

**SUELOS EN UNA TIERRA MAS CALIENTE:  
CAMBIOS EN AMERICA LATINA**

W.G. Sombroek

XI Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo  
La Habana, Cuba, 11-17 de marzo de 1990



INTERNATIONAL SOIL REFERENCE AND INFORMATION CENTRE

ISRIC LIBRARY  
S 12  
41  
Wageningen, The Netherlands

## SUELOS EN UNA TIERRA MAS CALIENTE: CAMBIOS EN AMERICA LATINA<sup>1</sup>

por W.G. Sombroek  
 Centro Internacional de Referencia e Información de Suelos<sup>2</sup>

### I INTRODUCCION

Uno puede describir la función de invernadero de la atmósfera (fig. 1) como: el almacenamiento de parte de la radiación solar recibida, por que parte de esta energia reflejada de la superficie terrestre en forma de radiación térmica de onda larga es capturada en la atmósfera debido a la presencia allí de un número de "gases-de-invernadero" como por ejemplo vapor de agua (H<sub>2</sub>O), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y carbónos de fluor y cloro (CFC). La función de invernadero es una parte esencial del sistema de soporte de la vida en la planeta Tierra; en su ausencia no habría vida tal como la conocemos, por que en aquella situación las temperaturas anuales globales serían de menos 18°C. Un funcionamiento de invernadero creciente de la atmósfera debido a un incremento inducido por el hombre de los gases de invernadero es conocido comunmente como el efecto-de-invernadero (green house effect GHE) o efecto de Arrhenio segun su primer postulador en el año 1896.

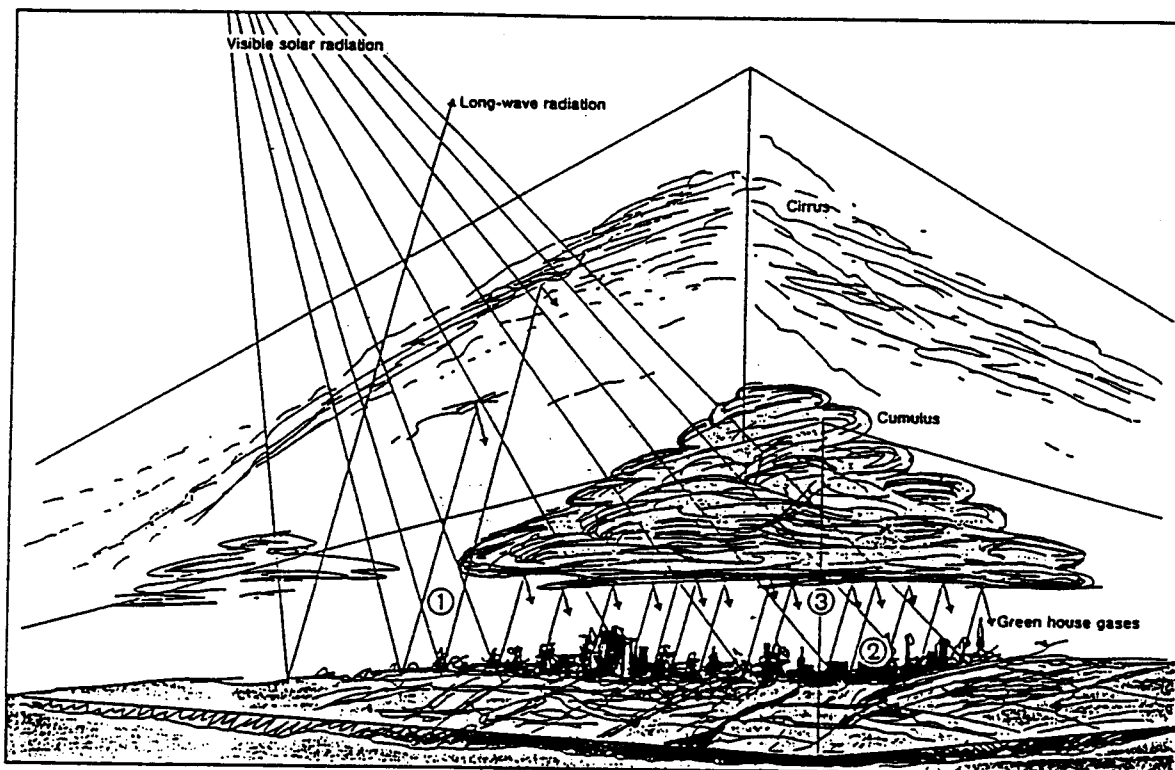


Fig. 1. The Greenhouse Effect

A large percentage of visible solar radiation reaches the earth's surface where it is partly absorbed, but also reflected (1) in the form of heat radiation (long-wave). Due to the increasing amount of 'greenhouse gases' (2), (eg. carbon dioxide, chlorofluorocarbons, nitrous oxides, and methane) in the atmosphere this heat radiation remains partly trapped in the troposphere (3), causing a temperature rise which may have started in the beginning of this century.

<sup>1</sup> adaptación de un texto titulado "Soils on a warmer earth: the tropics and subtropics" (Sombroek, 1990) presented at UNEP-Nairobi, Februari 1990, and to be published, with figures and tables, by Elsevier Company, Amsterdam (July 1990).

<sup>2</sup> ISRIC, P.O. Box 353, 6700 AJ Wageningen, the Netherlands

Desde 1850 un incremento definido ha sido medido (fig. 2) de la concentración atmosférica de  $\text{CO}_2$  (de 290 a 345 ppm) y de  $\text{CH}_4$  (de 0.85 a 1.7 ppm). Esto ha coincidido con una tendencia de calentamiento de  $0.5^\circ\text{C}$  a nivel global (temperatura promedio anual cerca de la superficie a nivel global) en el periodo comprendido entre 1880 y 1980, véase la curva de Hansen de 1981. Parte de este incremento gradual, a saber  $0.2^\circ\text{C}$ , ha sido adscrito recientemente a "calentamiento urbano" en algunos sitios clave de observación (Karl y otros, 1988), y se han presentado cambios también en los métodos de medición de la temperatura de la superficie en los océanos en los últimos cien años. Mediciones durante largos periodos en algunas partes de Europa (Escandinavia, Holanda) no muestran incremento alguno o aún un ligero decrecimiento de temperaturas locales sobre el periodo completo. A nivel global una interrupción peculiar se presenta en el periodo entre 1940 y 1975 cuando una tendencia hacia la baja ocurrió. Esto puede ser explicado muy bien por una actividad solar cambiada (manchas solares); durante el mismo periodo muchos investigadores estaban especulando sobre la inminencia de una nueva época glacial.

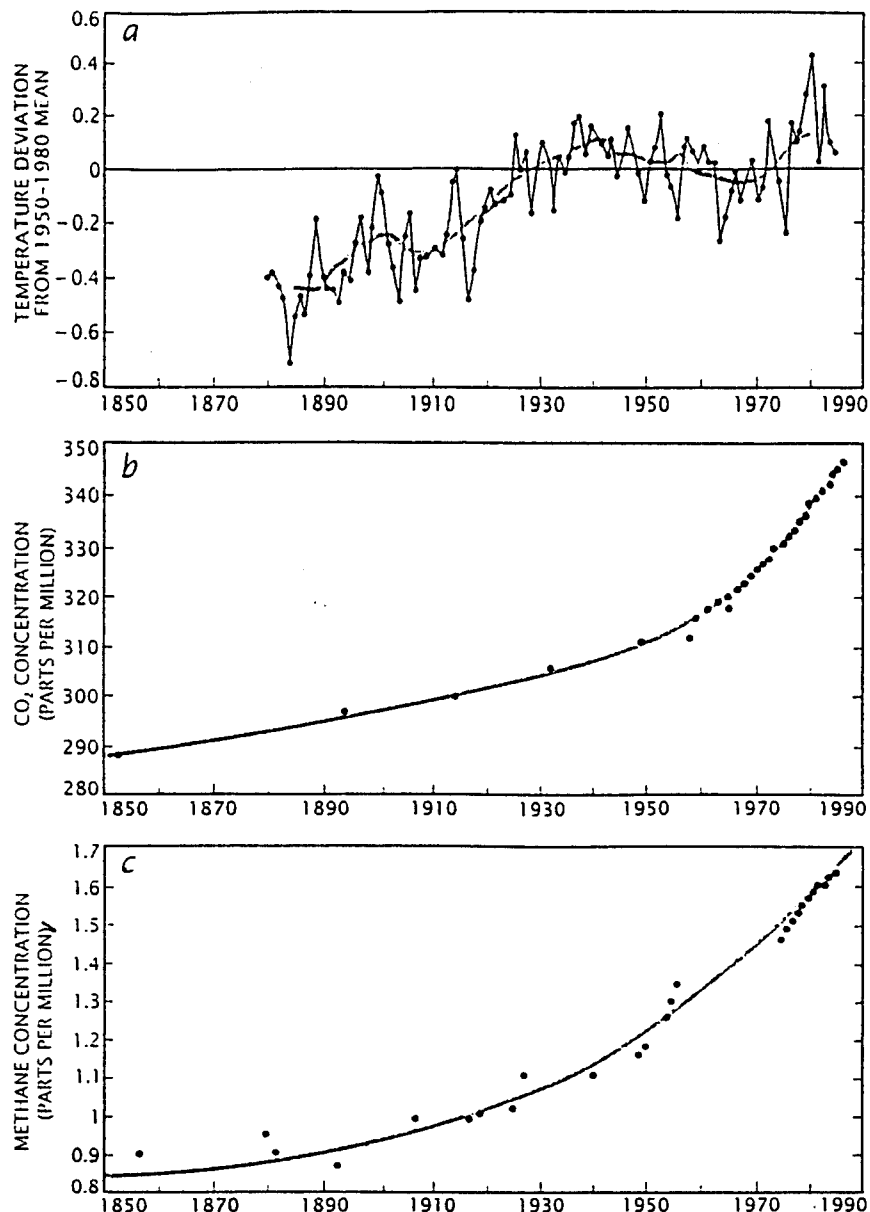


Fig. 2. Correlation among the global temperature change, level of heat-trapping gases and carbon dioxide emissions is shown in the first three graphs for the past 140 years. In graph *a* both the annual mean temperature (spiky curve) and the five-year running mean (smooth curve) are plotted. Graphs *b* and *c* show the atmospheric carbon dioxide and methane content respectively. Pre-1958 data come from analyses of air trapped in bubbles of glacial ice from various sites around the world.

from: Scientific American, April 1989.

A pesar del incremento definido de  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$  en la atmósfera, el aumento de las temperaturas a nivel global durante los últimos cien años ha sido tan lento y tan irregular que hasta el momento no es significativo desde el punto de vista de la estadística; sería más un ruido que una señal. Hansen y otros (1988) estiman que solamente para los mediados de los años noventa una señal definitiva puede ser esperada sobre el aumento de la temperatura por el efecto combinado de todos los gases de invernadero producidos por la actividad humana y un albedo aumentado.

## II MODELOS DE CAMBIOS CLIMATICOS

No hay mucha duda sobre el incremento sustancial de los gases de invernadero producidos por la actividad humana en los próximos 50 a 100 años; una duplicación del contenido de  $\text{CO}_2$  de la atmósfera a 600 ppm para el año 2050 es probable. Por esta razón los científicos de la atmósfera y los modeladores del clima han relacionado el incremento de la temperatura total de  $0.5^\circ\text{C}$  en los últimos cien años a pesar de ser poco consistente y caprichoso, al aumento del  $\text{CO}_2$  en la atmósfera de 55 ppm durante el mismo período, usando "algoritmos" de química atmosférica para elaborar proyecciones del clima en el futuro. Una duplicación del  $\text{CO}_2$  en la atmósfera ha sido tomada como base para el desarrollo de un número de modelos de circulación climática general (General Climatic Circulation Model, GCM). El incremento de la temperatura pronosticado por estos tipos de modelos varía entre  $1.8$  y  $4.5^\circ\text{C}$  a nivel mundial. Sin embargo los modelos no están de acuerdo unos con otros y ni siquiera pueden simular las condiciones actuales satisfactoriamente. Los científicos involucrados están usando estimaciones variadas de la influencia de mecanismos de realimentación - "feedback" - de océanos (fenómenos superficiales, o subidas de aguas profundas hacia la superficie), de nubosidad, de cobertura con capas de hielo, de cobertura y de uso de la tierra, de suelos etc. ("realimentación negativa" = mitigación de GHE; "realimentación positiva" = fortalecimiento de GHE).

La mayor parte de los modelos son del tipo "estado estable" con una situación de equilibrio después de un solo salto de  $\text{CO}_2$  de la atmósfera de 300 ppm a 600 ppm. Modelos del tipo "respuesta transitoria" que incluye una secuencia cronológica acumulativa con intervalos de un año con un debido registro de efectos temporales (como calentamiento tardado de los océanos) y también de efectos que pasan rápidamente (como un incremento de la asimilación por las plantas) son muy complicados para construir y requieren mucho tiempo de computadora. Una reseña comprensiva de los resultados de los GCM y sus problemas ha sido elaborada por Mitchell (1989); vea también Dickinson (1986).

Todos los modelos GCM predicen un incremento de la temperatura mucho más grande en las latitudes más altas en los respectivos veranos que cerca del ecuador. La respuesta máxima a una duplicación de  $\text{CO}_2$  para "estado estable" es de  $5^\circ\text{C}$  o más de calentamiento promedio de aire en la superficie en las latitudes más altas, pero solamente  $2^\circ\text{C}$  para las regiones ecuatoriales.

Según comentarios los últimos modelos que supuestamente no incluyen solamente la duplicación de  $\text{CO}_2$ , sino también la actuación por más tiempo y más fuerte de gases como metano y los óxidos nitrosos, predicen un incremento a nivel global de  $5^\circ\text{C}$  con valores hasta  $12^\circ\text{C}$  en regiones polares (Press 1989, en el boletín "Earthquest"). La magnitud de este tipo de cambio se podría comparar con el cambio de un período glacial a un interglacial durante el Pleistoceno. Sin embargo, muy recientemente un consenso surgió (reunión IGCC a Washington, febrero 1990) de un crecimiento modesto de  $2^\circ\text{C}$  a nivel mundial.

Una subida de 0.5 a 1m del nivel del mar acompañaría este tipo de calentamiento a nivel global debido a la expansión del volumen de agua en la superficie inducida por la temperatura y un aumento fuerte de la descongelación del hielo en regiones polares. Todas estas predicciones están llenas de lazos inciertos como ha sido discutido por Pirazzoli (1989).

La precipitación a nivel global incrementaría también, en 7-15% aproximadamente (Mitchell, 1989), aunque el efecto sobre la disponibilidad de agua dulce sería equivalada por una evapo(transpi)ración mayor. El patrón de la precipitación cambiaría. Un fuerte incremento se predice para las latitudes altas en la hemisfera norte en el invierno, ningún cambio o un decrecimiento para las latitudes medias y un incremento pequeño en la zona tropical. Estimaciones en cuanto a la distribución geográfica de las precipitaciones anuales y estacionales están variando mucho en los diferentes modelos GCM. Muchas veces los cambios pronosticados no serían más de un ruido en el modelado (Schlesinger y Mitchell, 1985) causada por problemas en el modelado del régimen climático aparentemente caótico especialmente en las regiones de latitudes altas en

la hemisfera norte (Norte América, Europa Occidental). Un factor limitante para la zona tropical en asunto de predicciones es la escasez de registros climáticos confiables sobre periodos largos.

Algunos modelos dan el efecto neto por región de los cambios en los patrones de la precipitación estacional y del aumento de la evaporación expresada en la disponibilidad de humedad en el suelo, sin tomar en cuenta el cambio en las condiciones de escorrentía. Un ejemplo es el modelo NCAR de Washington y Mehl (1984), uno de los modelos de simulación mas detallados. Da como resultado un fuerte secamiento en verano en las latitudes medias de la hemisfera norte (parte sur de los Estados Unidos, Indochina), pero da mas humedad en el suelo en las latitudes altas en la hemisfera norte especialmente en invierno. En el trópico los resultados del modelo en cuanto a humedad en el suelo son complicados. Para América Latina los resultados son:

- un cambio pequeño o ningun cambio de las condiciones de humedad en el suelo durante todo el año en America Central.
- un incremento de 30 mm de la humedad en el suelo para la Amazonia Oriental, pero hasta 30 mm decrecimiento para Amazonia Occidental y la parte Central de Brasil en Diciembre, Enero y Febrero (DEF); habría un incremento de 10 a 20 mm en la Amazonia Oriental y la parte Central de Brasil en Junio, Julio y Agosto (JJA) que corresponde a la época seca actual pero no habría cambio en la Amazonia Occidental (sin época seca actual).
- un incremento hasta 30 mm de humedad en el suelo en Junio-Julio-Agosto para la parte sur del continente, concentro en el Paraguay (el Chaco), que corresponde a la parte central de la época de seca actual d'aquella región.

Sea lo que sea el mérito del modelo NCAR, solo o comparado con otros modelos los cambios regionales de la humedad del suelo pronosticados se tomarán como punto de partida para describir los efectos sobre la formación de suelos en el trópico. Sin embargo primero el efecto directo del cambio de CO<sub>2</sub> y temperatura de la atmósfera sobre el crecimiento de plantas en el trópico será tratado.

### III EFECTOS DEL INCREMENTO DE LA TEMPERATURA, DE LA SUBIDA DEL NIVEL DEL MAR Y DEL INCREMENTO DE CO<sub>2</sub> EN LA ATMOSFERA SOBRE EL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS

Un incremento de la temperatura promedio anual cerca de la superficie a nivel global estimulará el crecimiento de las plantas en el mundo a largo plazo manteniendo las otras condiciones iguales. Teóricamente un incremento de 1°C respondería de 10% más de producción de biomasa. Las temperaturas mas elevadas supuestas por el modelo se reflejarán en la clasificación de Holdridge de biotemperaturas resultando en patrones diferentes y extensiones de las "zonas de vida" o tipos de cobertura de la tierra (bosque húmedo tropical, bosque seco tropical, monte espinoso tropical etc; véase los resultados del modelado en la publicación SCOPE 29). En la zona tropical y subtropical donde la temperatura no es factor limitante normalmente, el incremento de la producción anual de biomasa sera modesto; solamente en zonas montañosas como la Cordillera de los Andes y las tierras altas de la Africa Oriental será espectacular: los cinturones de la vegetación natural y/o cinturones de cultivos serán movidos hacia arriba en unos 1000 pies cuando la temperatura aumenta con 2°C (fig. 3). En estas áreas mas tierra sería cubierta por vegetación, aunque la extensión neta de cinturones de cultivos de altura individuales como café y té disminuiría. Un estudio de caso preliminar realizado por UNEP-GEMS-GRID en Uganda ha demostrado que las condiciones adecuadas para café Robusta en Uganda se reducirían a una extensión de casi cero (GRID, 1987) - asumiendo que no habría una adaptación gradual a través de la introducción de nuevas variedades y prácticas de manejo del cultivo.

Por el incremento de la temperatura cerca de la superficie de los océanos la evaporación aumentará muy sustancialmente. La cantidad adicional de vapor de agua inducirá mas formación de nubes y mas lluvia y nevada. Se ha calculado que 1°C de temperatura a nivel global producirá 10.10<sup>9</sup>m<sup>3</sup> de agua dulce adicional, un aumento aproximado de 20% sobre la producción actual de agua dulce de 44.10<sup>9</sup>m<sup>3</sup>. Parte de la precipitación y nevada adicional caerá sobre tierra firme y aumentará el cuerpo actual de agua dulce en rios y lagos, mejorandose así el suministro de agua para la agricultura bajo riego. Sin embargo, los modeladores del ciclo hidrológico global no están en condiciones todavía para predecir qué porción de este cuerpo de agua dulce se acumularía en paises (sub)tropicales donde podría ser utilizada para aumentar la producción de cultivos.

El efecto de una subida del nivel del mar será muy grande, especialmente en el trópico. Gran parte de planicies costeras tropicales y deltas de rios como el Mekong, el Sunderbanks, el Congo,

el Nilo, el Amazonas, el Plata y el Orinoco serán inundados hasta una profundidad tal que el desarrollo de vegetación natural o el crecimiento de cultivos se imposibilitará a menos que se ejecuten trabajos de infraestructura (polderes) enormes. Las partes interiores de cuencas serán mas pobremente drenadas que actualmente. La pérdida de crecimiento de plantas terrestres será compensada solamente en parte por el crecimiento de algas y plancton en aguas costeras.

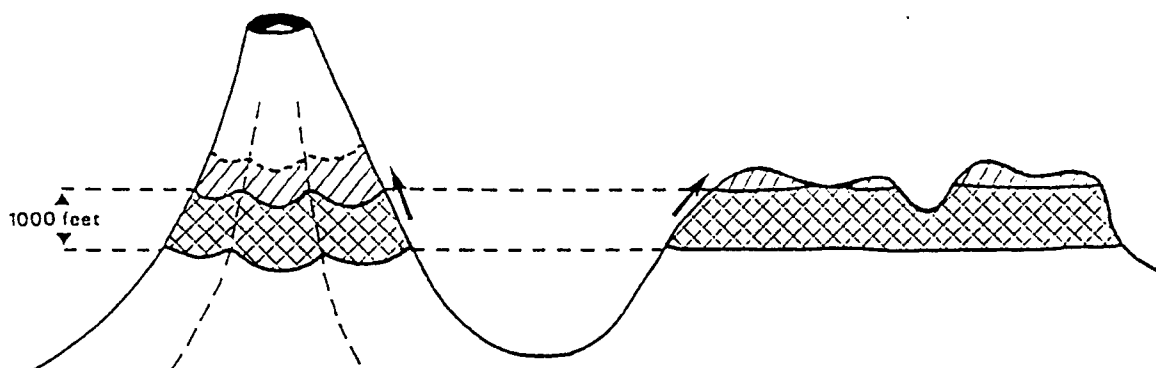


Fig. 3. Upward changes in altitudinal cropping c.q. vegetation belts in the tropics at a 2° C increase of annual temperature (a = mountains: relatively small decrease in acreage; b = highlands: near disappearance of the belt concerned).

Al contrario, el efecto positivo de un incremento de los niveles de CO<sub>2</sub> en la atmósfera sobre la producción de biomasa terrestre ("fertilización con CO<sub>2</sub>") será muy significativo y este efecto no ha sido incorporado debidamente en los modelos GCM todavía. Experimentos en el laboratorio con varios cultivos a un nivel dos veces mas alto de CO<sub>2</sub> han demostrado un incremento promedio de 33% en la productividad vegetal (Kimball, 1983; Goudriaan y Unsworth, 1988; Schleser y Kirstein, 1989). La razón de este fenómeno está en el hecho que en condiciones naturales luz y CO<sub>2</sub> no están presentes en cantidades óptimas normalmente y la fotosíntesis de plantas verdes recibe un estímulo por un aumento del CO<sub>2</sub> en el ambiente, particularment en el caso de plantas C<sub>3</sub> donde la asimilación es suprimida en las condiciones actuales. A esta categoría de plantas perennes pertenecen casi todas las leguminosas y plantas madereras y muchos cultivos como soya, algodón, arroz, trigo, cebada, girasol y tubérculos (yuca y papas). La reacción a un aumento de CO<sub>2</sub> es menos fuerte, aproximadamente 10%, en plantas C<sub>4</sub> como muchos pastos altos tropicales, halófitos y los cultivos de maíz, caña de azucar, sorgo y mijos (fig. 4).

Fig. 4. Average reaction, in %, of several agricultural crops at a doubling of the atmospheric Co<sub>2</sub> content (after Cure, 1985, summarized).

Reaction Parameter	C <sub>3</sub> -plants					C <sub>4</sub> -plants	
	Wheat	Barley	Rice	Soybean	Cotton	Maize	Sorghum
Accumulated biomass	+ 31	+ 30	+ 27	+ 39	+ 84	+ 9	+ 9
Stomatal Conduction	- 22	- 52	- 33	- 31	- 15	- 37	- 27
Transpiration	- 17	- 19	- 16	- 23	- 18	- 26	- 27
Yield	+ 35	+ 70	+ 15	+ 29	+209	+ 29	—

from: Schleser and Kirstein, 1989

Hay otro factor: concentraciones mas altas de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera conducen a aperturas estomatales menores en las plantas y así a una difusión de vapor de agua menor (menor "conductancia estomatal"). Esto implica una mayor eficiencia en el uso de agua por la planta y este proceso sería fuerte particularmente en algunas plantas  $\text{C}_4$  como el maiz (una reducción de 37% en la conductancia estomatal, conduciendo a una reducción de 26% de la transpiración - Cure, 1988). El efecto combinado de una asimilación adicional modesta y mucho menos transpiración en este cultivo estaría en el orden de 30% también comparable con el efecto de la duplicación de  $\text{CO}_2$  en el caso de las plantas  $\text{C}_3$ . Dentro de este contexto es probable que el incremento gradual medido de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera en los últimos 100 años es responsable en parte de la duplicación aproximada de la productividad de cultivos agrícolas a nivel mundial durante el mismo período (Allen y otros, 1985, estiman un 15% en el caso de la soya). Esta producción mas alta de biomasa terrestre inducida por  $\text{CO}_2$  explicaría también la disminución "faltante" del ciclo de carbono a nivel global como fue detectada por una absorción menor de  $\text{CO}_2$  por aguas del océano en la hemisfera norte (Tans y otros, 1989).

Una duplicación de  $\text{CO}_2$  combinado con un aumento de la temperatura promedio del aire a nivel global de  $3^\circ\text{C}$  resultaría en otro 25% adicional de producción de biomasa (Idsen y otros, 1987). Para la zona tropical el efecto combinado sería menor por:

- a) un aumento menor de la temperatura que el promedio esperado.
- b) la posibilidad que las plantas se recalentarán ("overheating") como consecuencia de una evapotranspiración demasiado limitada especialmente en regiones con una época seca.
- c) la posibilidad que la luz se volverá factor limitante
- d) la probabilidad que los nutrientes en el suelo se volverán escasos especialmente en el trópico húmedo con sus suelos muchas veces fuertemente meteorizados.

Sin embargo, concentraciones mas elevadas de  $\text{CO}_2$  también estimularían el crecimiento radicular que en combinación con mayor producción de materia orgánica fresca intensificaría la meteorización de la roca y resultaría en suelos mas profundos con una disponibilidad adicional de algunos nutrientes como el potasio. Existe otro factor mas: concentraciones mas elevadas de  $\text{CO}_2$  inducirían periodos de crecimiento mas cortos hasta la maduración para muchas plantas anuales (Oecher y Strain, 1985) lo que implica mayores posibilidades para el crecimiento de plantas en regiones (sub)tropicales con una época de lluvia corta (más una sensibilidad menor para salinidad en el suelo) y más cultivos por año en áreas húmedas. Varios efectos indirectos deben ser mencionados para dar una idea completa:

- a) un aumento de la producción de biomasa conduce a una cobertura mejor del suelo y por lógica a menos erosión (a menos que la relación estacional o anual entre precipitación y evaporación haya cambiado desfavorablemente)
- b) La fuerza competitiva de las malezas gramíneas perennes, siendo plantas  $\text{C}_4$ , es menor a niveles mas elevados de  $\text{CO}_2$  y por ende el control de malezas sería menos costoso (a menos que los cultivos sean plantas  $\text{C}_4$  también como sorgo y mijos en la zona Sudana-Saheliana de la Africa Occidental)

Resumiendo, una duplicación de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera y el aumento de la temperatura relacionado tendrán un efecto positivo sobre la producción de biomasa en las selvas tropicales (plantas  $\text{C}_3$ ), menos en sabanas tropicales (plantas  $\text{C}_4$ ), y causarán un aumento significativo del potencial de producción de la mayor parte de los cultivos agrícolas. Sin embargo la demanda de fertilizantes especialmente los nitrogenados y los fosfatados aumentará considerablemente.

Por el contrario al  $\text{CO}_2$ , un aumento de los gases trazas  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$  en la atmósfera no tiene efecto conocido alguno sobre el crecimiento de las plantas. En vista de su influencia mas fuerte y durante periodos mas largos sobre cualquier aumento de la temperatura anual global presumido es posible que resultarán los mas problemáticos eventualmente. Podría ser deseable realizar investigaciones no solamente del desarrollo de variedades del cultivo de arroz que producen menos  $\text{CH}_4$  y técnicas de manejo de tierra adaptadas sino también de sistemas a nivel de finca de "cosechar" el gas  $\text{CH}_4$  para usarlo como combustible.





convirtiéndose en Podsoles o Arenosoles Albicos (Podsoles gigantes) como ya están presentes en forma hydromorfica en areas grandes en la zona del Rio Negro en Amazonia (fig. 5). La fragilidad del actual proceso de ferralitización ha sido demostrada ampliamente por estudios detallados de transiciones de poca distancia entre suelos ferralíticos y podsoles realizados por pédólogos Franceses (por ejemplo Turenne, 1975, en la Guyana Francesa; Dubroeuq y Volkoff, 1988, para la zona del Rio Negro en Brasil; Lucas y otros, 1987, para Amazonia en general).

El presumido incremento de 30 mm de humedad efectiva del suelo en el modelo NCAR durante la época seca de Amazonia Oriental puede ser suficiente justamente para iniciar un proceso de podsolización en grandes extensiones de terrazas arenosas del Pleistoceno donde hasta este momento Podsoles están ocurriendo solamente en algunas lugarcitas (Sombroek, 1966; Camargao, 1981).

Los suelos francos imperfectamente drenados en las areas planas divisorias de agua de la región Amazónica occidental con materiales plintíticos en el subsuelo (El area Madeira-Purus, suroeste de Manaus) podrían secarse dando como resultado un endurecimiento irreversible del subsuelo formando "laterita" (un cambio de Plinthosol o Acrisol plínthico hacia Acrisol, fase petroplínthico, Camargo, 1981; Sombroek, 1984). El decrecimiento de la disponibilidad de humedad en el suelo durante los meses diciembre, enero y febrero tal como fue indicado por NCAR podría inducir este tipo de secamiento especialmente si la hidrología general de los ríos se pusiera mas errática.

Contrastando con la situación Amazonica, los suelos ya altamente meteorizados con alto contenido de sesquioxidos de Brasil central (los Ferralsoles rhódicos y ácricos del Cerrado) son muy estables (no ecotonales). Los contenidos de humedad del suelo un poco mas bajo en la época lluviosa y un poco mas alto en la época seca no cambiarían las características del suelo, aun que las condiciones para agricultura podrían ser mas favorables.

- (b) La situación de los suelos en la Cuenca de la Plata/Paraná podría cambiarse claramente, por causa de mas humedad en la estación seca del invierno local y temperaturas mas altas en la estación lluviosa de verano (hasta 4°C). Una tendencia de cambio de los suelos tipo Kastanozem y Phaeozem (Mollisoles) para suelos mas tropicales puede ser esperada (menos material húmico; mas meteorización y illuviación: Acrisoles/Ultisoles) - asociado con un cambio de uso pecuaria para uso agrícola. Los Planosoles de las partes bajas de la Cuenca se tornarian districos en vez de eútricos/móllicos.

En situaciones de suelos no-ecotonales en las tierras firmes del trópico, el rumbo de la pedogénesis no cambiaría pero el potencial y la taza de la meteorización podría aumentar algo.

Veamos primero el potencial de meteorización con una duplicación del CO<sub>2</sub> en la atmósfera midiendo la solubilidad de calcita.

En el caso de tomar como contenido de CO<sub>2</sub> de la capa superficial del suelo 100 veces el contenido de la atmósfera - la situación en el bosque humedo tropical - la solubilidad de CaCO<sub>3</sub> aumenta de 251 a 277 mg/litro, un incremento de 10% aproximadamente.

El aumento de la temperatura conducirá a una taza más alta de meteorización también. Un aumento de la temperatura de 2°C resultaría en una taza de meteorización de un 10% más alta.

El efecto combinado del incremento del contenido de CO<sub>2</sub> y la temperatura sobre la taza de meteorización puede ser estimado en un incremento mínimo de 20%, entonces suelos mas profundos en un 20% (veja-se graficos en Sombroek, 1990). Sin embargo la influencia del cambio de clima sobre la precipitación efectiva i.e. el agua disponible para las reacciones y el transporte de los componentes es de importancia primordial. La taza de incremento mínimo estimado de 20% ocurrirá solamente si la precipitación efectiva no disminuye, de otro modo un incremento menor de la taza ocurrirá.

Todas estas consideraciones se refieren al trópico (sub)húmedo. El potencial de meteorización, su tasa y su rumbo en las tierras firmes del trópico y subtropical semi árido dependen mucho de los cambios estacionales y anuales en la disponibilidad de la humedad en el suelo - los modelos GCM no dan predicciones confiables para estas situaciones tal como fue mencionado anteriormente. En el caso de inducirse una producción mayor de biomasa un enriquecimiento en materia orgánica fresca puede ocurrir primero. Sin embargo temperaturas mas altas en la superficie en condiciones de sabana (predominancia de pastos C<sub>4</sub> y por eso un menor incremento en la producción de biomasa) conducirían a una descomposición más rápida de la materia orgánica, mientras que la fauna del suelo, como p.e. termitas, llevaría más hojarasca hacia sus galerías frescas bajo tierra (causando mas emisiones de metano, y entonces una realimentación positiva al efecto de invernadero!).

Northwestern region  
(Rio Negro)

Southwestern region  
(Rio Purus)

Eastern region (Lower Amazonas)

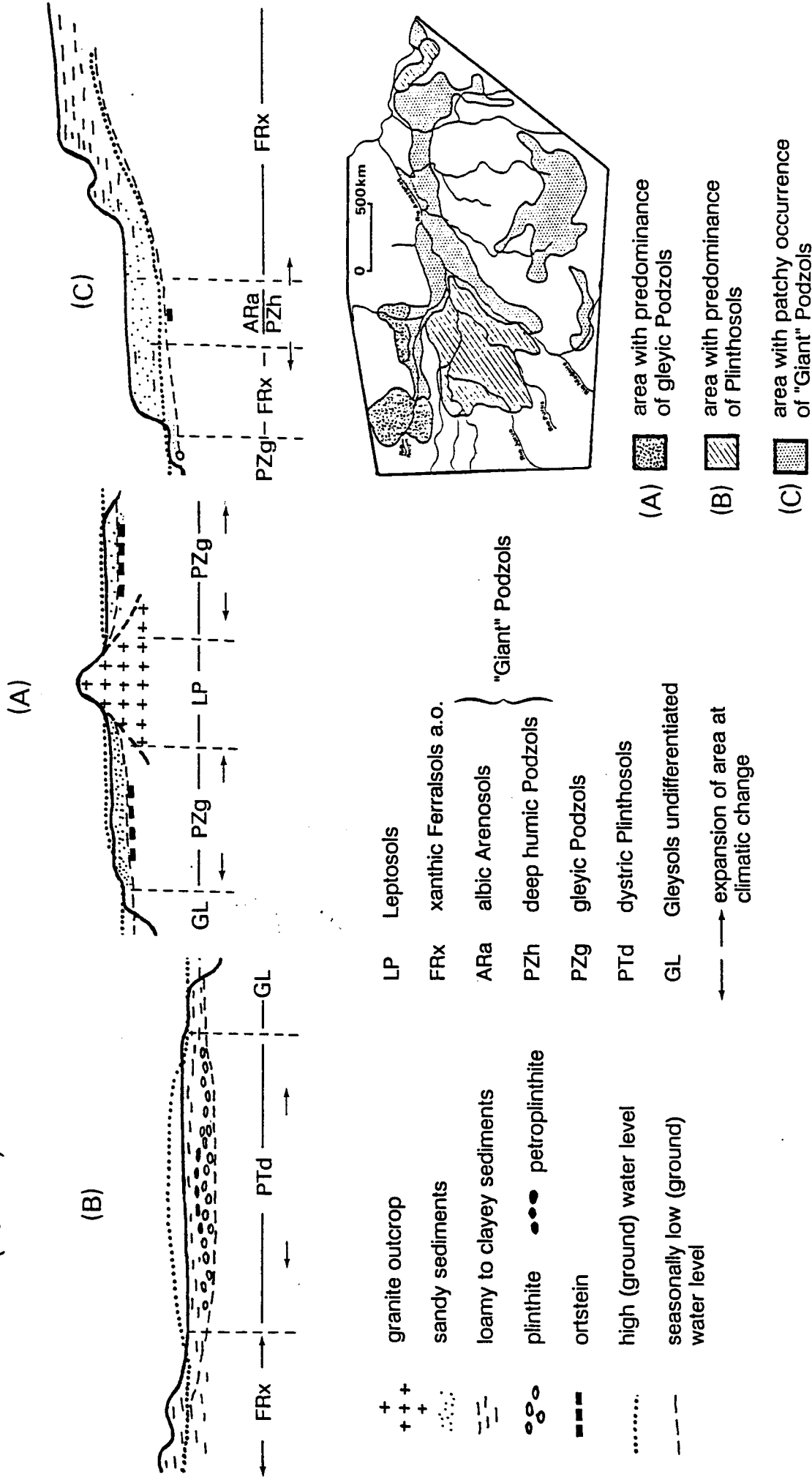


Fig. 5. Schematic presentation of some Amazonian ecotonal soil situations.

Si sales libres están disponibles en alguna parte del subsuelo pueden ser transportadas hacia arriba debido a una evaporación y evapotranspiración más fuerte causando cierto grado de salinización del suelo.

Probablemente el resultado combinado de un calentamiento de invernadero en el trópico semi árido sería un fortalecimiento del riesgo de desertificación.

Estas conclusiones son muy generales. El patrón local de los suelos en el trópico y subtropical, que muchas veces es un reflejo de condiciones climáticas anteriores diferentes de las actuales, en combinación con el resultado local de la actividad humana en el futuro próximo ofrece un rango amplio y complicado de posibilidades de desarrollo de los suelos en el futuro. Este aspecto no puede ser discutido adecuadamente dentro de una conferencia general sobre suelos tropicales en una tierra mas caliente.

## V LA INFLUENCIA SOBRE LAS CONDICIONES DE LOS SUELOS DE LAS TIERRAS COSTERAS BAJAS Y AREAS MONTAÑOSAS DE AMERICA LATINA

Dos situaciones merecen atención especial en el trópico: las tierras bajas costeras e inundadas y las zonas montañosas (en forma aproximada todas las áreas a alturas mayores de 2000 metros). Los cambios parecen ser sustancialmente mas dramáticos que en las tierras firmes del trópico.

Las tierras costeras inundadas serían afectadas principalmente por la subida esperada del nivel del mar de 0,5 a 1 metro. Agua salobre penetraría en muchas zonas cenagosas costeras "mangrove". El agua salada combinada con la gran acumulación de materia orgánica de estas tierras daría como resultado en cuanto a procesos pedogenéticos el favorecer de la formación de suelos potencialmente sulfato ácidos (Fluvisoles-, Gleysoles-, y Histosoles thionicos). Estos son suelos problemáticos de verdad por que al drenarlos se volverán muy compactos y extremadamente ácidos, no aptos para el crecimiento de la mayor parte de las plantas.

Tierras costeras en la situación actual solamente algunos metros sobre el nivel de inundación tendrían niveles altos de agua freática muchas veces já salina, dando como resultado la salinización y/o sodificación de perfiles de suelo especialmente en climas subhúmedos o semi áridos.

Areas montañosas del trópico verían un movimiento sustancial hacia arriba de zonas bio/agro climáticas debido al aumento pronosticado de la temperatura de 2°C.

La fuerza de la meteorización de la roca se incrementará y los suelos serán mas profundos. Esto implica un potencial mayor de producción de cultivos en aquellos sitios donde tierras altas adyacentes quedan húmedas, como en el caso de las pendientes orientales de la Cordillera de los Andes. En todo caso la hidrología superficial y subsuperficial de las pendientes en las montañas cambiará sustancialmente con un efecto potencialmente muy fuerte sobre las condiciones de drenaje de las tierras y los suelos de las partes mas bajas de las cuencas involucradas.

Los detalles de los cambios en los suelos de zonas montañosas no dependen solamente de diferencias en material parental si no también de movimientos hacia arriba o hacia abajo en el pasado de los cinturones de condiciones climáticas y comunidades de plantas asociadas. Estudios paleoecológicos sistemáticos y detallados tales como los realizados en varias transectas altitudinales en los Andes Colombianos (Van der Hammen y otros, 1983 et seq.) darán claves importantes para el desarrollo en el futuro del suelo en áreas montañosas tropicales bajo cambios climáticos inducidos por el hombre.

## REFERENCIAS

- Ackland, J.D. (1971): East African Crops. FAO - Longman.
- Allen, L.H., K.J. Boote, P.H. Jones et al. (1985): Response of vegetation to rising CO<sub>2</sub>: Soybean Photosynthesis and Yield. In: Direct effects of increasing Carbon Dioxide on Vegetation. DOE/ER-0238 Report p.175. US Dept. of Energy.
- Anderson, G.C. (1990): Climate Change; towards a 2° C consensus. Nature 343:401.
- Arnold, R.A., I. Szabolcs and V. Targulian (1990): Concept of Global Soil Science. Report of 1989 IIASA/ISSS/UNEP task force meetings. IIASA, Vienna (in press).
- Bolin, B., B.R. Döös, J. Jäger and R.A. Warrick (eds)(1986): The Greenhouse Effect, Climatic Change and Ecosystems. SCOPE 29. John Wiley & Sons, Chichester, 541p.
- Camargo, M.N. et al. (1981): Mapa de Solos do Brasil, escala 1:5.000.000. EMBRAPA-SNLCS, Rio de Janeiro.

- Cure, J.D. (1988): Carbon Dioxide doubling responses. *In: The use of statistical climate-crop models for simulating yield to project the impacts of CO<sub>2</sub> induced climate change.* DOE/ER/60444-H1, July 1988, p.31.
- Dickinson, R.E. (1986): How Will Climate Change? The Climate System and Modelling of Future Climate. *In: Bolin et al. op.cit.*, 207-270.
- Dubroeuq, D. and B. Volkoff (1988): Evolution des couvertures pédologiques sableuses à podzols géants d'Amazonie (Bassin du Haut Rio Negro). *Cah. ORSTOM, Série Pédologie* 24(3):191-214.
- Emanuel, W.R., H.H. Shugart and M.P. Stevenson (1985): Climatic Change and the broad-scale distribution of terrestrial ecosystem complexes. *Climatic Change* 7:29-43.
- FAO (1988): FAO/Unesco Soil Map of the World, Revised Legend. World Soil Resources Report 60, FAO, Rome.
- Goudriaan, J. and M.H. Unsworth (1988): Implications of increasing carbon dioxide and climatic change for agricultural production and water resources. Proceedings annual ASAE meeting, Los Angeles, USA (in press).
- GRID (1987): Uganda Case Study: A Sampler Atlas of Environmental Resource Data Sets within GRID. UNEP-GEMS, Nairobi.
- Hansen, J., D. Johnson, A. Lacis, S. Lebedeff, P. Lee, D. Rind and G. Russell (1981): Climatic impact of increasing atmospheric carbon dioxide. *Science* 213:957-966.
- Hansen, J. and S. Lededeff (1987): Global trends of measured surface in temperature. *J. Geophys.Res.* 92:13345-13372, 1987.
- Hansen, J., I. Fung, A. Lacis, D. Rind, S. Lededeff, R. Ruedy and G. Russell (1988): Global climate as forecast by Goddard Institute for Space Studies three dimensional model. *J. Geophys.Res.* 93:9341-9364.
- Holland, H.D. (1978): The Chemistry of the Atmosphere and Oceans. Wiley & Sons, New York. p. 56-63.
- Hulme, M. and P.D. Jones (1988): Climatic Change Scenarios for the UK. (in press)
- Idso, J.B., B.A. Kimball, M.G. Anderson and J.R. Mauny (1987): Effects of Atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment on Plant Growth: the Interactive Role of Air Temperature. *Agric. Ecosys. and Environ.* 20:1-10.
- Karl, T.R., H.F. Diaz and G. Kukla (1988): Urbanization: its detection and effect in the United States. *Climate Record. J. Climate* 1:1099-1123.
- Kimball, B.A. (1983a): Carbon dioxide and Agricultural Yield: An assemblage and analysis of 430 prior observations. *Agronomy Journal* 75:79-88.
- Loughnan, F.C. (1969): Chemical weathering of the silicate minerals. American Elsevier Publ.Co. New York.
- Lucas Y., R. Boulaine, A. Chauvel and L. Veillon (1987). Systèmes sols ferrallitiques-podzols en région amazonienne. *In: Podzols et podzolisation.* D. Righi and A. Chauvel (eds). AFES-INRA, Paris. 53-65.
- Meier, M.F. (1990): Reduced rise in sea-level. *Nature* 343:115-116.
- Mitchell, J.F.B. (1989): The "Greenhouse" Effect and Climate Change. *Review of Geophysics* 27(1):115-139.
- Novozamski I. and J. Beek (1976): Common solubility Equilibria in Soils. *In: Bolt, G.H. and M.G.M. Bruggenwerth (eds) Soil Chemistry. A Basic Element Developments in Soil Science* 5A. Elsevier Amsterdam. p.69-125.
- Oechel, W.C. and B.R. Strain (1985): Native species responses to increased atmospheric carbon dioxide concentration. *In: Direct effects of increasing carbon dioxide on vegetation.* DOE/ER/0238 Report, p.117-154. US Dept. of Energy
- Pirazzoli, P.A. (1989): Present and Near-Future Global Sea-level Changes. *Global and Planetary Change* 1(4), Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- Press, E. (1989): What I would advise a Head of State about Global Change. *Earthquest* 3(2):1-3. UCAR, Boulder, U.S.A.
- Schleser, G and W. Kirstein (1989): Der Treibhaus Effect - Ursachen und Konsequenzen für Klima und Biosphäre. Seminar Technik und Gesellschaft für Journalisten, K.F.A Jülich, 26-4-1989.
- Schlesinger M.E. and J.F.B. Mitchell (1985): Model projections of the equilibrium climatic response to increased carbon dioxide. *In: The potential climatic effort of increasing carbon dioxide,* J.F.B. Mitchell, U.S. Dept. of Energy.
- Sombroek, W.G. (1966): Amazon Soils. A reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon, 292p. Pudoc, Wageningen.
- Sombroek, W.G. (1984): Soils of the Amazon Region. *In: Sioli H. The Amazon, limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin.* Dr. W. Junk Publishers. Dordrecht/Boston. P.521-536.
- Sombroek, W.G. (1990): Soils on a Warmer Earth: the Tropical Regions. *In: Scharpenseel, H.W. et al. "Soils on a Warmer Earth". Developments in Soil Science,* Elsevier, Amsterdam (in press).
- Sombroek, W.G., H.M.H. Braun and B.J.H. van der Pouw (1982): Exploratory Soil Map and Agroclimatic Zone Map of Kenya 1980. Exploratory Soil Survey Report E1. Kenya Soil Survey, Nairobi.
- Sombroek, W.G. and I.S. Zonneveld (1971): Ancient dune fields and fluvial deposits in the Rima-Sokoto river basin (N.W. Nigeria). *Stiboka, Soil Survey Papers* 5. Wageningen. p.109.
- Tans, P.P., I.Y. Fung and T. Takahashi (1990): Observationed constraints on the global carbon dioxide budget. Accepted by Science.
- Turenne, P. (1975): Mode d'humification et de différenciation podzologique dans deux séquences guyanaises. *Mem. ORSTOM* 84. Paris. pp.173.
- Van der Hammen, Th., A.P. Preciado and P. Pento (1983): La Cordillera Central Colombiana, Transecto Parque Los Nevados (Introduccion y Datos Iniciales). *Studies on Tropical Andean Ecosystems vol.I.* A.R. Gantner Verlag K.G., Berlin-Stuttgart.
- Van der Hammen, Th., and P.M. Ruiz (1984): La Cordillera Central Colombiana, Transecto Parque Los Nevados (Introduccion y Datos Iniciales). *Studies on Tropical Andean Ecosystems vol.II.* A.R. Gantner Verlag K.G., Berlin-Stuttgart.
- Van der Hammen, Th., S. Diza-Piedrahita and V.J. Alvarez (1989): La Cordillera Central Colombiana, Transecto Parque Los Nevados (Introduccion y Datos Iniciales). *Studies on Tropical Andean Ecosystems vol.III.* A.R. Gantner Verlag K.G., Berlin-Stuttgart.

- Walker, B.H. and R.D. Graetz (1989): Effects of Atmosphere and Climate Change on Terrestrial Ecosystems. Global Change Report n°5. Stockholm.
- Washington, W.M. and G.A. Meehl (1984): Seasonal cycle experiment on the climate sensitivity due to a doubling of CO<sub>2</sub> with an atmospheric general circulation model coupled to a simple mixed-layer ocean model. *J. Geophys. Res.* 89:9475-9505.
- Zivkovic, D.Z., J.J. Crnko and G. Sretenovic (1983): Kinetics and mechanism of the acid kaolin leaching process. In: Augusthitis, S.S. (ed.): Leaching and diffusion in rocks and their weathering products. Theophrastus Publications. Athens, Greece. p.63-77.