

EL USO DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES Y LA AGRICULTURA EN LATINOAMERICA EN RELACION CON LA ESTABILIDAD DEL CLIMA *

Juan Jacinto BURGOS **

SUMMARY: The use of the renewable resources and agriculture in Latinamerica in connection with the climate stability.

It is presented a dynamic system model showing the relationship and interdependence between climate, defined as a *quasi-stable* natural resource, and the whole of other natural and artificial resources.

This model intent to make apparent how the use of such resources feedback climate as an ultimate fact of Man, which actually is worldwide recognized. Under the same dependence was studied, in a general way, the potential production and historical evolution of forestry, agriculture and livestock production in Latinoamerica, faced to its population growth.

With such antecedents, notwithstanding the lack of more systematic experiences, were used some case studies to show how could be understand the impact on climate of different use of land, which degrade or improve the environment in Latinamerica.

So it was analyzed the change direction in the local and regional climate, by altering the main biomas of tropical humid climates. These were the cases of developing agricultue and inducing pasture lands in mountainous and highland rainforest, flooding varzeas and coastal mangroves; when monsoonic savannas where improved by deferred flooding waters and irrigation, and semiarid and arid lands ameliorated by irrigation; or, on the other hand, when desertification has been increased by soil mismanagement and overgrazing, in semiarid and arid range lands.

I. EL CLIMA COMO RECURSO ECONOMICO

La idea del clima como recurso económico es relativamente nueva. Este hecho determinó que en los esquemas que el hombre ha construído sobre los recursos naturales de que se sirve para satisfacer sus necesidades -tanto indispensables como superfluas- generalmente el clima esté ausente. Si se

* Trabajo presentado en la Conferencia Mundial del Clima; Organización Meteorológica Mundial; Ginebra, Suiza, 12-23/II/1979.

** Miembro de la Carrera del Investigador Científico del CONICET y Profesor de la Universidad Nacional de Buenos Aires.

ECOSUR	Argentina	ISSN 0325-108X	v. 6	n. 12	pág. 111-143	setiembre 1979
--------	-----------	-------------------	------	-------	-----------------	-------------------

indaga en las causas de esta omisión se destaca, en primer lugar, la dificultad de realizar una abstracción integrada del concepto de clima, porque el hombre lo percibe sólo por sensaciones imponderables. En segundo lugar, en el período que cubre la historia de la civilización, las consecuencias del clima, a excepción del relato bíblico del Diluvio Universal, se registraron sólo como fenómenos o accidentes fortuitos naturales que no marcaron cambios muy trascendentes en la humanidad.

La gran sequía continental de la década de los años 30, en ambos hemisferios, conjuntamente con el mal manejo agrícola de la tierra, produjo simultáneamente el "dust bowl" en los estados centrales de los Estados Unidos y un fenómeno similar en el oeste de la Región Pampeana de la Argentina, que muchos consideraron casi irreversible. Fue éste un hecho que despertó en América una conciencia nacional pública e internacional, sobre la necesidad de ajustar normas de uso y manejo de los recursos naturales renovables. Así se originó la doctrina conservacionista creciente de los recursos naturales, contrapuesta a su consumo indiscriminado por el desarrollo, problema actual que domina y preocupa a la economía moderna.

Desde las primeras reuniones internacionales sobre la conservación de los recursos naturales renovables como la "Inter-Americana", realizada en Denver (Colorado) en 1948 y la "Conferencia Científica de las Naciones Unidas", en Lake Success (New York) en 1949, en los Estados Unidos, hasta el comienzo de la década actual, la atención por la conservación de los recursos naturales se concentró sobre los tangibles y concretos y el clima, no se encontró tratado como tal entre ellos.

El esquema estático de los recursos naturales disponibles para el desarrollo de las sociedades humanas, sobre la base de estos hechos y de las ideas que generaron, se puede sintetizar en la siguiente enumeración:

- A) Recursos naturales renovables.
 - 1. Agua
 - 2. Suelo
 - 3. Vegetación natural
 - 4. Vida animal silvestre
- B) Recursos naturales perecederos.
 - 1. Carbón
 - 2. Petróleo
 - 3. Otros productos minerales

El uso cada vez más creciente de la información climatológica en la planificación y operación racional del uso de la tierra, después de la Segunda Guerra Mundial, contribuyó a concretar la idea de que el clima es un real recurso económico. En la década de los años 50, Davitaia (1954 y 1955) y otros autores soviéticos después (Golzberg y Drosdova, 1956; Davitaia y Saposhnikova, 1962; Davitaia, Saposhnikova y Shashko, 1973, entre otros), introdujeron el concepto de "recurso climático y agroclimático" para definir aquellas condiciones del clima que, además del agua, significan consecuencias económicas.

Los trabajos de fines de la década de los años 60 y comienzo de la actual, como los de Maunder (1968, 1970, 1972), Taylor (1960, 1970, 1974) y Perry (1971), tuvieron una motivación similar; si bien sus enfoques sobre la influencia del clima y del tiempo en el desarrollo económico son más definidos. Perry (1971) y Maunder (1972) hablaron en ellos de "Econoclima" y "Modelos

Econoclimáticos". Estas ideas fueron dirigidas más a formar inventarios de los elementos climáticos según su impacto económico, como si se tratara de un recurso sin cambio, que a definir sus condiciones de estabilidad.

La idea de que el hombre puede actuar y modificar el clima permaneció latente desde muy antiguo en la cultura empírica popular. Las observaciones que desde el siglo pasado pretendieron demostrar la influencia de los bosques y de la reforestación, sobre el incremento local de las precipitaciones, fueron invalidadas por la crítica sobre la metodología usada, o resultaron poco concluyentes. Así ocurrió con las observaciones de Hamberg (1885) en Suecia, de Woieikof (1887) en Rusia, de Blanford (1887) en India y de Schubert (1937) en Letzlinger y los análisis de ellas realizados por Kaminski (?) y Geiger (1942). Esto justificó el excepticismo, característico en la primera mitad de este siglo, en los medios científicos meteorológicos, sobre la importancia de los efectos antropogénicos en el clima.

Sin embargo, el clima no es un recurso estable y sus posibles cambios naturales o provocados por el hombre vuelven a tenerse en consideración. Las consecuencias de experiencias vividas en el presente siglo (sequías de los años 30 en América, de 1972 en Europa Occidental y de los últimos años en el Sahel), y las que se vislumbran por la explosión demográfica de las próximas décadas, ha despertado un interés creciente en los círculos científicos, económicos y políticos.

Además, durante la última década, en medios científicos responsables, se ha observado con preocupación el aumento de almacenaje de energía, de CO₂ y de aerosoles reductores en la atmósfera; el incremento de los desiertos y la disminución de la cubierta de vegetación natural, como consecuencia de la actividad humana. Se ha insinuado que todo ello puede producir cambios en la temperatura del planeta y por ende en la distribución de las masas de hielo polar y la circulación general de la atmósfera y oceánica. (Budyko, 1971 y 1972; SMIC, 1971; Rasool y Schneider, 1971; Manabe y Wetherald, 1974; Bryson, 1974; GARP, 1975 y Kellogg, 1977, entre otros).

Para satisfacer esta expectativa es necesario considerar los recursos para el desarrollo económico y su uso como un sistema dinámico, en el cual el clima debe figurar con su real importancia, tanto en cuanto a la magnitud de su impacto, como en su grado de estabilidad.

Un intento de esta naturaleza fue el que ilustró el esquema que muestra la fig. N° 1 (Burgos, 1969), en el cual los recursos del potencial económico según la naturaleza y estabilidad se dividieron así:

- A) Recursos naturales: son aquellos que ofrece la naturaleza y que utiliza el hombre en forma directa y que según su estabilidad pueden ser:
1. estables: sol y luna; energía solar y mareo-motriz
 2. cuasi-estables: clima, gases atmosféricos y energía eólica, del oleaje marino y geotermia
 3. renovables: agua y suelo; vegetación natural y vida animal silvestre
 4. perecederos: producción minera y energía fósil.

- B) recursos artificiales: son los que produce el hombre mediante una transformación de los recursos naturales y los que crea con su propia actividad.

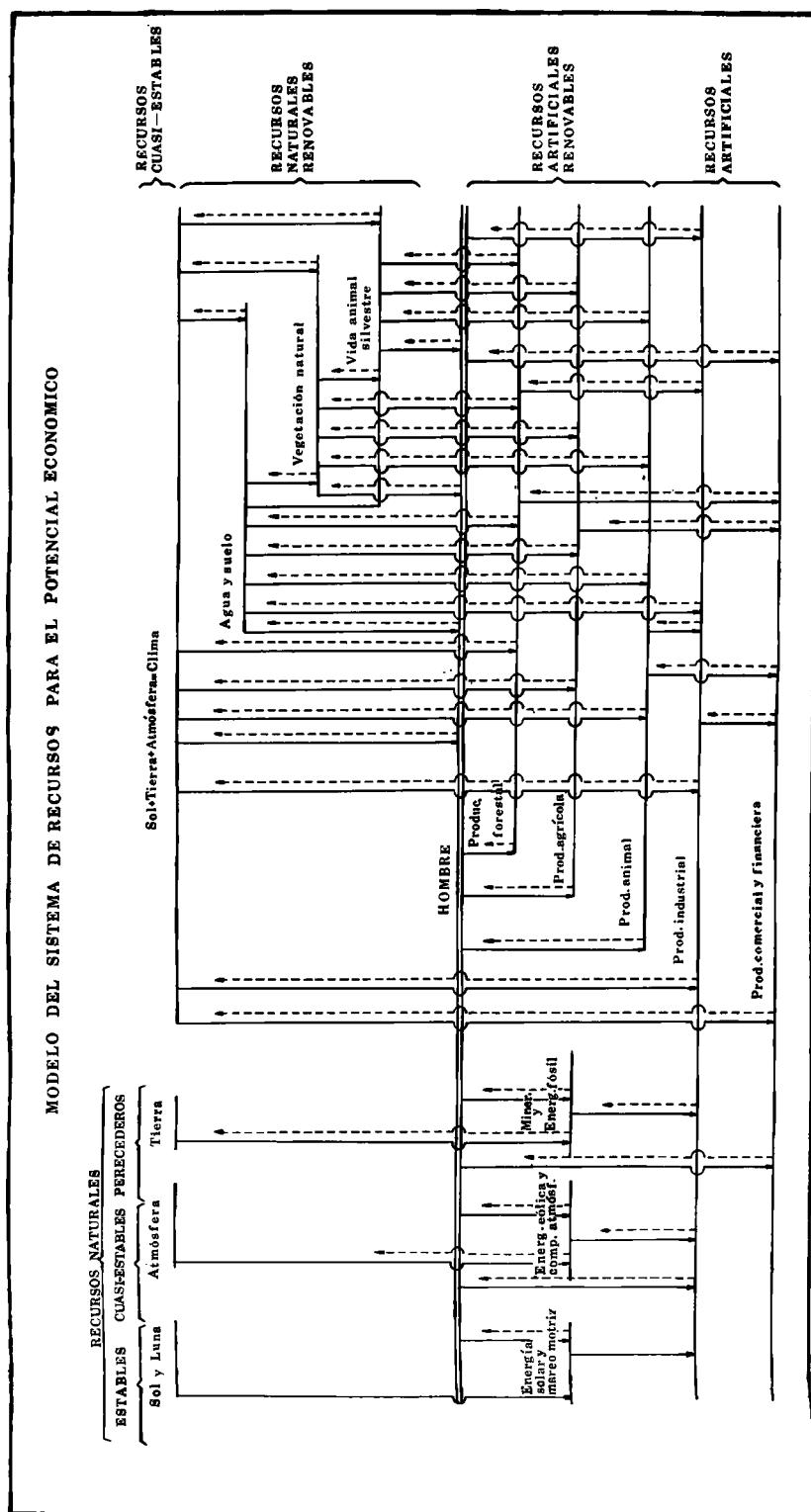


Fig. N° 1. Modelo del sistema dinámico de los recursos que determinan el potencial económico. Vector en línea continua: flujo generatriz del recurso. Vector en línea discontinua: reflujo o reacción sobre el factor generatriz. La dimensión del vector no intenta representar la intensidad de los flujos. (Burgos, 1969).

Según su grado de estabilidad pueden dividirse en:

1. recursos renovables: producción forestal, producción agrícola y producción animal;
2. recursos no renovables: producción industrial y producción comercial y financiera.

En el esquema del sistema propuesto se destaca el hombre como resultado de los recursos naturales renovables y del clima, y como co-generador o generador de los recursos artificiales. Por otra parte, se puede apreciar la gran importancia en el sistema, del flujo del clima sobre todos los recursos del potencial económico y del reflujo de todos ellos, a su vez, sobre el clima. En la relación de estas corrientes opuestas se fundamenta, en gran parte, el carácter cuasi-estable asignado al recurso clima y el potencial económico de un país, una región o un continente.

El perfeccionamiento de un modelo de sistema como el propuesto, mediante la evaluación o estimación de la intensidad y de otras características de los flujos, puede constituir un trabajo de valor para el diagnóstico del clima actual y el pronóstico de cambios futuros. Por otra parte, un sistema cuantificado de esta naturaleza podría ser de utilidad en programas racionales de desarrollo que tendieran a evitar cambios desfavorables del medio ambiente humano.

II. PRODUCTIVIDAD POTENCIAL DEL SUELO EN AMERICA LATINA

1. Características de la producción del suelo en los períodos indígena, colonial y de emancipación americana.

América Latina es un conjunto de países iberoamericanos que ocupan el subcontinente sudamericano, Centroamérica, la porción sur de América del Norte y los mayores espacios insulares del Caribe, entre los 32° N y los 55° S de latitud aproximadamente. Los pequeños espacios de América del Sur y del Caribe con estados de cultura no ibérica, se diferencian poco del resto de América Latina física y étnicamente.

Se destacan como hechos físicos característicos de este espacio geográfico, la gran extensión terrestre con climas tropicales y subtropicales húmedos y subhúmedos, climas de altitud singulares y extensos, especialmente sobre la Cordillera de los Andes y climas áridos y semiáridos tropicales y subtropicales. Los climas templados y fríos sólo tienen espacios terrestres de pequeña extensión relativa, en los límites latitudinales extremos o en las altas cumbres. En éstos, además, se puede distinguir sólo una variedad reducida de subtipos, por el carácter oceánico predominante del macroclima a que están sometidos.

Los recursos renovables de Latinoamérica estuvieron por largo tiempo bajo el intercambio dinámico natural con el medio físico. El hombre, mientras actuó sobre ellos solamente como extractor para uso personal y de su grupo familiar, no fue un peligro serio para la estabilidad y renovación de los recursos. Las poblaciones indígenas se concentraron en lugares elevados de este ámbito y en sus climas áridos o semiáridos alcanzaron su máximo desarrollo. La agricultura sólo fue de subsistencia.

La presencia del hombre blanco en Latinoamérica significó poco cambio de la situación en los primeros siglos de su adaptación al medio. La agricultura colonial y del primer período de la vida independiente de los países latinoamericanos, no fue una actividad tan importante como para que los recursos artificiales renovables entraran en competencia dinámica con lo naturales. Los nuevos asentamientos agrícolas de esa época se aventuraron sólo en regiones de ecosistemas más estables, como aquellos de las regiones subhúmedas templadas y en las muy áridas con riego. Las regiones de sabanas subhúmedas y semiáridas quedaron libradas a una ganadería incipiente sin cercas (alambrados) y a veces trashumante.

2. Características de la producción del suelo en el siglo actual

La revolución industrial de las primeras décadas de este siglo que condujo a la invención y perfeccionamiento de la maquinaria agrícola, la automovilización de los equipos, la disponibilidad de energía fósil de bajo costo, el aumento de la eficiencia de los transportes, la posibilidad de uso de plaguicidas, fertilizantes y herbicidas y la construcción de obras de riego, ferrocarriles y carreteras, contribuyeron a un desarrollo explosivo de la agricultura. Por otra parte, al ser países en desarrollo, sin industrias o con industrias incipientes, ineficientes y costosas, la explotación del suelo y de los recursos naturales renovables fue la primera prioridad en sus programas de desarrollo económico.

Recién en este siglo, los recursos artificiales renovables y el hombre mismo, entraron en competencia dinámica con los recursos naturales. Actualmente, grandes extensiones de ecosistemas frágiles se han degradado o extinguido, y una seria amenaza se cierne sobre las que todavía quedan incóluas, frente a las perspectivas del crecimiento de la población humana en este subcontinente.

En el cuadro N° I se incluyen los índices del crecimiento vegetativo de la población de 20 países latinoamericanos calculados sobre los valores publicados por la FAO (1977). Si se considera que los países con un índice de crecimiento superior al 3,25%, pueden duplicar o más su población actual en 20 años, se constata que ello puede ocurrir en Ecuador, Centroamérica y algunas islas del Caribe, México, Colombia, Venezuela, Perú y Brasil y que, en el resto del subcontinente, ese aumento en el mismo lapso, será aproximadamente no inferior al 50%. Esto significa que en las próximas dos décadas será necesario duplicar la producción de los recursos artificiales renovables, para satisfacer las necesidades internas de los países y mantener un nivel conveniente en sus exportaciones.

No se hará una descripción detallada de todas las variedades de recursos naturales que posee Latinoamérica y de sus problemas de conservación en particular, pues no es éste el motivo de esta comunicación. En cambio, se estima conveniente tomar en cuenta la aptitud climática potencial de este ámbito para los recursos artificiales renovables, que avanzan en una competencia agresiva sobre los naturales. Como el suelo es el resultado de la interacción entre el clima, la roca madre y la vegetación, se puede deducir que la aptitud climática para los recursos artificiales renovables representa, a la vez, en buena medida, la aptitud del suelo. En una forma muy general, los recursos artificiales renovables se pueden agrupar en forestales (excluida la extracción silvícola), agrícolas y de producción animal.

CUADRO I
Población actual estimada (1977) e índice de su crecimiento calculado para el período 1965-1977 de
20 países latinoamericanos ordenados según la magnitud del índice de crecimiento (FAO, 1977).

Nº de orden	País	Población actual x 1000 hab.	Crecimiento de la población %	Nº de orden	País	Población actual 1000 hab.	Crecimiento de la población %
1	Ecuador	7.555	4,02	11	Costa Rica	2.065	3,17
2	El Salvador	4.375	4,00	12	Surinam	447	2,88
3	Rep. Dominicana	5.471	3,97	13	Bolivia	4.761	2,84
4	México	63.266	3,96	14	Guyana	827	2,55
5	Colombia	25.226	3,95	15	Cuba	9.889	2,23
6	Venezuela	12.947	3,51	16	Chile	10.633	2,07
7	Perú	16.242	3,49	17	Haití	4.703	1,66
8	Brasil	116.139	3,39	18	Argentina	26.056	1,45
9	Panamá	1.774	3,39	19	Trinidad	1.030	1,12
10	Paraguay	2.805	3,26	20	Uruguay	2.855	1,09

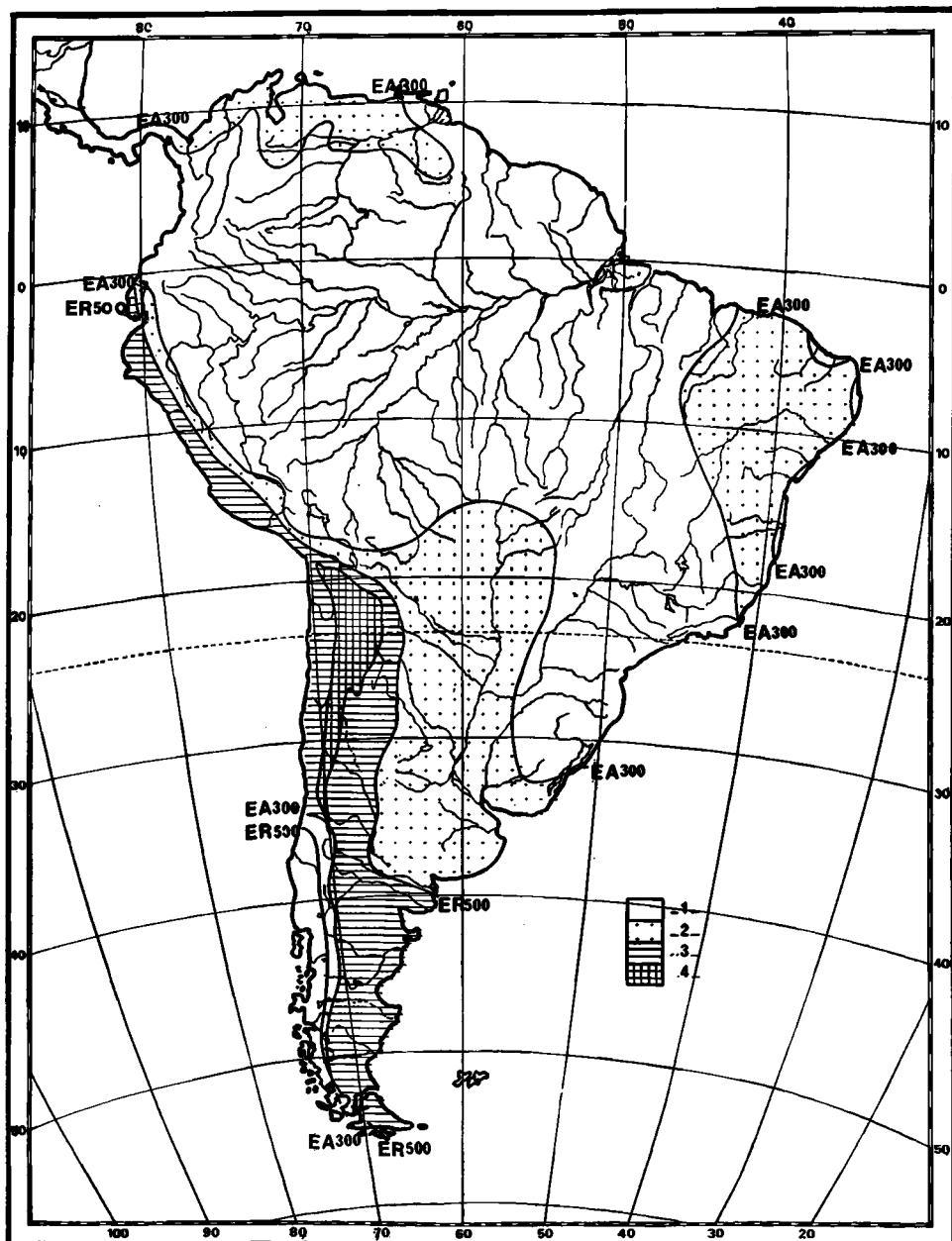


Fig. N° 2. Regiones climáticas forestales y de forestación en Sudamérica. 1) Bosques higrófilos y áreas de forestación sin riego. 2) Bosques xerófilos y de forestales higrófilos con riego. 3) Areas de forestales higrófilos y xerófilos con riego. 4) Áreas no forestales. EA, Exceso de agua anual en mm; ER, Evapotranspiración real anual en mm. (Burgos, 1976).

3. Aptitud climática forestal en América del Sur

En la fig. N° 2 se muestra la aptitud climática forestal de América del Sur sobre la base de parámetros agroclimáticos simples, que pueden servir para ilustrar sobre la capacidad de este recurso, en una primera aproximación (Burgos, 1976). Si estos parámetros se aplicaran a América Central, México e islas del Caribe, podrían obtenerse resultados similares. Según este análisis, son muy reducidas las áreas en Sudamérica que no disponen de suficiente energía para el desarrollo de formas arbóreas. Solamente las mayores alturas de la Cordillera de los Andes tienen un balance de energía inferior a $30 \text{ kcal cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$, equivalentes aproximadamente a menos de 500 mm por año de evapotranspiración potencial, que corresponde a la formación de la tundra. En el resto del continente, el desarrollo arbóreo está limitado solamente por la falta de agua.

Las regiones más húmedas del continente se hallan en el Norte, compuestas por las cuencas de los ríos Cauca, Magdalena, Amazonas, Tocantins y parte del Orinoco y las altas cuencas de los ríos San Francisco, Paraná y Uruguay; y en el Sur, la mitad sur de Chile y el sudoeste de la Argentina. Ellas tienen un balance de agua anual positivo, con excesos que superan los 300 mm año $^{-1}$ y pueden considerarse como regiones de forestación y reforestación sin necesidad de riego. Su vegetación natural está compuesta por selvas y bosques higrófilos.

El nordeste brasileño, sur y oeste de Uruguay, oeste de Paraguay, sudeste de Brasil, centro norte de la Argentina y una franja que desde Bolivia se extiende por el centro de Perú y Ecuador, así como el norte de Venezuela, son regiones en las que la forestación con especies higrófitas requiere riego por lo menos durante la implantación forestal, pero no la de árboles xerófilos. En ella, la evapotranspiración actual o real es superior a los 500 mm anuales pero el exceso de agua, inferior a 300 mm a nulo. En la Patagonia y el oeste argentino, la parte central de Bolivia y una estrecha faja costera desde la mitad norte de Chile hasta Ecuador, es absolutamente indispensable el riego para el desarrollo de cualquier forma arbórea. En estas regiones, las lluvias son tan escasas que la evapotranspiración real no alcanza a 500 mm de modo que ni las formas arbóreas xerófitas pueden prosperar sin riego.

4. Aptitud agrícola de América Latina

La fig. N° 3 muestra la aptitud agrícola del continente agrupando los cultivos en macro-agrosistemas, es decir, en unidades muy amplias y generales (Burgos, 1976). Se puede ver así que la Patagonia argentina, el sur de Chile y las altas cumbres y mesetas de los Andes, no resultan ambientes aptos para la agricultura de desarrollo. En ellos, es posible una pequeña agricultura de subsistencia, pues el período medio libre de heladas es inferior a 150 días.

La porción con clima apto para agricultura de desarrollo (período medio libre de heladas mayor de 150 días), puede subdividirse en una parte, en la cual el riego es indispensable (cuando la deficiencia media anual de agua supera los 200 mm o existen más de 7 meses consecutivos con deficiencia de agua) y otra, en la que el riego no es necesario o sólo se lo requiere para suplementar, a veces, la precipitación.



Fig. N° 3. Regiones agrícolas en Sudámerica. 1) Agricultura sin riego. 2) Agricultura con riego. 3) Areas no agrícolas. mm, milímetros de deficiencia de agua anual media; d, número de días del periodo libre de heladas medio; (.), % de años con temperatura mínima anual $\leq 0^{\circ}\text{C}$; (..), temperatura mínima anual, igual o menor a la indicada una vez cada 5 años, $P = 20\%$; (...), temperatura mínima anual igual o inferior a la indicada una vez cada 20 años, $P = 5\%$; isolínea interrumpida, temperatura media del mes más frío. (Burgos, 1976).

Con respecto a las exigencias y tolerancias a las condiciones térmicas, los agrosistemas anteriores se pueden subdividir en:

- a) Agricultura tropical sin tolerancia al frío
temperatura mínima anual absoluta de 6° C o menor, 1 vez cada 5 años
(P=20%)
- b) Agricultura tropical con tolerancia al frío
temperatura mínima anual absoluta de -1,5° C o menor, 1 vez cada 5 años (P=20%)
- c) Agricultura subtropical de maduración invernal
temperatura mínima anual absoluta de -5° C o menor, 1 vez cada 5 años (P=20%)
- d) Agricultura subtropical de maduración estival
temperatura mínima anual absoluta de -12° C o menor, 1 vez cada 5 años (P=20%)
- e) Agricultura de clima templado
temperatura media del mes más frío inferior a 12° C
- f) Agricultura de clima frío
período libre de heladas inferior a 150 días.

Se constata así que los macro-agrosistemas de regadío, dentro del gran ambiente con aptitud para la agricultura de desarrollo de Sudamérica, se ubican en el Nordeste brasileño, en una franja central del subcontinente, al este de los Andes entre los 10° y 43° S, en una franja costera entre los 0° y 35° S, al oeste de los Andes y en el norte de Colombia y norte y centro de Venezuela. Con relación al carácter térmico de los mencionados macro-agrosistemas, se comprueba la gran extensión del continente con aptitud para la agricultura tropical y subtropical y el menor espacio para la de clima templado. En el espacio latinoamericano al norte de América del Sur, el aspecto general de la aptitud del clima para la agricultura no es muy diferente y puede evaluarse con los mismos parámetros.

5. Aptitud climática de Latinoamérica para la producción animal

Las condiciones de aptitud para la producción animal en Latinoamérica se deben limitar aquí a las que determinan los pastizales naturales, pues estos son los biomas más adaptados a este tipo de producción y que por su mayor uso pueden estar sujetos a modificaciones profundas.

En la fig. N° 4 (Burgos 1976 y 1977), se muestran los ambientes subhúmedos (zona punteada), comprendidos entre los índices hídricos +25 y -15 de Thornthwaite (1948). La zona entre 0 y +25 corresponde a pastoreos normales como los de la Pampa húmeda de la Argentina y Uruguay, los "Campos" del sur de Brasil, Paraguay y Bolivia, los "Llanos" subhúmedo-húmedos del Orinoco, las sabanas periféricas del Nordeste brasileño seco y los prados húmedos andinos del Perú, Ecuador y Colombia. La zona entre 0 y -15, más seca que la anterior, incluye la Pampa seca de la Argentina, el "Chaco" subhúmedo seco de la Argentina y Paraguay, el "Cerrado" subhúmedo seco del noreste de Brasil, los "Llanos" subhúmedos secos del Orinoco, en Colombia y Venezuela, los valles interandinos de Bolivia, la gran sabana guyanesa y la estepa subantártica del continente.

En la misma figura quedan en blanco grandes espacios con climas semiári-



Fig. N° 4. Tipos de vegetación natural en Sudamérica. 1) Praderas, pastizales y sabanas naturales. 2) Otros tipos de vegetación. — 40, — 15, + 5, + 25, + 40, índices hídricos de Thornthwaite. (Burgos, 1976 y 1977).

dos y áridos muy utilizados en producción animal. Entre los primeros, limitados por los índices hídricos -15 y -40, se extienden los bosques secos del Caribe, de Colombia y Venezuela, los "Cerrados" del Brasil, el "Chaco" seco de la Argentina, Paraguay y Bolivia y la Patagonia argentina semiárida. En los climas áridos, con índices inferiores a -40, se encuentran el desierto arbustivo de la Patagonia, los páramos de altura de los Andes, el área más seca del "Caatinga" de Brasil y los desiertos costeros de Perú y Chile.

Las regiones húmedas, con índices hídricos entre +25 y +40, si bien no son tan aptos para la producción animal -excluida sea la cría del búfalo y de algunas razas de vacunos índicos- sufren cada vez más la presión del hombre para serlo. Estos climas cubren, principalmente, parte de las cuencas del Orinoco y del Amazonas y las vertientes occidentales de los Andes subantárticos.

III. CONSECUENCIAS CLIMATICAS DEL DETERIORO Y EL MEJORAMIENTO DEL AMBIENTE EN AMERICA LATINA.

1. Naturaleza de las comprobaciones

Si bien no es muy abundante la investigación científica referida a la influencia de la actividad humana sobre el clima en Latinoamérica, existe una experiencia empírica que en muchos casos la demuestra. Esta influencia resulta generalmente del uso irracional de los recursos naturales, motivada por la generación de nuevos y cada vez mayores cantidades de recursos artificiales renovables.

Resulta lógico que los cambios hayan sido más extensos e irreversibles, y por ello más notables, en los biomas compuestos por ecosistemas frágiles que en los de mayor estabilidad, y cuando la estructura geométrica y física de la biosfera artificial resultó muy diferente de la natural. El extenso ámbito de las selvas tropicales y bosques higrófilos, de los Parques o Sabanas monzónicas de las regiones semi-áridas tropicales, subtropicales y templadas, y de los desiertos arbustivos, ofrece numerosos ejemplos cuyo análisis permite inferir, en qué sentido los cambios operados pueden actuar sobre el clima local y regional.

2. Modificación y uso de las selvas y bosques tropicales húmedos

Las selvas y bosques tropicales húmedos de Sudamérica forman el *continuum* más extenso de este tipo de vegetación de la tierra. Se hallan en la cuenca del río Amazonas y parte de la del Orinoco y Tocantins, en las del Cauca y del Magdalena y en las altas cuencas del Uruguay y Paraná y en las de los importantes afluentes del Paraguay, Pilcomayo y Bermejo. En ellos se puede distinguir diferentes tipos y formas de asociaciones de especies y de condiciones del relieve que los sustentan. Esta última característica es muy importante por cuanto influye en la fragilidad del ecosistema y en su conservación y, en una amplia clasificación, estas formaciones pueden dividirse en: formación de montaña, de tierras altas, de tierras de inundación periódica y de manglares costeros.

CUADRO II

Intensidad anual de la erosión del suelo en relación con el tipo de cubierta vegetal y de la forma de la superficie en los trópicos húmedos, resumido de varios autores (Brunig, 1975).

Forma de la superficie del suelo y tipo de la cubierta vegetal	Intensidad anual de erosión	
	mm	t/ha
<i>Casi plana</i>		
algodón	4,00	80
cultivos extensivos anuales	1,60	32
pasturas densas	0,10 - 0,50	2 - 10
pasturas laxas	1,00 - 10,00	20 - 200
<i>Ondulada, pendiente suave</i>		
bosque natural, árboles cultivados (Teka)	0,01 - 0,50	0,2 - 10
- espacio amplio, con sotobosque mezclado	0,10 - 0,50	2 - 10
- denso, sin sotobosque	1,00 - 8,00	20 - 160
<i>Pendiente suave a pronunciada</i>		
bosque natural	0,50 - 2,00	10 - 40
- en los años de cultivo	30,00 - 60,00	600 - 1200

CUADRO III

Intensidad anual de erosión del suelo en relación con el tipo de cubierta vegetal y forma de la superficie del suelo en la región de La Pampa, Argentina (Troha, 1978)

Forma de la superficie del suelo	Localidad	Intensidad anual de erosión t/ha		
		Pastura	Cultivos invernales	Cultivos estivales
<i>Casi plana</i>	Dolores	0,45	0,93	1,23
	Junín	0,32	0,68	0,89
	Anguil	0,29	0,62	0,82
	Bahía Blanca	0,28	0,60	0,79
<i>Ondulada, pendiente suave</i>	Tres Arroyos	0,56	1,17	1,55
	Rosario	0,88	1,85	2,44
<i>Pendiente suave a pronunciada</i>	Tandil	4,10	8,66	11,40

a) Selvas y bosques tropicales húmedos de montaña

Las selvas y bosques tropicales húmedos de montaña, característicos de Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Brasil, Argentina, México, Centroamérica e islas del Caribe, han sufrido una gran presión antropógena desde hace mucho tiempo. Primero las culturas indígenas de los Andes y luego la colonización europea, fueron segregando núcleos de población que avanzaron sobre la selva y bosques de montaña, llevando consigo los cultivos anuales tradicionales como el maíz y el frijol. El ambiente inestable por las intensas lluvias y la fuerte erosión del suelo, por ellas ocasionadas en las áreas libradas a la agricultura, obligó a esas poblaciones a iniciar una agricultura trashumante que degradó irreversiblemente las selvas y bosques originales. Los valores recopilados por Bruning (1975, en prensa) y adelantados por Bruning *et al.* (1975), resultan ilustrativos al respecto, especialmente si se los compara con los valores similares de ecosistemas más estables como los de la Región Pampeana argentina (Troha, 1978). Estos valores se presentan en los cuadros N° II y III.

La extracción de madera en este tipo de bosque ha sido más selectiva e individual porque el relieve no favoreció la explotación rasante, ni el transporte mecánico. Sin embargo, aún este tipo de uso moderado ha empobrecido los ecosistemas de especies valiosas que perdieron las fuentes de semillas para renovarse naturalmente. Como ejemplo de este efecto se puede mencionar la gran explotación del "Palo rosa" (*Aniba rosaeodora*), "Cedro" (*Cedrela balansae* y *C. tubiflora*), "Peteribí" (*Cordia trichotoma*), "Roble" (*Amburana cereanensis*), etc.

b) Selvas de tierras llanas, Hyleas

Las selvas de tierras llanas, o moderadamente onduladas no inundables, ocupan en América Latina las mayores extensiones en América del Sur y espacios relativamente menores en América Central, México e islas del Caribe. Sobre esta formación se cierne el mayor peligro de transformación por el hombre, debido a la magnitud de su superficie y la facilidad para su explotación, construcción de caminos y vías de comunicación, y la posibilidad de utilizar poderosos equipos mecánicos para estos fines.

Los 5 millones de km² cubiertos por este máximo bioma terrestre de Brasil, que hasta hace 20 años era poco menos que impenetrable y habitado por una población indígena de 50 a 60 mil habitantes, en la década del 80 estarán comunicados con todos los países limítrofes por casi 30.000 km de carreteras con puentes sobre los ríos menores y balsas de trasbordo a motor en los más anchos. Las carreteras de 8,6 m de ancho se proyectaron sobre fajas de 70 m de ancho abiertas en la selva, con una reserva de 100 m a cada lado destinada a la colonización agrícola y ganadera. En el cuadro N° 4 se indica el detalle de estas construcciones, según un resumen de Goodland e Irwin (1975). Ya pueden observarse en este ambiente grandes áreas superiores a las 5.000 ha, y a veces menores, con sabanas inducidas por la deforestación mecánica, por extracción rasante; para la agricultura o para obtener campos para la ganadería.

CUADRO IV
Carreteras construidas y proyectadas en la Amazonia (Goodland e Irwin, 1975).

Sigla de la carretera	Origen	Punto final	Extensión km	Comienzo	Fin previsto
BV8	Brasilia	Caracas	5.758	1973	1976
C80	Brasilia	Manaus	2.227	1970	
163 (o 165)	Cuiabá	Santarém	1.747	1970	1974
153 (o 165)	Santarém	Surinam	600	1972	1977
BR 230, 404, 317 y 364: Transamazónica	Joao Pessoa	Perú	6.368	1970	1974
010 (asfaltada)	Recife	Perú			
(210) Perimetral Norte	Belém	Brasilia	1.901	1958	1973
	Macapá	Mitu (Colombia)	2.465	1974	1978
307	Cruzeiro do Sul	Cacuí (Venezuela)	1.454		1978
317	Lábrea	Assis Brasil	879		
319	Porto Velho	Manaus	866		1973
156	Macapá	Guayana Francesa	684		
174	Cáceres	Venezuela	2.860		
401	Boa Vista	Guyana	162		

Sioli (1973) estimó que 4 millones de km^2 de florestas de las que posee Brasil, a razón de 600 toneladas por ha de materia seca que representan 300 t ha^{-1} de carbón, equivalen al 10% de CO_2 que contiene la atmósfera. Las estimaciones de productividad de la Floresta Amazónica efectuadas con radar dan valores inferiores, según RADAM (1977). Si por otra parte, se acepta con Bazilevich *et al.* (1972) que la producción anual de la floresta tropical húmeda de todo Latinoamérica representa un incremento de materia seca entre 30 y 50 t ha^{-1} , se puede concluir que las Selvas y Bosques tropicales higrófilos latinoamericanos significan por año una fijación por fotosíntesis entre el 1 y 2% de todo el CO_2 de la atmósfera. Por otra parte, en una destrucción de las florestas actuales por la práctica frecuente de la combustión, se debe considerar, además del aumento del CO_2 que significará el proceso, la disminución de la capacidad de su función fotosintética por la sabana resultante. Para definir más concretamente esta importante consecuencia de la transformación de las Florestas tropicales, será necesario realizar estudios más numerosos, continuados y precisos como el realizado por Allen y Lemon (1976) en la Selva tropical cerca de Turrialba en Costa Rica, sobre el flujo de CO_2 en este tipo de formación.

La sabana inducida podrá estabilizarse como un disclimax de un menor nivel de productividad (de 8-10 t. ha^{-1}) en el que además, la reposición de la fertilidad en el suelo será mucho más lenta que la que actualmente asegura el bosque. El proceso así fijado es irreversible pues no sólo las condiciones de fertilidad habrán variado y las plantas madres de semillas desaparecido, sino que los elementos de los balances de agua y energía del suelo cambiarán considerablemente (Rehms, 1973).

Decico *et al.* (1977), cerca de Manaos, mostraron que las temperaturas de la superficie del suelo en un pequeño claro de la Floresta, mantenido con una cubierta gramínesa rastreña, llegaron a valores de máxima media de 46° C en el mes más caliente (octubre) y a 43° C en el mes más frío (enero). Además, calcularon que la profundidad de atenuación de la onda diaria de la temperatura es de 60 cm y que el suelo en esas condiciones absorbe, aproximadamente, el 22% de la energía global diaria de 423 cal cm^{-2} día^{-1} . Estos valores confirman mediciones anteriores realizadas por Bastos y Diniz (1974) y por Ribeiro y Santos (1975) en situaciones similares y en suelos de la Floresta. Si se tiene en cuenta que el suelo superficial cubierto por la Selva permanece a una temperatura casi constante de 23-25°C, que no absorbe energía solar directa y que la profundidad de atenuación de la amplitud tiende a 0, se puede deducir que en las condiciones de la sabana inducida, la fertilidad del suelo disminuirá rápidamente y en gran medida, por la muerte de los organismos vivientes (microflora y microfauna) en ella, debido a las altas temperaturas. En estas condiciones, tampoco podrían germinar y vivir las semillas que pudieran regenerar el bosque.

Si la transformación de la Floresta de tierras altas persigue un micro-agrosistema para la producción de cultivos con laboreo del suelo, el resultado es mucho más negativo. La pérdida total de la fertilidad se alcanza a los 3 años, al extremo que lo producido no merece ser cosechado. El ejemplo de los colonos agrícolas del Estado Portuguesa, en Venezuela, que intentaron este tipo de micro-agrosistema para producir sésamo para aceite, es aleccio-

nador. De 700 kilos de aceite por hectárea que se pudieron obtener en el primer año, el rendimiento se redujo a menos de 200 kilos en el cuarto. Esta experiencia tuvo lugar en tierras en donde la "palma africana" (*Eleais guineensis*) podría haber producido más de 4.000 kilos de aceite por hectárea, con mucho menos daño para el suelo.

c) Floresta inundable, Varzeas

Las tierras de inundación periódica de Selvas y Bosques tropicales húmedos, también han sido presionadas para la producción de recursos renovables artificiales. Grandes extensiones de la cuenca del río Amazonas y algo menores del Orinoco, están expuestas a inundaciones periódicas. El agua cubre, en los picos de máxima inundación, kilómetros de superficie en ambas riberas formando grandes lagos interiores y dejando islas temporarias que cuando bajan las aguas tienden a desaparecer. Generalmente, estas inundaciones aportan limo y otros materiales en suspensión que contribuyen periódicamente a fertilizar los suelos. En tales ambientes, la utilización temporal del suelo, luego de privado de la Floresta natural, ha sido para el cultivo del arroz, yute, sésamo, frijoles, maíz y pastizales para búfalos o ganadería temporaria. En algunos casos, con la apertura de canales y la construcción de endicamientos se ha tratado de modificar los flujos naturales de la inundación para mejorar los resultados de su explotación. En este caso, como el aporte anual de la fertilidad del suelo proviene de la inundación, que de otro modo se perdería en el océano, la transformación ha significado un mejoramiento del ambiente y de la productividad (Camargo, 1958).

Las tierras inundables más bajas, en cambio, requieren trabajos de drenaje costosos antes de poder ser utilizadas por micro-agrosistemas como el arroz, aunque su mejor utilización se obtiene con el manejo de algunas especies naturales útiles como el palmito (*Carapa guianensis*) y macizos forestales (*Virola surinamensis*), (Bruning, 1975).

d) Manglares costeros

Los manglares costeros son, a veces, extensos en Latinoamérica y poco utilizables por el aporte de salinidad de las aguas marinas que invaden las tierras bajas durante las mareas. Sin embargo, como fue realizado en Guyana por los holandeses desde la época colonial, endicamientos sobre la costa y el cierre de las vías de escurrimiento por exclusas, cortan la entrada de las aguas marinas durante la marea alta y la apertura de exclusas durante la marea baja, permite el escurrimiento del agua dulce que fluye por los ríos hacia el mar. De esta forma, una importante franja de unos 30-40 km de ancho, que incluye el fondo de los manglares y las tierras vecinas, a lo ancho de la costa del país, fue drenada y transformada en tierras feraces donde se cultiva la caña de azúcar, el arroz, hortalizas y donde se implantaron los mayores centros poblados. Este tipo de drenaje mejoró el medio ambiente humano, tanto con respecto a la productividad de la tierra como a las condiciones sanitarias.

Estos hechos, entre otros, que indican la pugna entre los recursos naturales y artificiales renovables en América Latina y sus efectos sobre el ambiente -incluido el clima- permiten formular alguna hipótesis de trabajo, para dar una base cuantitativa a las consecuencias de los diferentes usos de la tierra, en estos ecosistemas de tanta fragilidad.

e) Micro-agrosistemas en las Selvas y Bosques tropicales húmedos

Los micro-agrosistemas que pueden desarrollarse en las Selvas y Bosques tropicales húmedos en relación con la conservación de la estructura física de la biosfera, se pueden enumerar en el siguiente orden:

- I) Cultivos bajo sombra o macizos forestales
- II) Cultivos arbóreos consociados con pastizales o leguminosas, sin labranza del suelo
- III) Sabanas inducidas con pastizales naturales o renovables
- IV) Cultivos arbóreos con laboreo del suelo y fertilización
- V) Cultivos anuales densos
- VI) Cultivos anuales laxos

El cultivo bajo sombra, como se practica con frecuencia con el café en selvas y bosques de montaña y con el cacao, bajo una adecuada proporción de árboles más altos del bioma original, es el agrosistema que modifica en menor grado las condiciones primitivas. Este sistema exige un raleo de los árboles de alto fuste, una mayor limpieza del sotobosque y es menor el mantillo que se deposita sobre el suelo, por ello se lo supone como el de menor alteración.

En la fig. N° 5 se ha esquematizado una hipótesis sobre la modificación de los principales elementos del balance de energía y de agua de la biosfera por los agrosistemas enumerados. En ellos, se supone que la Floresta original y el mantillo absorben toda la energía de onda corta que pasa a través de la canopia. La abundancia de follaje en todos los estratos de la Floresta actúa como una trampa de la radiación solar global (R_g) que se extingue, por reflexiones y absorciones sucesivas, entre los árboles y el mantillo, sin alcanzar el suelo. Por esta razón, el albedo (a) por encima de la copa de los árboles más altos se supone bajo. La magnitud del calor usado por la evaporación (LE) es alto y la emisión de la superficie activa ($\sigma T^4 \uparrow$) es la más baja. El calor sensible (H) es comparativamente muy pequeño y el aire por encima de la canopia, enriquecido por la humedad, es fuente de la mayor energía de contrarradiación ($\sigma T^4 \downarrow$), entre los sistemas comparados. El balance de agua, por su parte, se caracteriza por una evaporación máxima y un escurreimiento mínimo (fig. N° 5, a).

En los micro-agrosistemas enumerados y según el orden propuesto (fig. N° 5, b, c, d y e), cada vez el suelo absorbe más energía (S); el albedo (a), la emisión desde la superficie activa ($\sigma T^4 \uparrow$) y el calor sensible (H) aumentan; mientras que el calor latente de evaporación (LE) y la emisión atmosférica disminuyen. Entre los elementos del balance de agua se observa como el escurreimiento superficial (r) aumenta, mientras la evapotranspiración real (E_{tr}) y el agua del suelo (w), disminuyen.

Debe tenerse en cuenta que la hipótesis parte de una radiación global

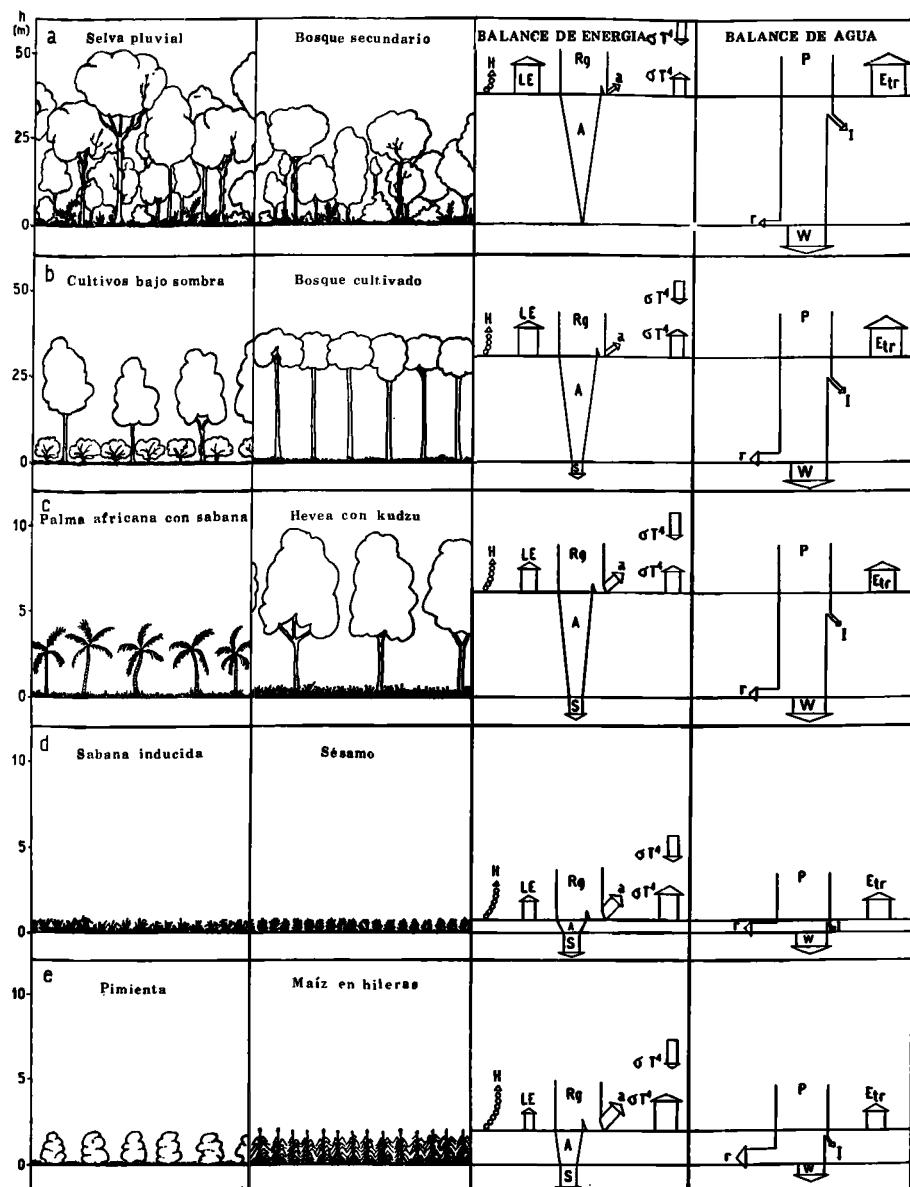


Fig. N° 5. Ecosistemas y microagrosistemas en las selvas y bosques higrófilos de Latinoamérica y la modificación del balance de energía y de agua local que provocan. a) Selva pluvial y Bosque secundario; b) Cultivos bajo sombra y bosques cultivados; c) Cultivos arbóreos con pastizales naturales o artificiales permanentes; d) Sabana inducida y cultivos anuales densos; e) Cultivos laxos con laboreo del suelo; Rg, radiación global; a, albedo de onda corta; A, energía absorbida por la vegetación; $(\sigma) T^4$, flujos de radiación de onda larga; LE, calor latente de evaporación; H, calor sensible, S, calor de transferencia en el suelo; P, precipitación; E_{tr} , evapotranspiración real; I, intercepción; r, escurrimiento; W, agua almacenada en el suelo.

igual para cada micro-agrosistema. Pero si la transformación abarca grandes superficies como para modificar las condiciones en mesoscala, la intensidad de la radiación global puede variar por los cambios en la nubosidad.

Es importante señalar aquí que del análisis mesoclimático teórico realizado por Molion (1976) con valores observados en el ámbito de la cuenca del Amazonas, el 50% de la precipitación provendría del agua reciclada localmente por la Floresta. Si este análisis se comprobara experimentalmente, quedaría demostrado en qué magnitud podrán variar la nubosidad y la precipitación por la modificación de la Floresta en esta región generadora de importantes masas de aire tropical húmedo en Sudamérica.

3. Modificación y uso de las Sabanas monzónicas

Las Sabanas monzónicas en Latinoamérica constituyen otro de los ambientes naturales que el hombre ha tratado de modificar para su mejor utilización. Sin embargo, el carácter monzónico de ellas debe ligarse, más con el desplazamiento de la convergencia intertropical sobre el continente, que con la interacción continental-oceánica típica de otras regiones de la Tierra. Desde un punto de vista climático aplicado, esta calificación se atribuye generalmente a aquellos climas en los cuales épocas de lluvias intensas alternan, más o menos regularmente, con otras de sequías prolongadas. El uso de estas tierras fue, desde la época colonial, para la agricultura en época de lluvias o para una producción animal muy insegura, tanto en la de lluvias como en la de sequía. La vida del campesino en estas áreas se aseguró durante mucho tiempo con el caballo en la época seca y la canoa, en la húmeda.

La transformación que el hombre ha tratado de introducir en estos ambientes ha sido el riego en la época seca, con el objeto de prolongar la producción agrícola todo el año, y la reserva de agua en la época de lluvias para mitigar las consecuencias de la seca.

Grandes extensiones regadas de este tipo existen en México, Centroamérica, Venezuela, Guyana, Colombia, Brasil, sur de Bolivia, noroeste de la Argentina y oeste del Paraguay. El efecto de transformación de tales superficies se tratará conjuntamente en el párrafo sobre el uso de las zonas áridas.

Un ejemplo de la importancia que puede adquirir la práctica de la reserva de agua en épocas de lluvia, la constituye una experiencia realizada en Venezuela en los "Módulos del Apure" (Pérez, 1976 y Gabaldón, 1978). Este área de transformación, con poco declive, se extiende por más de 1 millón de hectáreas y en ella existen dos subáreas experimentales: las de Bruzual de 65.000 ha y Mantecal con 77.000 ha. La construcción de los módulos, como muestra la fig. N° 6, consistió en rodear una superficie de 2 a 10.000 ha con diques de tierra que impiden el escurrimiento superficial del agua. De este modo, con el poco declive de la llanura, cuando el dique tiene en su parte más profunda 60 a 80 cm de agua, se pueden inundar 3-4 km en dirección perpendicular y hacia atrás del dique. Cuando terminan las lluvias, al retirarse el agua por la evaporación de la época seca, sobre la gran superficie inundada, va dejando una ancha faja de pastizales tiernos, y aún la parte inundada se puebla con pastos hidrófitos, que pueden ser utilizadas parcialmente por el ganado. Existe además un sistema de exclusas que permite regular convenientemente el nivel del agua en el módulo, tanto al recibir el agua como

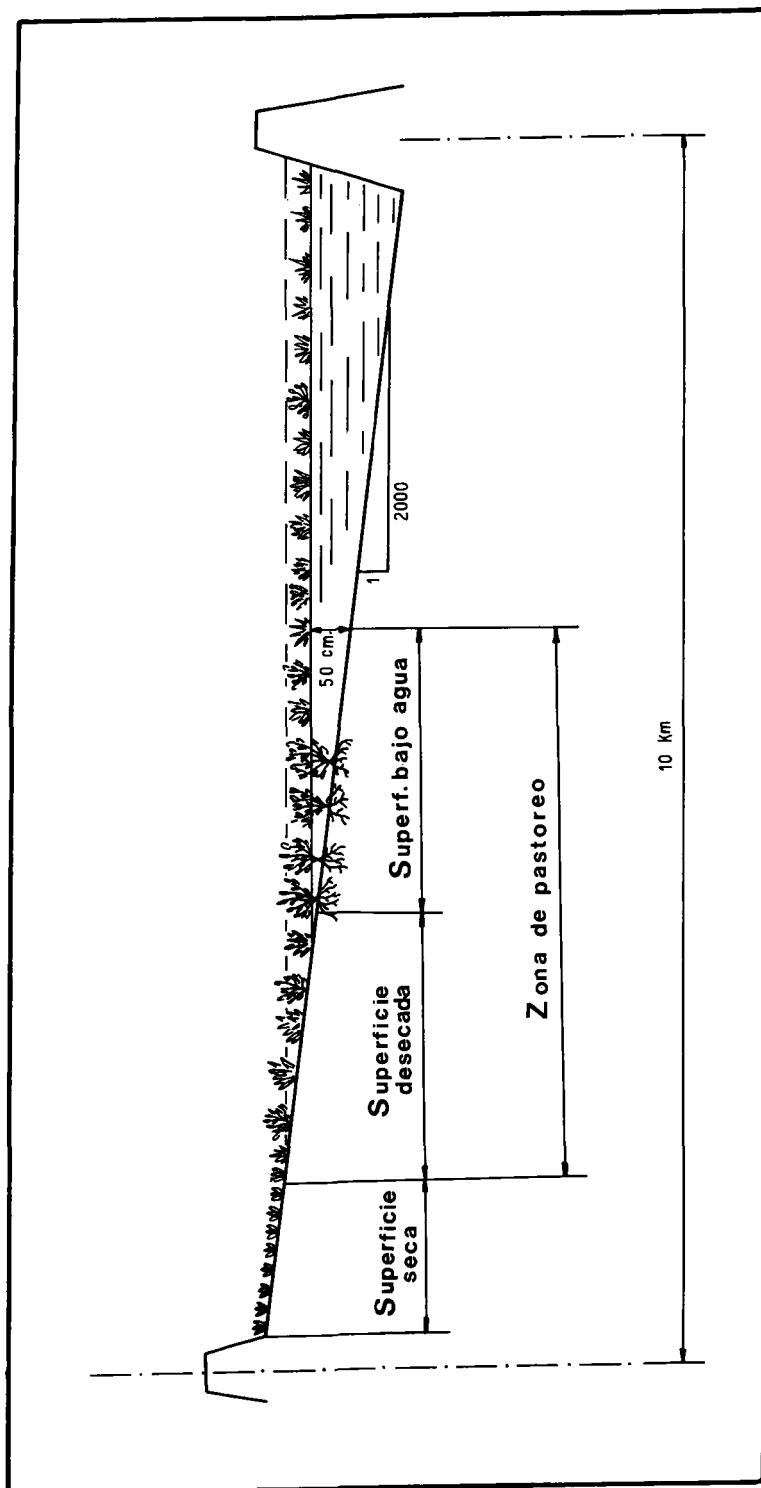


Fig. N° 6. Esquema simplificado de una unidad de los "Módulos del Apure". (Pérez, 1976).

después de las lluvias. La transformación ambiental ha sido muy profunda y aún cuando todavía no existe una evaluación cuantitativa del cambio mesoclimático que ofrece, se puede asegurar en la estación seca, una mayor absorción de la intensa radiación global (R_g), un menor albedo (a), gran consumo de energía por la evaporación (LE) y una disminución notable del calor sensible (H). Los cambios de los efectos indirectos de esta modificación climática son más evidentes. Existen grandes pastizales en la estación seca y se ha comprobado un cambio en la población animal silvestre. Muchos aspectos quedan aún por investigar y realmente no todos positivos. Como en otras regiones, la presencia del agua podrá significar un cambio desfavorable en las condiciones sanitarias para el hombre (Gabaldón, 1978). Por otra parte, la disminución de los extremos climáticos ha determinado una reducción de la diversidad florística en un 50%, lo cual estabiliza el nuevo ecosistema en 5 años, pero falta determinar la utilidad práctica de las nuevas especies dominantes (Bulla y Miranda, 1978).

4. Modificación y uso de las regiones semiáridas

Las regiones semiáridas ocupan extensas partes de América Latina en toda la gama de climas térmicos desde los ecuatoriales hasta los fríos. Los índices climáticos no llegan a definir con exactitud sus características esenciales. Si bien pueden considerarse como tales las regiones comprendidas entre los índices hídricos de Thornthwaite de -25 a -15, especialmente bajo climas templados, donde la gran variabilidad de los años secos y húmedos determina que las prácticas del uso de la tierra se haga bajo normas conocidas como de agricultura de regiones semiáridas. Además, las sabanas monzónicas más secas tienen sus índices hídricos en estos rangos.

Grandes extensiones de América Latina están sometidas a la semiaridez y en ellas la actividad del hombre, para originar recursos artificiales renovables ha creado o adaptado técnicas que optimizan el uso y manejo del recurso agua. Los bosques xerófilos del "Cerrado" brasileño y del "Chaco" boliviano, paraguayo y argentino, los bosques periféricos de los "Llanos" venezolanos y colombianos y sus regiones comparables de Centroamérica y México, sufrieron una notable degradación en el presente siglo como consecuencia de la extracción de madera para la fabricación de carbón y para la industria. Por la inestabilidad de la agricultura, estas regiones fueron también adicionalmente desmejoradas en su tapiz vegetal por la ganadería y, muy frecuentemente, el sobrepastoreo impidió no sólo la renovación del bosque, sino que favoreció la invasión de arbustos espinosos improductivos. Así, casi se han extinguido, o disminuido en su posibilidad de renovación natural, importantes especies madereras como el "Cedro" (*Cedrela mexicana*), "Samán" (*Samanea saman*), "Quebracho colorado" (*Schinopsis quebracho colorado* y *S. balansae*), "Quebracho blanco" (*Aspidiosperma quebracho blanco*), etc. En algunos de estos ambientes, lucha por sobrevivir una ganadería improductiva.

Cuando el riego fue posible, se abrieron campos para cultivos tales como el algodón, caña de azúcar, tabaco, hortalizas y frutales. Pero esta transformación nunca alcanzó la magnitud en extensión, ni las consecuencias de la

degradación, de la vegetación de los bosques semiáridos por la extracción de madera y el sobrepastoreo. Físicamente, se puede suponer que estas superficies han experimentado un aumento del albedo (a), una disminución del consumo de calor por evaporación (LE) y un aumento del calor sensible (H). Consecuentemente, los valores de la evapotranspiración real (E_{tr}) han disminuido, así como el escurrimiento superficial (r). Este cambio de las condiciones de la superficie en grandes extensiones, podría significar la modificación de la masa de aire sobrepuerta hacia una de tipo más seco y más cálida en la superficie y, por convección, en la baja troposfera. Los espacios regados de mucho menor extensión experimentaron un efecto inverso, pero su poca magnitud ha significado sólo cambios locales no muy importantes.

En las regiones semiáridas templadas, donde los bosques naturales ceden el espacio a la sabana arbustiva con pastizales esclerófilos, la agricultura extensiva y la ganadería han cubierto importantes áreas de Latinoamérica. Especialmente en la Argentina, el inapropiado uso agrícola de tierras de este tipo, con suelos castaño claros y regosólicos, produjo en la década de los años 30 los gravísimos daños de erosión eólica que se refirieron en I. Después de dos décadas de manejo racional de esas tierras, que incluyó la rotación de la agricultura y la ganadería, el uso de maquinaria para la labranza mínima del suelo y, especialmente, la introducción del "pasto llorón" (*Eragrostis curvula*), se recuperaron totalmente los suelos erosionados y se ha estabilizado una óptima producción del suelo.

La incorporación del "pasto llorón", que actualmente cubre más de 600.000 ha, generó un tipo de superficie que físicamente es más eficaz que la superficie original, antes del fenómeno de la erosión. Esta especie forma con sus hojas muertas un espeso "mulch" que evita casi totalmente la evaporación improductiva desde el suelo, la voladura del mismo por el viento y el escurrimiento superficial de la lluvia. En esta forma, se ha estimado que la superficie transformada retiene en el suelo 20 mm más de espesor de lámina de agua en 1 metro de profundidad que el de la estepa natural. Ello significa 200 m³ más por hectárea, de agua disponible para las plantas y, por ellas, para la fijación correspondiente del CO₂ que, en el conjunto del total de la superficie transformada, equivale a una reserva de agua mayor de 100 hm³ (Burgos, 1976).

Otro sistema, utilizado en estas áreas para obtener economía del agua en el suelo, es el del barbecho. El sistema tiende a favorecer la infiltración del agua en el suelo y evitar pérdidas por transpiración de la vegetación adventicia, durante un período determinado, con el objeto de utilizarla después durante un período con cultivo. Las experiencias efectuadas demostraron que este procedimiento puede almacenar en el suelo 30 mm de agua, en 1 metro de profundidad, más que los campos no tratados y aumentar el rendimiento del trigo en invierno en un 43%, (Monsalvo, 1965). Sin embargo, Fagioli (1972) detectó una gran pérdida de agua del barbecho durante el verano, por lo que se aconsejaron barbechos cortos de otoño-invierno para cultivos estivales. Este tipo de modificación, sin embargo, no puede abarcar superficies continuas ni grandes, pues es sólo una parte de la etapa de rotación con cultivos. Por otro lado, el laboreo del suelo que requiere el barbecho consti-

tuye siempre un peligro de erosión, especialmente en los suelos sin estructura.

El micro-agrosistema formado por la superficie cubierta totalmente de "pasto llorón", significa regionalmente una disminución del albedo (a) y del escurrimiento superficial (r), acompañado por una disminución de la evapotranspiración real (E_{tr}) y del calor sensible (H). Debe notarse aquí que la disminución de la evapotranspiración real (E_{tr}) es una consecuencia de la disminución casi total de la evaporación improductiva o directa del suelo, pues el flujo de vapor de H_2O por transpiración es mayor que sobre los campos naturales con suelos descubiertos o vegetación rala. La consolidación de los suelos y el aporte de materia orgánica y nutrientes, traen aparejado un aumento de la capacidad de almacenaje de agua y de su contenido actual (w). Su efecto en la masa de aire sobrepuerta, se divide así: en un relativo enfriamiento, una humidificación y una disminución de la turbulencia térmica en su capa límite.

5. Modificación y uso de las regiones áridas.

Desde el punto de vista agrícola se considera como regiones áridas aquellas en las cuales es imposible la agricultura sin riego. Esta cualidad abarca dominios más amplios que los determinados por los índices hídricos de Thornthwaite inferiores a -40 y son bastantes importantes en Latinoamérica.

Las regiones áridas que naturalmente ofrecen superficies cubiertas por arbustos, subarbustos y hierbas xerófitas o desiertos absolutos, han sido transformados profundamente por el hombre en Latinoamérica. Esta transformación ha tenido, en algunos casos, un sentido favorable y en otros desfavorables y sus consecuencias sobre el clima se pueden inferir a través de la experiencia que ya existe en ella.

a) *Transformaciones favorables.*

El riego ha sido el método más eficaz en la transformación de las regiones áridas, porque ha permitido la producción en suelos casi estériles de las áreas tropicales y subtropicales, durante todo el año; en las correspondientes a clima templado, durante el semestre estival, y en la semiáridas monzónicas, en el período seco. La importancia relativa del riego en los países latinoamericanos se puede apreciar en los valores del cuadro N° 5 en donde, además del área regada (FAO, 1977), se ha estimado "grosso modo" la evapotranspiración real y el calor utilizado en este proceso, que ingresa en la atmósfera como calor latente.

Para esta estimación, se ha considerado un período de riego de 6 meses en todos los países, aunque puede ser mayor en algunos tropicales y subtropicales, y una evapotranspiración real media diaria de 5 mm para México, Argentina, Chile, Bolivia y Uruguay y de 7 mm para los restantes. Se observa

CUADRO V

Superficie regada (FAO, 1977), y estimación del volumen de agua evapotranspirada y del calor consumido en la evaporación por hectárea y total en un año agrícola (6 meses) en 20 países latinoamericanos ordenados según el área regada.

Nº de orden	País	Hectáreas bajo riego x 1000 ha	Evapotranspiración hm ³	Calor consumido en la evaporación	
				Mcal/ha	Mcal total
1	México	4.816	43.344	5,40 . 10 ⁶	2,60 . 10 ¹³
2	Argentina	1.820	16.380	" " "	9,83 . 10 ¹²
3	Chile	1.280	11.520	" " "	6,91 . 10 ¹²
4	Perú	1.150	14.490	7,56 . 10 ⁶	8,69 . 10 ¹²
5	Brasil	980	12.348	" " "	7,41 . 10 ¹²
6	Cuba	730	9.198	" " "	5,12 . 10 ¹²
7	Ecuador	510	6.426	" " "	3,86 . 10 ¹²
8	Venezuela	320	4.032	" " "	2,42 . 10 ¹²
9	Colombia	285	3.591	" " "	2,15 . 10 ¹²
10	Rep. Dominicana	135	1.701	" " "	1,02 . 10 ¹²
11	Guyana	122	1.537	" " "	9,22 . 10 ¹¹
12	Bolivia	120	1.080	5,40 . 10 ⁶	6,48 . 10 ¹¹
13	Haití	70	882	7,56 . 10 ⁶	5,29 . 10 ¹¹
14	Uruguay	58	522	5,40 . 10 ⁶	3,13 . 10 ¹¹
15	Paraguay	55	693	7,56 . 10 ⁶	4,16 . 10 ¹¹
16	El Salvador	33	416	" " "	2,49 . 10 ¹¹
17	Surinam	30	378	" " "	2,27 . 10 ¹¹
18	Costa Rica	26	328	" " "	1,97 . 10 ¹¹
19	Panamá	23	290	" " "	1,74 . 10 ¹¹
20	Trinidad	20	252	" " "	1,51 . 10 ¹¹
Total		12.583	129.408		7,76 . 10 ¹³

así que Latinoamérica posee ya más de 125.000 km² de tierras regadas, aunque su capacidad potencial puede fácilmente triplicar esta cifra. Tal superficie significa una evaporación anual de casi 130.000 hm³ que, en valores energéticos, representan la incorporación a la atmósfera continental de $7,8 \times 10^3$ Megacalorías de calor latente de evaporación que pueden ser cedidas a la atmósfera por condensación. De no ser así, el volumen de agua involucrado iría al mar por escurrimiento. Estas cifras, por la naturaleza de la estimación, pueden ser aún mayores en la medida en que los períodos de riego reales superen los de 6 meses considerados.

Es interesante notar aquí la estimación de Budyko, comentada por Sinizina *et al.* (1973). Según ella, los 2 millones de km² de riego que existen en la Tierra, o sea el 0,4 de la superficie del planeta, disminuye el albedo de la Tierra en 0,03%. Considerando que una disminución del 1% de este albedo determina un aumento de 2,3°C en la temperatura de la atmósfera adyacente, la totalidad del riego de la Tierra sería responsable de un aumento de la temperatura de 0,07°C. De este total, casi el 10% le corresponderá a América Latina en los próximos años.

Si bien esta transformación debe considerarse en su influencia sobre el macroclima de la Tierra, resulta mucho más significativa en la escala local y regional. En regiones áridas templadas como las del sur de Mendoza, Río Negro y Chubut, en la Argentina, se ha demostrado que el riego en superficies de 60 a 100.000 ha amplió el período anual libre de heladas en 30-40 días y disminuyó su intensidad, debido a una atenuación del balance negativo de radiación nocturna.

Asimismo, se pudo comprobar una modificación por el riego del campo de la temperatura y de la concentración de la humedad en la atmósfera, perceptible hasta unos 1.600 metros de altitud, tanto en invierno como en verano (Burgos, 1974).

Una gran atención deberá prestarse a la eficiencia de los sistemas de riego, en la aplicación futura de este mejoramiento en las zonas áridas, especialmente en los proyectos a desarrollar. La falta de eficiencia, como el uso excesivo del agua ha producido diversos daños y limita la extensión de las áreas regadas.

Algunos aprovechamientos de gran utilidad local como el riego por goteo o por aspersión (Bernstein y François, 1973; Aljiburi, 1973), no han alcanzado gran desarrollo por razones económicas, de eficiencia tecnológica o de divulgación de conocimiento. Los métodos de "cosecha de agua", como los "jagüelles", "tajamares", pequeños embalses, cisternas, y otros más tecnificados como los que usan plásticos u otros productos impermeabilizantes o relieves colectores, llegan a ser valiosos para resolver problemas locales, pero tienen poco significado como factores de modificación meso y macroclimática (Myers y Frasier, 1969; Cluff, 1971; Velazco Molina y Aguirre Luna, 1972).

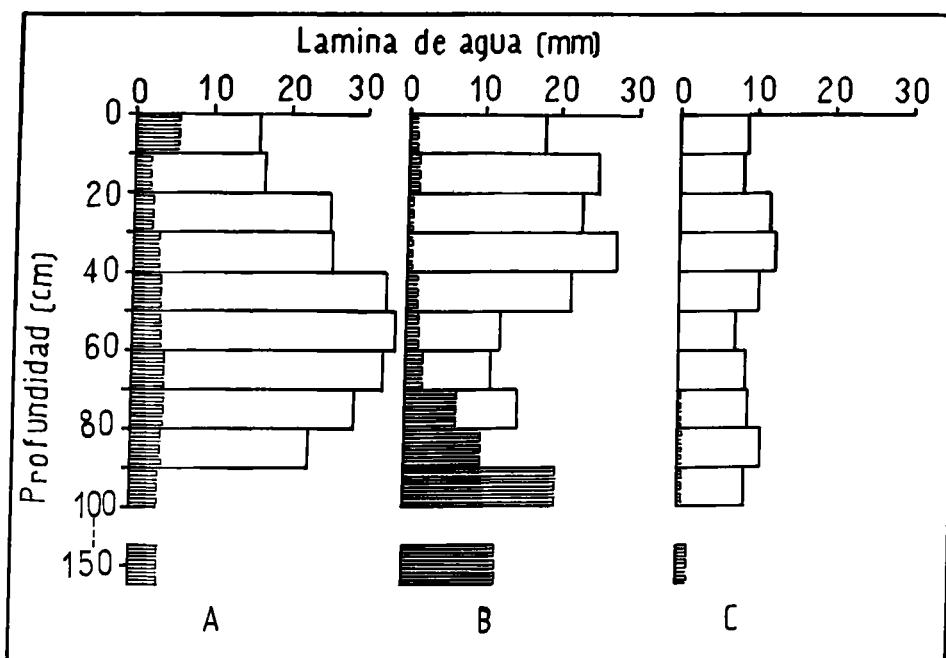


Fig. N° 7. Humedad del suelo el día 15/XII/1977, (rectángulo rayado) y capacidad de campo (rectángulo total), en mm de espesor de lámina de agua, en distintas profundidades de suelos consolidados y de médano en el valle de Fiambalá y Tinogasta (Catamarca).

b) Transformaciones desfavorables

En el uso de las regiones áridas en América Latina se han repetido los graves errores cometidos en otros continentes. El empleo de la escasa vegetación como combustible o para la fabricación de carbón, el sobrepastoreo por especies animales esquilmanas y la defensa de los rebaños contra animales carnívoros, que antes de la intervención del hombre controlaban la población de herbívoros y roedores, determinó la pérdida del tapiz vegetal y con ello la erosión eólica y la estabilización del desierto. Aquí, la oveja en carga creciente sobre la estepa dejó el suelo desnudo al ataque de fuertes vientos. Una vez que el médano se establece sobre suelos consolidados, la humedad de las lluvias es efímera como para afianzar a la mayoría de las plantas y aún en el supuesto que ésto ocurriera en algún caso, el rápido desecamiento, las temperaturas extremas o nuevas capas de arena, limitarían su vida definitivamente.

Este fenómeno es bien típico en importantes extensiones de la Patagonia argentina, donde las lenguas de erosión siguen las líneas de flujo de los fuertes vientos del Oeste que entran por los valles transversales de los Andes subantárticos. Estas lenguas de arena avanzan sobre suelos consolidados, en un proceso de desertificación típico.

Algo similar puede apreciarse en el Oeste argentino donde en los valles áridos de dirección N-S de los cordones de las "Sierras Peripampásicas del Oeste" existe desde hace unos 15 años un proceso de desertificación intensa. Una importante acumulación de médanos hacia las partes más elevadas al norte de esos valles y sobre las laderas expuestas hacia el Oeste en los cordones que la forman, insinúan el flujo del viento de la circulación ciclónica regional. La fig. N° 7 muestra la diferencia en el contenido de humedad en suelos consolidados y en los médanos en el valle de Fiambalá (Catamarca, Argentina), que parece destinado a cubrirse totalmente con arena en una superficie de más de 1.000 ha. En los gráficos aludidos se puede comprobar que mientras los médanos, hasta casi 1 metro de profundidad, están secos como después de procesar sus muestras durante 48 horas a 100-105°C, los que pertenecen a suelos consolidados, aún los muy alejados del área regada (Tinogasta), mantienen una relativa humedad como para asegurar la supervivencia de las plantas xerófitas. Conviene aclarar, con respecto a las observaciones realizadas, que no se pudo obtener el valor de la capacidad de campo a profundidades mayores a 80 cm en suelos consolidados de Fiambalá, en 90 cm en el de Tinogasta y a 1 metro en el médano, debido a que en las experiencias de campo realizadas el agua adicionada no alcanzó tales profundidades.

Si bien las referencias locales atribuyen este fenómeno sólo al desmonte y sobrepastoreo local a que estuvieron sometidos los valles en las últimas décadas, cabe preguntarse, en qué medida puede haber influido el gran deterioro de la cubierta vegetal ocurrido en el centro del país y en los países vecinos (Chaco, Sabanas y Bosques semiáridos), que fuera mencionado en III, 4. Para ello, habría que demostrar que la variación de las condiciones de la superficie, por el incremento del albedo y de la transferencia de calor sensible, determinó un aumento de la temperatura de las masas del aire continentales que se forman especialmente en el centro del país y sur de Bolivia y Brasil, y oeste del Paraguay. Estas condiciones en el verano, cuando es extrema la sequedad del suelo, aumentarían la extensión de la baja térmica continental de Sudamérica y la velocidad de los vientos que desde el sur corren por el flanco oeste del sistema. Otro aspecto por dilucidar sería si esta mayor extensión del mismo puede favorecer el aporte de aire relativamente más fresco desde el sur, que por debajo de capas proporcionalmente más calientes, hubieran disminuido el gradiente vertical de temperatura y con ello, su inestabilidad y las precipitaciones locales. Si estas hipótesis se confirmaran, significaría que la desertificación intensa que se experimenta en los valles andinos abiertos al flujo de las masas de aire del sur, no es más que una parte de toda la degradación ambiental originada por el hombre en la parte central de Sudamérica, entre los 20 y 40° de latitud S.

Esta hipótesis puede sustentarse en trabajos como los de Charney (1975), Charney y otros (1977) y Chervin (1978). En ellos el desarrollo de modelos matemáticos sobre el posible cambio climático producido por el aumento del albedo en un 40%, en el dominio Africano del Sahara y sus adyacencias, demostró cambios en el campo de la presión y circulación atmosféricas y de la precipitación de magnitud climatológica. Se puede suponer que un aumen-

to del 40% del albedo de la región centro oriental de la Argentina, que en valores absolutos sería del orden del 3 al 5%, no es exagerado si se tiene en cuenta la degradación de la vegetación natural operada en la región por la extracción intensiva y el sobrepastoreo.

IV. CONSIDERACIONES FINALES

Los hechos expuestos configuran una serie de observaciones sobre la acción del hombre en la explotación de los recursos naturales renovables y su modificación para obtener los artificiales renovables: forestación, agricultura y ganadería, para satisfacer sus requerimientos actuales y futuros. En esta acción se halla implícita una transformación del clima en micro, meso y macroescala que sólo se puede inferir como hipótesis lógica, pero que muy pocos trabajos experimentales y sistemáticos han comprobado.

El gran crecimiento poblacional de América Latina, la potencialidad de sus recursos y la fragilidad de sus biomas y ecosistemas naturales, exige que en todos los proyectos de desarrollo se trate de cuantificar la modificación de los elementos del microclima y su relación con el clima regional y el macroclima.

AGRADECIMIENTOS

Debo dejar constancia de mi agradecimiento a los colaboradores del Centro de Investigaciones Biometeorológicas (CIBIOM-CONICET), Ings. Agrs. J. A. Forte Lay y R. C. Rosso y a la Sra. E. I. Graf, quienes con celeridad y eficacia discutieron aspectos del trabajo y prepararon los materiales e ilustraciones que se presentan en el mismo. Igualmente se agradece las sugerencias de redacción de la Sra. E. I. di Neubourg.

BIBLIOGRAFIA

- ALJIBURY, F.M., 1973. "Drip irrigation; practices and applications". *California Farmer*, 238 (12): 28 a, b, c.
- ALLEN Jr, L.H. and E.R. LEMON, 1976. "Carbon Dioxide Exchange and Turbulence in a Costa Rica Tropical Rain Forest" in J.L. Montieth (ed.). "Vegetation and Atmosphere", Vol. 2, Case Studies, p. 265-308. Acad. Press, London, New York, S. Francisco.
- BASTOS, T.X. and DINIZ, T.D.A., 1974. "Temperatura do solo en solo de floresta equatorial humida". *B. Tec. Inst. Pesq. Agr. N.*, Belem (64): 73-83.

- BAZILEVICH, N. I., DROZDOV, A.V. and RODIN, L.E., 1972. "World Forest Productivity, its Basic Regularities and Relationship with climatic factors". Proc. of the Brussels Symp. organized by Unesco and International Biological Programa, 27-31 Oct. 1969; pp. 345-353.
- BERNSTEIN, L. and FRANCOIS, L.E., 1973. "Comparisons of drip, furrow and sprinkler irrigation". *Soil Science* 115 (1): 73-86.
- BLANDFORD, H.F., 1887. "On the influence of Indian forest on the rainfall". *J. Asiat. Soc. of Bengal*, 56, II, 1.
- BRUNING, E.F., 1975. "Tropical ecosystems, state and targets of research into the ecology of humid tropical ecosystems". Plant Research and Development (en prensa).
- BRUNING, E.F.; BUCH, M.V.; HEUVELDOP, J. and PANZER, K.K., 1975. "Stratification of the tropical moist forest for land-use planning". *Mitt. d. Bundesforsch. f. Forst und Holzwirt.* N° 109: 1-57. Reinbeck bei Hamburg.
- BRYSCN, R.A. 1974. "A perspective on climatic change", *Science*, 185: 753.
- BUDYKO, M.I., 1971. "Klima i Yizin" ("Clima y vida"), Chapter V. Gidrometeoizdat, Leningrad, 472 p.
- 1972. "The future Climate", *EOS Transactions of American Geophysical Union*, 53, 868.
- BULLA, L. y MIRANDA, E., 1978. "Stability of a perturbed savannah", 2nd Int. Congr. of Ecology, Vol. I, Abstract, p. 62, Israel.
- BURGOS, J.J., 1969. "El clima en el potencial económico de la República Argentina". Disertación de recepción como académico de número en la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria, 23 de junio de 1969.
- 1974. "Mesoclimas del valle del río Colorado y su potencial agropecuario". *Ecosur*, 1 (2): 1-172, Santa Fe, Argentina.
- 1976. "Macro, meso and micrometeorology as tools in the use of land in South America". WMO Symposium on Meteorology as Related to Urban and Regional Land-use Planning. Asheville, N.C., USA, 3-7 nov. 1975. Publ. WMO, N° 444: 39-91, 1976.
- 1977. "Climate and pasture regions in South America", in "Grasslands of the World" by M. Numata, editor, to be published by Fisher Verlag.
- CAMARGO, F.C., 1958. "Report on the Amazon Region", in "Problems of Humid Tropical Regions". Humid Tropics Research, Unesco, p. 11-24.
- CHARNEY, J.G., 1975. Dynamics of deserts and drought in the Sahel. *Quart J. Royal Meteor. Soc.* 101, 193-202.
- CHARNEY, J.G.; QUIRK, W.J.; CHOW, S. y KORNFIELD, J., 1977. A comparative study of the effects of albedo change on drought in semiarid regions. *J. Atmos Sci.* 33, 405-412.
- CHERVIN, R.M., 1978. Sensitivity of the NCAR General Circulation Model to changes in surface albedo: Implications for regional droughts. Bilateral United States - Argentinean Workshop on Droughts, Mar del Plata, Argentina. December 4-9, 1978. 9 pag. y mapas.
- CLUFF, C.B., 1971. "Plastic catchments for economical harvesting of rainfall", in J. W. Courter (editor) "Proceeding of the Tenth National Agricultural Plastic Conference, p. 192-202.
- DAVITAIA, F.F., 1954. "Issledovanie Klimatcheskij resursov SSSR i problema ij melioratsii dlia tselei seilskogo zoziaistva" en "Materiali II siedza Vsiesoiznogo geograficheskogo obshestva". M. ("Estudio de los recursos climáticos de la URSS y el problema del uso agrícola de las tierras vírgenes).
- (editor), 1955. "Agroklimaticheskie i Vodnie Resursi' Raiona Osboienia Tselin'ij izaleynij zemell. ("Recursos agroclimáticos y de agua en la región de tierras vírgenes e incultas), Gidrometeoizdat, 463 p. Leningrad.
- DAVITAIA, F.F.; SAPOSHNIKOVA, S.A., 1962. "Op'it uchite klimaticheski resursov sellskogo zoziaistva SSSR", ("Registro práctico de recursos climáticos para la agricultura de la URSS), Izd. NTOSJ, M.
- DAVITAIA, F.F.; SAPOSHNIKOVA, S.A. and SHASHKO, 1973. "Agroklimaticheskie Resurs's SSSR", ("Recursos agroclimáticos de la URSS"). Karta 1:6.000.000. Glavnoie upravlenie geodezii y Kartografi pri Sov. Min. SSSR, M., 1973.
- DECICO, A.H.; MENAZERES SANTOS, M.N.G.; RIBEIRO and SALATI E., 1977, "Estudos climatologicos da Reserva Florestal Ducke", Manaus, *Am. Acta Amazonica* 7 (4): 485-494.
- GARP (Global Atmospheric Research Programma), 1975. "The Physical Basis of Climate Modelling", GARP, Publ. Series N° 16: 265 p.
- FAGIOLI, M., 1972. "Dinámica de la humedad y almacenamiento de lluvia en un suelo de la región semiarida pampeana". *IDIA*, N° 298: 30-36, Inst. de Tecn. Agrop., Buenos Aires.
- FAO, 1977. *Food and Agricultural Organization Yearbook*, Vol. 31 291 p.
- GEIGER, R., 1942. "Das Klima der Bodennahen Luftschicht". F. VieWeg u-Sehn Braunschweig
- GOLZBERG, I.A. y DROZDOVA, O.A., 1956. "Klimaticheskie resurs'i zentralnij oblastii Evropeiskoi chasti SSSR y ispolzovanie ij v sellskoj zoziaistbenom proizvodstvie". ("Recursos climáticos de las regiones centrales de la parte europea de la URSS y su utilización en la agricultura"). Gidrometeoizdat, 312 p. Leningrad.

- GABALDON, A.J., 1978. "Equipo y Continuidad. Los módulos y sus hombres". *Ambiente*, N° 10, marzo 1978, Minist. del Ambiente y de los recursos naturales renovables, Caracas.
- GOODLAND, R.J.A. and IRWIN H.S., 1975. "Amazon Jungle: green hell to red desert?". *Elsevier Pub. Co.*, Amsterdam.
- HAMBERG, H.E., 1885-96. "De l'influence des forêts sur le climat de la Suede". 5 Teile, Stockholm.
- KAMINSKY, A., (?). "Beitrag zur Frage über den Einfluss der Aufforstung der Waldlichtungen in Indien auf der Niederschläge" Nach. d. Geophys. Centr. I. Leningrad, N° 4.
- KELLOG, W.W., 1977. "Effects of human activities on global climate". WMO Tech. Note N° 156, 47 p.
- MANABE, S. and WETHERALD, R.T., 1974. "The effects of doubling the CO₂ concentration on the climate of a general circulation model". GFDL/NOAA, Princeton Univ., Princeton, N.J. 30 p.
- MAUNDER, W.J., 1968. "Effect of significant climatic factors on agricultural production and incomes. A New Zeland Example". *Monthly Weather Review*, 96: 39-46.
- 1972. "The value of the Weather". Methuen and Co. 388 p. London.
- 1972. "National Econoclimatic Models: Problems and Applications". New Zeland Meteorological Service, Techn. Note 208, 1972.
- MOLION, L.C.B., 1976. "A climatonomic study of the energy and moisture fluxes of the Amazonas Basin with considerations of deforestation effects". Ph. D. Thesis Univ. of Wisconsin Madison, 132 p.
- MONSALVO, M.J., 1965. "El barbecho verano-otoño en la región semiárida pampeana y su relación con la humedad almacenada en el suelo". Ier. Congr. Rural del Agua de Buenos Aires y La Pampa, 7 p. multigraf. 1965.
- MYERS, L.E. and FRASIER, C.W., 1969. "Creating hidrophobic soil for water harvesting". *Journ. of the Irrig. and Dren. Div. Iroceed. of the An. Soc. of Civil Eng.* 95, N.IR 3: 43-45.
- PEREZ, C.E. (editor), 1976. "Proyecto de control de aguas y recuperación de tierras en el Estado Apure. Módulo experimental de Mantecal". M.O.P. Dir. de Rec. Hidráulicos, Caracas, 192 p. multigraf.
- PERRY, A.N., 1971. "Econoclimate- A new direction for Climatology". *Area* (Inst. of British Geographers), 3, N° 3 (1971).
- RADAM (Project), 1977. "Programa de Integração Nacional", Vol. 7 Minist. de Min. y Energ. Dto. de Produção Mineral.
- RASOOL, S.I. and SCHNEIDER, S.H., 1971. "Atmospheric Carbon dioxide and aerosols". *Science* 173: 138-141.
- REHMS, S., 1973. "Landwirtschaftliche Produktivität in regenreichen Tropenländern". *Unschau* 73, 2: 44-48.
- RIBEIRO, M.N.G. and SANTOS, A.D., 1975. "Observações microclimáticas no ecossistema campina amazonica". *Acta Amazonica* 5 (2): 183-189.
- SCHUBERT, J., 1987. "Über der Einfluss des Waldes auf die Niederschläge im Gebiet der Letzlinger Meide", *Z.f.F.u. Jagdw.* 69: 604-615.
- SINIZINA, N.I.; GOLZBERG, I.A. and STRUNNIKOV, E.A., 1973. "Agroklimatologia" ("Agroclimatología"). Gridrometeoizdat 344 p. L.
- SIOLI, H., 1973. "Recent human activities in the Brazilian Amazon Region", In G. J. Meggers *et al.* (Editors) "Tropical Forest Ecosystems in Africa and South America". Smithsonian Inst. Washington D.C. p. 321-334.
- SMIC (Study of Man's Impact on Climate), 1971. "Inadvertent climate modification". Massachusetts Inst. of Techn. Press., Cambridge, Mass.
- TAYLOR, J.A. (Editor), 1960. "Hill climates and Land Usage with Special Reference to Highland Britain". Geogr. Dept. UCW, Memo N° 3 (Aberystwyth).
- 1970. "Weather Economics". Oxford, 1970
- 1974. "Climatic Resources and Economics Activity". A Symposium. David and Charles Newton Abbot, 264 p. London.
- THORNTONTHWAITE, C.W., 1948. "An approach toward a rational classification of climate". *The Geographical Review* 38(1): 55-94, 13 figs., 4 tabl.
- TROHA, A., 1978. "Efectividad de las precipitaciones en la Región Pampeana". Taller Argentino-Estadounidense sobre "Sequías", Mar del Plata, Argentina, 4-8 diciembre 1978, 25 p. mult.
- U.S.A. DEPARTMENT OF STATE, 1949. "Proceedings of the Inter-American Conference on Conservation of Renewable Natural Resources, Denver, Sept. 7-20 1948, U.S. Dept. of State Publ. 3382, 782 p. illus.

- UNITED NATION ORGANIZATION, 1950. "Proceeding of the United Nations Conference on the Conservation and Utilization of Resources, Lake Success, 1949, 8 Vol.
- VELASCO MOLINA, H.A. and AGUIRRE LUNA, O., 1972. "Una estimación del costo de captar y almacenar agua de lluvia en regiones desérticas y semidesérticas del norte de México. *Agronomía, México*, 145: 74-79.
- WOIEIKOV, A. 1887. "Das Klimate der Erde". Jena (Chapter 12 and 13).