

MINISTERIO DE AGRICULTURA
Y GANADERIA
Dpto. DE REGIONALIZACION
ECUADOR

O.R.S.T.O.M.
OFICINA PARA LA INVESTIGACION
CIENTIFICA Y TECNOLOGICA DE ULTRAMAR
FRANCIA

BIOARQUITECTURA DE LAS VEGETACIONES Y METODO
PRACTICO PARA SU OBSERVACION

Por

Dr. Ir. Roelof A.A. OLDEMAN
Maître de Recherches ORSTOM

Nota Técnica en el marco del Convenio MAG/ORSTOM
Sección Ecología
N°E.1 - Febrero 1975

A7510

18 AVR. 1975
O. R. S. T. O. M. Ex 1
Collection de Référence
n° 7510 B. t.

PRINCIPIOS.-

Cada vegetación constituye una unidad analizable en términos de tres clases: los que conciernen a su biomasa, los que tratan del cambio de energía entre la vegetación y su ambiente, y al final los que se refieren a sus formas. Ahora bien, la forma biológica tiene la índole particular, frente a las formas de la naturaleza inanimada, de ser fugaz y momentánea. Es decir que ella representa una fase, perteneciendo orgánicamente a un proceso de crecimiento que puede concebirse como un desarrollo biológicamente guiado y regulado.

Observar formas, pues, no es suficiente para el análisis completo de una vegetación, ni, además, de ningún sistema vivo: se debe observar una serie de formas sucesivas representando a las fases principales del ciclo biológico, desde el nacimiento hasta la muerte. El complejo de formas globales que hacen el armazón del sistema vivo bajo consideración se llamará en adelante bioarquitectura o, más brevemente, arquitectura de ese sistema al momento de su observación.

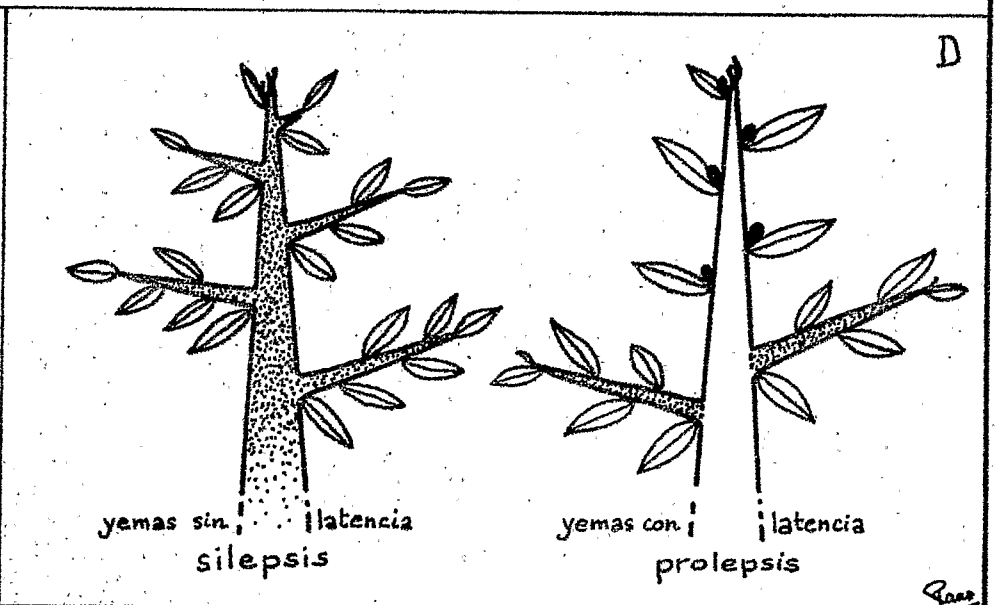
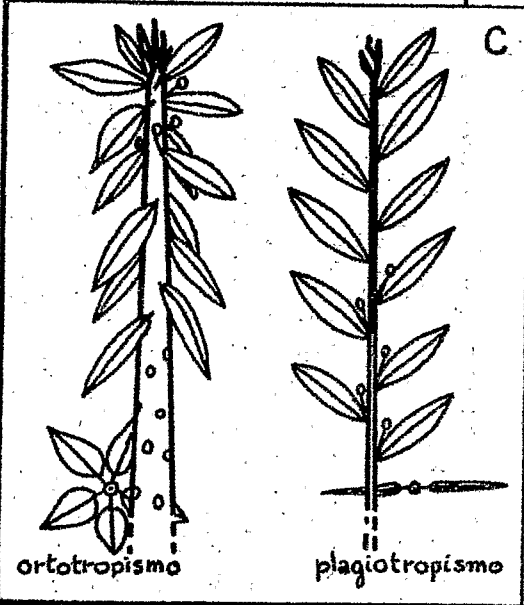
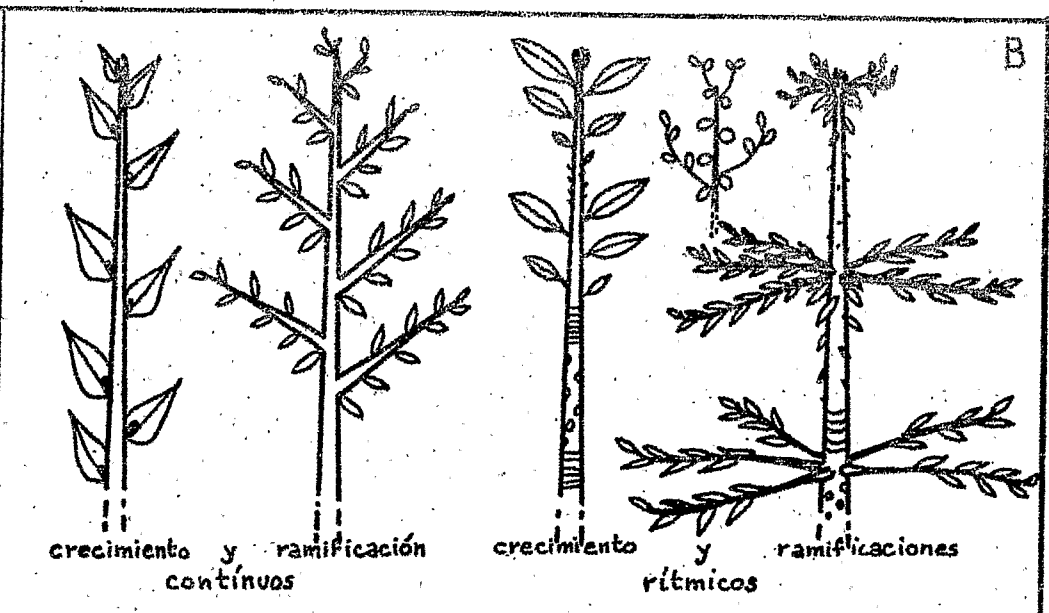
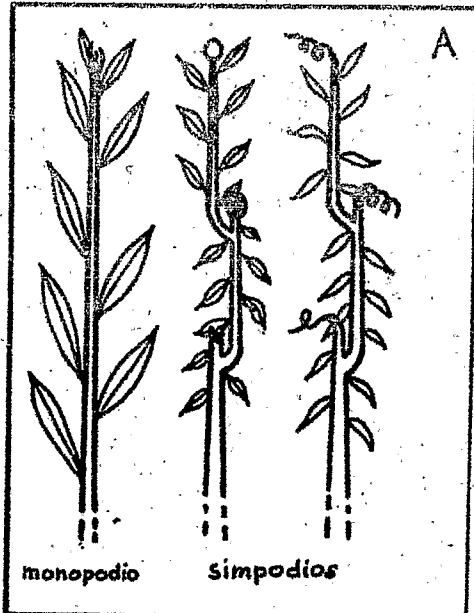
La serie completa de arquitecturas sucesivas asumidas por la vegetación, o por el otro biosistema, se llamará modelo de crecimiento, ya que esa serie nos trae una imagen bastante fiel del ciclo biológico y ecológico completo. Esa introducción se excedería considerando a los aspectos de biomasa y de energía correlacionados con cada etapa del modelo arquitectural de crecimiento; basta estipular que existen tales correlaciones (Oldeman, 1972, 1974) permitiendo la comparación, sobre una base relativa aún, de los rendimientos de la producción de biomasa según criterios arquitecturales.

Todo análisis en biología debe hacerse con la conciencia de que las unidades de cierto orden de tamaño se integran en unidades de orden más largo, según un patrón definido. Así las células, por ejemplo, se arreglan en un tejido en los organismos superiores. Cada nivel en que se hallan unidades biológicas de cierto orden reconocible, se llama nivel de integración (ver Godron, 1970). Hay, desde el más fino, niveles bioquímicos, del núcleo celular, del tejido, del órgano, y, luego, los que nos interesan: el nivel del organismo entero, el de la estación de vegetación (población reducida de organismos) y el del tipo de vegetación (población de estaciones). Dejemos a un lado aquí los niveles bastante abstractos tal como el nivel de las especies o de la población compuesta de numerosas especies, niveles que se prestan mal al análisis arquitectural.

Subrayemos que la unidad biológica considerada en cierto nivel no es la mera suma de las unidades del nivel inferior, pero que tiene una propia organización comprensible sólo en términos propios del nivel superior. Este hecho se explica por la acumulación de energía de información, necesaria para lograr la cohesión de un sistema compuesto de elementos más pequeños que él: para hacer un bosque entran en juego fuerzas de regulación uniendo a los árboles y que pasan la suma de las fuerzas haciendo a cada árbol lo que es individualmente. Presentamos enseguida un ejemplo forestal, pero es claro que el mismo método, adaptando su escala, puede emplearse para el análisis de otros ecosistemas no forestales. Sin embargo, antes de la exposición práctica del método simplificado de reconocimiento, es preciso que se expongan algunas nociones fundamentales.

LOS ARBOLES.

Los modelos arbóreos.- De el libro publicado por HALLE y OLLEMAN (1970), resume cinco años de estudios sobre los árboles tropicales. La arquitectura de aquellos organismos puede resumirse en unos



25 modelos de crecimiento, lo que constituye un número sorprendente^{mente} bajo, tomando en cuenta la abundancia de las especies. Estos modelos quedan definidos por cuatro parámetros morfológicos arquitecturales que conciernen a los ejes y los meristemas edificándolos.

Estos meristemas pueden mostrar un funcionamiento:

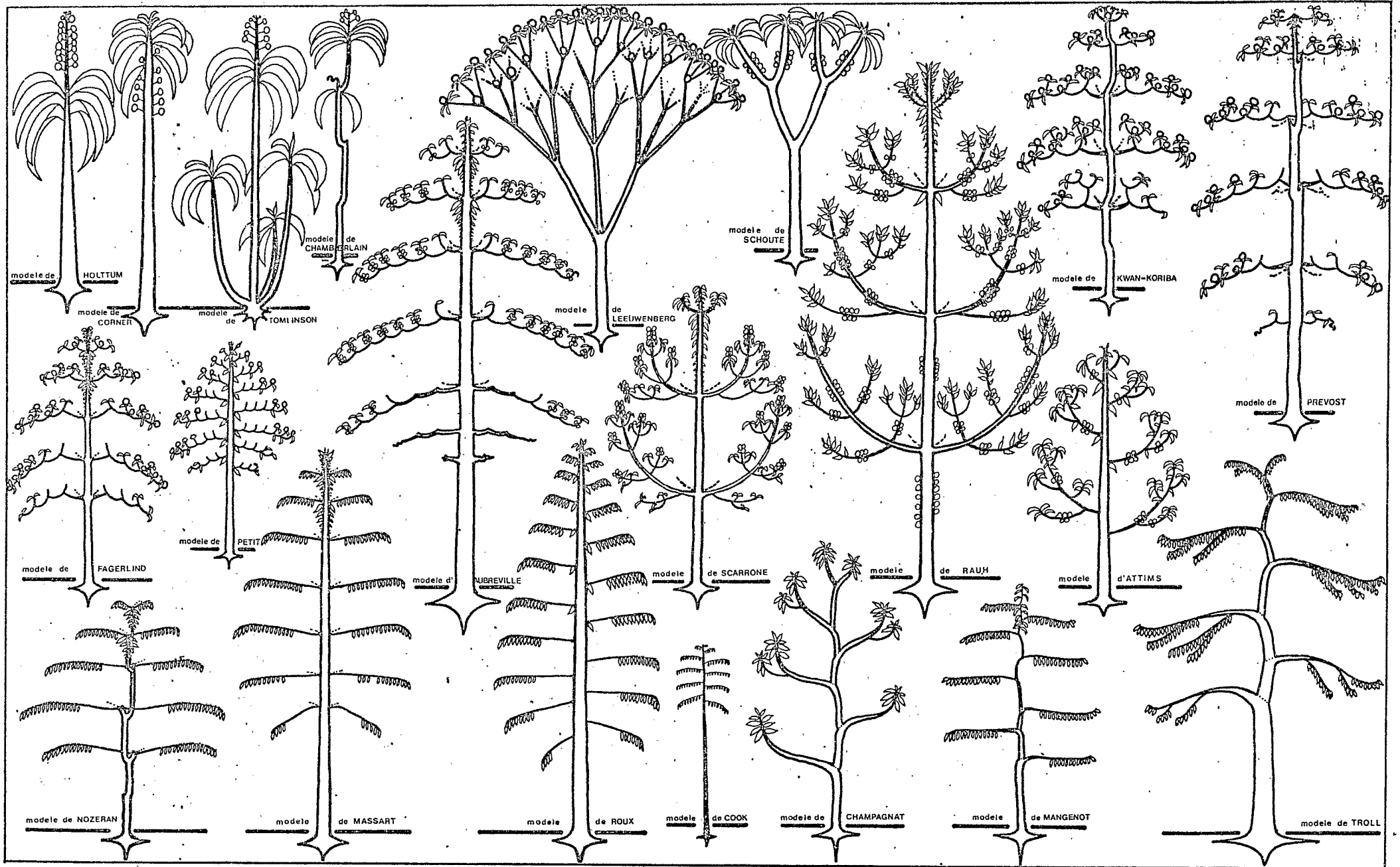
- ILIMITADO O LIMITADO, dando como resultado un eje monopodio, o un eje simpódio (fig. 1A);
- CONTINUO O RITMICO, dando como resultado un eje con rastros estructurales o con una ramificación que delata la manera de crecer. (fig. 1B);
- RADIALMENTE O BILATERALMENTE SIMETRICO, dando como resultado un eje ortótropo (vertical, con órganos laterales ordenados en espiral) o plagiótropo (más o menos horizontal con órganos laterales en un plano dorsiventral) fig. 1C;
- SINCRONICO O DISCRONICO, dando como resultado distintos patrones de ramificación, llamados silepsis en el primer caso, y prolepsis en el segundo (fig. 1D).

Según estos criterios se logra una definición de modelos de crecimiento arbóreo, siendo los más frecuentes los que se encuentran resumidos en la figura 2. Cada uno, está representada por una etapa arquitectural representativa del modelo, por que muestra las huellas de las etapas precedentes del crecimiento. Los modelos son hereditarios, es decir específicos. Se hallan también en las hierbas, pero miniaturizados o sólo parcialmente realizados, sin embargo, los modos del crecimiento herbáceo todavía quedan imperfectamente conocidos. Los árboles de las regiones templadas así mismo poseen en su equipaje genético un modelo arquitectural que no se distingue de uno de los modelos tropicales, pero cuyo modo de expresión, en esos climas inhospitalarios, queda más o menos perturbado, es decir ecológicamente regulado más que hereditariamente, y por consecuencia más complicado.

No se trata aquí de exponer las implicaciones teóricas del hecho de la existencia de los modelos arbóreos. Nos interesa, en el marco de ésta introducción, que el análisis arquitectural permita mirar al bosque (y a otras vegetaciones), bajo una óptica de principios estructurales de los organismos vegetales que constituyen tal vegetación. Aquellos principios siendo menos numerosos, generalmente, que las especies, al seno de la alfombra vegetal, los modelos arquitecturales abren posibilidades de simplificación de los métodos de investigación, sin que se haya perdido el rigor científico de éstos métodos.

La observación de los árboles en el bosque húmedo tropical nos enseñaba que, entre todos los árboles, sólo del 15 al 15% muestran una conformación más o menos completa con su modelo de crecimiento (fig 2). En regiones menos hospitalarias de la tierra, ese porcentaje aún se queda más bajo. Los árboles conformes al modelo revelan estar en una fase temprana de su vida, lo que no quiere decir que son cronológicamente jóvenes, pues, pueden permanecer en tal estado por un tiempo bastante largo.

FIG. 1. : Criterios analíticos de la arquitectura y del modelo de crecimiento de los árboles. A. Funcionamiento meristemático ilimitado o limitado, B. Continuo o Rítmico, C. Radialmente o Bilateralmente simétrico, D. Sincrónico o Discrónico.



Este obstáculo se venció cuando se descubrió el fenómeno llamado por OLDEMAN (1972) la reiteración del modelo. Es una noción que permite darse cuenta del desarrollo de un árbol desde su germinación hasta su muerte, y, sobre el plano práctico, lograr la clasificación de los árboles según su significación en tanto que elementos constructivos del bosque, agentes en los ciclos de retro-alimentación de información que determinan tal vegetación.

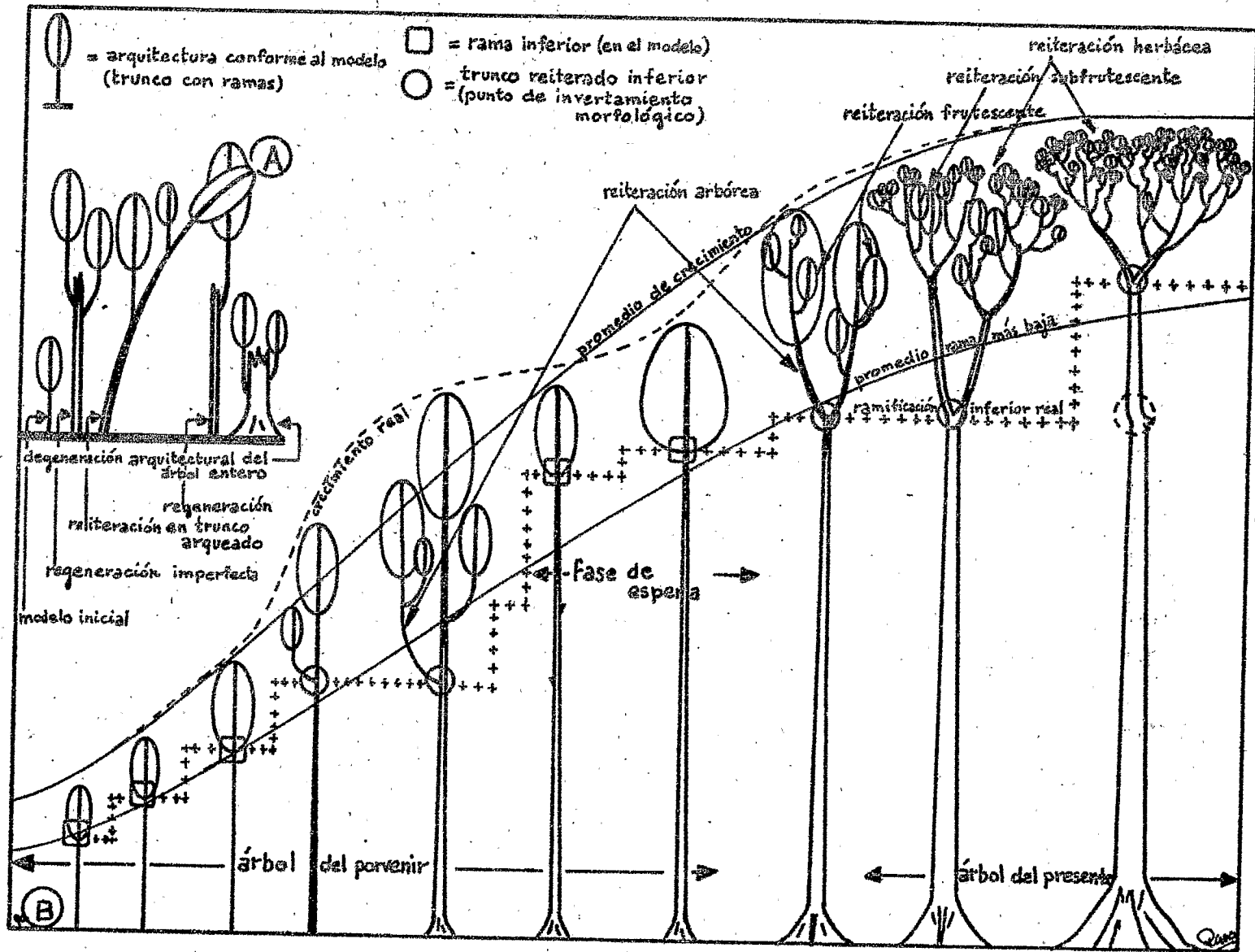
La reiteración del modelo arquitectural. En toda parte, donde hay árboles puede observarse el fenómeno de yemas despertándose luego de un período de latencia y edificando no una rama pero sí un verdadero tronco pequeño ubicado en un lugar que "normalmente queda vacío de ramificaciones. Esto se produce de una manera muy espectacular en el bosque húmedo tropical, en donde se encuentran frecuentemente los casos ilustrados en la figura 3A. Mirando a tales formas con conocimiento de los modelos arbóreos, resulta que cada tronco nuevo, que sea un tronco de reemplazo-único o no-, que sea un tronco formado dorsalmente sobre troncos arqueados, que sea por fin un tronco proveniente de un leño, constituye el principio de la actuación de un nuevo modelo, al lado de lo que el árbol ya realizó seguido a su germinación.

El fenómeno no se limita a los árboles enfermos o heridos. Se produce también en árboles totalmente sanos cuando se encuentran en condiciones de energía superabundante. Es precisamente el caso del árbol forestal que se ve expuesto a la plena luz después de la caída de los grandes y viejos árboles que hasta ese momento les cubría con su sombra. El orden completo de etapas, primeramente determinadas por el modelo inicial postgerminativo y luego por la reiteración del modelo (interrumpido eventualmente por la pérdida de complejos reiterados de órganos, antes de nuevas reiteraciones) puede verse en la figura 3B. Enfatizemos que todavía el mismo modelo arquitectural específico queda la unidad de interpretación de arquitecturas más complejas, comprobando así su utilidad general que pasa largamente la escala de una noción teórica limitada a circunstancias más o menos "ideales".

Sin poder exponer completamente, en el espacio limitado de esta introducción, la fisiología del asunto, tenemos que estipular dos puntos muy importantes.

Los ejes que constituyen un árbol pueden considerarse como un sistema de tubos (cf. SHINOZAKI y coll., 1964, "pipe model theory"). Sin embargo, esos tubos no tienen todos los papeles equivalentes: dentro de cada modelo, inicial o reiterado, el tronco asume el monopolio del transporte líquido vertical y de su distribución entre los ejes subordinados, las ramas. Ese sistema de comunicación depende enteramente de los tejidos leñosos y verticales más o menos recientes, únicos funcionales. Es decir que la capacidad de transporte en cada momento depende del equilibrio entre la formación de tubos nuevos, jóvenes, y la obstrucción de los viejos. Cuando el crecimiento es igual a la tasa de tejido que se obstruye, la planta se queda en una condición constante, termodinámicamente una condición de homeóstasis de sistema abierto. Cuando el equilibrio muestra muy poco

FIG.2.: Los modelos arbóreos los más corrientes, según HALLÉ y OLDEMAN, 1970 (tomado en OLDEMAN, 1972, L'architecture de la forêt guyanaise). Cada modelo fue dedicado a un botánico habiendo contribuido al conocimiento de ese modelo; esa nomenclatura se eligió por razones de neutralidad científica expuestas en otras publicaciones.



crecimiento, la planta va muriéndose. Cuando el crecimiento excede la obstrucción, el sistema entero puede aumentar de tamaño. El cambio de equilibrio hacia una intensificación o hacia una frenada, se determina por impulsiones de producción provenientes sea de la copa, o sea del sistema de raíces. Un aumento de la bioproducción en cada uno de los tres sistemas: la copa (fotosíntesis), las raíces (rhizosíntesis) o al cambium (tejidos conductores), pone en camino un ciclo de amplificación de los otros dos, hacia el restablecimiento de un nuevo equilibrio homeostático. Una frenada precoz puede producirse solamente cuando se lleve a su máximo intrínseco la producción de uno de los tres sistemas; el único que tiene tales límites es el sistema cambial.

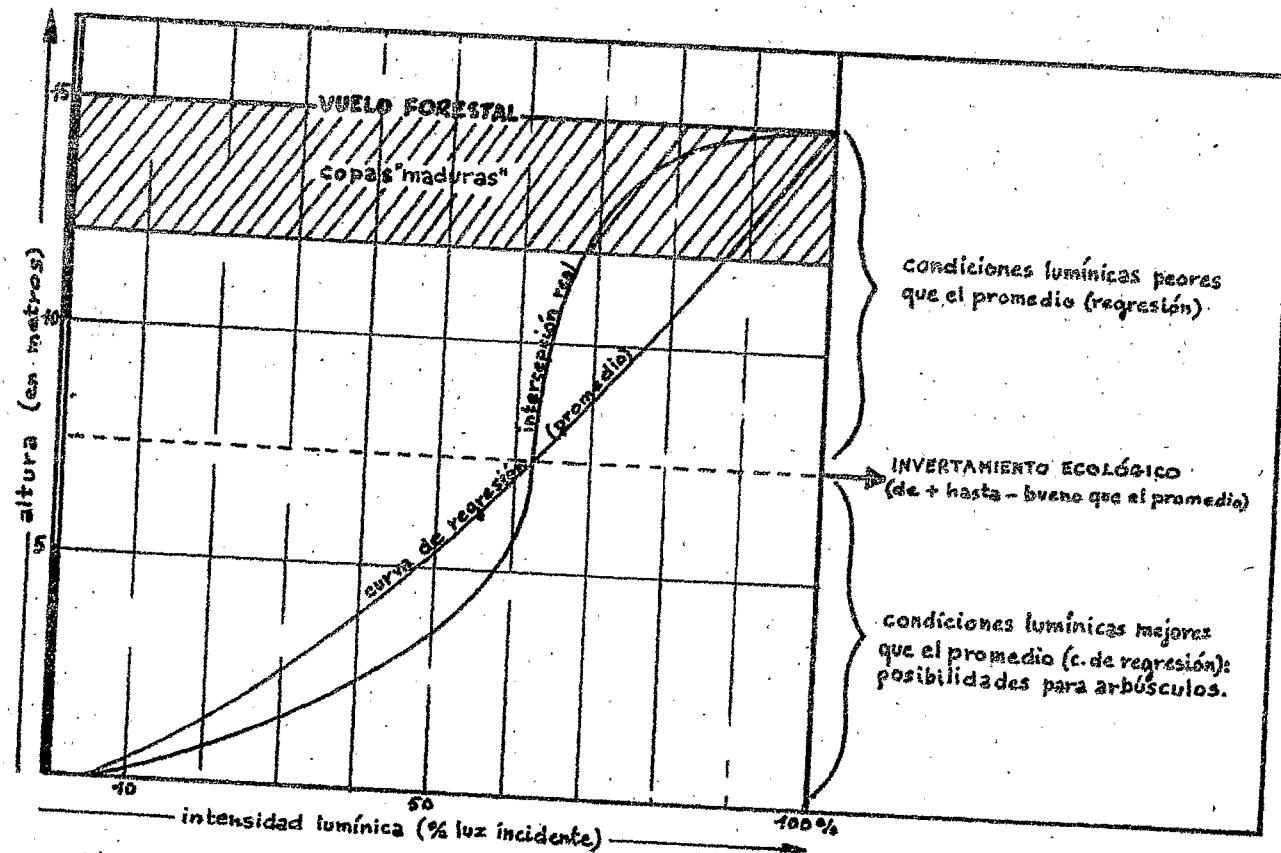
La reiteración del modelo es la respuesta fisiológica del vegetal a estos límites de producción inherentes al patrón de brotación dado por el modelo inicial postgerminativo. Esto explica por qué los árboles forestales empiezan una reiteración más o menos prolífica solamente cuando se los expone a la luz intensiva del macroclima, y también por que los árboles en posición extraforestal (campo abierto, parque, jardín) comienzan muy precozmente una reiteración prolífica, desordenada, resultando la copa hemisférica típica de tales árboles. El mismo mecanismo explica en parte la arquitectura de los árboles de las regiones templadas, sufriendo un cambio periódico importante por la oferta de energía en su ambiente, ocasionando patrones particulares de reiteración "por substitución", es decir regenerando partes del modelo que se han perdido por los rigores del invierno.

Una segunda consecuencia de la distribución de la savia siguiente, el tronco inicial y luego por vías de un conjunto de troncos reiterados es la disminución de la parte de savia disponible para cada nueva reiteración, pues la cantidad total ha de dividirse en tantas partes como modelos reiterados en la periferia de la copa existen, (o en otros lados del aparato vegetativo aéreo del árbol). Disminuyendo el suministro de materias primas, se disminuye también el tamaño de los modelos reiterados a medida que hay más de ellos.

Observando a los modelos reiterados aislándoles del individuo arbóreo al cual pertenecen, su única diferencia con el modelo inicial es la ausencia de raíces, y el tamaño. Ambos aspectos son correlacionados: en algunas especies se encuentran raíces adventivas en la base de cada tronco reiterado (*Clusia*, *Ficus*, *Rhizophora*). En tal caso el tronco es parcialmente independiente del distribuidor de corriente del tronco principal y puede de este modo desarrollarse casi sin límites en la producción de biomasa.

El criterio principal para distinguir, entre las plantas individuales es el tamaño, las formas de vida llevan en este caso los nombres precientíficos de "hierba", "arbusto", "árbol" y otros. Paralelamente, podemos llamar a los modelos sucesivamente reiterados sobre el mismo árbol, en ola tras ola de reiteración, aumentando su número y disminuyendo en su tamaño promedio: reiteraciones arbóreas, reiteraciones arbustivas o frutescentes, reiteraciones subfrutescentes y reiteraciones herbáceas. En el bosque, la distribución de esas clases de reiteraciones en un árbol no es el fruto del azar (fig.3B), mientras que

FIG.3.: Desarrollo de un árbol desde la germinación hasta el estado senil. El modelo inicial proviene de la semilla, el modelo reiterado de una yema después de un período de latencia. La regeneración de vegetales heridos se hace así mismo por una reiteración completa o parcial.



el árbol en campo libre muestra una distribución bastante irregular y que puede parecer completamente anárquico. El asunto se analizará mas detalladamente en HALLE, OLDEMAN y TOMLINSON (en impresión); basta decir aquí que la analogía resulta mucho mas profunda que la sencilla comparación sugerida en las presentes líneas.

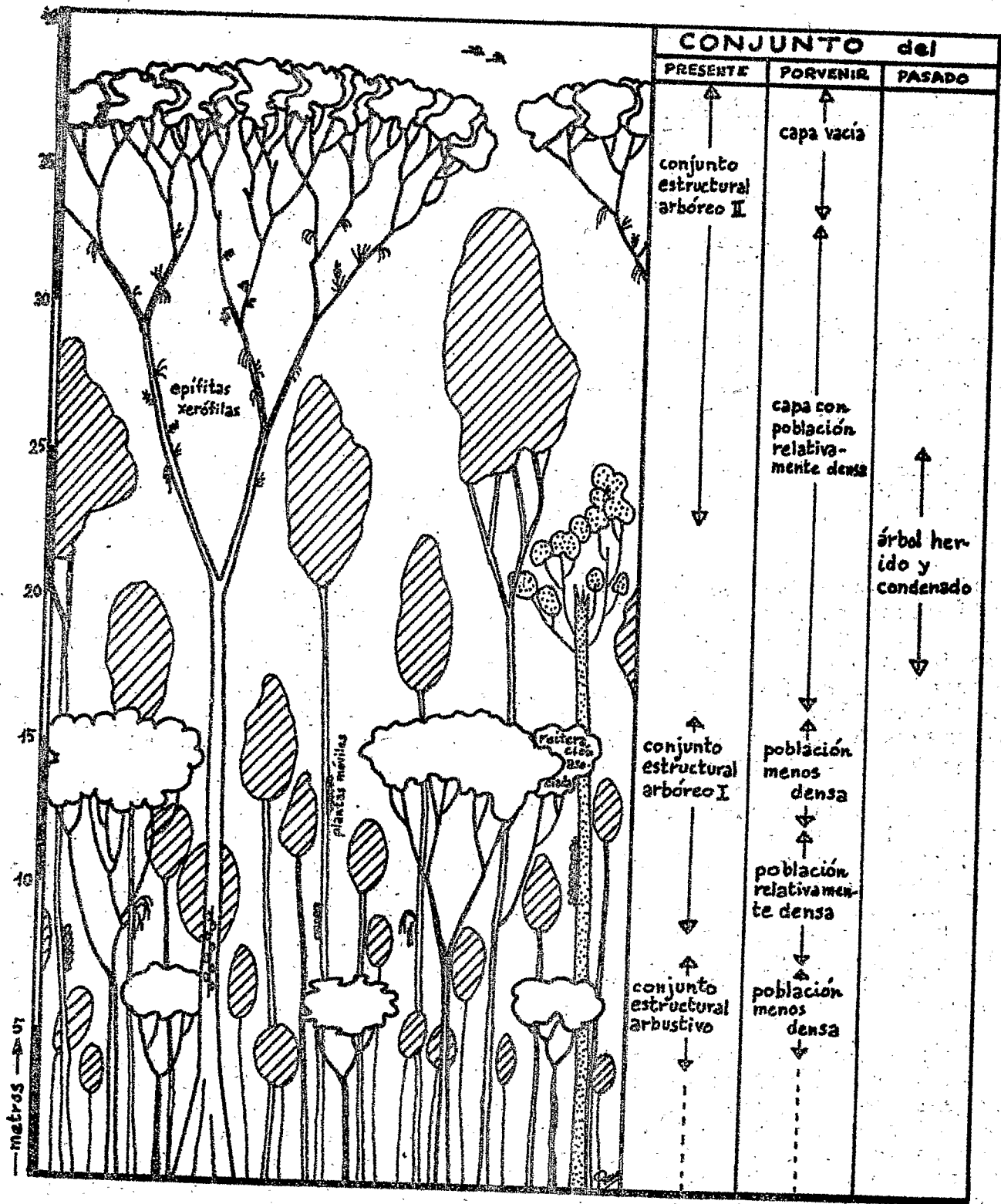
Se puede notar en ese lugar que el individuo arbóreo representa a la derecha de la figura 3B realiza en su copa lo que realiza al nivel del suelo una población de hierbas.

De hecho, el árbol edifica sucesivamente, durante su desarrollo, todos los tipos biológicos erguidos, y autótrofos de una de las "synusiae" (ver RICHARDS 1933), para estas). Solamente en el caso del árbol éstos tipos se quedan complejos de órganos y el mas frecuentemente no adquieren el estatuto individual. Se manifiesta aquí la vaguedad general en el mundo vegetal, de los límites entre las nociones de "individuo" y "población".

El punto de inversión. En la arquitectura de un árbol maduro se encuentra un punto sintomático de la interacción entre el sistema hereditario que es el árbol y el sistema ecológico que es el bosque. Este punto se ubica en el lugar del primer horcón (fig 3B), es decir donde se produjo la primera reiteración del cual permanece el vestigio bajo la forma de un tronco reiterado. La parte del árbol entre el suelo y ese punto traduce un esfuerzo morfogenético a la edificación de un aparato vegetativo aéreo cada vez y mas alto y masivo, mientras que arriba del punto ésta tendencia se invierte: los modelos reiterados se vuelven más y más pequeños. Es por esta razón que este punto merece el nombre de punto de inversión morfológico. Las razones de esta denominación no cambia por la caída de los grandes complejos reiterados bajos, haciendo solamente subir el punto de inversión.

La reiteración determina ecológicamente, por el aumento de la oferta energética desde el ambiente, el punto de inversión morfológico traduce la existencia previa de una inversión de las tendencias de las gradientes verticales microclimáticas. Tenemos datos -proveniendo de esta evidencia directa (CACHAN y DUVAL, 1963; BONHO MME, 1973, com.pers.) e indirecta (OLDEMAN, 1972) para que las gradientes de luz y de humedad relativa atmosférica sean moduladas, y no sean simples curvas de regresión. La figura 4 trae un ejemplo simple de ésta situación produciéndose en bosques templados y bosques jóvenes tropicales, mono-estratificados y a menudo mono-específicos. La inversión ecológica está constituida por la encruzijada de la modulación y la curva de regresión estadística que traduce la tendencia media entre el suelo y el vuelo forestal. Se trata de una verdadera inversión por que la modulación, en este punto, se mueve por encima de la tendencia media, y por debajo de la tendencia media, contando desde el suelo.

FIG. 4. : Ejemplo de inversión ecológica de la tendencia de una gradiente vertical forestal, la de la extinción de la luz, en un bosque mono-estratificado. Otros ejemplos mas complicados y un capítulo mas completo sobre la inversión ecológica se hallan en OLDEMAN (1972, 1974).



LA ARQUITECTURA DEL BOSQUE.-

Lo que procede constituye un esqueleto de fechas esenciales sobre los árboles en tanto que elementos estructurales del bosque. La figura 3 ya muestra que el papel forestal de un árbol cambia según su fase de crecimiento. Esto significa que los árboles no pueden considerarse como elementos equivalentes para el análisis del bosque. Pues bien, éste simple hecho trae profundas consecuencias: ya no es posible, bajo esta óptica, interpretar la vegetación como una población homogénea distinguiendo por ejemplo, estratos, frecuencias de especies o prorratas de tipos biológicos. Enfoquemos ahora el análisis arquitectural forestal tomando en cuenta la índole particular de cada árbol y agrupándole estas en categorías.

Conjuntos forestales de árboles.- Según sus arquitecturas los árboles pueden dividirse en tres conjuntos denotando sus funciones silvigenéticas, es decir sus funciones en el modelo de crecimiento del bosque.

++: Los árboles del presente. Alcanzaban sus máximas edades y se habían en la fase representada a la derecha de la figura 3B. No es preciso que éstos árboles sean los más grandes; pueden encontrar tal fase de crecimiento penetrando en una capa forestal baja, en donde ya hay condiciones suficientes favorables (para la especie particular bajo consideración) de modo que se realiza la fase de última expansión. La figura 5 muestra estos árboles en un esquema de bosque número uno picaptrf estratificado.

La estratificación, cuando exista, está determinada por éstos árboles del presente, en consecuencia, ésta no involucra la población completa de todos los árboles. A fin de no crear equivocaciones frente a otras definiciones de "estratos", llamemos al conjunto de los árboles del presente, significativo solo para la estructura estratificada, conjunto del presente. El conjunto del presente se subdivide en conjuntos estructurales alcanzando cada uno un nivel de altura determinada por sus copas, y representando cada uno algo así como un "estrato" formado únicamente por árboles del presente.

La intercepción poderosa de la luz por éstas copas, la que modula la gradiente lumínica vertical en su parte superior (fig4). Pero éste conjunto estructural crea también una modulación de la gradiente de humedad relativa atmosférica, por que la transpiración vegetal está correlacionada con la bioproducción como también por la capacidad de transporte del xilema y del floema, disminuyendo en los últimos estadios de desarrollo arbóreo. Así, la bioproducción de los árboles del presente se "seca" por procesos endógenos. Pero así mismo las copas de los conjuntos estructurales se encuentran en una capa microclimática más próxima al macroclima y por ende más seca que las capas recorridas mientras que se desarrollaban las fases anteriores del crecimiento.

FIG. 5.- Esquema arquitectural de un bosque estratificado. Estratificaciones de esa índole existen solamente sobre una minoría de la superficie forestal, pero su entendimiento es necesario para comprender los casos no estratificados constituyendo la mayoría cuantitativa.

Líneas espesas: conjunto del presente; esgrafiado: conjunto del porvenir; punteado: conjunto del pasado.

La "sequedad interior" del árbol del presente se indica por sus hojas xerófilas (cf. RICHARDS, 1953) y la "sequedad exterior" del espacio ocupado por las copas del presente se pone de relieve por la presencia de xerófitas epifíticas.

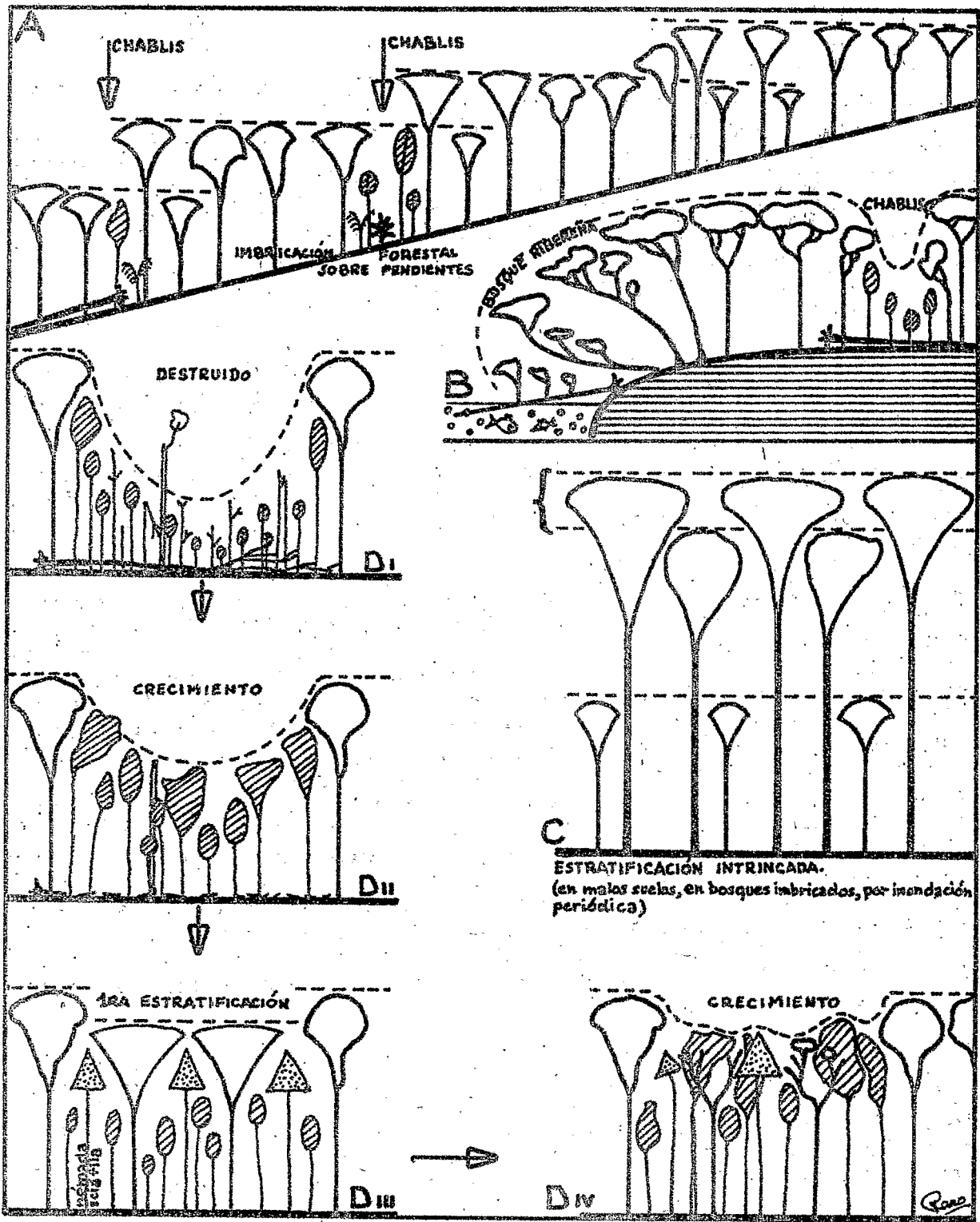
::: Los árboles del porvenir, éstos aún tienen un potencial de expansión futura, aunque este potencial pueda también no realizarse; muchos árboles mueren precozmente por no haber tenido una ocasión (ecológica) para la continuación de su crecimiento, después de un tiempo de "espera" generalmente bastante largo. Arquitecturalmente, los árboles del porvenir muestran el modelo inicial, post germinativo, o al menos una reiteración poco abundante (fig. 3B, izquierda). Sobre la figura se nota el hecho que en este proceso de crecimiento no existe límite riguroso entre el "estadio del porvenir" y el "estadio del presente". La ausencia de límites estrictos es un fenómeno perfectamente normal en la naturaleza, y la existencia de unos árboles antes de los cuales vacilamos para clasificarlos - en el conjunto del presente o en el del porvenir, no impide de ningún modo la factibilidad del análisis forestal arquitectural, pues éstos árboles constituyen una pequeña minoría en el bosque estratificado.

Los árboles del porvenir constituyen el conjunto del porvenir - de donde se reclutarán los futuros árboles del presente. El conjunto del porvenir se ubica en los espacios, entre los conjuntos estructurales, y en los huecos de éstos últimos cuando se encuentran imperfectamente serrados (fig. 5.). Hasta el día de hoy, no se ha revelado ninguna estratificación intrínseca del conjunto del porvenir. Su forma geométrica refleja pasivamente la configuración del espacio - dejado vacío por los árboles del presente y por consecuencia se conforma también, en cierta medida, a las huellas de los conjuntos estructurales estratificados que retiene éste espacio. Pero cuando ya no hay un conjunto del presente, por ejemplo luego de la destrucción del bosque por la caída de un árbol viejo, los árboles del porvenir, creciendo hacia la luz, no muestran ninguna estratificación.

Mientras que el conjunto del presente posee un ambiente interior y exterior seco, el conjunto del porvenir tiene un funcionamiento - fisiológico húmedo, maximalizando su bioproducción por el aumento - de su transpiración en un ambiente que carece de luz. El microclima en el espacio ocupado por el conjunto del porvenir también es muy húmedo; los testigos de ésta humedad son las "plantas móviles" (OLDEMAN, 1972) epifíticas que crecen sobre la corteza de los árboles trasladándose verticalmente, pues mueren por abajo mientras crecen por arriba (cf. Araceae, Cyclanthaceae en América tropical oriental).

Un árbol del porvenir se alza hacia el conjunto del presente cuando por cualquier causa su copa recibe más luz, activando el proceso de amplificación de la bioproducción total asociado con una reiteración prolífica, según las modalidades descritas arriba.

::: Los árboles del pasado. - Ya no tienen ningún potencial de expansión futura, su arquitectura ha sido profundamente alterada o por traumatismos severos, por ejemplo el quebrantamiento de su tronco grueso en un lugar bajo. Una reiteración anárquica se produce en este caso alrededor de la herida; generalmente la producción de las raíces como aquella del sistema cambial se quedan enteramente desarmónicas con la fotoasimilación de la "copa" nueva. Resulta una frenada recíproca de los tres sistemas de producción, frenada que últimamente tarde o temprano conducirá a la muerte del árbol de manera ineludible.



Mientras tanto estos árboles constituyen elementos irregulares en el bosque estratificado. Verdaderos rastros del bosque que estaba pero ya no está, impiden temporalmente la reconstitución de una arquitectura regularmente estratificado por competición radicular como por la sombra que hechan sobre los árboles del porvenir, más bajos que ellos. De éste modo la arquitectura se arregla luego de la desaparición del árbol del pasado. Se puede concebir el conjunto del pasado, reuniendo a los árboles del pasado, como un elemento antagónico al funcionamiento regular de los conjuntos del presente y del porvenir.

El límite entre los árboles del pasado, irremediablemente condenados, y los árboles gravemente heridos pero que pueden regenerarse y asumir otra vez un papel de árbol del porvenir o del presente es flojo. Pero los casos intermediarios, como los que se encuentran entre los árboles del porvenir y del presente, constituyen una minoría entre los individuos observándose en el bosque estratificado, de manera que no influyen demasiado sobre el análisis, que permanece ejecutable.

++ La estratificación.- La figura 5 resume el papel de los conjuntos forestales dentro de una arquitectura estratificada. La regulación de ésta arquitectura es de carácter microclimática y, actuando los árboles en este caso como bioreguladores. Una comparación entre las figuras 4 y 5 muestra cómo se efectúa interacción entre árboles y clima. El conjunto estructural superior intercepta más luz que el promedio de intercepción, lo que ocasiona la existencia de una capa pobre en luz debajo de éste conjunto. En ésta capa, los árboles del porvenir, asombrados, sufren una frenada de su producción, iniciada por una fotosíntesis deficiente. Su intercepción de luz queda más baja que el promedio, de manera que el gradiente vertical se mueve hacia el otro lado del promedio; resulta una capa en donde hay más luz que el promedio, en el cual árboles más bajos, pueden reiterar y formar un conjunto estructural entre el vuelo forestal y el suelo. El mecanismo descrito se repite, resultando una gradiente modulada tantas veces como conjuntos estructurales sucesivos existan.

Antes de examinar las modalidades diferentes de estratificación que pueden encontrarse, notemos que el bosque estratificado tiene una bioproducción vegetativa baja. Es decir que el rendimiento neto de la fotoasimilación es deficiente: no hay un crecimiento importante de biomasa ni liberación exagerada de oxígeno. Los árboles del presente no pueden hacer más por que sus copas carecen de agua (ver páginas precedentes) y los árboles de porvenir, asombrados por los del presente, carecen de luz. La bioproducción aumenta solamente cuando la estructura desfallece, como veremos adelante.

La figura 6 resume las formas más comunes del bosque estratificado. Pero ya se encuentra en ellas la manifestación ordinárisima de destrucción forestal que es el hueco dejado por la caída de un gran árbol. Los forestales franceses de la edad media fueron únicos, no conocemos otros que hayan inventado un término que designa a la vez la caída de un gran árbol forestal y su resultado, el hueco en el vuelo llenado de plantas mas o menos destruídas. En vez de emplear una perífrases castellana, usaremos ese viejo término francés: el chablis, en el sentido indicado.

En la figura 6A se observa al conjunto estructural superior, determinando al resto de la arquitectura, del bosque creciendo en una pen

diente, lo que constituye un caso muy frecuente por que la "llanura tropical", en la cual se sitúa proverbialmente el Tropical Rain Forest", muestra en realidad un microrelieve raramente horizontal: un autor popular lo comparó con una sopa de frijoles en donde flotan los frijoles, como las colinas entre los valles pantanosos. La arquitectura estratificada es horizontal. Por consecuencia se aleja mas del suelo de la pendiente, hacia el punto en el cual ya no existe una especie pudiendo lograr la altura necesaria para cubrir la distancia entre el suelo y el vuelo. Allá, un conjunto estructural inferior surge de abajo del vuelo superior y asume el papel de vuelo de reemplazo, más bajo en la pendiente. La zona en que los árboles alcanzan su altura máxima, en que surge, por abajo, el vuelo nuevo y en que una mayor inestabilidad mecánica de árboles gigantes se traduce por una alta frecuencia de chablises, se llamará en seguida zona de imbricación forestal, pues los bosques sucesivos se recubren como tejas.

El esquema de la figura 6B muestra otra forma muy corriente de la estratificación, que se halla pormenorizada por OLDEMAN (1972). Es el bosque rivereño desplomando a ríos o riachuelos y que conocen bien quienes han penetrado en la selva por vía de agua. En su arquitectura se eliminan las capas inferiores por falta de substrato para las raíces, mientras que el vuelo se curva hacia la superficie del agua. Esa curvatura se realiza por dos mecanismos recíprocamente dependientes, y entre los cuales no hay prioridad temporal. Los árboles pueden desarraigarse, más o menos completamente, del suelo rivereño no horizontal y del cual la cohesión se disminuye periódicamente durante la estación de las lluvias; sobre los troncos ya no verticales se verifica entonces un proceso de reiteración profusa, llenando al espacio superando al tronco de modelos reiterados arbóreos, frutescentes y más tarde herbáceos (comparar con la figura 3). Al contrario, todo puede comenzar igualmente con una reiteración excedente en el lado de la copa del árbol rivereño que se encuentra expuesto al ambiente luminoso sobre el río, a diferencia del lado de la copa inmerso en el vuelo sombrío del bosque; la copa se vuelve asimétrica, desequilibrándose, que hace caer el árbol, el cual mostrará después una misma reiteración prolífica que el que caído por razones edafológicas. Por ende, podemos decir que la estratificación particular del bosque rivereño siempre se determina por una profusión asimétrica de la reiteración de los árboles rivereños. Como puede verse en el lado derecho de la figura 6B, fenómenos análogos se producen en los árboles creciendo al lado de un chablis, adquiriendo gradualmente una fisonomía rivereña, término que emplearemos en lo que sigue.

La figura 6C representa una arquitectura forestal igualmente muy frecuente, del cual los dos conjuntos estructurales superiores están intrincados. Generalmente esto indica factores limitantes al nivel de las raíces, la rhizoasimilación siendo alterada y no pudiendo seguir el desarrollo aéreo del organismo. Así, la copa se queda subdesarrollada y el vuelo deja pasar demasiada luz para que los árboles más bajos permanezcan en el conjunto del porvenir; reanudando su crecimiento llegan a infiltrarse entre las copas de los árboles más grandes, hasta que en su turno quedan parados por un funcionamiento radicular deficiente.

FIG. 6.: Diferentes formas de estratificación muy esquemáticas. A. Imbricación forestal sobrependientes. -B. El bosque rivereño conservando un vuelo curvo mono-estratificado. -C. Intrincación forestal, dos conjuntos estructurales embrollándose sobre suelos malos, en terrenos inundados periódicamente o en zonas de imbricación. -D. Reconstitución del bosque después de un chablis (I), por frases no estratificadas (II, IV) y estratificadas (III y luego de IV).

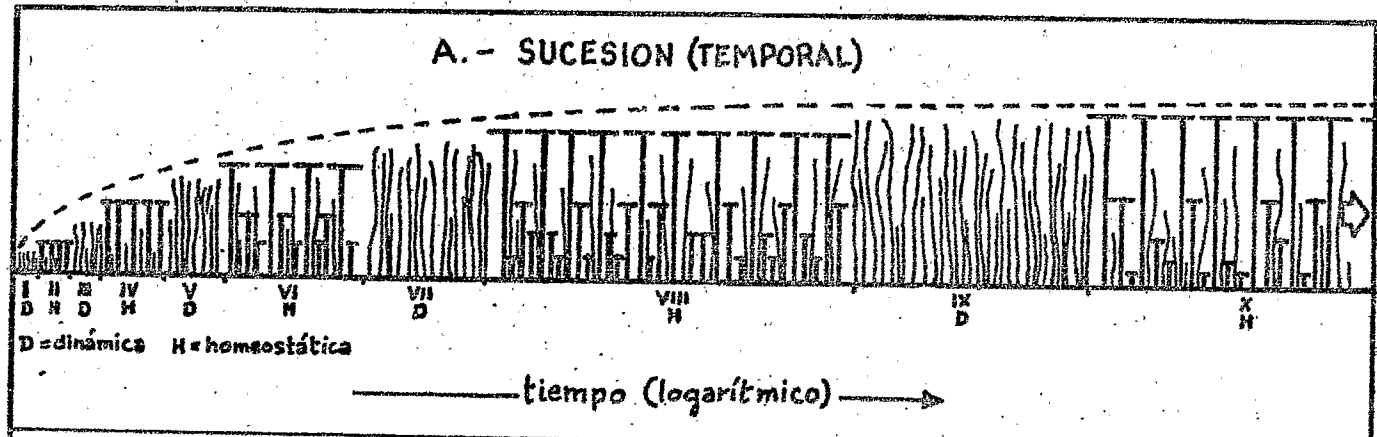
En ambas capas intrincadas están copas de árboles del presente, pues ya alcanzaban su expansión máxima, en estas circunstancias particulares. Estas circunstancias pueden ser de índole diversa; - en la llanura tropical, sin embargo, hay tres que reputamos la más importantes. La primera es el ocurrir frecuentemente de la imbricación: en las zonas en donde surge el vuelo de reemplazo, eso se intrinca a menudo sobre corta distancia con el vuelo más alto que llega al fin de sus posibilidades. La causalidad ahí no es edafológica. Lo es el segundo factor, la existencia de una capa impermeable de - debajo del suelo y que presenta para las raíces un obstáculo impenetrable en una profundidad de 40 o 50 centímetros; no solamente esa capa limita la zona de donde las raíces sacan las substancias nutritivas, pero también constituye un fondo en donde se acumula estacionalmente agua, ahogando a los órganos subterráneos. La tercera condición provocando a una intrincación de conjuntos estructurales es - un nivel freático oscilando estacionalmente un poco bajo la superficie del suelo, lo que se produce frecuentemente en los valles. Cuando el nivel está el más alto, las raíces de los árboles los más grandes se ahogan y esos árboles pierden sus hojas. Árboles más bajos, - con raíces más superficiales aprovechan mejor la irradiación, ya no interceptan por las copas sin hojas, introduciéndose entre éstas últimas, dando lugar a la intrincación.

Por fin, la figura 6D muestra que hay estratificaciones de orden cronológico diferente. Después de un chablis, la vegetación quebrantada evidentemente ya no está estratificada (fig. 6D,I). Mientras crecen las especies heliófilas (nómadas biológicas) y se reiteran - las plantas leñosas dañadas, ambas ocupando anárquicamente el espacio vacío dejado por el chablis, tampoco hay estratificación (fig. 6D,II). Pero las heliófilas acaban por establecerse como un conjunto del presente, realizando una primera estratificación, en la cual regularmente se encuentran árboles sciáfilos pudiendo intrincarse con el conjunto estructural, aprovechando gradientes verticales particulares - en este bosque (chimeneas ecológicas, ver Oldeman 1974); esos sciáfilos también son nómadas biológicos con reiteración deficiente, ciclo biológico corto e independiente de una eventual estratificación. (fig. 6D,III). Los nómadas, bastante efímeros, mueren en pie y, mientras degeneran, los árboles del porvenir abajo empiezan una fase de crecimiento vigoroso (fig. 6D,IV), sin estratificación, hasta que en su turno se vuelven ex-árboles del porvenir, desarrollados hacia árboles del presente y se quedan estratificados. Así hay alternación de fases poco o no estructuradas y fases estratificadas: ya salimos ahí - del campo de la pura estratificación para entrar en el de la sucesión forestal.

++ La sucesión forestal y el mosaico sucesional .-

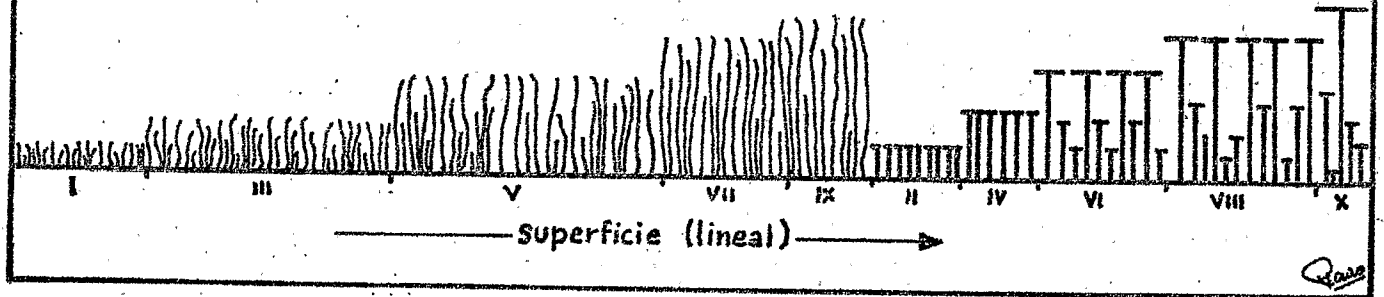
La sucesión de etapas silvígenas alternativamente estratificadas - o no, es un proceso que dura. En consecuencia puede ser representado siguiendo el tiempo; el estado del bosque no pudiendo explicarse por un valor, es decir por una cifra matemática (y) que sea función tiempo (x), la figura 7A sólo expone una abscisa temporal; mientras que la fase del desarrollo sucesional queda indicada por un esquema geométrico muy simplificado. Tal simplificación corresponde al aumento de escala manifestándose desde las figuras 2 y 3 (exceptando a - la 4) hacia las 5, 6 y 7. Hablando del modelo arbóreo se considera - una superficie cubierta por la planta, del orden de unos metros cuadrados; el mosaico de sucesión forestal cubre kilómetros cuadrados; por ende, se presta a la caracterización de regiones forestales. Antes de examinar ese mosaico (fig. 7B) tenemos que precisar la índole

A. - SUCESION (TEMPORAL)



B. - MOSAICO SUCESIONAL (ESPACIAL)

resultado de la sucesión temporal y del riesgo de accidentes, creciendo con cada fase más larga.



de las fases sucesionales en función del tiempo (fig.7A).

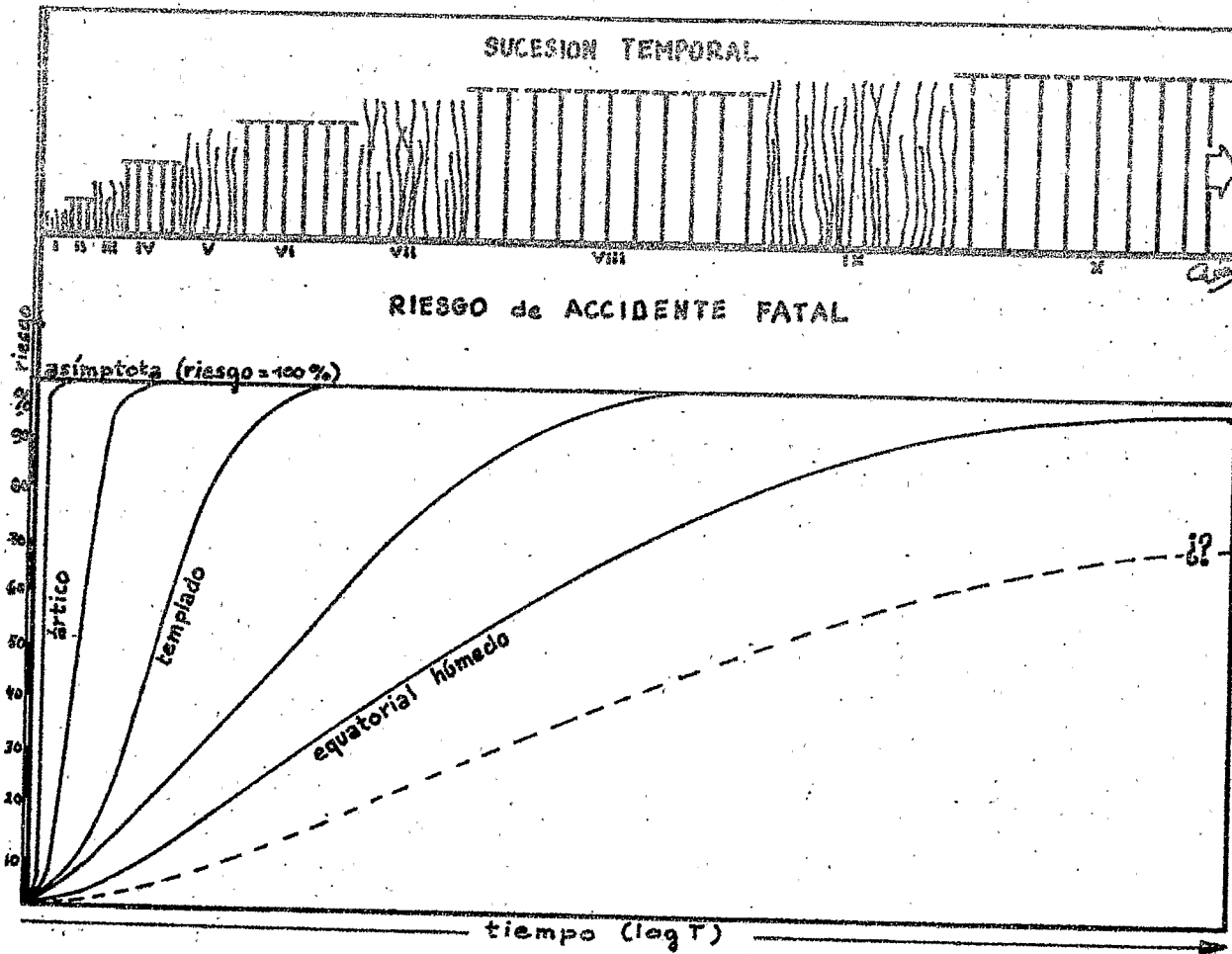
La fase I es la del chablis, en donde la vegetación, está quebrantada y desquiciada. La fase II representa la primera estratificación actuada por las heliófilas. La fase III muestra un crecimiento vigoroso y desordenado después de la muerte de las nómadas. En la fase IV se manifiesta nueva estratificación, por especies "viejas secundarias" con ciclo biológico más largo (cf. géneros como *Virola*, *Symphonia*). Después de su muerte, de nuevo ocurre una fase (V) de crecimiento rápido y sin estructura.

La fase VI es la siguiente que sea estructurada, con especies más sciáfilas y de ciclo biológico ya bastante largo, como las Mimosáceas, ciertas Burseráceas (*protium*) y las Combretáceas del género *Terminalia*. Pero esas tampoco son inmortales, y acaban por ser sucedidas luego de su muerte por otros árboles creciendo vigorosamente (fase VII). Sin embargo ya en la fase VI la vida de los árboles es tan larga que la probabilidad de accidentes, antes de su muerte natural, crece enormemente. Estimamos que no más de 20 o 30% de ellos alcanzan a su fin fisiológico, y que 70 u 80% caen aún viviendo por el viento, por desprendimiento de las raíces, por un efecto de bolos cuando caen otros árboles, provocando nuevos chablis, en donde recomienza la silvigénesis por la fase I. No obstante, el proceso de la sucesión puede seguir allá de la fase VI. Dibujábamos diez fases, pero en verdad nadie sabe exactamente cuanto hay, las últimas estructuradas (VIII y X) siendo bastante raras, a pesar de su predestinación biológica para una vida que se cuenta en siglos, porque siempre crece la probabilidad de accidentes precoces, del cual una gráfica de tendencia estimada se encuentra entre las figuras 8: aún no disponemos de datos cuantitativos para calcularla.

Dos aspectos de la figura 7A saltan a los ojos. El primero concierne la producción de las fases sucesivas: en las fases impares aquella está vigorosa, rápida y desordenada y en las fases pares es débil, lenta y estratificada. Las primeras representan el "esfuerzo" vegetacional para lograr una estructura, las segundas el "esfuerzo" contrario de mantener una arquitectura. Las unas son dinámicas, las otras homeostáticas, es decir que éstas últimas oponen una bioregulación de gradientes microclimáticas (cf. fig.4) a toda planta que no se conforma con la arquitectura existente. El segundo aspecto prominente de la figura 7A, es que, biológicamente, la homeóstasis resulta cada vez más eficaz en las fases pares que se siguen. Ahora bien, en regiones terrestres en donde no hay fenómenos catastróficos, como tormentas, ciclones, terremotos, grandes fríos, como las zonas húmedas caudales de la llanura ecuatorial, esa homeóstasis muy avanzada se realiza de vez en cuando. De trecho en trecho, rara pero real, se encuentran fases como la X, o quizá hasta XII o XIV que no han sido dibujadas en la figura. Al contrario en países climatológicamente más contrastados y con una ocurrencia más o menos regular de catástrofes, la última fase no podrá ser más que una IV o una VI.

El riesgo creciendo de destrucción se traduce por una divergencia

FIG. 7.: La Sucesión vegetacional y su resultado, el mosaico sucesional. -A: Sucesión en el tiempo sin hacer caer en cuenta los riesgos. Tiempo aproximadamente logarítmico. Fases alternativas dinámicas, sin estructura clara, y homeostáticas, con estratificación autoregulada para no cambiar. -B. Distribución de las mismas fases en el espacio, en proporciones resultantes de la sucesión y del riesgo de accidentes. Fases estructuradas simplificadas en comparación con 7.A. - El número de fases talvez es superior o inferior a diez.



importante entre la distribución temporal de las sucesivas fases forestales (fig. 7A) y su distribución espacial (fig. 7B); la combinación de las dos mitades de esta figura representa a la situación tropical (Tropical Rain Forest). Llamaremos a los procesos silvigenéticos desarrollándose en el tiempo "sucesión" y al patrón espacial resultando de la sucesión y de sus riesgos, "mosaico sucesional", términos que ya han sido usados en lo precedente, pero que tomamos aquí una significación más exacta.

Enfaticemos la identidad del método analítico aplicado desde el principio de esta nota rezumiendola en una tabla:

<u>NIVELES DE INTEGRACION</u>	<u>ARQUITECTURA</u>	<u>DINAMICA</u>
Arbol del porvenir	inicial	modelo arbóreo
Arbol del presente	reiterada	reiteración
Parcela forestal reducida	estratificada	modelo forestal
Bosque	mosaico sucesional	sucesión forestal

++ Zonas de vegetación y zonas de vida.

Vimos que en las regiones ecuatoriales los riesgos de destrucción de una fase estratificada son relativamente reducidos, acumulándose muy lentamente bastante espacio en función del tiempo, hasta que al fin llegan muy cerca de la asíntota que indica una probabilidad de 100% para que se produzcan accidentes letales, o dicho de otra manera el accidente de destrucción resulta en una certidumbre.

A medida que nos alejamos de los Trópicos, hacia el Norte o el Sur, atravesamos menos y menos hospitalarias, lo que se expresa en la gráfica de los riesgos ecológicos que corre la vegetación. En las zonas subtrópicas la curva se acerca de la asíntota mas rápidamente, aúnmas en los países templados, y al fin, en las regiones boreales o antárticas alcance la asíntota después de unos meses o unas semanas, entre dos inviernos letales. Esto se ve en la figura 8, mostrando que con el aumento del crecimiento del riesgo no hay tiempo para la realización de la sucesión completa, hasta que, cerca de los polos, sólo se edifica una vegetación herbácea efímera abarcando especies con un ciclo biológico muy corto. La existencia de este fenómeno no es ningún secreto, al contrario: todas estas vegetaciones han sido descritas asidualmente por generaciones de naturalistas. Pero en estas páginas se encuentra a una de las bases de tal diversidad de expresión de la alfombra vegetal: es que, por el aumento de los riesgos, las vegetaciones del Ecuador hacia los polos representan a trozos, cada vez mas cortos, de una sucesión idéntica o al menos análoga. Un mismo fenómeno se produce con las zonas de altitud, desde el

FIG. 8.: La sucesión vegetacional y los riesgos que corre en diferentes zonas de vida. Cuando la curva llegue a la asíntota, la sucesión se interrumpe y empieza nuevamente con la fase I. Esto implica la amputación de las últimas fases sucesionales en regiones no ecuatoriales húmedas bajas. La curva inferior, marcada (?), representa a sistemas vivos de longevidad extraordinaria; no conocemos a tales sucesiones vegetales, pero pensamos por ejemplo en los atolones coralígenos del Océano Pacífico.

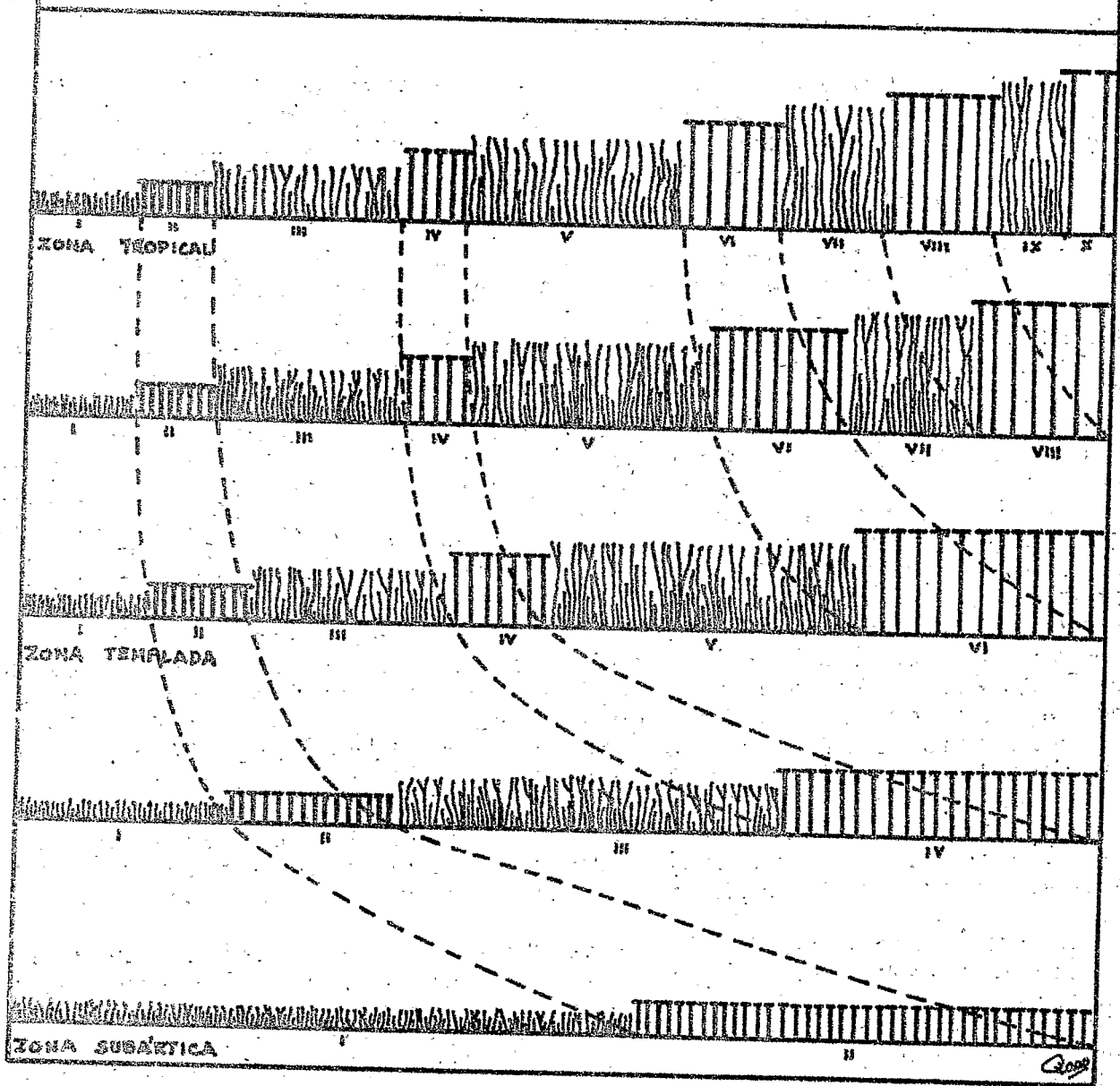
nivel del mar hacia las cumbres de las montañas. Esto es más evidente en países montañosos tropicales como el Ecuador, el Kenya, o la Isla de Sumatra.

En la gráfica (fig. 8.), el carácter de los riesgos no ha sido definido. Es meramente una evaluación global de la probabilidad para que, en momento determinado de la sucesión, el ambiente acabe con la existencia de la vegetación de aquella edad. La influencia del ambiente ha sido analizada con métodos esencialmente bioclimatológicos por Holdridge (19...,19...,19...). Sus "zonas de vida" pueden matizarse empleando medidas más precisas, por ejemplo los diagramas ombrotérmicas de Gaussen (19...), como lo hizo Cañadas (com.pers.,-1974) para ciertas provincias del Ecuador. Ya vimos que la constitución del suelo también tiene un papel importante (ver fig.6C y su explicación en el texto). Desdichadamente, si el suelo puede ser bien estudiado, y lo es por los edafólogos no es el mismo en el caso de las raíces que quedan bastante mal conocidas bajo sus aspectos fundamentales, desde su bioarquitectura hacia su fisiología en vivo. Sólo existen unos análisis superficiales relativos a la fisionomía radicular, pero no bastan para entender su integración en la parte subterránea de la vegetación. Los conocimientos detallados de la anatomía radicular tampoco son de gran ayuda para tal entendimiento sintético al nivel de poblaciones. Por estas razones somos reducidos, tomando en cuenta los suelos, en la correlación empírica o estadística entre ciertos mosaicos de vegetación y ciertos suelos en zonas de vida determinadas. Subrayemos que la falta de un modelo biológico subterráneo dando cuenta de los sistemas radiculares, de la parte escondida de cada fase de la sucesión, de la porción del mosaico sucesional bajo tierra, constituye uno de los impedimentos mayores para la comprensión total, y por consecuencia para la manipulación completamente consciente, de ecosistemas en vista de su producción económica.

Volvamos a la parte aérea del mosaico de sucesión, considerando a diferentes zonas de vida. La reducción en el tiempo de proceso de sucesión, del cual se amputan más y más fases "viejas" que repercute en el modelo sucesional, llenando al espacio ocupado por la vegetación con menos y menos formaciones, conforme al empeoramiento de las condiciones, de una zona de vida a la siguiente. Hoy día aún no disponemos de datos cuantitativos para definir las proporciones espaciales entre fases en cada mosaico, ni siquiera para definir a las fases en vegetaciones no forestales. Pero ya podemos trazar una gráfica provisoria indicando el principio de la distribución de fases diferentes en zonas de vida diferentes (fig.9). Este esquema no necesita explicaciones más amplias que lo que ha sido expuesto anteriormente. En cambio, necesita una base cuantitativa que puede establecerse empleando los métodos expuestos más adelante.

Sin embargo, hay que tomar en cuenta de que en comarcas, ocupadas por un mosaico herbáceo, o por un mosaico medio-forestal, la evolución de plantas no arbóreas ha sido preponderante. Los raros árboles que aún existen en tales regiones muestran los mismos modelos hereditarios que los árboles forestales, pero su edificación sigue otras vías fisiológicas: es decir que una sobreproducción estacional se aprovecha para la sobrevivencia durante los períodos críticos, incluyendo a cualquier bioproducción neta. Las compuestas del páramo andino y del Kilimandjaro africano constituyen buenos ejemplos de tales árboles. Nuestras observaciones preliminares sugieren que se ven favorecidos, en los Páramos, las especies, realizando a modelos que se

MOSAICO SUCESIONAL y ZONAS de VIDA



desarrollan por ejes con crecimiento definido (ver fig. 1y2), los monopodios con crecimiento indefinido siendo superfluos por ser periódica y ecológicamente atorados.

Entre las especies que examinamos, la mayoría resulta realizar - modelos simples, con una frecuencia notable del modelo de LEEUWENBERG, modelos que también predomina en frases precoces de la sucesión tropical (fase II con Manihot, Solanum, Clibadium, etc. en el nuevo mundo).

Además, es probable que, paralelamente a árboles con modos de bio producción especiales, hay también una diferenciación dentro de las faces herbáceas del mosaico, hacia la forma del establecimiento de - microsucesiones: fase I' siendo la tierra desnuda después de la estación desfavorable; fase II', el crecimiento de hierbas precoces dentro de unas semanas; fase III', una estructura bastante efímera mientras florecen y fructifican aquellas; fase IV', el crecimiento de hierbas sucesoras de las precedentes y así seguidamente. Observaciones provisionales en vegetaciones andinas de malezas, en diferentes momentos luego de la escarda, indican que esto es efectivamente lo que se pasa. Hay otro fenómeno aún diferente de lo que ocurre en el bosque húmedo tropical: es la sincronización de las fases por el macroclima. En el bosque, diferentes fases están contemporáneas en el mosaico sucesional. Al contrario, en las vegetaciones naturales herbáceas, el mosaico contiene solo una fase en cierto momento, es decir que no existen las mismas relaciones entre sucesión temporal y mosaico espacial que las de la figura 7. De hecho éstas existen solamente en vegetaciones herbáceas otorgadas, por ejemplo después de escardas en momentos despejados. Teóricamente debería haber aún otro tipo de conexiones entre sucesión y mosaico, en vegetaciones herbáceas determinadas por la ausencia o escasez de suelo pero ubicadas en zonas de vida forestales, situación que se producea menudo en la sierra o así mismo en los "inselbergs" de la llanura baja tropical.

La sincronización climática de las fases de sucesión herbácea puede ser comparada con la sincronización climática de las etapas de crecimiento de los árboles en las regiones templadas. En ambos casos es el "invierno", reemplazado por una temporada seca en otras comarcas - del globo, o por una inundación periódica de las raíces en otro lado aún (ver fig. 6C, explicada en el texto), que detiene al proceso biológico, dejándolo libre nuevamente para volver a funcionar en la "primavera" siguiente. La secuencia biológica, sea ella una sucesión o una secuencia de diferenciaciones morfogénicas, se adapta a este ritmo por mostrar etapas especiales de estacionamiento y de reanudación del crecimiento. Tales etapas generalmente son variaciones ligeras de las que se encuentran en el crecimiento rítmico endógeno de los árboles; pensamos que, de modo análogo, la sucesión herbácea climáticamente sincronizada esta un variante de las primeras etapas en la sucesión tropical húmeda.

FIG. 9.: El mosaico sucesional en función de los riesgos, en zonas de vida consecutivas. Las proporciones han sido estimadas, y esta figura no da mas que un principio que ya tiene que ser cuantificado. En la opinión de BUDOWSKI, por ejemplo, no son las mas altas las últimas fases, pero las penúltimas, al menos en zonas tropicales húmedas. Un mismo esquema se aplica sin duda a las zonas altitudinales, por ejemplo en el Ecuador. Cada mosaico ofrece posibilidades para sistemas específicos de cultivos, integrándose óptimamente en la vegetación natural.

El estudio perseguido y detallado de éstos procesos en las vegetaciones bajas nos parece de interés fundamental para el entendimiento de sucesiones herbáceas artificiales, es decir agrícolas. - La mayoría de las plantas útiles y cultivadas pertenecen a tales sucesiones, en regiones tropicales, a fases precoces de la sucesión forestal. El mejoramiento de los métodos de cría y cultivo depende actualmente sobre todo de conocimientos de este tipo, por que hoy día los que conciernen el mejoramiento del ambiente físico (abonamiento y labranza del suelo, riego) están mucho más adelantados que aquellos. Mientras tanto, el mejoramiento genético de especies útiles se persigue en un vacío ecológico, lo que explica a algunos de sus fracasos. Miremos, pues, a las posibilidades de aplicación de los principios expuestos.

APLICACIONES.-

Los cultivos son vegetaciones que pueden analizarse como otras, salvajes. haciendo ésto, es claro que diferentes zonas de vida mostrarán una combinación característica de mosaicos sucesionales salvajes y cultivados. La comparación entre ambos indicará, por que ciertos cultivos vienen bien y otros mal, en una comarca bioclimáticamente determinada. De interés particular son los cultivos tradicionales, puesto que encierran a un tesoro de técnicas empíricas evitando a peligros (parásitos, plagas, malezas, enfermedades, etc.) de maneras no incluidas por los métodos modernos. No quiere decir ésto de absoluto que aquellos deben ser rechazados, al contrario: tenemos que enriquecerlos con principios casi olvidados, que ya no conocen a menudo los cultivadores mismos que los aplican.

Buen ejemplo de ésto es el cultivo de yuca (Manihot utilissima) y otras especies de este género por los Indios Oyampí del río Oyapock (Guayana Francesa). El género Manihot muestra el modelo de LEEUWENBERG (ver fig. 2.), sin reiteración, y se encuentra en las fases I y II de la sucesión forestal (ver fig. 7). En éstas fases, la mayoría de otras especies (Solanum sp.pl., Clibadium sp.pl., Clidemia sp.pl. y otras) muestran el mismo modelo de crecimiento. Según investigaciones conseguidas en Surinam, la distribución de esta gama de especies puede ser bien el resultado de la distribución de sus semillas por animales (Budelman, 1974, en holandés). La técnica del Indio, por consecuencia, es la de modificar ésta distribución en favor de la Yuca, asumiendo su mismo papel de distribuidor, no de semillas pero sí de estacas. La fase II de la sucesión así se vuelve más rico en productos útiles después de su implantación en la fase I. Pero no es todo: según el mismo principio enriquecen la gama de especies lianescentes, perteneciendo a la misma fase, con varias leguminosas comestibles, y de vez en cuando también con plantas medicinales. - Aquellas se concentran así mismo en la fase III, entre las malezas que reemplazan a la yuca; el problema de éstas malas hierbas se queda solucionado por el abandono del campo y el traslado del cultivo hacia un terreno recién roturado; desde luego, ésta última solución no valesen sistemas de cultivación sedentaria. El análisis pormenorizado de sucesiones con primeras fases agrícolas nomadas esta efectuándose ahora por J.P. LESCURE (Centro ORSTOM de Cayena), en la región de los Oyampís en la parte alta del río Oyapock. Los resultados de ésta investigación serán interpretaciones científicas de un sistema precientífico, evidentemente eficaz por haber permitido la sobrevivencia de tribus humanas durante milenarios, sin agotar los recursos naturales.

Otro ejemplo de la aplicación del análisis bioarquitectural es la determinación de las fases del mosaico sucesional que contienen árboles explotables por su madera. Generalmente estas son fases algo precoces (IV, VI, fig. 7). La introducción de especies exóticas en un bosque artificial es eficiente sólo cuando tales especies poseen características arquitecturales comparables con los del bosque original. Eso lo es por que la introducción de la Caoba (Swietenia macrophylla, Meliáceas) en la Isla de la Martinique (Antillas francesas) fue un éxito: su modelo (modelo de RAUH, fig. 2) y su rapidez de crecimiento fueron idénticos con el modelo el más corriente y la tasa de crecimiento de las especies dominantes, del bosque "viejo secundario" - en los valles calientes y húmedos de ésta Isla. Empíricamente, se lo logró allá con árboles lo que suelen conseguir los Indios con la yuca, en otra fase de la vegetación; sin embargo, no tenemos los elementos necesarios para definir el número de orden de la fase a la cual pertenece la caoba, por que estas observaciones se hicieron antes del desarrollo completo del método nuestro.

Tercer ejemplo, aunque también incompleto, constituye el análisis de las vegetaciones pantanosas en donde crece la palma Euterpe oleracea, ("Pinot" en criollo francés) especies de las partes orientales de América Tropical y que no se encuentra en la lista de CAMPUZANO y VALENCIA (1974), lo que nos parece significar que E. oleracea no es común en el Ecuador. Se explota esta planta en el Brasil para la industria de conservas de corazón de palma. La vegetación en donde predomina la especie en consideración se llama en criollo francés "pinotiéres"; llamaremoslos aquí "pinoterías". La pinotería es una frase precoz de la sucesión, pero también una fase definitiva, puesto que el ambiente no cabe posibilidades para la instalación de fases ulteriores. Euterpe oleracea muestra el modelo de TOMLINSON (ver fig. 2). En este modelo hay un equilibrio entre la formación de nuevos ejes en la base y la extinción de viejos. El ritmo del proceso esta en favor de los ejes nuevos cuando se expande la planta; luego, ya no se forma mas biovolumen joven que lo que se extingue, y esta extinción es lenta. Hay una etapa de crecimiento entre la plántula, monocaúla (con un único tallo), que puede concebirse como la palma del porvenir, y la palma cespitosa coposa, (con muchos tallos), 20 metros de alto, es la palma del presente. Aquella primera fase de crecimiento es la de producciones de corazones, y consecuentemente la explotación de las pinoterías puede ser rentable y casi perpetua, cortando a los tallos mas viejos periódicamente, y echando los restos entre las raíces como abono, luego de tomar los corazones. Es evidente que este procedimiento particular para las palmas cespitosas difiere mucho del método de explotación forestal habitual, pero se acerca de lo que se practica con los Bambus. Hay aquí una separación manifiesta entre dos clases de cultivos: las que conciernen las Dicotyledones y, las Monocotyledones que abarcan las palmas, los bambús, pero también el arroz y el trigo. La biología y el papel en la vegetación de las Monocotyledones Tropicales del nuevo mundo hacen actualmente el objeto de las investigaciones de J.-J. de GRANVILLE en la Guayana francesa (Centro-ORSTOM de Cayena).

Los tres ejemplos traídos en mención muestran que el análisis de la bioarquitectura, corelacionado con el de las zonas de vida y de los suelos, ya permite hoy día de trazar una imagen bastante precisa de las vegetaciones salvajes y cultivadas así como de sus potenciales de producción. De hecho, se completa aquí el croquis de cambio de energía y oferta de energía (zonas bioclimáticas, clases de suelos) y de

bioproducción (evolución de la biomasa) con el elemento de la forma y del ordenamiento de las plantas en la vegetación. Es justamente bajo ese último aspecto que el cultivador puede intervenir directamente en los cultivos: mediante la poda o la corta modifica la forma vegetal, y mediante la cosecha y la siembra cambia el ordenamiento de las plantas. La selección genética de especies es la etapa subsecuente - que puede conseguirse sin errores solamente cuando la primera se lo gre perfectamente.

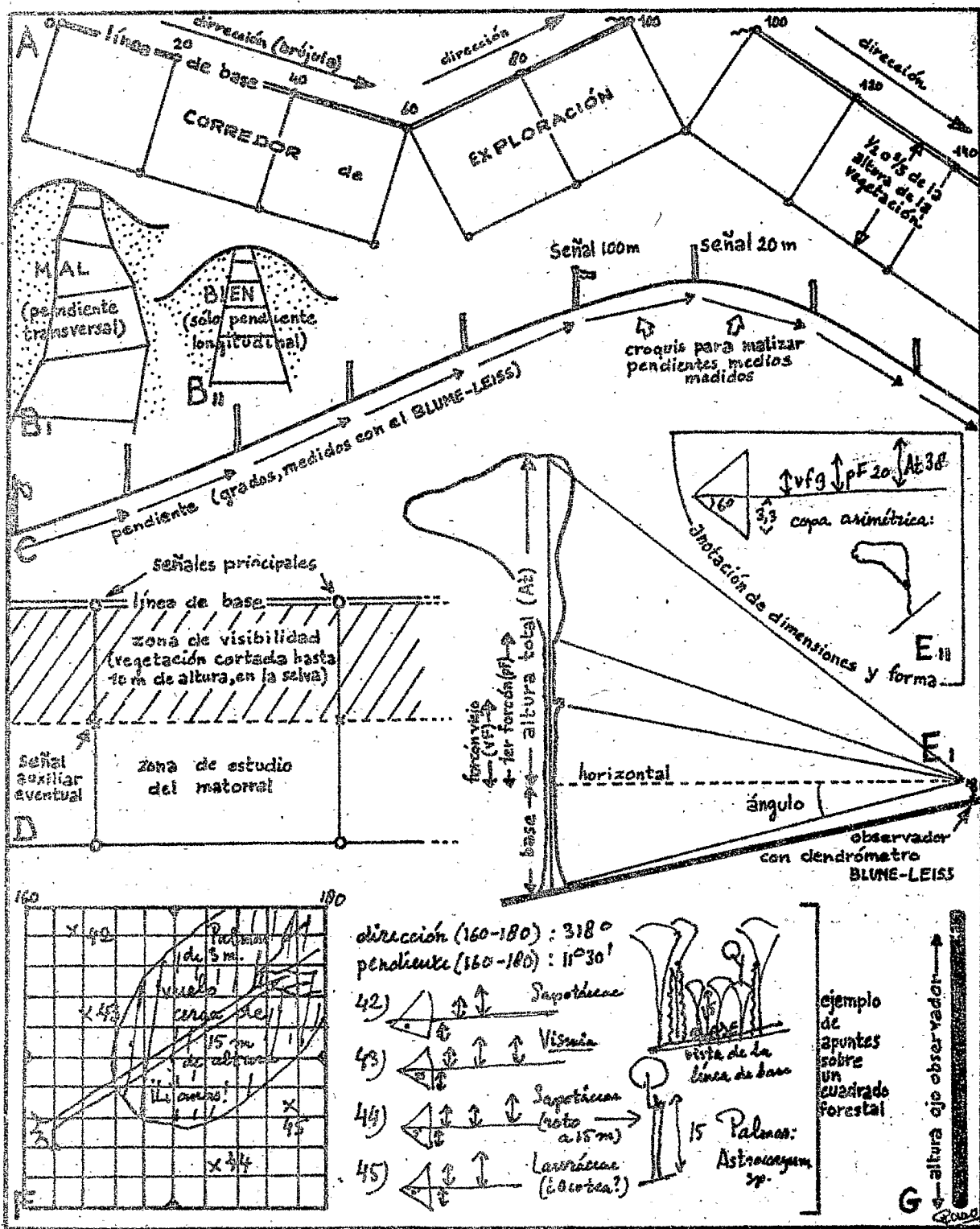
METODOS DE EXPLORACION Y DE RECOLECCION DE DATOS.

Nos limitaremos en lo que sigue al procedimiento adaptado para recoger datos en la escala del mosaico de vegetación, es decir para lograr mapas ecológicos de regiones enteras sin pasar por el análisis-completo de parcelas forestales de 20x30 metros (cf. fig.5) o por la descripción bioarquitectural completa de los árboles uno a uno. Sin embargo, la investigación arquitectural del mosaico sucesional en una zona de vida determinada se apoya sobre las nociones del modelo arbóreo, de su reiteración y de su miniaturización, del modelo forestal-estratificado, y de la sucesión de las fases alternativas estratificadas y sin estructura evidente. Creemos que sea apenas preciso subrayar que la dominación de estas concepciones es indispensable, para quien quiere manejar inteligentemente los métodos simplificados.

El inventario de la vegetación de una región se hace por líneas, - cuya ubicación está escogida para cruzar el máximo número de paisajes diferentes al seno de la zona de vida. En el mapa éstas líneas - se constituyen de rayitas bastante espaciadas, por que la exploración racional se efectúa por trechos de algo como dos kilómetros en el bosque (100 cuadrados de base). Un reconocimiento previo del terreno se necesita para determinar los lugares "críticos", en donde la línea cruza a límites naturales edafológicos u otros. Cada rayita de la línea es un corredor de exploración, y cuya formación ha sido dibujada en - la figura 10 (A hasta D).

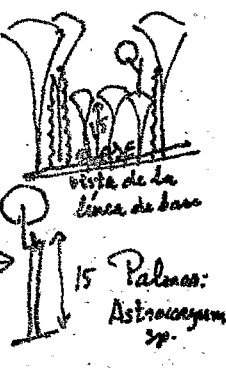
Según nuestra experiencia de campo, la anchura del corredor tiene que ser aproximadamente la mitad o los dos tercios de la altura de la vegetación bajo consideración, Por ejemplo, en la selva amazónica que es alta, de 30 a 40 metros, una buena anchura del corredor es 20 metros. En la Nueva Inglaterra (N.E. de los EE.UU.), en donde el bosque de fronda tiene una altura de poco mas de 20 metros, la anchura del - corredor no ha de exceder los 10 metros. En un campo de yuca o de maíz, alrededor de dos metros de alto, un corredor debe tener no más de 1 metro de anchura. Al extremo, en una vegetación de musgos de 1 cm. de altura, el corredor tendrá una anchura de 5 mm, y será necesario dibujarlo mirándolo a través de una lupa; de hecho, todo el corredor en este caso se transporta en el laboratorio para el estudio. Dos razones determinan la regla grosera diciendo que la anchura del corredor se encuentra entre la mitad y los dos tercios de la altura de la vegetación: en primer lugar un perfil mas ancho se vuelve demasiado "denso" para poder dibujarlo, además, una anchura exagerada introduce gradientes - arquitecturales transversales.

Los gradientes transversales de cualquier índole que sean, es lo primero que debe evitarse en el corredor. La figura 10(B) representa el mas corriente, la pendiente transversal (B) tiene que eliminarse - (BII). Esto se logra plegando el corredor en torno de lugares con topografía accidentada, según el patrón de la figura 10 (A). En los plie



dirección (160-180) : 318°
 pendiente (160-180) : 11°30'

- 42) Sapotáceae
- 43) Vismia
- 44) Sapotáceae (foto a 15 m)
- 45) Lauráceae (¿Borrea?)



ejemplo de apuntes sobre un cuadrado forestal

G

gos del corredor siempre hay un ángulo de vegetación que se encontrará ni medido, ni representado en el perfil, pero es la única manera para no deformar a los cuadrados del corredor.

El corredor tiene que ser muy precisamente localizado en el espacio, con referencia a la tierra. El punto cero de la línea base (fig. 10A) debe escogerse de manera que este pueda identificarse de manera evidente en la fotografía aérea, si lo admite el estado del terreno y la escala del corredor - es evidente que esto no es posible en un corredor de malas hierbas de 20 cm. de ancho, y una vegetación de 40 cm. de alto. Pero en el bosque, sí cabe esta selección. Del punto cero, marcado con una señal distintiva - palo con banderita plástica, por ejemplo (fig. 10C)-, la dirección magnética se observa de cuadrado a cuadrado con una brújula. También se mide la pendiente, en grados, según la línea de base en cada cuadrado: esta última medida se efectúa con el dendrómetro BLUME-LEISS, el observador colocándose al lado de la señal cero y apuntando la marca en la altura de su ojo, hecha sobre una señal móvil (fig. 10G) ubicado por un ayudante al lado de la señal 20. La línea del instrumento o la marca así está paralela con la superficie del suelo. Luego la operación se repite de la señal 20 a la 40, de la 40 a la 60 y así de siguiente.

Estas medidas (dirección y pendiente) pueden ser efectuadas mientras se prepara el corredor, o después, mientras se miden los árboles. En vegetaciones bajas, siempre son contemporáneas las medidas del terreno y de los vegetales. El corredor forestal tiene que ser preparado para poder observar a los árboles. La figura 10 (D) muestra su disposición en una vegetación alta y densa. Paralelamente a la línea de base se corta una cinta de visibilidad, en donde queda suprimida la parte del bosque inferior a 10 metros. En lo general, esto es suficiente para poder ver a los árboles (cf. fig. 10 E). Cuando el matorral es muy denso, conviene poner no solamente cuatro señales principales para delimitar el cuadro, sino también señales auxiliares tantas cuantas se necesitan (fig. 10 D). La mitad del corredor con el matorral intacto puede servir al estudio de las capas bajas de la selva.

Las que tienen que tomarse y anotarse para cada árbol del presente (ver fig. 3) están en la figura 10 (E_T), su anotación, muy simple, en 10 (EII). Enfatizemos la necesidad del ángulo de observación para la-

FIG. 10.: Métodos de observación (ejemplos sacados de la selva, pero pudiendo adaptarse a otras vegetaciones, ver texto). A- Corredor de prospección, dividido en cuadrados al largo de la línea de base. Sistema de pliego del corredor.- B-I- Mal corredor con gradiente transversal de pendiente; II- Buen corredor sin tal gradiente.- C- Señales marcando al corredor en el campo, y medida de las pendientes de cada cuadrado.- D- Organización de un cuadrado del corredor, con zona de visibilidad y otra de estudio de capas bajas (selva). Señales principales y auxiliares.- E-I- Medida de un árbol con el dendrómetro BLUME-LEISS. Ángulo de observación importante para corrección ulterior. II- Anotación de los resultados de medida. Conviene de añadir el diámetro a la base del árbol.- F- Ejemplo de apuntes y croquis sobre un cuadrado (ver texto); -G- Bastón-señal móvil para medir la pendiente. Una tal señal debe fabricarse para cada observador individual.

corrección ulterior de las medidas, puesto que el dendrómetro ha sido sido construido para terrenos planos horizontales. El croquis de la forma general del árbol se encuentra indispensable dibujando el perfil, porque una forma muy asimétrica traduce una "fisionomía riverña" acompañando a perturbaciones del bosque.

El resultado en el librito de campo, al cual conviene de escoger lo con papel escaqueado para evitarse la pena de dibujar cada cuadrado en la buena escala mediante regla y triángulo, está representado en la figura 10 (F). Aquella nos permite precisar unos últimos puntos. Se nota, si cabe, la identificación de los árboles del presente que han sido medidos, así que su diámetro o su circunferencia en la base del tronco. La existencia de un conjunto del presente implica estratificación. Su interrupción no significa siempre el mismo fenómeno: puede ocurrir una fase muy baja y precoz, pero estratificado, de la sucesión, o también una fase no estructurada, dinámica, o aún unchablis muy reciente. Es porque se necesita completar a las medidas con varios croquis, incluyendo sobre todo a la representación de árboles muertos y caídos en el plan de cada cuadrado. Conviene tener siempre en mente el adagio del botánico inglés CORNER: notad todo, dibujad todo, fotografiad todo. Una falta de apuntes siempre resulta vengarse desagradablemente del observador durante el tiempo ulterior de dibujante.

El trabajo entero de exploración se consigue con herramientas muy simples. En el bosque se necesitan machetes y hachas para cortar el matorral, y así sacar material para fabricar señales con madera sacada del bosque. Una brújula y una cinta para medir de 30 metros sirven para la instalación de los cuadrados sucesivos al largo de la línea de base. El dendrómetro BLUME-LEISS, un librito de campo (repetamos: con papel cuadriculado) y un lápiz o bolígrafo son los instrumentos del inventario de la vegetación. Una máquina fotográfica de calidad es un expediente muy precioso para fijar la imagen de fenómenos que no pueden dibujarse. El utillaje completo para coleccionar muestras de herbario, incluyendo a un librito de campo distinto de lo que se emplea para el inventario ecológico hay que tener disponible, al fin de lograr la identificación indudable de las plantas encontradas en el corredor. Los principios y métodos herbariológicos han sido expuestos en otra nota técnica de esta serie (NºE.2 del Programa de Regionalización, febrero 1975).

Sin embargo, la herramienta mas preciosa para el inventario del mosaico sucesional al nivel de una región, o zona de vida, permanece el cerebro del jefe del equipo de prospección, y su capacidad de notar, de interpretar, y de comprender los fenómenos significativos que se presentan delante de sus ojos mientras trabaja en el campo. La presente nota suministra un marco general para las observaciones necesarias, nada más, y sobre todo no se propone de ser una argolla metodológica. Esperamos que resultare útil en este sentido preciso.

Quito, 14 de Febrero de 1975

Dr. Roelof A.A. OLDEMAN

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco mucho al Dr. Jean-Louis GUILLAUMET por la discusión en París, durante la cual brotaba en mi mente la idea del mosaico sucesional. En Quito, conversaciones con el Ing. CAÑADAS, el Dr. CAMPUZANO, el Dr. CAMPO, el Ing. VREUGDENHIL y otros permitieron la idea de desarrollarse en su actual forma. Por fin, su forma castellana hubiera sido muy inferior sin la ayuda filológica de la Srta. PABON y del Ing. CAÑADAS.

B I B L I O G R A F I A

BUDELMAN, A., y KETELAARS, J.J.M.H., 1974, Een studie van het traditionele landbouwsysteem onder de boslandcreolen. Celos-rapp., 96; 148 p., CELOS, Paramaribo, Suriname.

CAMPUZANO, G. y VALENCIA, M., 1974, Contribución al catálogo de la flora del Ecuador. Centro de Capacitación e Invest. Forestal, Conocoto - doc. multigr.

Para las otras referencias, ver a las bibliografías de:

CAMPUZANO, G., y VIVANCO de la T., O., 1974, Formaciones Ecológicas de la Provincia de El Oro. Centro de Capacitación e Invest. Forestal, Conocoto - doc. multigr.

OLDEMAN, R.A.A., 1974, L'architecture de la forêt guyanaise. Mem. ORSTOM, 73: 204 p. Office de la Rech. Sci. et Techn. Outre-Mer, Paris.