



INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACION Y
PROMOCION AGROPECUARIA



NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY

CIPA XVI-ESTACION EXPERIMENTAL DE YURIMAGUAS

PROGRAMA DE SUELOS TROPICALES

YURIMAGUAS, PERU

LOS SUELOS DEL TROPICO Y LA CRISIS MUNDIAL DE ALIMENTOS

Pedro A. Sánchez y Stanley W. Buol

SERIE DE SEPARATAS

Nº 2

Apoyado por el Proyecto Especial de Administración de Suelos Tropicales PL 480, el Proyecto IEE y el Soil Management Collaborative Research Support Program TROPSOILS de la Agencia para el Desarrollo Internacional.

LOS SUELOS DEL TROPICO Y LA CRISIS MUNDIAL DE ALIMENTOS ^{1/}

Pedro A. Sánchez y Stanley W. Buol ^{2/}

La expresión "suelos tropicales" tiene los más diversos significados entre los especialistas y profesionales de diversas disciplinas. Las generalizaciones extremas que se hacen de suelos de áreas tropicales, han conducido a muchos conceptos erróneos acerca del potencial del trópico para la producción de alimentos. En las últimas dos décadas se ha aprendido mucho acerca de las propiedades y manejo de estos suelos. El objetivo de este artículo es el de esbozar las propiedades sobresalientes de los suelos del trópico y el papel que juegan en la producción mundial de alimentos.

Los suelos tropicales se pueden definir cuantitativamente, sólo como aquellos suelos que carecen de variaciones considerables de temperatura del verano al invierno; es decir, la diferencia entre la temperatura media de verano y la temperatura media del invierno a una profundidad de 50 centímetros es menor de 5°C (1,2). Además de esto, las condiciones responsables de la formación del suelo son tan diversas en el trópico como en las regiones templadas. Las rocas, material parental de los suelos, son las mismas en ambas regiones. Los patrones de erosión y sedimentación no son marcadamente distintos entre las dos regiones geográficas. Tanto en las regiones tropicales como en las templadas, el tiempo de formación del suelo en cualquier superficie geomórfica puede oscilar entre ayer en las planicies inundables o suelos volcánicos recientes, hasta un tiempo indeterminado en las superficies más estables. En ambas zonas existen condiciones climáticas áridas y húmedas, calientes y frías. En consecuencia, la expresión "suelos tropicales", al igual que su corolario "suelos templados", no da cuenta de la gran mayoría de las propiedades de estos suelos.

A pesar de que la formación del suelo en las regiones tropicales no es diferente en tipo de la formación del suelo en las zonas templadas (3) la magnitud de la extensión de ciertos patrones de formación del suelo es significativamente diferente. La superficie de gran parte de la zona templada del norte fue trabajada por la glaciación del Pleistoceno y cubierta por mantos gruesos de loess. Estos procesos influyeron sobre la edad de los suelos, y al material parental se le adicionó un componente del tamaño del limo (2-30 micrómetros) que no se encuentra con frecuencia en las áreas tropicales. Gran parte de los suelos del trópico se han formado a partir de materiales que han sido trabajados desde el Precámbrico por los procesos de erosión superficial y sedimentación que meteorizan el material intensivamente.

^{1/} Traducido de la revista Science 188:593-603. 1975

^{2/} Profesores en Suelos, Programa de Suelos Tropicales, Universidad Estatal de Carolina del Norte - INIPA.

A pesar de que la extensión superficial de los depósitos recientes de cenizas volcánicas es mayor en el trópico, en la región templada existe una mayor proporción de suelos relativamente más jóvenes.

Las generalizaciones que se hagan más allá de estas afirmaciones, empiezan a perder precisión. Las afirmaciones que indican que la laterita y los suelos lateríticos prevalecen en el trópico, y que los suelos tropicales tienen bajos contenidos de materia orgánica, son dos generalizaciones que tienden a obstaculizar el conocimiento de las condiciones de los suelos tropicales.

La Exageración Acerca de la Laterita

Probablemente no existe un concepto más erróneo que la existencia de un proceso único de formación de los suelos tropicales que conduce a la formación laterita. Cuando los edafólogos europeos y americanos viajaron al trópico durante el siglo XIX, se intrigaron por la presencia de la laterita. De regreso a sus países, escribieron y comunicaron aspectos de este fenómeno. A su vez, se ignoraron vastas regiones del trópico similares a los que se encuentran en las regiones templadas. En consecuencia, surgió la idea de que los suelos tropicales son los que tienen un alto contenido de sesquióxidos y que se endurecen irreversiblemente al quedar expuestos. Los latosoles y suelos lateríticos erróneamente se conocieron como suelos en el proceso de desarrollo hacia lateritas. Incluso en publicaciones relativamente recientes en revistas científicas muy conocidas (4), se concluye que cuando a la gran mayoría de los suelos tropicales se les despoja de la vegetación, se convierten en pocos años en pavimento de ladrillo inservible. Algunos naturalistas se refieren a los suelos ligeramente meteorizados de áreas desérticas de la región templada como lateritas, debido a su color rojizo. Muchas de estas conclusiones erróneas se basan en el supuesto de que Buchanan (5) adoptó el término laterita debido al color rojo del suelo, mientras que lo que realmente quiso indicar fue su uso como material de construcción.

En 1933, Hardy (6) indicó que las lateritas tienen una extensión limitada en el trópico. No se tienen estimativos confiables para la totalidad del trópico que indiquen la extensión de los suelos que se transforman al quedar expuestos. Apreciaciones regionales indicadas por algunos edafólogos y calculadas con base en mapas, proporcionan los siguientes estimativos de la ocurrencia de lateritas: 2 por ciento para América tropical (7), 5 por ciento para Brazil central (8), 7 por ciento para la parte tropical del subcontinente indiano (3), 11 por ciento del Africa tropical (3) y 15 por ciento para el Africa Occidental al sur del Sahara (9). Con base en estos y otros estimativos, se calcula que el área total del trópico en el que se pueden encontrar lateritas en/o cerca de la superficie del suelo es del orden del 7 por ciento. Además, la laterita o plintita se presenta en posiciones predecibles en el paisaje, no sólo en el trópico sino también en el sureste de los Estados Unidos (10). Es importante recordar que la laterita sólo se forma en el subsuelo. Marbut (11) indicó que "En ningún caso se encontró el horizonte de concentración de hierro en la superficie, donde la situación local no fue tal que indicara claramente que había sido expuesto por la erosión". En consecuencia, este problema no afecta a la gran mayoría de los suelos del trópico, e incluso no es un problema a no ser que la erosión exponga la capa de plintita rica en hierro. En zonas donde ocurre laterita, esta se usa como un recurso natural para construcción de carreteras.

Hace aproximadamente 20 años, Carter y Pendleton (12) afirmaron:

" El concepto de un proceso tropical se enfocó con base en el término "laterita". La laterita fue y es un rasgo, algo específico, y no un proceso. El proceso fue inventado por aquellos que nunca habían visto el rasgo y quienes, aún peor, lo aplicaron a toda clase de fenómenos supuestamente, pero no realmente similares a la laterita como se describió originalmente".

En un intento por confinar el término "laterita" a su definición original, actualmente se utiliza en la taxonomía de suelos el término plintita, que significa material de suelo, rico en hierro y con bajo contenido de humus que se endurece por el proceso secuencial de lluvias y sequía (13).

Contenido de Materia Orgánica en el Suelo

El color rojo de los suelos en muchas áreas tropicales contrasta con el color de los suelos en las partes más frías de la zona templada.

La conclusión inmediata a la que frecuentemente se llega, es que el contenido de materia orgánica en los suelos tropicales es bajo. Sin embargo, al comparar el contenido de carbón orgánico de 16 Mollisoles, Alfisoles y Ultisoles bien drenados de los Estados Unidos y escogidos al azar, con el de un mismo número de Oxisoles, Alfisoles y Ultisoles del Brasil y Zaire también escogidos al azar, se encontraron algunas contradicciones básicas con las creencias comunes. El contenido promedio de materia orgánica en el primer metro de profundidad fue de 1, 11 por ciento para los Mollisoles negros de los Estados Unidos y 1,05 por ciento para los Oxisoles rojos altamente meteorizados de Brazil y Zaire. Los Mollisoles y Oxisoles son los principales suelos de las praderas templadas y tropicales de América, respectivamente. Los Alfisoles gris-marrón de los Estados Unidos presentaron 0,52 por ciento de carbón orgánico, en tanto que los Alfisoles rojizos del trópico presentaron 0,54 por ciento de carbón orgánico. Los Ultisoles rojizos de la zona templada presentaron 0,40 por ciento de carbón orgánico, y los Ultisoles rojizos del trópico 0,66 por ciento (14). Ninguna de estas diferencias entre los suelos tropicales y templados son agronómica o estadísticamente significativas.

A pesar de que el contenido de materia orgánica es bajo en muchos suelos africanos, en términos generales es mayor que en suelos del sureste estadounidense o de las áreas desérticas de U.S. que presentan promedios anuales de temperatura y precipitación similares a los de las regiones africanas.

Esta similitud entre los suelos tropicales y templados se puede entender en términos de los regímenes de temperatura y humedad, y de la regla empírica que indica que por cada aumento de 10°C de temperatura, la tasa de actividad biológica se duplica. En las regiones templadas, las bajas temperaturas del invierno reducen en gran medida la actividad biológica. En el 78 por ciento del trópico, que presenta una estación seca pronunciada con una duración de por lo menos 90 días, la ausencia de humedad durante este período ejerce un efecto similar. Las temperaturas de la superficie del suelo y del aire durante las estaciones lluviosas en el trópico, son similares a, pero

rara vez tan altas como, las temperaturas de verano correspondientes en las regiones templadas. Para el 22 por ciento del trópico donde se presenta alta precipitación y sin estación seca, la explicación es algo diferente. La mayoría de estas áreas se encuentran cubiertas por bosques húmedos tropicales. Las condiciones de temperatura y humedad en ninguna época limitan la acumulación de materia orgánica y su descomposición. Estos bosques producen aproximadamente cinco veces la cantidad de biomasa y materia orgánica del suelo por año, que bosques comparativos de la zona templada. Sin embargo, la tasa de descomposición de la materia orgánica también es aproximadamente cinco veces mayor que la que se presenta en los bosques templados (15). En consecuencia, los contenidos de equilibrio son similares.

Los Suelos del Trópico

Las condiciones climáticas o los patrones de distribución de los suelos no son de manera alguna uniformes en el trópico. Se pueden distinguir cuatro zonas ecológicas principales: las sabanas y praderas que cubren aproximadamente el 49 por ciento de la extensión; los bosques siempre verdes que cubren el 24 por ciento; y las áreas desérticas y semidesérticas, que cubren el 16 y 11 por ciento, respectivamente (16). Aproximadamente el 23 por ciento del trópico se encuentra a 900 metros por encima del nivel del mar; estas áreas constituyen las tierras altas tropicales.

Dentro de los límites de un sólo artículo, a la discusión de un tema tan amplio como el de los suelos del trópico se necesita hacer algunas generalizaciones. Asumiendo este riesgo, se indicarán las principales diferencias entre los suelos en la zona tropical, y algunos ejemplos de las variaciones que se presentan dentro de cada uno de los principales tipos.

Las sabanas tropicales son una tentación para el desarrollo agrícola debido a que se pueden despojar fácilmente de su vegetación, y en la actualidad se encuentran subutilizadas. En el trópico americano y africano, y en menor grado en el trópico asiático y australiano, se encuentran extensas sabanas; una observación superficial indica que en todas estas regiones se encontrarían problemas similares en los suelos. Es común a estas sabanas una estación seca por lo menos tres meses y una quema anual. Un examen más detallado de los suelos indica que las sabanas en Africa Occidental y Oriental presentan un buen contenido de bases, en tanto que las de Sur América por lo general son escasos en bases. Las variaciones en el trópico americano frecuentemente resultan en la presencia de bosques semidecíduos entre-mezclados con las sabanas, en regiones donde la roca parental presenta una composición básica y donde se encuentra una gran cantidad de bases en el suelo.

En el trópico americano por lo general se requiere suplementar calcio y fósforo a las praderas para el pastoreo de ganado, con el fin de evitar la ruptura de huesos, debido a que el calcio y fósforo son deficientes en estos suelos y, por consiguiente, en la vegetación de las praderas. Mientras que en el trópico americano evolucionaron pocos mamíferos grandes, en Africa y en las praderas templadas evolucionaron vastos hatos de mamíferos grandes. Esto sugiere que la deficiencia de calcio y fósforo del suelo en las sabanas del trópico americano imposibilitó la evolución de mamíferos grandes. Los proyectos de desarrollo agropecuario en estas sabanas tendrán que poner mayor

atención al suministro de bases, que proyectos similares en Africa.

Los bosques tropicales frecuentemente se consideran como áreas agropecuarias potencialmente viables. Los proponentes de lo anterior se apoyan en las condiciones de precipitación y temperatura o, más ingenuamente, en el volumen de biomasa presente. Los suelos de estas áreas varían en gran medida. La densidad del bosque húmedo tiende a presentar poca respuesta a las condiciones del suelo, aunque las variaciones en composición frecuentemente se relacionan con las variaciones del suelo. Dependiendo de la composición del material parental, las condiciones del suelo son muy similares a las que se encuentran en las áreas de bosques de la zona templada que no fue afectada por las glaciaciones. En las áreas donde los materiales parentales son acidógenos, los suelos son muy similares a los del sureste estadounidense y tienen los mismos problemas de baja retención de cationes, alta acidez y alto contenido de aluminio intercambiable. Las áreas donde los suelos se derivan de materiales parentales básicos, tienden a ser menos ácidos y frecuentemente neutros. En todas las áreas de bosque, el total de nutrientes disponibles está ligado a la biomasa y altamente restringido en un ciclo cerrado de nutrimentos. Son abundantes las planicies inundables recientes que reciben sedimentos fértiles, pero rara vez se encuentran lo suficientemente próximas para sostener algo más que una explotación de subsistencia.

La agricultura migratoria es muy común en muchas de estas áreas. Los agricultores utilizan la acumulación de nutrimentos de varios años de biomasa en especies resistentes no comerciales, para fertilizar cultivos agrícolas durante 1-3 años. El fuego, que se utiliza para limpiar el terreno, acelera la liberación de los nutrimentos que se encuentran orgánicamente ligados, lo cual proporciona a los agricultores lo necesario para la producción rápida del cultivo.

Las áreas desérticas y semi-áridas del trópico, donde la precipitación anual es baja, se encuentran en todas las altitudes y bajo una gran diversidad de condiciones de temperatura. Los suelos con frecuencia son relativamente fértiles, y la única necesidad apremiante es la del riego. En algunas de estas áreas pueden existir problemas de salinidad y alcalinidad. La población de estas áreas se encuentra dispersa, con excepción de los valles irrigados los cuales muchos sostienen una actividad agrícola intensiva y moderna.

Las áreas volcánicas recientes y zonas de ladera en las tierras altas tropicales, son localidades donde prevalece la agricultura intensiva de subsistencia. A pesar de que los procesos de formación del suelo y muchas de las propiedades del mismo varían en gran medida, prevalece un principio pedogénico común: los materiales del suelo no han estado sujetos a un proceso de meteorización intensiva. Por lo tanto, estos suelos suministran suficientes nutrimentos para el crecimiento de un cultivo. La erosión que en la mayoría de las áreas está en detrimento de los suelos, es frecuentemente el mecanismo que despoja de la superficie del suelo el material mineral más meteorizado y escaso en bases, y que expone el material menos meteorizado.

Se requiere tener un mayor conocimiento de las similitudes y diferencias entre los suelos de las áreas tropicales y templadas, para valorar sus propiedades y extrapolar las prácticas de manejo. El desarrollo del sistema de taxonomía de suelos (2, 13), similar a la más conocida taxonomía animal y

vegetal, ha contribuido mucho a esta tarea. Actualmente, los suelos se pueden agrupar y denominar con base en sus propiedades medibles, en lugar de las clasificaciones más viejas que se basan en diversas teorías de la génesis del suelo.

En este sistema, muchos suelos templados y tropicales similares se clasifican en las mismas clases a través del quinto nivel jerárquico (la familia del suelo), en el que los criterios de temperatura del suelo los separa. Algunas observaciones antiguas, tales como las de Marbut y Manifold en 1926 (17), quienes acertaron en el hecho de que los suelos predominantes en la Cuenca del Amazonas son similares a los del sureste estadounidense, actualmente se pueden comprobar cuantitativamente (18). La FAO también ha desarrollado un sistema abreviado (19) para la preparación del mapa mundial de suelos patrocinado por las Naciones Unidas. La nomenclatura es algo diferente para ajustar diversas preferencias nacionales, pero el efecto es similar. Actualmente, es posible tener un estimativo bastante preciso acerca de la extensión geográfica que ocupan los principales suelos del trópico, con base en mapas a escala pequeña (20, 21).

Suelos con Alto y Bajo Contenido de Bases

En el Trópico, la agricultura primero se desarrolló en áreas de suelos con alto contenido de bases. Estos suelos, que en la actualidad se denominan Alfisoles, Vertisoles, Mollisoles y ciertos Entisoles e Inceptisoles (13), cubren aproximadamente el 18 por ciento del trópico (16). Los centros de población del trópico se encuentran en las áreas que presentan estos suelos. El impacto de los programas de la Revolución Verde se limita en gran parte a las áreas de suelo con altos niveles de bases, y especialmente en las que disponen de riego. Estos suelos se desarrollaron a partir de sedimentos aluviales o cenizas volcánicas ricas en calcio, magnesio y potasio. Presentan problemas ligeros o nulos con la acidez, y en consecuencia, prácticamente no requieren inversión alguna en cal. Generalmente, el nitrógeno es el nutriente más limitante. Se presentan deficiencias de fósforo, desórdenes micronutricionales y problemas moderados de salinidad, pero todos se pueden corregir a bajo costo. En otras palabras, los suelos con alto contenido de bases son casi sinónimos de suelos de alta fertilidad natural y que a un costo relativamente bajo se les pueden suministrar nutrientes adicionales.

Un grupo de suelos más grande en el trópico, son los que presentan un bajo contenido de bases y están altamente lixiviados. Actualmente se clasifican como Oxisoles, Ultisoles, algunos Inceptisoles y Entisoles arenosos. Ocupan aproximadamente el 51 por ciento del trópico (16) en vastas extensiones del interior de Sur América y África Central, y extensiones más pequeñas en las regiones montañosas del sureste asiático. Por lo general, estos suelos presentan deficiencias de bases y frecuentemente presentan problemas de toxicidad de aluminio. Las deficiencias de fósforo frecuentemente son difíciles de corregir debido a que los fertilizantes fosforados reaccionan con los óxidos de hierro y aluminio y se fijan en formas ligeramente solubles. Los problemas micronutricionales y deficiencia de calcio, magnesio y azufre son comunes. La corrección de estos problemas nutricionales generalmente implica altas inversiones en fertilizantes y cal. En el aspecto positivo, muchos de estos suelos con bajos niveles de bases, y en particular los Oxisoles,

poseen excelentes propiedades físicas que facilitan su labranza y reducen los riesgos de la erosión. El hecho de que no se encuentran grandes centros de población en estas áreas, se puede relacionar con la infertilidad de estos suelos, como también con otros factores. En la región templada, en áreas tales como el sureste estadounidense y sureste chino, se encuentran suelos similares, principalmente Ultisoles, que sostienen poblaciones altas. Estos suelos fueron cultivados intensivamente después de corregir su baja fertilidad con estiércol, fertilizantes y cal.

Un tercer grupo principal está formado por suelos con alto contenido de bases denominados Aridisoles, que se encuentran en desiertos tropicales y ocupan aproximadamente el 14 por ciento del trópico. Los principales factores limitantes son la disponibilidad de riego y nitrógeno. Cuando disponen de riego apropiado, y en consecuencia libres de problemas de salinidad, estos suelos pueden ser altamente productivos.

Un cuarto grupo está compuesto por suelos poco profundos y arenas secas, que ocupan el 17 por ciento restante de la extensión superficial del trópico.

La discusión se limitará sólo a los dos primeros grupos; el tercero corresponde al dominio de los especialistas en riego, y el potencial del cuarto es muy restringido.

No es necesario recordar a los lectores las estadísticas desconsoladoras acerca de la escasez mundial de alimentos. Las exportaciones masivas de alimento de los países desarrollados hacia las regiones donde existe el hambre sólo se debe considerar como una medida a corto plazo. En el largo plazo, consideraciones políticas y prácticas dictaminan que los países en desarrollo deben alimentarse por sí mismos. Será factible que esto ocurra durante el resto de este siglo? Suponiendo ganancias significativas en el control de la natalidad, existen evidencias de que esto es agrónomicamente posible en ciertos países tropicales que presentan algunos suelos con altos niveles de bases, pero también vastas extensiones de suelos con bajos niveles de bases.

Se someterán a la discusión dos estrategias fundamentales diferentes para lograr esta meta: agricultura intensiva en suelos con altos niveles de bases y agricultura extensiva en suelos con bajos niveles de bases.

Producción Intensiva en Suelos con Altos

Niveles de Bases

Se ha comprobado la productividad de los suelos con altos niveles de bases; durante siglos han sostenido densas poblaciones humanas y animales grandes. La aplicación de un paquete tecnológico (nuevas variedades de trigo y arroz con altos rendimientos, fertilizantes nitrogenados, control químico de malezas y plagas y con frecuencia el riego) ha logrado inducir marcados aumentos en la producción, que se han sostenido (22).

La difusión de la Revolución Verde se encuentra limitada a las áreas de suelos con altos niveles de bases del trópico asiático y americano. Se pueden esperar aún más adelantes cuando se desarrollen variedades de altos rendimientos de otros cereales, leguminosas de grano, y especialmente tuberosas. Las adaptaciones de manejo de suelos para apoyar futuros mejoramientos varietales serán relativamente directas. El valor de los cultivos y de la tierra probablemente justificarán altas inversiones en fertilizantes, a pesar de los altos precios actuales.

Las investigaciones relacionadas con el uso más eficiente de los fertilizantes nitrogenados mediante la utilización de fuentes que liberen lentamente el nitrógeno o mediante el mejoramiento en la manipulación de las dosis, métodos y épocas de aplicación, tienen alta prioridad y se han logrado resultados importantes (23).

Una posibilidad interesante es la de mejorar los sistemas de cultivos asociados que los agricultores de subsistencia han practicado durante siglos. Muchos agrónomos estimaron estas prácticas como primitivas, hasta que las investigaciones realizadas por Bradfield y otros (24) atrajeron la atención mundial. Muchos edafólogos han cambiado su interés de suministrar nutrimentos a un solo cultivo, a sostener dos o más sistemas radiculares interactuantes y cosechar dos, o en algunos casos cuatro cultivos al año. Esto requerirá un mayor esfuerzo en investigaciones básicas y prácticas. Los primeros resultados de este esfuerzo indican que ciertos sistemas de cultivos asociados utilizan los fertilizantes en forma mucho más eficiente y económica que el monocultivo de las especies en una misma extensión de terreno (25).

Los aumentos en la producción de alimentos en los suelos con altos niveles de bases se verán restringidos por la extensión relativamente pequeña y la explotación intensiva actual. Es dudoso que la crisis mundial de alimentos se pueda resolver si el desarrollo se limita a estos suelos.

Producción Extensiva en Suelos en Bajos Niveles de Bases

Las apreciaciones hechas por Kellogg y Orvedal (26) indican que las vastas selvas y sabanas tropicales constituyen el bloque más grande de suelos potencialmente arables en el mundo. Qué se ha hecho con estos suelos? Los primeros esfuerzos investigativos, hechos por los gobiernos de las colonias europeas en el Africa, intentaron reemplazar el sistema aparentemente primitivo de agricultura migratoria, por la agricultura mecanizada intensiva, similar a la europea. Estos esfuerzos fracasaron debido a que no tenía un conocimiento adecuado tanto del medio físico como social que prevalecía. Los esfuerzos posteriores hechos en Zaire se concentraron en la nacionalización del patrón de desmonte de tierras, mediante la utilización de corredores para conservar la proporción años en cultivo/años en descanso, que es esencial para mantener el sistema de agricultura migratoria (27). En contraste, en el Estado de Sao Paulo, Brasil, se han desarrollado prácticas agrícolas modernas en suelos con bajos niveles de bases que no son sustancialmente diferentes a los suelos de Zaire. Las investigaciones realizadas en Sao Paulo (28) condujeron a la utilización de fertilizantes, cal e insumos energéticos similares a los utilizados en el sureste de Estados Unidos. Estos enfoques tan extremadamente diferentes merecen discusión. Los suelos de Zaire, Sao Paulo y sureste de los Estados Unidos con bajos niveles de bases, presentan limitaciones similares en lo que respecta a los altos contenidos de aluminio.

La transferencia directa de principios y prácticas estadounidenses y europeas a Zaire y Sao Paulo, fue posible a nivel de estaciones experimentales, donde la producción excedió a la de los Estados Unidos debido al clima cálido durante todo el año. En Zaire, los factores que evitaron su adopción fueron la falta de infraestructura de transporte, industria y comercialización, y las costumbres sociales arraigadas desde siglos atrás. En Sao Paulo, las condiciones del transporte, industria (incluyendo la producción de fertilizantes), mercados y población dispersa permitieron su adopción. En Sao Paulo, las altas inversiones que se hicieron en fertilizantes y cal trajeron beneficios considerables.

Con la actual escasez de energía y alto costo del petróleo y fertilizantes, es necesario hacer algunas modificaciones al método aplicado exitosamente en Sao Paulo. Las investigaciones agronómicas en el trópico gradualmente están dando forma a una estrategia que tiene como base la utilización de un mínimo de insumos.

La primera consideración es la conciencia que se tiene de que la agricultura migratoria es un sistema eficiente para el manejo de los suelos, si se tienen en cuenta los recursos que los agricultores tienen a su disposición en áreas de bosques dispersamente pobladas (29). Sin embargo, las presiones demográficas reducen la proporción años en cultivo/años en descenso hasta el punto en que el sistema degenera en un espiral descendente de fertilidad. La necesidad del cultivo continuo es imperiosa y requiere esfuerzos investigativos sistemáticos.

En las vastas sabanas de Sur América, donde el pastoreo extensivo por ganado de carne es virtualmente la única forma de actividad agropecuaria, la apertura de nuevas carreteras y mercados trae consigo el establecimiento de nuevos colonos. Por ejemplo, diez años después de la construcción de la carretera de 1.500 kilómetros entre Belém y Brasilia, se han asentado dos millones de personas a lo largo de esta. Sin embargo, dependen en gran parte del alimento que viene de otras áreas.

La segunda consideración es que en lugar de modificar el suelo para satisfacer las demandas de la planta, se debe hacer énfasis en la estrategia opuesta; es decir, adaptar las plantas a las condiciones de los suelos con bajos niveles de bases (30). Ciertas especies de cultivos y pastos son más tolerantes que otras a los altos niveles de aluminio intercambiable, bajos niveles de fósforo aprovechable y otros problemas edáficos. Algunos ejemplos de las especies más tolerantes son el arroz de secano, yuca, batata, caupí y diversas gramíneas y leguminosas de pastoreo (31, 32). También se tiene conocimiento de que existen diferencias significativas en tolerancia a estas limitaciones entre variedades de arroz, trigo, frijol, soya y pastos (30, 33). Las especies y variedades tolerantes probablemente evolucionaron en suelos con bajos niveles de bases, y por lo tanto son el resultado de la adaptación natural a estas condiciones. Estas diferencias se deben a genes específicos recientemente identificados (33). La tolerancia al aluminio intercambiable y a un bajo nivel de fósforo aprovechable en el suelo, pueden ser componentes básicos de los programas de mejoramiento a tener en cuenta. El trabajo conjunto de los fitomejoradores y edafólogos debe de producir materiales más tolerantes con otros caracteres deseables, tales como el alto potencial de

rendimiento y calidad del grano. Tal como lo indicó Jennings (22), es necesario dejar de seleccionar las futuras variedades bajo condiciones óptimas de suelo, agua y control de plagas.

Se tienen evidencias de que existe una fijación cuasi-simbiótica del nitrógeno entre las bacterias que sobreviven en los suelos ácidos y ciertas variedades y especies de gramíneas tropicales. Dobereiner y Day (34) indican que la selección de especies y variedades de dichas gramíneas, podría adicionar al suelo una cantidad significativa de nitrógeno, cuando se tenga un mejor conocimiento de las condiciones bajo las cuales sobreviven estos organismos.

La adaptación de cultivos a los suelos con bajos niveles de bases no se puede ver como un sustituto de la aplicación de fertilizantes. Sin embargo, reduciría significativamente las necesidades de fertilizantes y cal para lograr los rendimientos óptimos. El interrogante que se debe tener en cuenta: Qué es un óptimo rendimiento bajo estas condiciones? Los economistas y edafólogos indican que el óptimo rendimiento es el punto de la curva de respuesta al fertilizante en el que el ingreso marginal por un incremento en el rendimiento es igual al costo marginal de la última unidad de fertilizante aplicado. Este concepto debe ser otra víctima de la crisis energética.

En las áreas en consideración, la tierra es relativamente barata, mientras que el costo del fertilizante y su transporte de la fábrica hasta la finca es alto. Los rendimientos óptimos deben ser los que optimizan la utilización de los escasos recursos (fertilizantes y otros insumos energéticos). La mayor eficiencia de los fertilizantes se logra en el sector inicial de mayor pendiente de la curva de respuesta a los fertilizantes. Sin embargo, el análisis marginal recomienda las dosis de fertilizantes que se indican en el sector posterior relativamente plano de la curva. Cuando la curva de respuesta a los fertilizantes se representa por dos líneas rectas en el modelo de la respuesta lineal y de la meseta (35), la dosis recomendada es aquella en la que se logra el máximo rendimiento en el punto de mayor eficiencia del fertilizante. Las dosis recomendadas por el modelo de la respuesta lineal y de la meseta generalmente son menores a las recomendadas por el análisis marginal. Si se tiene en cuenta el efecto residual de muchos insumos (especialmente cal, fósforo y algunos micronutrientes) y la posibilidad de obtener dos o tres cosechas al año en muchas de estas áreas, la utilización de menores dosis de fertilizantes no necesariamente implica una disminución en la producción de alimentos. Lo anterior, junto con la utilización de especies y variedades adaptadas, representa un ajuste a las nuevas realidades económicas y, a largo plazo, un medio para conservar recursos no renovables tales como fósforo.

La tercera consideración es la de desarrollar métodos para aumentar la eficiencia del fertilizante y cal que se aplica. La eficiencia de la fertilización y enclavamiento en América tropical se ha mejorado sustancialmente a través de la utilización de métodos para evaluar la fertilidad del suelo, incluyendo ensayos de suelos, análisis de plantas, estudios de correlación e interpretación (36).

Muchos suelos con bajos niveles de bases tienen una capacidad extremadamente alta para "fijar" el fósforo en formas relativamente insolubles. Las cantidades de superfosfatos para lograr rendimientos adecuados, con frecuencia son antieconómicas, a menos que se disponga de créditos amplios para depreciar su costo a varios años como una inversión de capital (37). El Tennessee Valley Authority y sus colaboradores recientemente fijaron su atención en la aplicación directa de rocas fosfóricas insolubles en agua (23). Muchas rocas fosfóricas de alta reactividad son solubles en suelos ácidos, y son más baratas que los superfosfatos debido a que son materias primas de estos últimos.

En ciertos Oxisoles con bajos niveles de bases se aplican comercialmente silicatos (38). En estos suelos, el anión silicato reacciona en forma similar al anión fosfato, y en consecuencia, los silicatos también pueden ser fijados por los óxidos de hierro y aluminio. A pesar de que el sílice no está oficialmente aceptado como elemento esencial para los cultivos, se tiene conocimiento de que en cultivos como la caña de azúcar y arroz se presentan respuestas agronómicas favorables a las aplicaciones de sílice (38). También es posible otra combinación. Las rocas fosfóricas de baja reactividad se pueden fundir térmicamente con silicato de magnesio (relativamente barato) para obtener una fuente de fósforo más soluble, que además incluye sílico y otros elementos. En Europa y Estados Unidos se estudiaron estos productos durante las décadas de 1930-40 y 1940-50, pero se abandonaron cuando no pudieron competir económicamente con los superfosfatos. La vieja literatura volvió a tenerse en cuenta y los descubrimientos se han adaptado a los suelos tropicales. Las investigaciones sobre estas y otras fuentes fertilizantes, tales como productos que liberan nitrógeno lentamente, es una actividad emocionante en muchas estaciones experimentales del trópico.

El concepto de maximizar la eficiencia de los insumos energéticos en las áreas tropicales, no necesariamente se limita a los fertilizantes. Por ejemplo, las investigaciones acerca de los métodos de desmonte de las tierras en la selva del Amazonas, indican que el método tradicional de tumbar y quemar a mano produjo mayores rendimientos a un costo más bajo que el desmonte mecánico con bulldozers (39). Los principales factores que favorecen lo anterior son el alto costo de operación y mantenimiento de las máquinas en los bosques húmedos tropicales y el fertilizante gratis que se obtiene de las cenizas. Igualmente, en desmontes de menor magnitud, la transición del cultivo alternado al cultivo continuo se puede hacer gradualmente. El desmonte de varios cientos de hectáreas, aunque atractivo para los funcionarios del desarrollo de una región, crea estragos entre los agricultores cuando tienen que enfrentarse con los rebrotes vigorosos de la selva, atrasos en la llegada de fertilizantes y otros serios problemas de manejo en gran escala. Con mucha frecuencia estas áreas son eventualmente abandonadas.

Pronóstico para el Aumento de la Producción de Alimentos en el Trópico

Somos optimistas de que los suelos del trópico pueden contribuir sustancialmente a la producción mundial de alimentos cuando se caractericen adecuadamente, se tenga un buen conocimiento de ellos y se utilicen sistemas de manejo económicamente realistas. La mayoría de las mejoras en un futuro cercano se pueden esperar del aumento en los rendimientos de los suelos con altos niveles de bases, pero en el largo plazo, el asunto fundamental es la conquista de los suelos con bajos niveles de bases. Varios proyectos de investigación que se adelantan en diversas regiones del trópico sustentan estas afirmaciones. A diferencia de los problemas clásicos del fitomejoramiento, muchos problemas relacionados con los suelos son específicos para una región, y las recomendaciones tienen que ser compatibles con las prácticas a nivel local. Por lo tanto, se requieren más sitios para adelantar investigaciones prácticas de manejo de suelos. Esto se demostró en un seminario realizado en Colombia en el cual se trataron aspectos del manejo de los suelos (40), y en el cual un delegado proveniente de Nigeria recomendó la eliminación de la quema para el desmonte de los bosques tropicales, en tanto que los trabajos realizados en el Perú demostraron que de la quema se derivan beneficios incalculables. Esta discrepancia aparente se explicó a través del hecho de que en Nigeria las cenizas aumentaron el pH del suelo de 6 a 8, lo cual ocasionó deficiencias de hierro, en tanto que en el Perú, las cenizas aumentaron el pH de 5 a 4.5, lo cual le proporcionó al suelo las bases necesarias.

Las afirmaciones acerca de la efectividad de las prácticas de manejo de los suelos se deben evaluar cuidadosamente de acuerdo con las propiedades del suelo en particular. No se dispone de una fórmula única para los suelos tropicales.

RESUMEN

Es poco el conocimiento que se tiene acerca de las propiedades y potencial de los suelos del trópico. La vieja idea de que la lacerita se forma cuando los suelos tropicales se desmontan, es cierta sólo para una pequeña parte del área. En la gran mayoría de los rasgos, los suelos tropicales son similares o equivalentes a los suelos de las regiones templadas. Específicamente, los contenidos de materia orgánica del suelo, que comunmente se creían bajos en el trópico, son similares a los de los suelos de las regiones templadas. Por lo tanto, los conceptos básicos acerca del comportamiento físico y químico que se desarrolló en las regiones templadas que no fueron afectadas por las glaciaciones son directamente aplicables en trópico. Sin embargo, el desarrollo de prácticas de manejo del suelo para mantener la producción de alimentos, requiere el concurso de diferentes estrategias debido a las limitaciones medio ambientales y económicas. Se hace una distinción fundamental entre el desarrollo de suelos con alto contenido de bases y suelos con bajo contenido de bases. En los primeros, las prácticas de manejo de suelos se deben enfocar hacia la maximización del potencial de las variedades con altos rendimientos y el mejoramiento de los sistemas de cultivos asociados mediante la utilización de fertilizantes en forma relativamente intensiva. En los suelos con bajos niveles de bases de las vastas áreas de sabanas y selva, se deben optimizar los insumos energéticos mediante (i) la selección

de variedades y especies más tolerantes a las deficiencias o toxicidades nutricionales, (ii) la aplicación de fertilizantes en dosis más bajas de las recomendadas por el clásico análisis marginal y (iii) aumentar la eficiencia de los fertilizantes aplicados a estos suelos.

REFERENCIAS

1. Buol, S.W. 1973. N.C. Agricultural Experiment Station. Tech. Bull. 219, pp. 1-38.
2. Smith, G.D. 1965. *Pédologie* (special issue 4).
3. Prescott, J.A. and R.L. Pendleton. 1952. Commonwealth Bur. Soil Sci. Tech. Commun. 47.
4. McNeil, M. 1964. *Sci. Am.* 211 (No.5)
5. Buchanan, F. 1807. *A Journey from Madras through the Countries of Mysore, Camara and Malabar, etc. (1800-1801)* (East India Company, London).
6. Hardy, F. 1933. *Emp. J. Exp. Agric.* 1, 103.
7. Van Wambeke, A. Personal communication.
8. Feuer, R. 1956. Thesis, Cornell University
9. Segalen, P. 1970. In: *Pédologie et Development: Techniques Rurales en Afrique*, No. 10 (Secretariat d'Etat aux Affaires Extranteres, Paris).
10. Daniels, R.B. E.E. Gamble, J.G. Cady. 1970. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34, 648.
11. Marbut, C.F. 1930. In: *Proceedings of the Second International Congress on Soil Science (Leningrad)*, Vol. 5, p. 72
12. Carter, G.F. and R.L. Pendleton. 1956. *Geogr. Rev.* 46, 488.
13. Soil Survey Staff. 1973. *Soil Taxonomy* (Soil Conservation Service, Department of Agriculture, Washington, D.C.)
14. Wade, M.K. and P.A. Sanchez, unpublished data.
15. Greenland, D.J. and P.H. Nye. 1959. *J. Soil Sci.* 9, 284.
16. President's Science Advisory Committee, 1967. *The World Food Problem* (Government Printing Office, Washington, D.C.)
17. Marbut, C.F. and C.B. Manifold. 1926. *Geogr. Rev.* 16, 414
18. Sanchez, P.A. and S.W. Buol. 1974. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38, 117
19. Duda, R. 1968. FAO (Food Agric. Orgn. U.N.) *World Soil Resour. Rep.* 33
20. Soil Geography Unit. 1971. *Soil Map of the World. Distribution of Orders and Principal Suborders and Great Soil Groups* (Soil Conservation Service, Department of Agriculture, Washington, D.C.)

21. Aubert, G. and R. Tavernier. 1972. In: Soils of the Humid Tropics (National Academy of Sciences, Washington, D.C.)pp. 17-44
22. Jennings, P.R. 1974. Science 186, 1085.
23. Englestad, O.P. and D.A. Russell. Advan. Agron., in press.
24. Bradfield, R. 1970. In: Research for the World Food Crisis, D.G. Aldrich, Jr., Ed. (AAAS, Washington, D.C.)pp. 229-242.
25. Palada, M.C. and R.R. Harwood. 1972. "The relative return of corn-rice intercropping and monoculture to nitrogen applications" (mimeographed) (International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines).
26. Kellog, C.E. and A.C. Orvedal. 1969. Advan. Agron. 21, 109.
27. Jurion, F. and J. Henry. 1969. Can Primitive Farming Be Modernized? (Institut National pour l'Etude Agronomique du Congo, Brussels).
28. Mikklesen, D.S., L.M.M. De Freitas, A.C. McClung. 1963. IRI Res. Inst. Bull. 29.
29. Sánchez, P.A. 1973. N.C. Agric. Exp. Stn. Tech. Bull.219,pp. 46-67.
30. Spain, J.M., C.A. Francis, R.H. Howeler, E. Calvo. 1976. In: Soil Management in Tropical America. E. Bornemisza, Ed. (Consortium on Soils of the Tropics, North Carolina State Univ., Raleigh) pp. 308-330.
31. Andrew, C.S. and M.F. Robins. 1971. Aust. J. Agric. Res. 20, 665 (1969) *ibid*, 22, 693.
32. Salinas, J.G. and P.A. Sánchez. 1976. "Soil-Plant relationships affecting varietal and species differences in tolerance to low available soil phosphorus". Ciencia e Cultura 28: 156-168.
33. Foy, C.D. 1974. In: The Plant Root and its Environment, E. W. Carson, Ed. (University Press of Virginia, Charlottesville), pp. 601-642.
34. Dobereiner, J. and J.M. Day. 1974. Associate Symbiosis in Tropical Grasses: Characterization of Microorganisms and Nitrogen Fixing Sites (Instituto de Pesquisas e Experimentacao Agropecuarias do Centro-Sul, Rio de Janeiro, Brazil).
35. Waugh, D.L., R.B. Cate, Jr., L.A. Nelson. 1973. Technical Bulletin No. 7 (International Soil Fertility Evaluation and Improvement Program, North Carolina State Univer., Raleigh).
36. Fitts, J.W. 1972. Acad. Scient. Scripta Varia 38 (No. 1), 5. Also see annual reports, International Soil Fertility Evaluation and Improvement Program. North Carolina State Univ., Raleigh, 1966-1973

37. Fox, R.L., S.M. hassan, R.C. Jones. 1971. Proc. Int. Symp. Soil Fertil. Eval. (New Delhi) 1, 857.
38. Plucknett, D.L. 1972. Univ. Queensl. Pap. Dep. Agri. 1 (No. 6), 203.
39. "Research on tropical soils". 1973. In: annual report for 1973; Soil Science Department, North Carolina State University, Raleigh.
40. Seminar on Soil Management and the Development Process in Tropical America, held at Centro International de Agricultura Tropical. 1974 Cali, Colombia, 10 to 14 February.