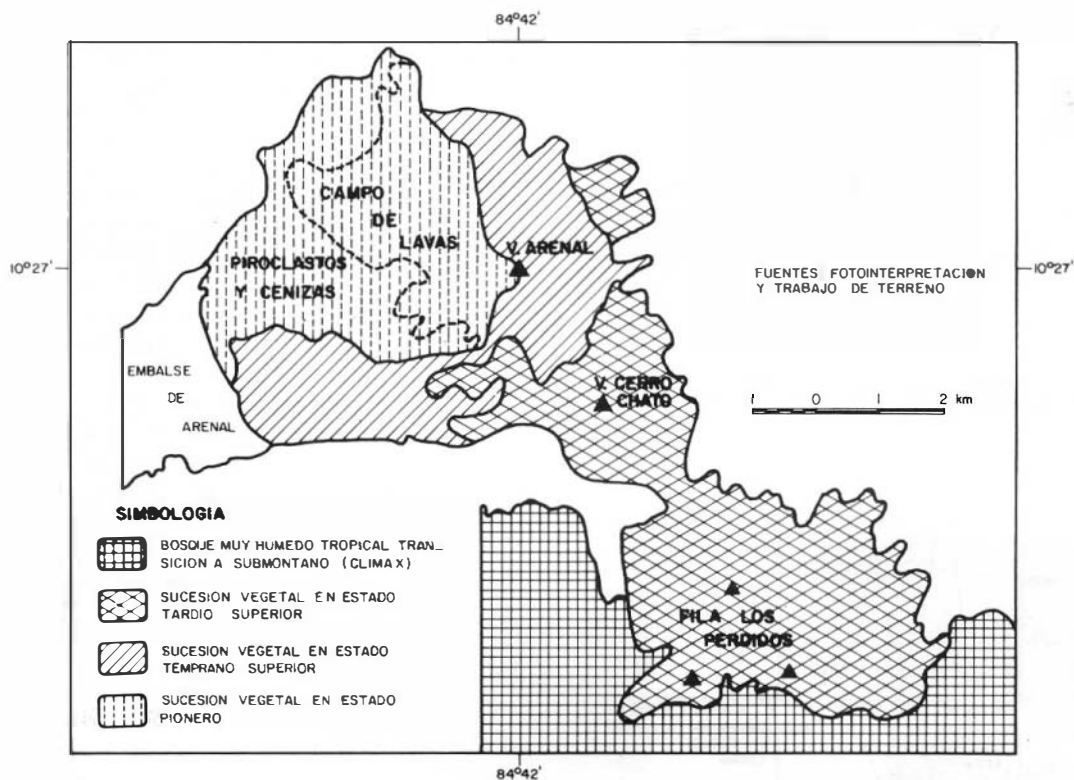


Fig. 3: Dinámica de la vegetación de la región del volcán Arenal y sus alrededores.

cuentra en toda la vertiente caribeña de la cordillera, entre 700 y 1,500 m de altitud (Vargas Ulate 1983), con una precipitación promedio anual de 5,043 mm y una temperatura promedio anual de 22.7°C. Este bosque de tipo climax se desarrolló sobre suelos muy evolucionados del tipo Andic Humitropept. Estos suelos alcanzan hasta 3,48 metros de profundidad, son de color pardo oscuro a negro en superficie, suaves, ricos en materia orgánica, bien drenados. En profundidad son amarillos o anaranjados y pegajosos en húmedo. El análisis granulométrico de las 3 muestras de suelo dio los siguientes valores promedio: materia orgánica humificada 27,3% ; arcillas 43,7% ; arenas 15,6% y limos 13,4% , por lo tanto su textura es arcillolimosa, el pH es de 5,7. El suelo anteriormente descrito se originó sobre lavas volcánicas andesito-basálticas del Terciario: Mioceno Superior (Tv-m-s). Los árboles del estrato superior alcanzan de 25 a 30 metros de altura, aunque se distinguen algunas emergentes de hasta 40 metros (Fig. 4). Entre los más característicos y dominantes se encuentran *Guarea brevianthera*,

G. microcarpa, dos *Jungladaceae*, *Alfaroa costarricensis* y *A. manningii*. Existe gran cantidad de *Lauraceae* y *Leguminosae*, e.g. *Nectandra salicina*, *N. austini*, *Ocotea atirrensis*, *Persea pallida*, *Pithecolobium costarricense*, *P. gigantifolium*, *Erythrina gibbosa*, *Pterocarpus hayessi* y *Lonchocarpus atropurpureus*. El estrato inferior es denso, pero fácilmente penetrable. Hay numerosas palmeras como *Iriartea gigantea* y *Socratea durissima*, explotadas para la utilización comercial de la yema terminal (palmito). Numerosas palmeras enanas y esciafiticas (*Geonoma*, *Asterogyne*, *Bactris*) se encuentran acompañadas de marantaceas, helechos y lianas, los cuales ocultan a pocos metros las grandes raíces gambas de alguna especie del estrato superior. La alta precipitación y alta humedad relativa favorecen el desarrollo de briófitos, helechos y palmeras.

Sucesión vegetal en estado tardío superior

Se localiza en la región de vulcanismo reciente, específicamente en un pequeño sector de la

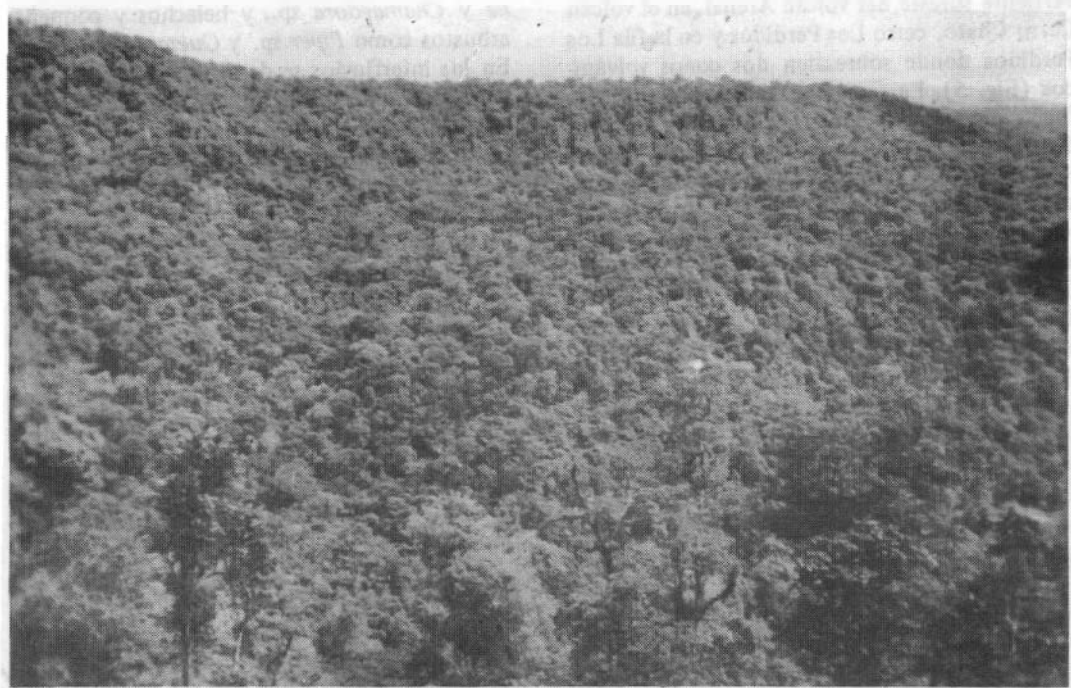


Fig. 4. Bosque muy húmedo tropical transicional a submontano en la vertiente de la cordillera de Tilarán.

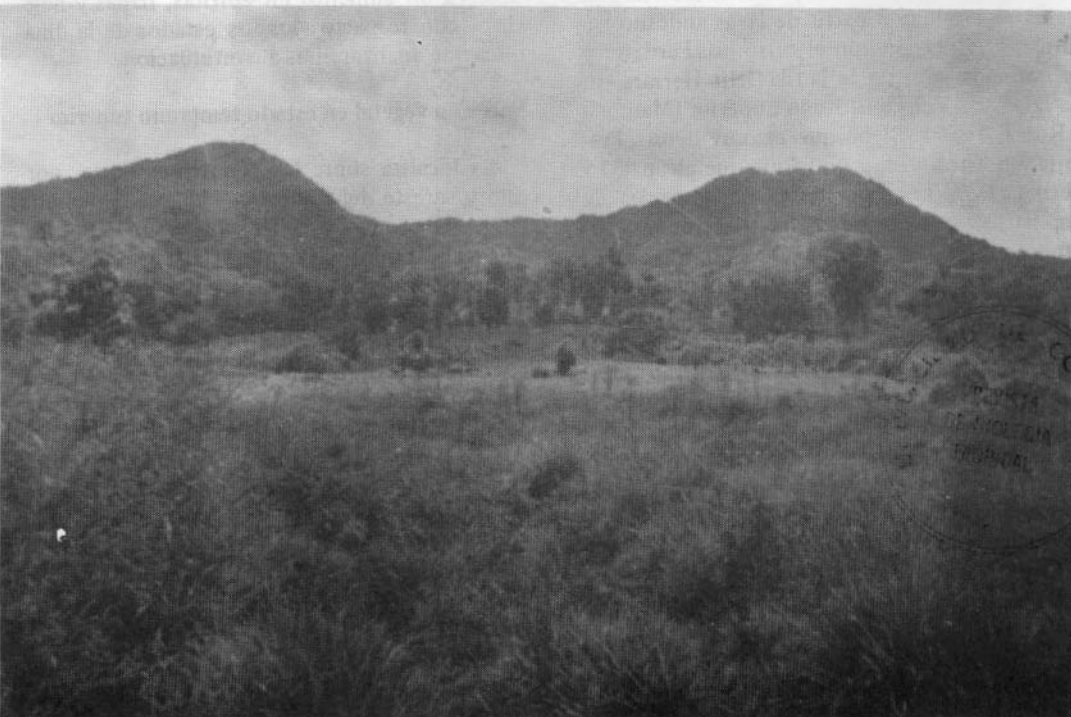


Fig. 5. En primer plano la llanura, en segundo los dos conos volcánicos de la Fila Los Perdidos con la sucesión vegetal en estado tardío.

vertiente sureste del volcán Arenal, en el volcán Cerro Chato, cerro Los Perdidos y en la fila Los Perdidos donde sobresalen dos conos volcánicos (Fig. 5). La región se caracteriza por una fuerte pluviometría anual (4.700 mm). Las pendientes superan 33° sobre las vertientes de los ríos Fortunita, Burro, Burrito y la cuenca superior de la quebrada Flores, pero disminuyen hacia el noreste alcanzando valores entre los 10 y 15°. Los suelos se clasifican como Lithic Udic Troporthent, son poco evolucionados, con una profundidad de 0 a 70 cm, de color gris oscuro en los primeros 15 cm y pardo claro cerca de la roca, ricos en materia orgánica húmica en los primeros 12 cm. En profundidad hay gran cantidad de fragmentos líticos en descomposición. En general, se presentan un buen drenaje, aunque en el borde los ríos se encuentran saturados de agua de 30 a 80 días consecutivos al año. El análisis granulométrico de las 4 muestras analizadas dio como resultado: 16,3% de materia orgánica humificada; 10,8% de arcilla; 55,8% de arenas y 17,10% de limos, con una textura del tipo migajón arcillo-arenoso y pH de 5,6. Es importante señalar la dominancia de las arcillas de tipo alofana y haloisita, lo que demuestra su poca evolución. Los suelos se originan a partir de lavas andesito-basálticas que derramaron el cerro Los Perdidos y los conos volcánicos de la fila Delio Herrera. Estas lavas son del Pleistoceno Superior (Madrigal y Rojas, 1980). El bosque es muy denso. Presenta un estrato muy uniforme que alcanza 15 metros de altura compuesto por especies de amplia distribución y características de estados temprano y tardío, como *Trema micrantha*, *Lonchocarpus monofoliaris*, *Heliocarpus popayensis*, *Schizolobium parahybum*, *Cassia reticulata*, *C. fruticosa* y *Cecropia* sp., que tienen una alta frecuencia y densidad. En este estrato también encontramos especies del bosque húmedo tropical transicional a submontano, no con la frecuencia de las especies anteriores, pero sí con una área basal o dominancia mayor. Entre ellas *Cedrela odorata*, *Alfaroa costaricensis*, *Peltogyne purpurea*, *Cordia alliodora*, *Guarea* sp. y *Dendropanax arboreus*.

Emergiendo del estrato superior homogéneo y sobre las vertientes, se encuentran dos grandes palmeras que alcanzan de 25 a 30 metros de altura: *Iriartea gigantea* y *Socratea durissima* (Fig. 6). El estrato inferior es denso y difícil de penetrar. Se distingue gran cantidad de heliconias, palmeras enanas como *Asterogyne martia-*

na y *Chamaedora* sp., y helechos y pequeños arbustos como *Piper* sp. y *Guetarda crispiflora*. En los interfluvios se desarrolla una vegetación baja, de 2 m de altura, impenetrable, compuesta en especial por un tipo de chusquea que forma densas colonias a las que se asocian entre otras *Bauhinia cookii*, *Clethra mexicana*, *Malvaviscus arboreus* y *Cleome spinosa*. Las especies dominantes del bosque sobre suelos poco evolucionados son las representativas del bosque muy húmedo tropical transicional a submontano. Su dominancia se debe a su gran crecimiento diametral del tronco, no obstante su baja densidad. Un hecho muy importante de destacar a nivel de regeneración de estas especies, es que existe una renegeración inicial mayor en el fondo del valle, lo cual puede ser explicada por una mayor concentración de semillas llevadas por gravedad y agua. Sin embargo, en los estados intermedios de desarrollo están casi ausentes, talvez por la mayor competencia que ejercen las especies típicas de los estados temprano y tardío que conforman el estrato superior homogéneo, y que a su vez son las de mayor frecuencia y densidad. A nivel estructural y florístico existe una mayor complejidad y se observa un aumento en epífitas, lianas y helechos, con respecto a los dos estados de la dinámica que analizaremos a continuación.

Sucesión vegetal en estado temprano superior :

Se localiza sobre las pendientes norte, noreste y sureste del volcán Arenal, que tienen una gradiente promedio de 28°. Las abundantes lluvias (3.200 mm), el viento y la fuerte pendiente originan grandes cárcavas, que alcanzan más de 3 metros de profundidad y hasta 3 metros de ancho. Los suelos son Lithic Dystrandept, muy poco evolucionados y afectados por una fuerte erosión hídrica y eólica, con una profundidad máxima de 27 cm y las lavas afloran frecuentemente. A partir de los 25 cm de profundidad dominan fragmentos de roca de 2 a 5 cm de diámetro. El análisis granulométrico de 3 muestras de suelo dio un 3,03% de materia orgánica humificada; 19,7% de limos; 76,4% de arena y 1,23% de arcilla. La textura es un migajón arenoso y un pH de 6,6. El material madre que dio origen a este suelo está compuesto por lavas andesito-basálticas, cenizas y piroclastos depositados a partir del Pleistoceno Superior. Nelson y Sáenz (1977) dan a conocer un período de actividad volcánica basada en lavas, nubes



Fig. 6. Fisonomía de la sucesión vegetal en estado tardío superior.

ardientes y piroclastos entre los años 1.200 y 1.500 D.C., al "datar" mediante radio carbono restos de cerámica y muestras de carbón de árboles sepultados por la actividad volcánica. Otra evidencia, de carácter histórico, es que los indios guatusos decían que allí (volcán Arenal) residía el Dios Fuego (Quirós, 1954). La vegetación que cubre esta zona del volcán Arenal es una formación arbustiva, con una altura de 2 a 5 metros y una cobertura de 76,3%, poco exigentes en lo concerniente a la naturaleza del suelo, que es muy delgado. El estrato arbustivo es muy denso e impenetrable, caracterizado por especies pioneras entre las cuales se distinguen tres Malvaceae —*Malviscus arboreus*, *Abutilon striatum* e *Hibiscus mutabilis*—, varias Compositae como *Mikania micrantha*, dos Melastomaceae y dos Ericaceae, *Gaultheria donnellii* y *Pernetia coriacea*, dispersadas por aves, al igual que *Phytolacca rivinoides*. Otras especies son: *Ricinus communis*, *Clethra mexicana* y *Sauraria veraguensis*, dispersadas por el viento. Es importante resaltar la gran frecuencia que presentan la *Acacia cookii* y la *Chusquea* sp., que forman densas colonias. La mayo-

ría de las especies presentan raíces superficiales, pero de gran desarrollo horizontal sobre los suelos de textura arenosa. En las superficies desprovistas de vegetación crece en forma muy densa *Lycopodium cernun*. Se distingue igualmente una sucesión vegetal en estado temprano superior de tipo secundario en el sector suroeste, afectado por la nube ardiente con una temperatura entre 273,15 K y 573,15 K (Nelson y Sáenz, 1977), pero se mantuvo un suelo bien desarrollado con una pequeña capa superficial de cenizas y proyecciones volcánicas. El estrato arbustivo es menos denso que la sucesión primaria de las vertientes del volcán Arenal y difiere también en cuanto a la composición florística. Esta diferencia es originada por el hecho de encontrarse entre 700 y 1.000 metros más abajo que la sucesión temprana superior de tipo primario, así como por desarrollarse sobre suelos más evolucionados y por existir cerca áreas boscosas y de sucesión tardía y temprana que se convierten en núcleos de dispersión. Fisiológicamente, la comunidad presenta dos estratos bien definidos. El estrato superior alcanza entre 3 y 4 metros de altura con una cobertura de 62,3% , en el cual las especies de mayor frecuencia son *Ficus* sp., *Psidium guineense*, *Mimosa pigra*, *Piper arboreum*, *Ochroma lagopus*, *Cecropia peltada*, *Cassia reticulata*, *Trema ricantha*, y *Luehea seemannii*. El estrato inferior o herbáceo es muy denso, dominando aquellas especies de amplia distribución (cosmopolita) y pantropical) como son: *Mimosa pudica*, *Mimosa dormiens*, *Sida rhombifolia*, *Borreria laevis*, *Elaphantopus spicatus*, *Hypomea* sp., y *Asclepias curassavica*. No había especies indicadoras del estado tardío.

Sucesión vegetal en estado pionero

Se localiza en el sector noroeste, sobre las últimas coladas del volcán Arenal. En el mes de julio de 1968 el volcán Arenal reinició su actividad después de aproximadamente 468 años de inactividad. La erupción de tipo peleano y caracterizada por el lanzamiento violento de cenizas, lavas, nubes ardientes, explosiones y gases a partir de su nuevo cráter lateral, afectó una superficie de 12 km² y las cenizas fueron lanzadas sobre un radio de 40 km. A partir del año de 1968, la actividad del volcán Arenal se ha mantenido y se puede seguir la siguiente cronología de las coladas de lava: 11 de noviembre de 1968, 7 de junio de 1970, 5 de mayo de 1974,

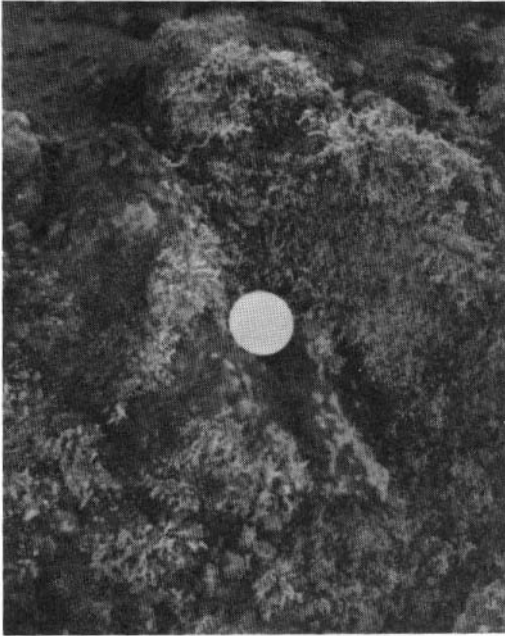


Fig. 7. Superficie de lavas cubiertas de líquenes, musgos y hepáticas foliares que inician la etapa pionera.

varias en 1975, 1976 y 1977, y el 27 de agosto de 1978 (Wadge, 1982). En la actualidad existen emanaciones de lava, lanzamiento de bloques, vapor, gases y fuertes retumbos.

Wadge (1982) da un espesor de 150 metros para el campo de lava erupcionado entre 1968 y 1980; sin embargo, los flujos individuales raramente exceden los 30 m de espesor. Las lavas se encuentran interdigitadas y sobrepuestas. Los frentes de coladas tienen alturas comprendidas entre los 2 y 4 metros y son del tipo andesito-basálticas (Malavassi, 1979). A lo anterior podemos agregar que presentan una topografía irregular y en la superficie dominan los bloques con aristas filosas.

La roca comienza a descomponerse en especial por la meteorización química, que se ve favorecida por el elevado grado higrométrico y la abundante precipitación (2.750 mm). Sobre este material se inicia el proceso pedogenético. Los suelos iniciales se pueden clasificar como Lithic Trophent.

La comunidad vegetal es realmente incipiente, dominando en forma clara la superficie gris oscura de las lavas y los fragmentos rocosos de 4 a 8 cm de diámetro en los glaciares de acumulación. La dinámica vegetal es progresiva, pues se dirige hacia comunidades vegetales cada vez más complejas. Partiremos de los vegetales con es-

estructuras simples (Talófitas, Briófitas, Licópsidas), pasando por las Pterópsidas, hasta formas estructurales más complejas (Angiospermas). En la superficie de lava únicamente se encuentra líquenes (Talófitas), musgos y dos hepáticas foliares (Briófitas) (Fig. 7). Según su forma, se distinguen dos tipos de líquenes: uno crustáceo de color blancuzco; y otro foliáceo, de color gris oscuro. Ambos se encuentran desde los frentes de coladas a una altitud de 600 metros hasta cerca del cráter lateral a 1.910 metros, con la mayor cobertura sobre los bloques de lava, lo que indica su carácter fototrópico. Dos musgos son Bactramiaceae (*Filonotis*) y dos son Briaceae. Los musgos y hepáticas ocupan las paredes de los bloques de lava que reciben directamente la humedad de los alisios del NE (88% de la humedad relativa, según el promedio de 4 mediciones de campo en un año) y una profundidad de 0.75 a 1.50 cm en las grietas umbrías que se forman entre los bloques de lavas. La alta humedad relativa y la sombra son dos elementos que favorecen el alto porcentaje de su cobertura y reflejan el carácter esciafítico e hidrofítico de los musgos y hepáticas. Los líquenes crustáceos desempeñan una función primordial como pioneros en la sucesión primaria al dar inicio a la pedogénesis por medio de la acción mecánica y la química. Estos son seguidos por las foliformes y posteriormente por los musgos y hepáticas. Los musgos y hepáticas foliares, por su capacidad de absorber agua por las hojas y de retenerla, intensifican el proceso pedogenético e igualmente retienen los elementos finos que porta la erosión eólica e hídrica. Prueba de ello son el 82,7% de arena y 17,3% de limo (análisis granulométrico) de la muestra de material retenido por los musgos y hepáticas foliares, el cual alcanza un grosor máximo de 10 cm, aunque lo normal es de 3 cm. Por lo anterior, la capa de musgos y hepáticas foliares actúa como un lecho para los helechos y angiospermas herbáceas (leñosas o no leñosas) que se instalan posteriormente. *Lycopodium cernum* (Lycopodiaceae) que se reproduce por medio de estolones, forma una cobertura discontinua. Se recogió diez especies de helechos, de los que 7 ocupan hábitats diferentes. En las grietas, sobre una pedogénesis inicial, se desarrollan *Pteridium aquilinum*, *P. arachnoideum* y *Dicranopteris bifida*. Sobre los glaciares de acumulación formados por fragmentos de roca se encuentran *Nephrolepis* sp. y *Blechnum costaricensis* (Fig. 8) que acompañan a los líquenes crustáceos y folia-



Fig. 8. *Blechnum costaricensis* sobre un glacis de acumulación dominado por una textura arenosa.

ceos. Por último, arriba de los 900 metros hasta cerca del cráter lateral, crecen *Pityrogramma calamelanos* y *Pityrogramma subebenea*. Los helechos forman una cobertura discontinua, separados por 1 a 1,5 metros.

En las grietas de la parte terminal de las lavas, donde se desarrolla una pedogénesis inicial, se encuentra un número importante de angiospermas herbáceas, subarborescentes y arbustivas leñosas o no leñosas, que fueron totalmente inventariadas: *Coccocypselum hirsutum* (Rubiaceae), hierba rastrera, de fruto morado y carnososo; *Ageratina anisochroma* (Compositae), hierba erecta, no leñosa, de 30 a 40 cm de altura, con flores blancas; *Sawagesia erecta* (Ochnoaceae), hierba leñosa, de 50 cm de altura, con flores de color morado; *Sauraria veraguesis* (Actinidiaceae), arbusto leñoso, de 1,25 m de altura, con un aparato radical superficial muy denso; *Tibouchina longifolia* (Melastomaceae), hierba leñosa erecta, con flores amarillas, y *Clethra mexicana* (Clethraceae) (Fig. 9), arbusto leñoso, de hojas esclerofílicas, de 1,50 m de altura. Además hay hierbas pequeñas como *Acalypha* sp. (Euphorbiaceae), *Clitoria* sp. y dos *Desmodium* sp. uno de flor celeste y otro de flor rosada (Leguminosae), tres compositae *Porophyllum* sp. *Melanthera* sp. y *Emilia* sp. dos Amaranthaceae: *Amaranthus spirosus* y *Amaranthus* sp. y *Asclepias curassavica*.

Dentro de las grietas es común encontrar la orquídea *Elleanthus* sp. así como dos gramíneas, una de ellas *Paspalum* sp. Esta vegetación herbácea y arbustiva que crece en los frentes de lava, va desapareciendo a medida que se inicia el ascenso hacia el nuevo cráter lateral. Arriba de 1.000 metros de altitud, únicamente

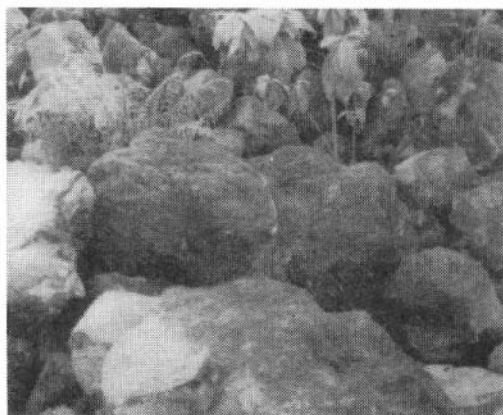


Fig. 9. *Clethra mexicana* (Clethraceae) desarrollándose en las grietas formadas por las lavas en bloques.

existen líquenes crustáceos blancuzcos sobre la superficie de lava. En donde existen depósitos de arenas o material limo-arenoso, crecen dos helechos de hoja esclerofílica: *Pityrogramma calamelanos* y *Pityrogramma subebenea*, así como dos Ericaceae, típicas del piso montano, con hojas esclerofílicas: *Pernetia coriacea* y *Gaultheria donnellii*.

En la zona comprendida entre el embalse de Arenal y el frente de las coladas, sobre los glacis de acumulación, materiales piroclásticos compuestos por gravas y arena, se desarrolló una vegetación en manchas compuesta por *Mikania micrantha* (Compositae), hierba rastrera de gran cobertura sobre las arenas y *Phytolacca rivinoides* (Phytolaccaceae), arbusto leñoso, ramificado desde abajo, de 1 metros de altura, con frutos carnosos de color rojizo, dispersados por aves. Además hay dentro de esas manchas; *Miconia argentea*, *Cecropia peltada*, *Psidium guajava*, *Ficus goldmanii*, *Ochroma lagopus*, *Mimosa pigra*, *M. dormiens* y una *chusquea* que forma una maleza impenetrable.

Como resultado hemos distinguido cuatro comunidades vegetales (Cuadro 1) que presentan diferentes formas biológicas y estados de la dinámica vegetal (Fig. 10) según la edad del depósito (lavas y piroclastos) y la evolución de los suelos. Un factor ecológico que desempeña un papel importante en la pedogénesis, la dinámica vegetal, la distribución y riqueza florística es la precipitación. El régimen pluviométrico presenta en general, una abundante y bien distribuida precipitación en el año, sin originar un mes ecológicamente seco, según el análisis de los promedios del período 1970-1984. Se considera un mes ecológicamente seco cuando

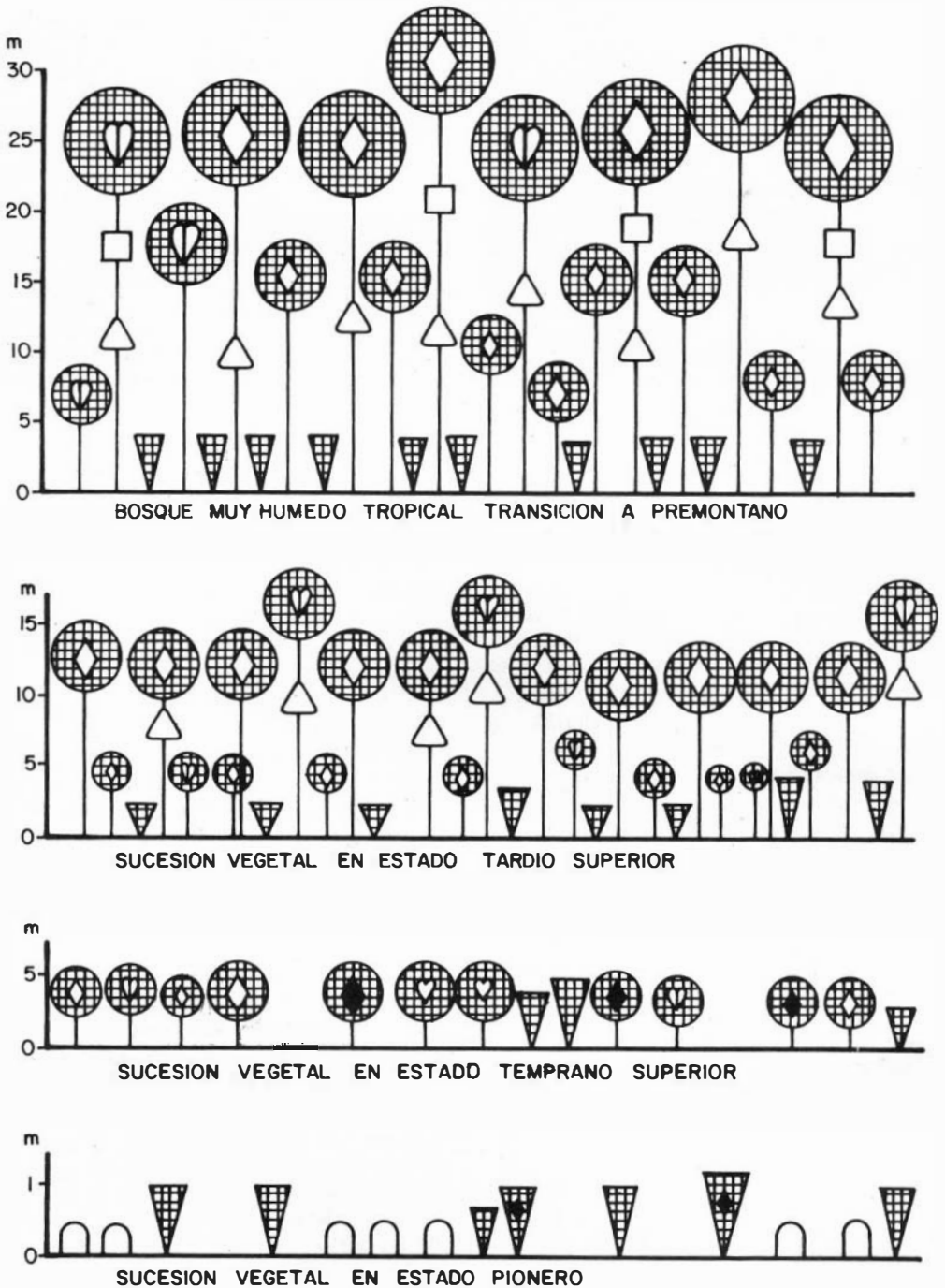


Fig. 10. Representación estructural de los estados de la dinámica vegetal en la región de estudio según el sistema Dansereau.

existe déficit hídrico en el suelo (Holdridge, 1962). No obstante, es probable que se presente uno o dos meses secos cada dos años (marzo-

abril), según la variabilidad interanual de las precipitaciones mensuales (Vargas Ulate, 1984). El grado higrométrico es muy elevado (88 a

CUADRO 1

Características geológicas, pluviométricas, edáficas, fisonómicas de los 4 estados de la sucesión vegetal primaria

CARACTERÍSTICAS ESTADO DE LA SUCESION	MATERIAL DEPOSITADO	EDAD Y PERIODO GEOLOGICO DEL MATERIAL DEPOSITADO	EVOLUCION Y PROFUNDIDAD DEL SUELO	FORMA BIOLÓGICA DOMINANTE Y ALTURA	LLUVIA PROMEDIO ANUAL
ESTADO CLIMAX Bosque tropical muy húmedo transición a premontano	Lavas andesítico-basálticas - piroclastos, cenizas y brechas	Terciario volcánico mioceno superior (tu-ms) 10 millones de años	Muy evolucionado 3.40 m de profundidad	Arboles 25 a 30 m de altura	5.043 mm
ESTADO TARDIO SUPERIOR	Igual	Cuaternario volcánico pleistoceno superior (Qv - pLs) 700 o 100 mil años	Poco evolucionados 0 a 70 cm	Arboles 15 metros	4.700 mm
ESTADO TEMPRANO SUPERIOR	Igual	Cuaternario volcánico pleistoceno superior a holoceno (Qv-pLs) a (Qv-h) 100 a 10 mil años	Muy poco evolucionados 0 a 27 cm	Arbustos 2 a 5 m	3.200 mm
ESTADO PIONERO	Igual	Cuaternario volcánico holoceno reciente 1968 - 17 años	Sin ningún desarrollo 0 a 2 cm	Briófitas talófitas hierbas 0 a 75 cm	2.750 mm

92% de humedad relativa) lo que favorece formas de condensación como la neblina y rocío, casi permanentes en la región.

La dinámica vegetal se desarrolla solo en el piso basal transicional a submontano, por lo que hay poca variación florística altitudinal. En la sucesión de estado temprano superior, a partir de los 1.350 m, hay especies características del piso montano como *Chusquea sp.*, *Pernetia coriacea* y *Gaultheria donnellii*, aunque la chusquea se observa a una altitud entre los 860 y 1.185 metros, sobre los interfluvios de los ríos Burrito, Fortunita y Fortuna, en suelos poco evolucionados y con afloramientos de rocas.

En la zona intertropical, la dinámica de vegetación primaria pionera desarrollada sobre lavas presenta la misma fisonomía. Dominan como formas biológicas las Talófitas, Briófitas y Pterópidas e hierbas leñosas o no leñosas. Lamentablemente, los estudios de Penzing (1902), Robyns (1932), Skotberg (1914), Beard (1945) y Egger (1959), analizan únicamente la última actividad volcánica, lo que impide una comparación amplia con este estudio.

Algunas de estas especies del estado pionero son de distribución pantropical, pues se encontraron igualmente en los volcanes Krakatoa, Rumoka, La Soufrière, Paracutín y Jorullo y en las lavas de Hawaii. Entre ellas *Sida rhombifolia*, *Mimosa sp.*, *Ficus sp.*, y el helecho *Pteridium*

aquilinum que se encuentra en las seis áreas. Sin embargo, la mayoría de las especies de la comunidad que conquista las lavas del Arenal no se encontraron en el Krakatoa, Rumoka, ni en la isla Hawaii. Están ausentes en el volcán Arenal otros géneros (*Rumex*, *Indigofera*, *Cleome* y *Senecio*) que se encontraron en dichas áreas. Posiblemente, lo anterior es debido a la barrera geográfica que forman los océanos Pacífico y Atlántico, que impiden la dispersión de las especies. De las especies del Volcán Arenal, *Pityrogramma subbenea*, *Clethra mexicana*, *Trema micrantha* y *Phytolacca sp.*, se encuentran en los volcanes Paracutín y Jorullo, y *Cecropia peltada*, *Ochroma sp.*, *Desmodium sp.* y *Sauvagesia erecta* en el volcán La Soufrière. Esto puede explicarse por contacto continental de América Central con México (Paracutín y Jorullo) y por la poca distancia entre las Antillas Menores y el continente, lo que facilita la dispersión por medio de anemocoría y zoocoría (aves) en el caso de La Soufrière.

En el aspecto climatológico existe una diferencia muy clara entre el Volcán Arenal y los otros seis casos, a excepción de La Soufrière que tiene una precipitación anual de 3.800 mm sin estación seca. El volcán tiene abundante precipitación y humedad relativa durante el año, sin estación seca definida, mientras que en las otras áreas la precipitación está comprendi-

da entre 152.4 mm (Paracutín) y 1.200 mm (Rumoka), con una estación seca entre 3 y 5 meses en todos los casos. La abundante pluvio-metría en el caso del Arenal, favorece la pedogénesis y una mayor variedad florística, aunque en el caso del Krakatoa (isla de Java), La Soufrière (Isla st. Vincent) y en Hawaii debe considerarse también su carácter insular que reduce considerablemente la riqueza florística. Igualmente hay que considerar el factor ístmico de Costa Rica, que funciona como puente botánico entre el núcleo Austral y el Boreal.

Estos estados sucesionales son producto de factores ecológicos que actúan como un sistema dinámico. Este análisis presenta solo el estado presente. Sin embargo, la sucesión vegetal evoluciona de manera semejante al conocimiento científico, por ello es necesario realizar estudios más precisos y darle un seguimiento periódico (cada dos años) a este proceso en el volcán Arenal y sus alrededores.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa un agradecimiento a Luis Poveda y Luis Diego Gómez del Herbario del Museo Nacional por la Clasificación de las especies recogidas en las lavas del Arenal y sus alrededores, y a María Isabel Morales, de la Escuela de Biología de la Universidad de Costa Rica, por la identificación de los musgos. A Rebeca Castrillo L. por el trabajo mecanográfico y a Marco Solís L. por los dibujos.

RESUMEN

La sucesión vegetal primaria sobre materiales volcánicos recientes en el Volcán Arenal varía en su evolución, fisonomía y composición florística según la edad de los depósitos volcánicos, desarrollo de los suelos y la precipitación. Sobre los depósitos más antiguos se encuentran suelos más evolucionados, capaces de mantener los estados más avanzados de la dinámica. En los depósitos más recientes la pedogénesis se inicia y la vegetación es pionera.

REFERENCIAS

- Alvarado Induni, G. 1984. Aspectos petrológico-geológicos de los volcanes y unidades lávicas del Cenozoico Superior de Costa Rica. Tesis de Licenciatura Universidad de Costa Rica, Escuela de Geología, San José, Costa Rica, 183 p.
- Beard, J.S. 1945. The progress of plant succession on the Soufrière of St. Vincent. *Ecology*, 32: 1-9.
- Cabaussel, G. 1967. Photo-interpretation et synthese écologique. Essai d'application a la feuille de Grenoble (1:100 000), these de doctorat, Université de Grenoble, France, 171 p.
- Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional. Datos pluviométricos de las estaciones de Nueva Tronadora, Rincón de la Leona, Jilguero, Fortuna, Unión y Quesada. Período 1970-1984.
- Chávez, R. y R. Sáenz, 1974. Mapa geológico de la cordillera de Tilarán (1:200 000). San José, Dirección de Geología y Minas. Ministerio de Economía, Industria y Comercio.
- Dansereau, P. 1972. *Biogeography: an ecological perspective*. Ronald P., N. York, 394 p.
- Eggler, W.A. 1959. Manner of invasion of volcanic deposits by plants, with further evidence from Paracutin and Jorullo. *Ecol. Monogr.* 29: 267-286.
- Estrada del Llano, A. 1984. Informe geológico parcial de reconocimiento del proyecto Fortuna, San José, Instituto Costarricense de Electricidad, Oficina de Geología, 28 p.
- Gausson, H. y P. Rey. 1971. Service de la carte phytogéographique. París, Centre National de la Recherche Scientifique, 79 p.
- Holdridge, L. R., 1962. The determination of atmospheric water movement. *Ecology*, 43: 1-9.
- Küchler, A.W. 1960. Mapping of dynamic aspects of vegetation. pp 186-201 In: *Colloque International: Méthodes de la Cartographie de la Végétation*. Toulouse, Centre Nationale de la Recherche Scientifique.
- Long, G. 1969. Conception générale sur la cartographie biogéographique intégrée de la végétation y de son écologie. *Ann. de Geogr.* 427: 257-285.
- Madrigal, R. y G. Rojas, 1980. Manual descriptivo del mapa geomorfológico de Costa Rica, (1:200 000). Secretaría de Planificación del Sector Agropecuario, San José, Imprenta Nacional, 79 p.
- Malavassi, E. 1979. Geology and petrology of Arenal Vulcano. Hawaii, M.Sc Thesis, University of Hawaii, 111 p.
- Nelson, W.G. y R. Sáenz, 1977. Las erupciones del volcán Arenal, Costa Rica en julio de 1968. *Rev. Geogr. Am. Central*, 5-6: 55-148.
- Penzing, O. 1902. Die Fortschritte des Flora des Krakatau. *Ann. Jard. Bot. Buitenzorg*, 8: 92-115.
- Robyns, W. 1932. La colonisation végétale des laves récents du volcán Rumoka. Bruxelles, Institut Royale Coloniale Belge, 31 p.

Sgatt-Smith, J. 1949. Natural plant succession. Malayan forester, 12: 148-152.

Skötberg, C. 1941. Plant succession and recent lava flows in the island of Hawaii. Göteborgs Kungl. Vetens Kaps-och. Vitterherts-Samhälles Handddlingar, Sj"atte f"oljden. Ser B, Bandkl, 8: 1-32.

Quirós, T. 1954. Geografía de Costa Rica. Instituto Geográfico Nacional, San José, Costa Rica, 194 p.

Theuret, L. 1976. Travaux pratiques de pedologie. Fas. 1, Paris, Centre National de la Recherche Scientifique: 3-6.

Tosi, J. 1983. Mapa ecológico (Costa Rica, 1:750.000 000), San José, Instituto Geográfico Nacional.

Vargas U., G. 1983. Mapa fitogeográfico de la cordillera de Tilarán y cuenca inferior del río Bebedero, Costa Rica (1:200 000), San José, Instituto Geográfico Nacional.

Vargas U., G. 1984. Análisis bioclimatológico gráfico de las formaciones vegetales, caso de la cordillera de Tilarán y cuenca inferior del río Bebedero. San José, Ponencia al Primer Congreso de Geografía, Unión Geográfica Internacional, Asociación Costarricense de Geógrafos, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas.

Wadge, G. 1982. El campo de flujos de lava 1968-1980 y las tasas de erupción del magma en el volcán Arenal. Bol. Vulcan. (Heredia), 14: 75-78.