

064145

HACIA LA SOSTENIBILIDAD DE LOS SUELOS EN LOS LLANOS ORIENTALES DE COLOMBIA

E. Amézquita¹ 96757



RESUMEN

El gran desafío actual de la humanidad es el de asegurar su propia supervivencia, mediante un uso racional y productivo de los Recursos Naturales. Es claro que donde quiera que el hombre ha intervenido los recursos naturales, ha causado su deterioro. Esto es especialmente cierto, en el caso de la intervención de suelos en la faja tropical. Este hecho es de especial importancia para los investigadores en ciencias agrícolas, en quienes recae la misión de dotar permanentemente a la humanidad de alimentos de buena calidad y en la cantidad adecuada para que todos los seres humanos puedan alcanzar sus requerimientos nutritivos diarios. Para los investigadores en la ciencia del suelo, este desafío se traduce en la necesidad que tienen, de desarrollar tecnologías que además de ser altamente productivas, conduzcan a mejorar los suelos y a su sostenibilidad, ya que solo es posible desarrollar agricultura sostenible sobre suelos sostenibles. El desarrollo de suelos sostenibles aunque parezca una utopía, se debe llevar a una realidad. Se puede desarrollar un suelo sostenible mediante la utilización de prácticas que conduzcan a su mejoramiento físico, químico y biológico y a la conservación de estas nuevas características. El concepto de la sostenibilidad agrícola deja así, de ser inmaterial para convertirse en algo material, cuando se tiene el conocimiento de tecnologías que aplicadas en el sitio y en el momento oportuno pueden evitar la degradación de los suelos. Esto crea la necesidad de que los investigadores en el área edafológica desarrollen parámetros y niveles críticos que puedan ser usados como indicadores de mejoramiento o de degradación, en función del tiempo de uso del suelo. El uso de estos conceptos aplicados al mejoramiento experimental de algunos suelos de los Llanos Orientales de Colombia es tratado en el presente artículo. Son bien conocidas las limitaciones que para la producción agropecuaria tienen los suelos de los Llanos. Sin embargo, el conocimiento del comportamiento de sus características fundamentales y de las más cambiantes con las acciones de uso y de manejo y de sus niveles críticos puede conducir a tomar decisiones tales como continuar con el mismo uso y manejo o cambiarlos de acuerdo a su nuevo comportamiento. Se presentan datos sobre cómo evolucionan algunas características físicas de los suelos en función de tiempo de uso y de cómo es posible controlarlas mediante la aplicación de prácticas que conduzcan a la formación de una capa arable productiva y sostenible, si se quiere asegurar el bienestar alimentario y económico de generaciones futuras.

Palabras claves: Sostenibilidad, Suelo sostenible, Capa arable, Recurso natural, Indicadores, Niveles críticos

TOWARD CREATING SUSTAINABLE SOILS IN THE EASTERN PLAINS OF COLOMBIA

ABSTRACT

The biggest challenge faced by mankind today is to ensure its own survival by a rational and productive use of natural resources. Wherever mankind has intervened, natural resources have deteriorated. For soil scientists, this challenge is translated into the Utopian goal of developing sustainable soils. That is, soil scientists must keep in mind that sustainable agriculture is possible only on sustainable soils, and that highly productive technologies must be designed and developed specifically to improve soils and their sustainability.

A sustainable soil can be developed through agricultural practices if these are directed at improving that soil's physical, chemical, and biological characteristics and at conserving the newly acquired improvements. Thus, agricultural sustainability, no longer hypothetical, can be a tangible reality if it is based on wise technologies that, applied at the right time and in the proper place, will prevent soil degradation. The application of these concepts, at the experimental level, to certain soils of the Colombian Eastern Plains is discussed in the paper. These soils are already known to present particular constraints to agriculture. To decide whether to keep current practices and management or substitute them, in accordance with a given soil's performance, the decision-maker must first understand that soil's basic characteristics, including critical levels, then understand how the most variable of those characteristics change with use and management.

The article presents data on how some physical characteristics of soil evolve over time during the use of a certain practice and how these can be controlled by adopting appropriate agronomic practices. The goal of such practices is to promote the formation of a productive and sustainable arable layer, which, in its turn, will ensure the food supply and economic development of future generations.

Key words: Arable layer, critical level, indicators, natural resources, sustainability, sustainable soil

¹ I.A., Ph.D Físico de Suelos, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), A.A. 6713, Cali, Colombia

1. INTRODUCCION

Uno de los grandes problemas que aquejan a la humanidad es la destrucción acelerada de los recursos naturales. Dentro de los recursos naturales el suelo es quizás el que ha sufrido el mayor daño por intervención humana, aunque él es el que suministra los requerimientos diarios de nutrición para la misma humanidad.

La degradación o desgaste de los suelos es la causa fundamental por la cual no es posible llegar a programar una agricultura sostenible. La sostenibilidad del suelo debe preceder a cualquier forma de desarrollo económico sostenible. El hombre puede vivir sin industria pero no subsistir sin suelo. Los sistemas actuales de manejo de los suelos para agricultura, han demostrado ser degradativos, por ello, es necesario desarrollar sistemas de manejo de suelos que dentro de un sistema económicamente productivo contribuyan a desarrollar suelos sostenibles.

La sostenibilidad de la agricultura y todas las actividades sociales y económicas que en un país o región estén relacionadas con el agro, dependen fundamentalmente del manejo adecuado, racional y productivo que se dé a las tierras agrícolas, ganaderas y forestales sobre las cuales se realizan estas actividades (Amézquita y Escobar, 1996).

En países como el nuestro, donde el aumento de la población ha sido progresivo, la demanda por la producción de alimentos cada vez es mayor, esto ha creado la necesidad de extender más la frontera agrícola, muchas veces sin tomar las más mínimas precauciones de conservación del recurso suelo. Esto ha ocasionado que este haya ido perdiendo en forma acelerada parte de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, lo cual a través del tiempo se ha reflejado en la disminución de su capacidad productiva.

El proceso degradativo es continuo y muchas veces pasa desapercibido al agricultor, pero en determinado momento manifiesta sus efectos negativos en los cultivos, causando preocupación en técnicos y productores. Por ello, en estudios tendientes a evitar la degradación, es necesario determinar que propiedades de suelos son los más sensibles a cambios negativos y cuales son fáciles de medir para tomar las medidas de manejo de suelos y de cultivos que eviten el deterioro del recurso.

Siendo la degradación el proceso de deterioro de la capacidad productiva del suelo, en ella están involucradas muchas de sus características y propiedades físicas, químicas y biológicas que son difíciles de separar una de otra, porque actúan simultáneamente obedeciendo a las interrelaciones e interdependencias que existe entre ellas.

La degradación de suelos en Colombia se ve reflejada en los diferentes grados de erosión que afectan nuestros suelos y que actualmente alcanzan niveles exageradamente altos en algunas zonas (BsT, BMsT, BhT.) con marcadas tendencias a seguir en aumento. Es necesario entonces que urgentemente se tomen medidas correctivas para controlar este fenómeno, en caso contrario, pasaremos de ser un país productor a un país importador con todas las repercusiones económicas y sociales negativas que ello implica. La tabla 1 presenta en forma resumida las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo más estrechamente relacionadas con los cambios del suelo por efecto del uso, así como los procesos constructivos y/o degradativos que ellas afectan.

Tabla 1. Propiedades edafológicas más cambiantes con la intensidad y tiempo de uso

	Propiedades	Procesos
Físicas	<ul style="list-style-type: none"> -Densidad aparente -Porosidad -Distribución de tamaño de poros -Continuidad de poros -Retención de agua -Capacidad de almacenamiento de agua -Infiltración -Conductividad hidráulica -Aireación -Laborabilidad -Penetrabilidad -Erodabilidad -Agua aprovechable 	<ul style="list-style-type: none"> -Secamiento -Humedecimiento -Desarrollo de raíces -Absorción de agua -Movimiento y redistribución de agua -Cambios en el volumen del suelo -Compactación -Erosión -Encostramiento y sellamiento superficial
Químicas	<ul style="list-style-type: none"> -pH -Concentración de aluminio -Materia orgánica -Almacenamiento de nutrientes -Balance de nutrientes -CIC 	<ul style="list-style-type: none"> -Acidificación -Salinización -Lixiviación -Absorción de nutrientes -Termodinámica de nutrientes -Enriquecimiento
Biológicas	<ul style="list-style-type: none"> -Pérdida de M. orgánica -Masa microbial -Cambios en especies 	<ul style="list-style-type: none"> -Actividad microbial -Descomposición de M.O. -Reciclaje de nutrientes -Efecto mulch

A nivel mundial la degradación de los recursos suelo y agua y la contaminación ambiental, se perciben como los mayores problemas para el uso de las tierras en el trópico (Lal, 1994). Vastas áreas de tierra han sido degradadas, algunas en forma irreversible, por un amplio rango de procesos degradativos: erosión acelerada, desertificación, compactación, endurecimiento de los suelos, acidificación, disminución en el contenido de materia orgánica y en la biodiversidad y caída de la fertilidad del suelo. Se estima que en el trópico se han degradado 915 millones de hectáreas por erosión hídrica, 474 millones de hectáreas por erosión eólica, 50 millones por degradación física y 213 millones por degradación química (Amézquita y Escobar, 1996).

La principal causa asociada con la degradación de tierras en Latinoamérica es la deforestación. Para 1985, la velocidad de deforestación anual del trópico húmedo en América Latina era de 2.5-2.8 millones de hectáreas por año (Melillo, et al 1985), en la Amazonia de 1.2 millones de hectáreas por año, y estaba asociada con agricultura de subsistencia y establecimiento de pastos y ganadería (Hecht, 1982). Últimamente ha disminuido gracias a la falta de los incentivos que en décadas pasadas tenían quienes deforestaban (Fujisaka, et al, 1996).

El principal desafío que actualmente demanda la atención de los especialistas en suelos a nivel mundial y tropical y de otros especialistas en ciencias biológicas, es el de cómo asegurar la sostenibilidad agropecuaria en áreas que son intervenidas por el hombre, debido a la incapacidad de éste para mantener el equilibrio entre las resistencias del suelo y las fuerzas degradativas actuantes una vez se tala el bosque. Bajo condiciones naturales tanto la vegetación como las características del suelo se mantenían en equilibrio dinámico con las condiciones climáticas, intervenido el bosque, se pierde ese equilibrio y los suelos quedan sujetos a degradación.

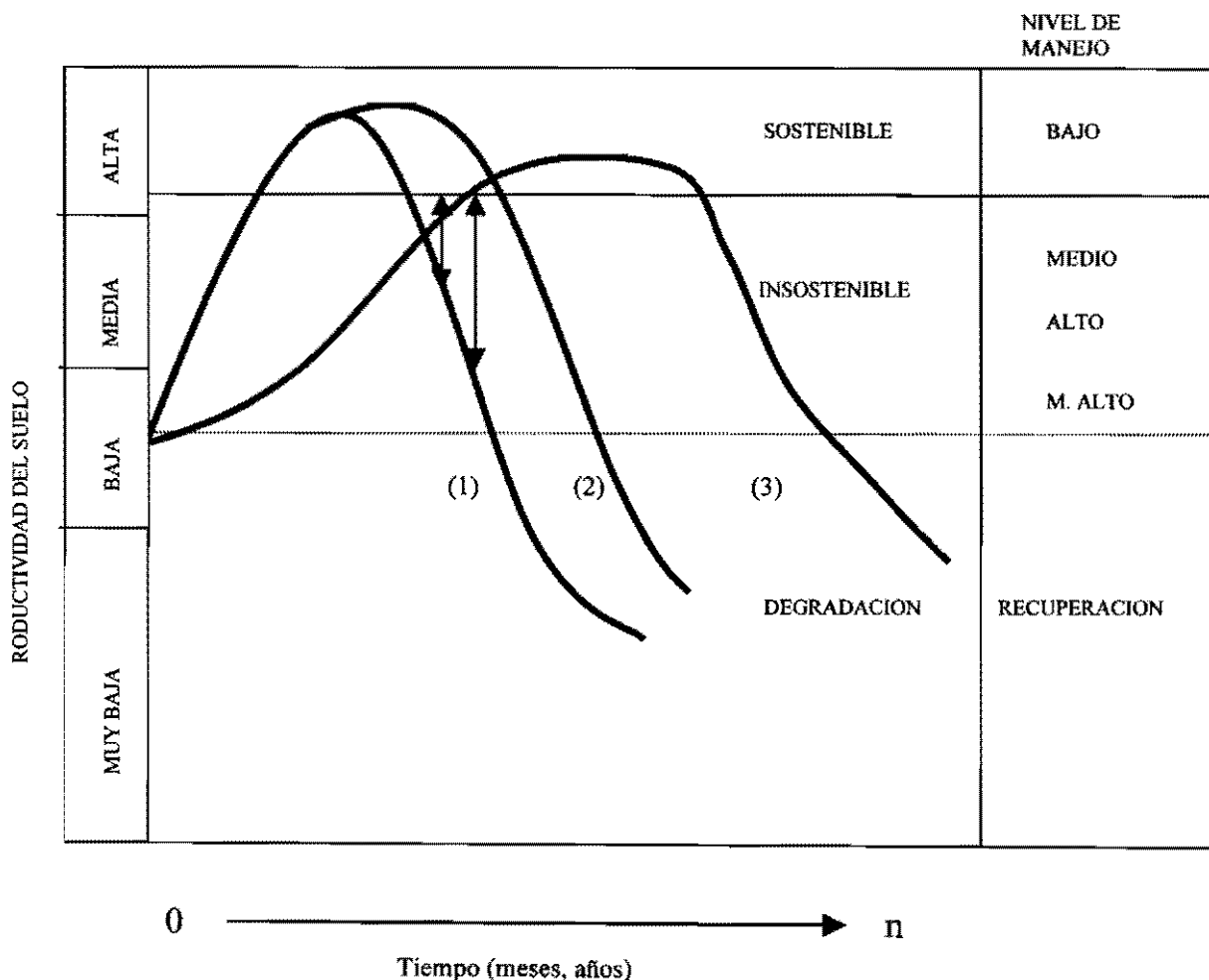
2. DEGRADACION Y PROCESOS DEGRADATIVOS

La degradación es la reducción o pérdida de una o más características productivas de suelo causadas por intervención humana (Amézquita, 1994). Riquier (1982), la define como el proceso reductor de la capacidad de producción actual o potencial del suelo. Para la FAO (1983) es el proceso complejo que ocasiona la caída de la capacidad productiva del suelo. Lal y Stewart (1990) distinguen tres tipos de degradación del suelo: física, química y biológica y afirman que ella es inducida por factores y procesos tales como: uso inapropiado de la tierra, deforestación y simplificación de ecosistemas.

Con el fin de ilustrar los conceptos de productividad, sostenibilidad, mejoramiento e insostenibilidad agropecuaria (Amézquita y Escobar, 1996), elaboraron la Fig 1, la cual se explica a continuación: la productividad natural del suelo es usualmente baja, pero es susceptible de mejorarse por labranza, aplicación de enmiendas y fertilizantes hasta alcanzar un tope máximo de producción, el cual generalmente no puede mantenerse (sostenerse) a través del tiempo (abcisas) por producirse cambios negativos en las propiedades del suelo (degradación) que conducen a insostenibilidad.

Los suelos difieren enormemente en su susceptibilidad a mejoramiento o degradación. En algunos suelos como en el caso del (1), es posible subir rápidamente los niveles de productividad, pero también aceleradamente disminuye su capacidad productiva; en otros, como en el (2) la sostenibilidad dura por más tiempo, pero posteriormente se llega a insostenibilidad; en otros, como en el suelo (3) se alcanza el mejoramiento a través del tiempo, permaneciendo esa sostenibilidad por largo tiempo si se maneja adecuadamente el suelo.

Figura 1. Relaciones entre productividad, sostenibilidad y nivel de manejo de suelos



La clave de "manejo adecuado" en los tres casos hipotéticos, radica en la comprensión y detección de las propiedades más sensibles a las acciones de uso y en el desarrollo de prácticas para controlarlas. La condición (1) representa el comportamiento de los suelos de las regiones Naturales Amazonia y Orinoquia, la condición (2) el de los valles Interandinos y la (3) el de las sabanas altas de la región Andina.

Para cada nivel de productividad y de insostenibilidad hay un nivel de manejo de suelos (parte derecha de la gráfica). Entre mayor sea la capacidad productiva del suelo por mejoramiento, el nivel de manejo es menor, pero a medida que se tiende hacia insostenibilidad el costo y los requerimientos de manejo son mayores y muchísimo mayores si es necesario rehabilitarlos o recuperarlos.

La tabla 2, presenta los principales procesos degradativos de las tierras en el Trópico, junto con las propiedades que más afectan los procesos, las cuales sugiere Lal (1994) que se usen como indicadores. Sin embargo, el principal factor de degradación de los suelos en las regiones tropicales húmedas, es la deforestación, la cual causa la erosión de la biodiversidad vegetal y animal y la erosión de los suelos. El IGAC (1993), hace una buena revisión de los procesos degradativos que ocurren en parte de la Amazonia Colombiana.

Tabla 2. Procesos degradativos de suelos y características asociadas.

Procesos degradativos						
Erosión Acelerada	Compactación del suelo	Anaerobiosis	Fertilización deficiencia	Acidificación	Salinización y sodificación	Degradación Biológica
-Profundidad del horizonte superficial	-Densidad aparente	-Encharcamiento	-Reserva de nutrientes	-pH	-Color	-Contenido de M.O.
-Pedregosidad	-Resistencia a la penetración	-Permeabilidad	-Síntomas de deficiencia	-Al intercambiable	-Conductividad eléctrica	-Biodiversidad
-Color	-Porosidad	-Drenaje	-Niveles de toxicidad	-Acidificación	-Estructura	-Estructura
-Textura	-Infiltración	-Hidromorfismo		-Plantas tolerantes	-SAR	
-Agua aprovechable	-Inundación superficial	-Difusión de gases			-Permeabilidad	
-Contenido de M.O.					-Halomorfismo	

3. EL CONCEPTO DE ELASTICIDAD (RESILIENCIA) DEL SUELO.

Este concepto aunque es vagamente definido, pero aceptado como atributo del suelo, se refiere a la capacidad que tiene el suelo de resistir los estreses o de recuperar su condición inicial una vez ha sido intervenido por el hombre (Szabolcs, 1994; Lal, 1993). En ingeniería el término "resiliencia" es el límite de elasticidad de un cuerpo. El límite al que puede llegar sin destruirse. La elasticidad del suelo involucra conceptos tan importantes como la capacidad "buffer" del suelo para resistir y soportar impactos físicos, químicos y biológicos. El concepto también incluye la capacidad del suelo de renovabilidad y está relacionado con sostenibilidad al uso.

Szabolcs (1994) describe la elasticidad del suelo mediante la siguiente ecuación.

$$SR = BC_{ph} + BC_{ch} + BC_b + \int \frac{dPSF}{dt} + \int \frac{dAF}{dt}$$

En la cual:

- SR* = Elasticidad del suelo (soil resilience)
- BC_{ph}* = Capacidad física de recibir impacto
- BC_{ch}* = Capacidad química de recibir impacto
- BC_b* = Capacidad biológica de recibir impacto
- PSF* = Flujos pedológicos del suelo en función de tiempo
- AF* = Flujos antropológicos del suelo en función de tiempo.

4. PRINCIPALES PROBLEMAS DE ORDEN FISICO QUE RESTRINGEN LA PRODUCCION AGROPECUARIA EN EL TROPICO.

Los principales problemas de orden físico asociados con labranza que restringen o causan disminución en los rendimientos de los cultivos en los suelos tropicales son los siguientes:

- Decaimiento de la fertilidad
- Impedimento mecánico a la penetración de raíces
- Estrés de agua (déficit)
- Estrés de aireación (exceso de agua)
- Escorrentía y erosión

4.1. Decaimiento de la fertilidad del suelo.

El fraccionamiento de terrones y de agregados del suelo a microagregados por efecto acumulativo de la labranza, expone la materia orgánica del suelo a una descomposición más acelerada, disminuyendo para el futuro la posibilidad de que ella aporte nutrientes a los próximos cultivos. La caída de la fertilidad del suelo está íntimamente asociada con la caída en los contenidos de materia orgánica (Tisdall y Oades, 1982; Chaney y Swift, 1984; Feller et al 1996). A nivel tropical el TSBF y SWNN desarrollan un programa conjunto denominado: Combating Nutrient Depletion.

4.2. Impedimento mecánico

El impedimento mecánico a la penetración de raíces se refiere a la incapacidad que presenta una raíz cuando su presión de turgor no es capaz de vencer la resistencia que opone el suelo a su deformación (Taylor, 1980). La máxima presión axial (longitudinal) ejercida por un buen número de cultivos varía para varios investigadores (Stolzy y Barley, 1968; Eavis *et al.*, 1969; Taylor y Ratliff, 1969), entre 9-15 bares (0.9-1.5 MPa). Russell y Goss (1974) demostraron que la aplicación de una presión de 0.2 bares a un sistema de camas de vidrio, redujo la tasa de elongación de las raíces de cebada en un 50% y si se aplicaban 0.5 bares en un 80%. El tamaño de los poros afecta el desarrollo de las raíces. Si el diámetro del poro es mayor al de la cofia, la raíz penetra, si es menor y el suelo no es deformable y la raíz no puede penetrar (Taylor y Gardner, 1960; Aubertin y Kardos, 1965).

El impedimento mecánico debido a la compactación y a la presencia de capas endurecidas (adensadas), es la principal causa de disminución de los rendimientos y de insostenibilidad en suelos tropicales, debido a los efectos negativos que causan en el crecimiento de las raíces. El impedimento mecánico se corrige mediante la utilización adecuada y oportuna de implementos de labranza que produzcan aflojamiento del suelo y disminución de la densidad aparente fundamentalmente subsoladores y cinceles (Castro y Amézquita, 1991; Arking y Taylor, 1981).

Varios implementos y metodologías se han ideado para evaluar el estado de impedancia mecánica del suelo, entre ellos están: los penetrómetros, los aparatos para medir la resistencia tangencial al corte, aparatos para toma de muestras de densidad aparente y aparatos para la realización de pruebas de aplicación de presión bajo presiones confinadas y no confinadas en laboratorio. Cualquier metodología que se use para diagnóstico o predicción debe correlacionarse con el crecimiento actual de las raíces y con los rendimientos de los cultivos que se van a producir para poder disponer de niveles críticos (Amézquita, 1998).

La figura 2, muestra los cambios sucedidos en resistencia a la ruptura como respuesta a diferentes tipos de uso del suelo. Claramente ellos muestran que los tratamientos que han recibido más labranza (arroz y maíz) presentan menores valores que los de sabana o que aquellos tratamientos sembrados con pastos y utilizados para pastoreo. El grado de limitación para desarrollo de raíces fue interpretado como bajo para los cultivos de arroz y maíz y medio a alto para pastos. La penetrabilidad (fig. 3.) presentó un comportamiento similar. Los menores valores correspondieron a cultivos y los mayores a sabana y pastos.

4.3. Estrés de agua

El estrés de agua de las plantas resulta de la interacción entre el estado de humedad de agua en el suelo, la demanda evaporativa y los factores fisiológicos. Dentro del concepto del sistema suelo-planta-atmósfera-continuum el suelo debe considerarse como un reservorio que suministra agua al sistema (Reichardt, 1985). Por lo tanto, cualquier déficit que ocurra en el reservorio afecta negativamente el comportamiento del sistema. El agua útil o agua aprovechable, aquella que teóricamente se calcula como la diferencia entre capacidad de campo y punto de marchitez temporal, se mueve dentro del sistema suelo-planta-atmósfera obedeciendo a gradientes de potencial hídrico. Desde sitios donde el potencial es alto (más húmedo) a sitios donde el potencial es más bajo (más seco). Desde el suelo hacia la atmósfera a través del proceso de transpiración. Desde el suelo donde la humedad relativa es cercana al 100%, hacia la atmósfera donde la humedad relativa al mediodía puede variar entre 50% y 30%, valores que producen potenciales hídricos en el aire entre 8- y 150 MPa y que se convierten en la bomba que succiona el agua del suelo a través de las plantas (Amézquita, 1981). Para las condiciones de sabana en la fig. 4, se muestran los valores de capacidad de campo, punto de marchitez y agua aprovechable determinados bajo condiciones de campo en Matazul.

Para que un suelo cumpla con su función de reservorio de agua es necesario que se cumplan tres condiciones: (a) que buena parte del agua lluvia penetre al suelo, (b) que el suelo tenga buena capacidad de almacenamiento de agua en la zona de crecimiento de raíces y (c) que el suelo posea suficiente capacidad de conducción de agua cuando la demanda evaporativa sea alta. Estas condiciones son afectadas directamente por la labranza (Amézquita, 1981; Amézquita et al, 1997; Orozco, 1991).

La aceptación (aceptancia) de aguas lluvias depende de la presencia de agregados superficiales estables (que no se rompan cuando reciban el impacto de las gotas de agua lluvia) y de la rugosidad superficial del terreno. Ambas características propician el ingreso del agua al suelo mediante el proceso de la infiltración y son afectados negativamente, por la destrucción de la estructura superficial del terreno por exceso de labranza, la cual conduce a sellamiento y encostramiento superficial, fenómenos que impiden o disminuyen drásticamente el ingreso del agua al suelo, haciendo que la escorrentía supere ampliamente a la infiltración, originando suelos secos. Los datos de la tabla 3, muestran la cantidad de agua que pasa por diferentes profundidades de suelo bajo condiciones de arroz y pastos. Claramente se observa que bajo pastos pasa mayor cantidad de agua (480 mL) que bajo cultivo. Estos resultados demuestran la importancia que tienen los pastos en la construcción y estabilización de la estructura de los suelos del Llano y llevan a la conclusión de que solo a través de sistemas agropastoriles es posible manejar bien estos suelos.

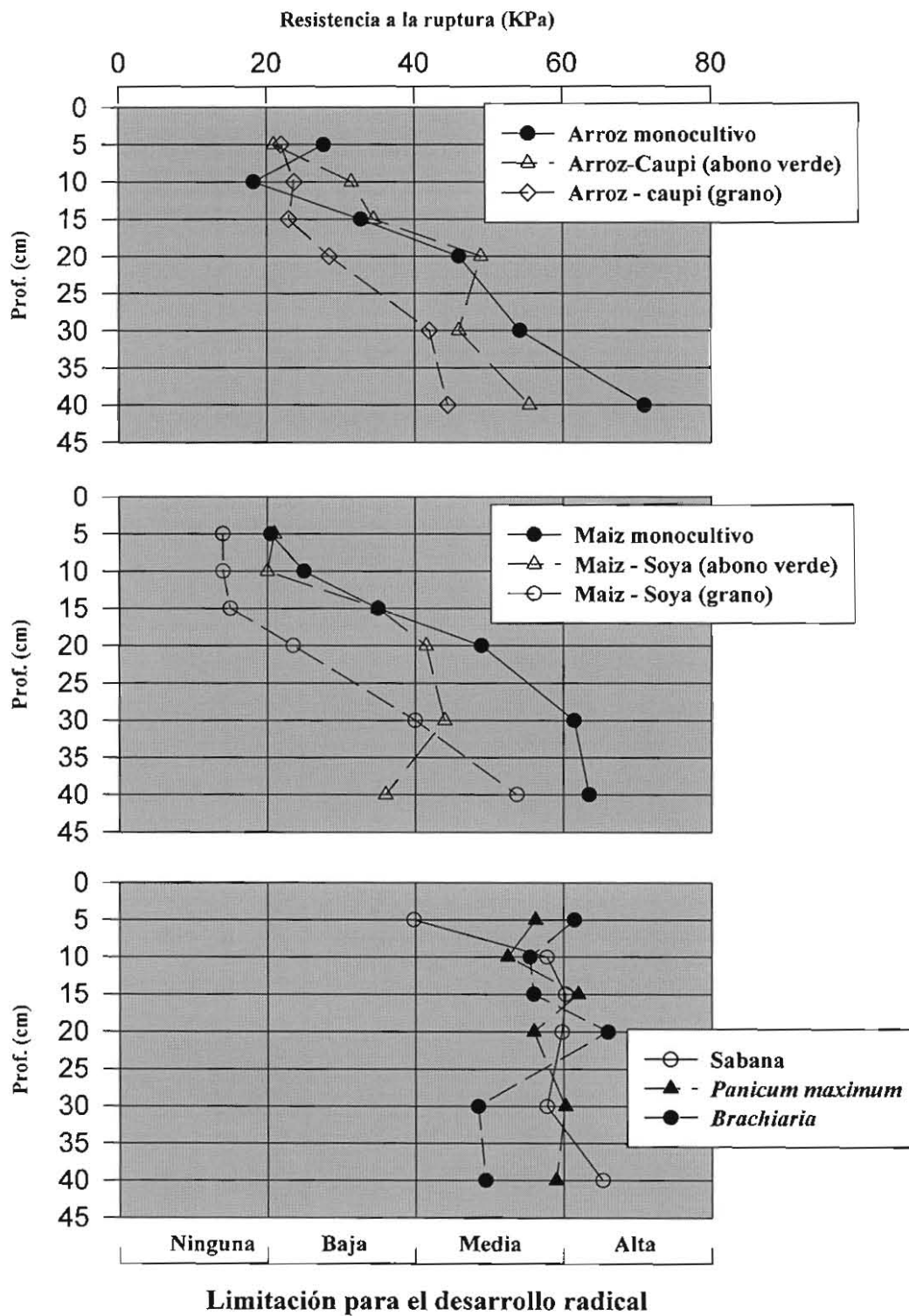


Fig. 2. Resistencia a la ruptura a diferentes profundidades en diez tratamientos del Culticore Carimagua, Colombia

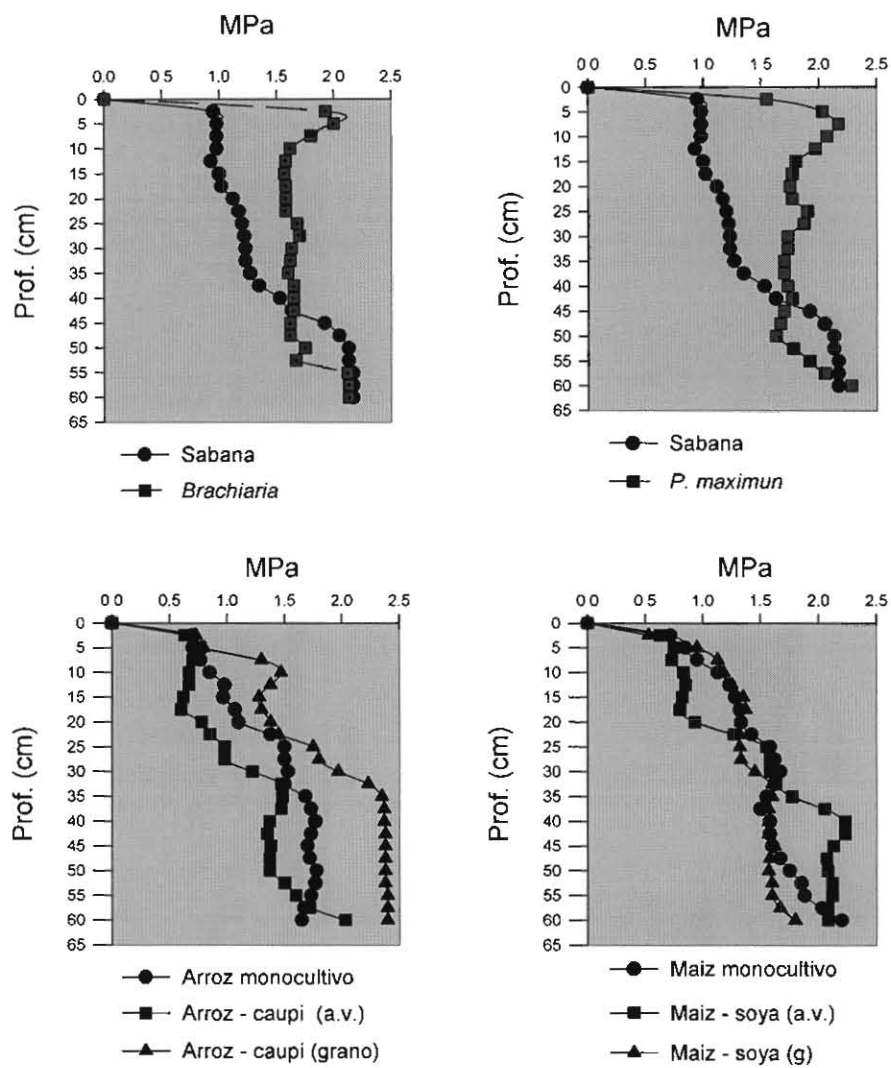


Fig. 3. Efecto de varios usos del suelo en la penetrabilidad en el Ensayo Culticore, Carimagua

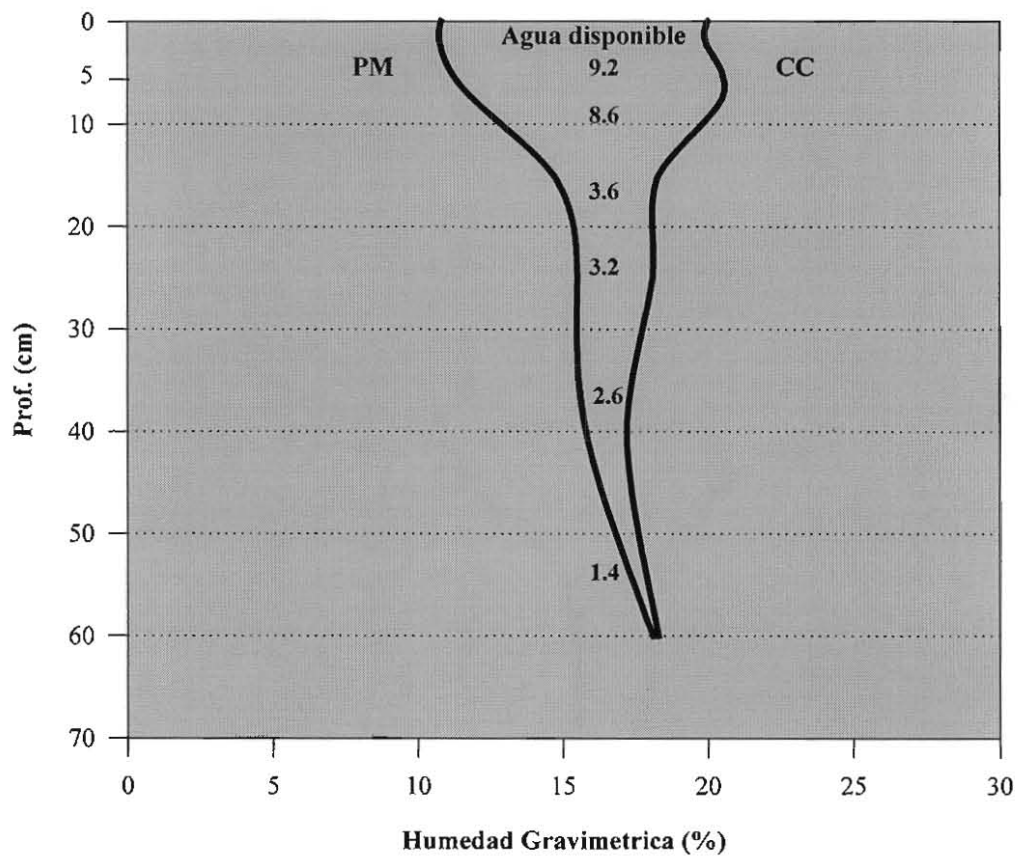


Fig. 4. Aproximación a capacidad de campo (CC) y punto de marchitez (PM) bajo condiciones de campo en un suelo de sabana Franco Arcilloso-Arenoso

Table 3. Agua gravitacional colectada (mL) a diferentes profundidades y sistemas de manejo (Matazul)

Prof. (cm)	Cantidad de agua colectada (mL)				
	Sabana nativa	Arroz		Pastos	
		8 Pases rastra	16 Pases rastra	16 Pases rastra	32 Pases rastra
3	3	0	100	480	490
5	2	0	136	480	490
10	4	1	0	480	447
15	490	2	0	440	132
20	1	0	0	40	78
30	0	3	0	0	460

El almacenamiento del agua en el suelo, también depende de la labranza que se dé al suelo en profundidad. Entre más profunda sea la preparación del suelo, mayor es su capacidad de almacenamiento de agua. Un suelo preparado a 10 cm de profundidad con rastra, dispondrá solo de la porosidad disponible en esos 10 cm para almacenar agua. Un suelo preparado a 25 cm tendrá igualmente la porosidad disponible a 25 cm de profundidad para almacenamiento de agua. Por lo tanto, la capacidad de almacenamiento de agua por el suelo puede ser manejada con la labranza (Reichardt, 1985; Amézquita, 1998).

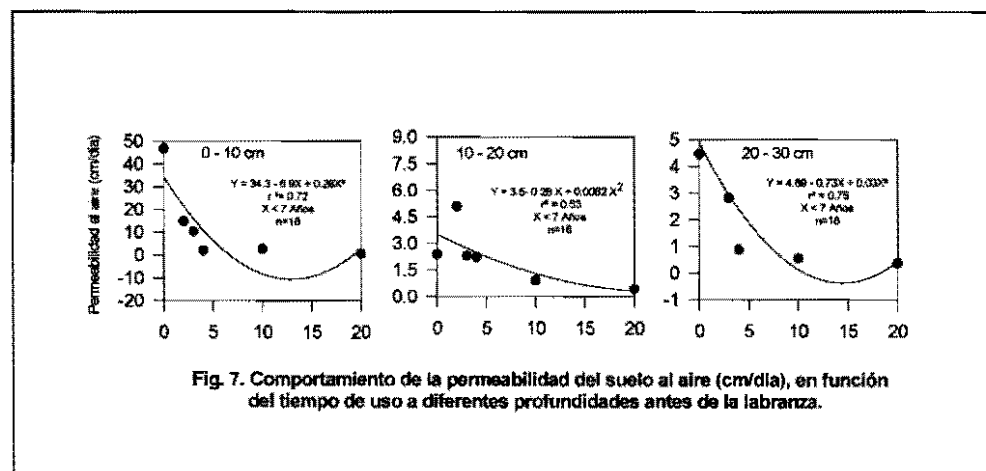
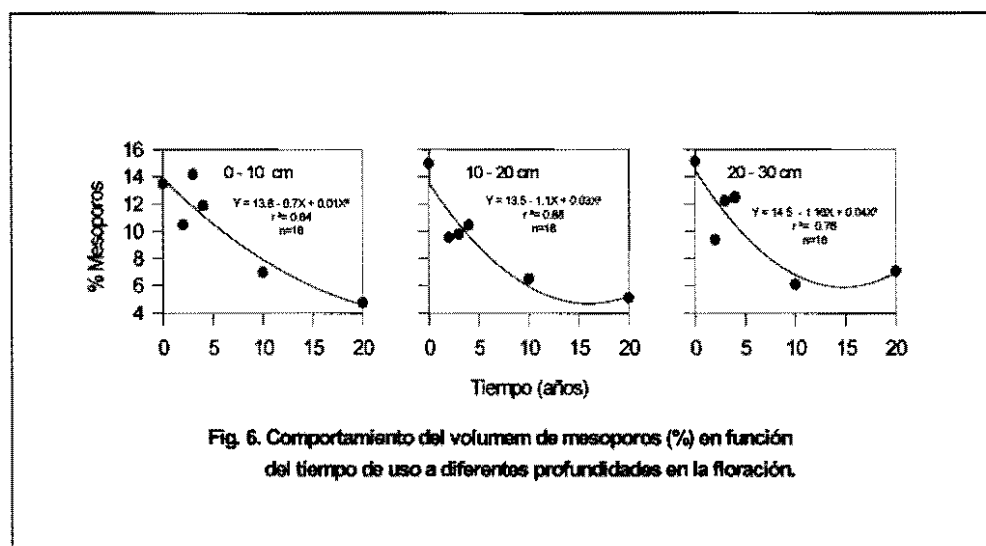
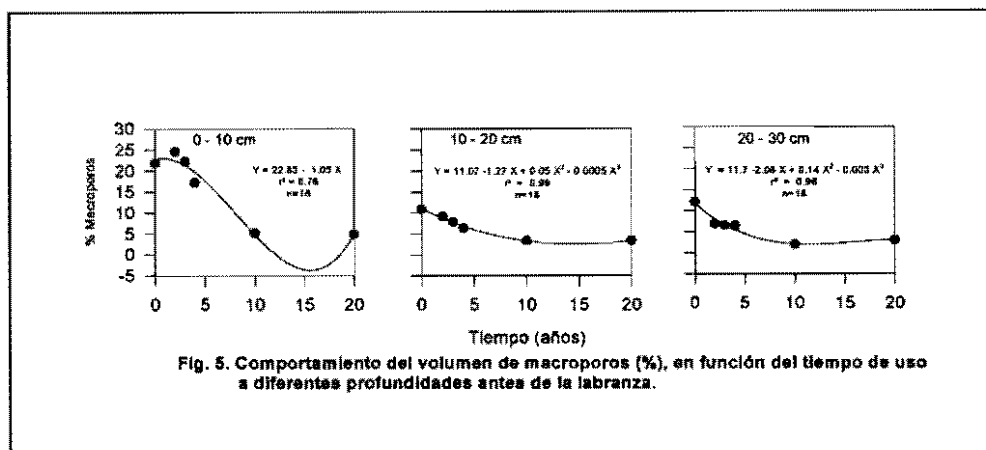
El déficit de agua en un suelo, se manifiesta cuando ésta se convierte en factor limitante para la evapotranspiración. Cuando la demanda atmosférica está exigiendo que la evapotranspiración sea alta. Dos fenómenos se asocian con el déficit de agua en el suelo: (a) cuando su capacidad de almacenamiento se ha visto disminuida por agotamiento y (b) cuando la velocidad de movimiento del agua en el suelo, es mucho más baja que la velocidad de movimiento que exige el sistema evapotranspirativo. Bajo ambas condiciones el agua se convierte en factor limitante, por ello, es necesario que las acciones de labranza corrijan estas situaciones donde quiera que ellas ocurran al aumentar la capacidad de almacenamiento de agua y la conductividad hidráulica no saturada del suelo (Amézquita, 1994). La influencia del tiempo de uso en la disminución de macro y mesoporos (Preciado, 1997) en suelos de Casanare, se muestra en la fig. 5 y 6. Siendo que el agua se mueve por macroporos (agua gravitacional) y por mesoporos (agua capilar) cualquier disminución en el contenido de ellos afecta el almacenamiento de agua en el suelo y la condición hídrica de las planta.

4.4. Déficit de aire

El déficit de aire en el suelo se manifiesta donde quiera que en un lote se produzca inundación. También, cuando los valores de aireación a capacidad de campo sean inferiores a 10% en la profundidad de desarrollo de las raíces. Bajo condiciones de baja aireación o de inundación, las raíces de los cultivos de secano no pueden absorber ni agua ni nutrientes, por lo tanto hay una disminución drástica de los rendimientos.

Condiciones de baja aireación, pueden crearse por uso excesivo de la maquinaria agrícola, el cual puede conducir a una disminución gradual de macroporos, cuya presencia es indispensable para el movimiento del aire en el suelo. La figura 7, muestra las tendencias de disminución de la permeabilidad del suelo al aire a medida que se incrementa el tiempo de uso en arroz en suelos de Casanare. (Preciado, 1997).

El uso apropiado de la maquinaria agrícola en suelos con problemas de drenaje restringido, puede conducir al mejoramiento temporal o permanente de esta condición, si se aplican las técnicas razonables que conduzcan a mejorar la evacuación de aguas sobrantes y a promocionar la aireación.



4.5. Escorrentía y erosión

Grandes problemas de escorrentía y de erosión se producen en el trópico por el uso inadecuado de la maquinaria agrícola en las labores de preparación de suelos (Amézquita y Londoño, 1997). No es realmente el impacto de la gota lo que causa la erosión, es el aflojamiento del suelo por labranza lo que hace susceptible a la acción del impacto. De esta manera el hombre propicia la erosión. La mayor cantidad de erosión que actualmente se produce es propiciada por el aflojamiento del suelo al inicio de la temporada lluviosa. Suelos recién preparados, por presentar terrones y agregados prácticamente sueltos, son muy susceptibles a dejarse desmoronar por el impacto de las gotas y a dejarse acarrear por las aguas de escorrentía.

Suelos que no son tocados por implementos de labranza presentan alta resistencia a la erosión, aunque propician la escorrentía. Es necesario por lo tanto buscar una condición de equilibrio entre infiltración y escorrentía en suelos susceptibles a erosión, la cual se puede lograr con el uso apropiado de implementos de labranza.

El origen de los llamados sistemas conservacionistas, en los cuales el uso de residuos superficiales y la poca manipulación del suelo son condiciones necesarias, es una respuesta del hombre a la lucha contra la erosión y a la pérdida de agua en forma de escorrentía

5. CONDICIONES FISICAS DE LOS SUELOS DE LA ALTILLANURA EN RELACION CON LABRANZA.

El principal problema a enfrentar en los suelos de la Altillanura de los Llanos (Typic haplustox isohyperthermic, kaolinitic) para su utilización en agricultura y en la producción de pastos, es su susceptibilidad a degradación. Se entiende como degradación a la pérdida de algunas cualidades físicas, químicas y biológicas del suelo por inadecuada intervención humana, los cuales se convierten en factores negativos de producción y en el futuro afectarán la sostenibilidad agrícola.

Las principales propiedades físicas de los suelos que son afectadas por sistemas inapropiadas de labranza (intervención humana) son aquellas que tienen que ver con el comportamiento volumétrico del suelo, tales como porosidad total y distribución de tamaño de poros, propiedades íntimamente ligadas a la estructura del suelo. Por lo tanto, cualquier cambio en la distribución de tamaño de agregados, en la estabilidad estructural como consecuencia de la labranza, afecta la infiltración, la capacidad de almacenaje de agua por el suelo, la penetración y crecimiento de las raíces, por afectar la distribución de tamaño de los poros. El sellamiento superficial producto del desmoronamiento de los agregados y del desprendimiento y salpicadura de partículas (Le Bissonnais, 1996), es otro gran problema en los Llanos que está asociado con labranza.

Los principales problemas de orden físico que el autor ha observado y evaluado en el campo en suelos de los Llanos, son los siguientes (Amézquita, 1998):

- Sellamiento superficial
- Encostramiento superficial
- Alta densidad aparente
- Adensamiento y endurecimiento del suelo en la época seca
- Compactación
- Baja velocidad de infiltración
- Baja estabilidad estructural
- Pobre distribución de tamaño de poroso
- Pobre continuidad en el espacio poroso
- Poco espesor del horizonte "A"

- Alta susceptibilidad a erosión (suelos recién preparados)
- Alta producción de escorrentía

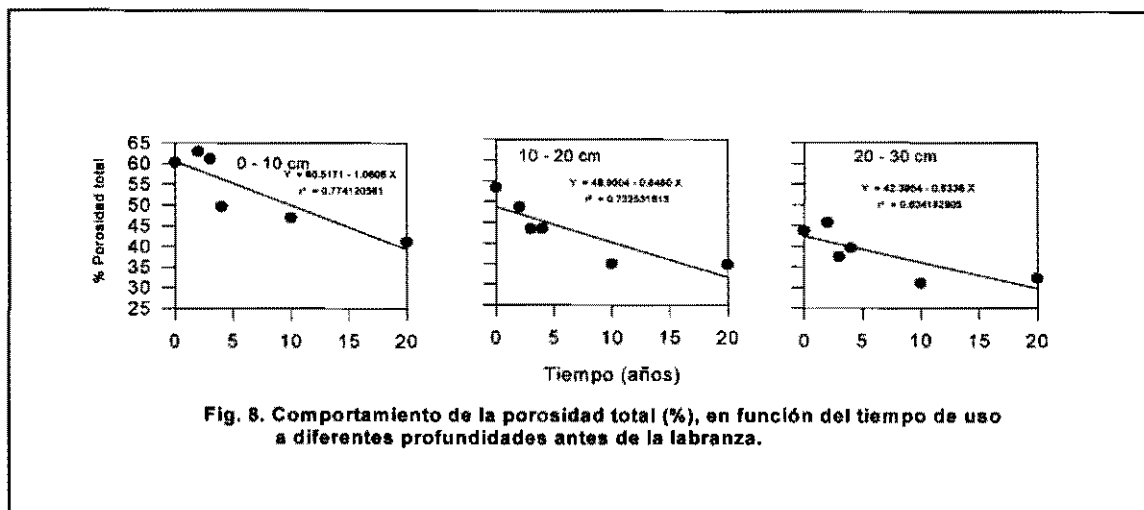
Ante esta situación y para el desarrollo de sistemas de labranza que tiendan a la sostenibilidad se requiere: (a) entender los procesos de degradación que actualmente se presentan en función de tiempo de uso, tipo de suelo y sistemas de manejo; (b) determinar las propiedades (físicas, químicas y biológicas) del suelo que son más afectadas por las prácticas de manejo y determinar sus valores críticos para diferentes cultivos; (c) desarrollar metodologías de campo y laboratorio que permitan evaluar en una forma realista las condiciones que limitan el buen desarrollo de los cultivos; y (d) desarrollar prácticas de manejo de suelos que conduzcan a su sostenibilidad para anular los procesos degradativos.

6. EFECTO DEL TIEMPO DE USO EN ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS DE SUELOS DEL LLANO.

El uso permanente e intensivo de implementos agrícolas en los suelos causa deterioros en su estructura (Mulla *et al.*, 1992; Quirk y Murray, 1991) y ésto puede afectar negativamente los rendimientos.

A manera de ejemplo cabe citar, que los productores de arroz de secano en Casanare abandonan sus lotes después de cinco a ocho años de uso continuo, porque después de este tiempo los rendimientos, a causa de procesos degradativos, disminuyen notablemente (Preciado, 1997). En estos suelos la labranza se hace casi que exclusivamente con rastras de diferentes tamaños.

La Figura 8, muestra los datos obtenidos por Preciado, 1997). En ellos se observan los cambios que se han producido en la porosidad total y en la distribución del tamaño de los poros por efecto del tiempo de uso. Cuando el suelo no se había cultivado la porosidad total en los primeros 10 cm era de 60%, después de 20 años de uso se había reducido a 38%, una disminución del 22% que manifiesta que el suelo se ha adensado. Entre 10 y 20 cm los valores pasaron de 47% a 33% y entre 20 y 30 cm de 43% a 32% observándose que hasta la profundidad de muestreo el suelo había reducido fuertemente su volumen.



Analizando la distribución de tamaño de poros, se observa que los macroporos pasaron de 20% a aproximadamente 3% en la primera profundidad, de 10% a 2% en la segunda y de 10% a 1.5% en la tercera (fig. 5). Menores cambios se observaron en meso (fig. 6) y microporos. El hecho de que el volumen de macroporos haya disminuido es un indicativo de degradación de suelos por efecto del uso y

del manejo y puede ser la causa del abandono de los lotes, porque ya el agua no puede penetrar y los suelos pierden su capacidad de aireación y de permitir el desarrollo de las raíces.

La disminución en el volumen de macroporos, por efecto de un uso no apropiado a las condiciones del suelo, disminuye todos los flujos que tienen que ver con agua y aire en el suelo, afectando negativamente la conductividad hidráulica, la infiltración y la permeabilidad del aire. También se afectan otras propiedades como resistencia tangencial al corte y penetrabilidad, las cuales aumentan sus valores.

7. HACIA LA CREACIÓN DE UNA CAPA ARABLE PARA OBTENER SUELOS SOSTENIBLES EN EL LLANO (Amézquita, 1998).

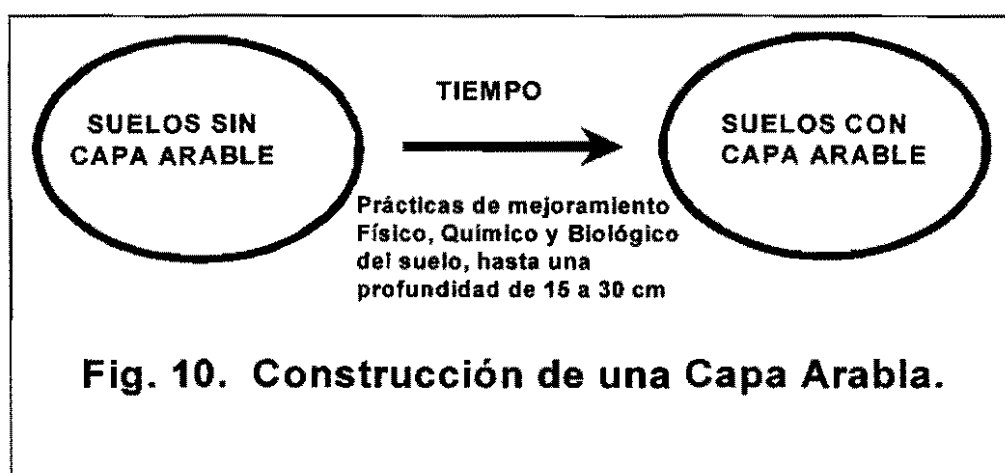
La actual condición física de los suelos del Llano, especialmente la de Altillanura, muestra que las labores de preparación de suelos deberá enfocarse hacia la creación de una "capa arable". Se entiende en el contexto de este artículo como *capa arable* a aquella capa superficial de suelo planificada y obtenida por el hombre con el fin de obtener un suelo que no presente limitantes físicas, químicas ni biológicas para el desarrollo normal de las raíces de los cultivos y que sea estable a través del tiempo. La profundidad de ésta puede variar entre 0-15 cm para pastos, 0-25 cm para cereales y leguminosas y 0-40 cm para cultivos permanentes.

Si en el Llano no se maneja el concepto de desarrollo de una capa arable los suelos se seguirán degradando y se harán cada vez más improductivos. La Figura 9 presenta los conceptos involucrados en el desarrollo o creación de esa capa arable. Mediante la combinación de una labranza que tienda a corregir los limitantes físicos del suelo, de un buen uso y manejo de enmiendas y de fertilizantes que corrijan la condición química hasta la profundidad deseada y del uso de prácticas de manejo de abonos orgánicos, abonos verdes y residuos vegetales que propicien la formación de bioestructura es posible formar una capa arable y sobre ella una agricultura sostenible.

En un suelo que presenta diferentes limitantes, que han sido corregidos, ya se pueden hacer labranzas de tipo conservacionista, para mantener la condición de alta productividad alcanzada. Si en los suelos de los Llanos no se hacen las correcciones que requieren, cualquier sistema de labranza conservacionista que se use, será un fracaso porque ellos actualmente no poseen las condiciones requeridas para un buen crecimiento de las raíces de los cultivos que se establezcan. Si se presentan fracasos en la respuesta a la utilización de sistemas de labranza conservacionista en suelos que no han sido corregidos, se corre el riesgo de que la práctica, sea rechazada por los productores por ineficiente cuando en el futuro sería la única que conduciría el suelo a sostenibilidad.

El concepto de transformación de suelos sin capa arable a suelos con capa arable, se esquematiza en la Figura 10. En ella se muestra cómo a través del tiempo, es posible ir haciendo correcciones al suelo mediante prácticas de mejoramiento físico, químico y biológico para conseguir un suelo superficial (sin limitaciones). Dentro de los conceptos de mejoramiento del suelo deben considerarse todas aquellas prácticas que conduzcan a aumentar el contenido de materia lignificada (formadora de estructura) dentro y sobre la superficie del suelo, aprovechando que ya se han seleccionado materiales genéticos capaces de crecer en las condiciones adversas de acidez que presentan los suelos del Llano. Como sistemas de producción útiles para la obtención de capas arables, cabe mencionar el uso de abonos verdes, para llevar la fertilidad del suelo; el uso de programas de rotación de cultivos y el uso obligatorio de sistemas agropastoriles para utilizar los beneficios que los pastos brindan a los suelos como formadores o propiciadores de bioestructura.

Para el caso de los Llanos se definirán a continuación los objetivos que deben perseguirse desde los puntos físico, químico y biológico para desarrollar suelos sostenibles.



Mejoramiento físico: se debe mejorar la condición de alta densidad aparente y de alta resistencia a la penetración de los suelos mediante el uso de implementos de labranza vertical (cinceles y subsolado superficial hasta 35 o 40 cm) que permitan el rompimiento del suelo en profundidad. Los cinceles ideales para este propósito son los rígidos que son capaces de romper suelos que ofrecen alta resistencia al fraccionamiento. Quien usa cinceles debe considerar que suelos muy adensados o compactados se deben empezar a trabajar primero superficialmente y luego sí a mayor profundidad hasta lograr la profundidad requerida. Si ésto no se hace se rompe el tractor o el implemento. Una vez que se ha aflojado el suelo, es necesario "fijar" o "mantener" ese aflojamiento mediante la siembra de pastos o de cultivos de buen sistema radical o mediante la adición de tamos fragmentados, que mantengan la condición lograda con la labranza. Labranzas verticales "fijadas" por un período de tres a cinco años arrojarán un suelo diferente, sobre el cual se pueden realizar sistemas de labranza conservacionista.

Mejoramiento químico: el mejoramiento químico debe incluir el uso de enmiendas hasta la profundidad a la cual se laboree el suelo y no sólo hasta 10 cm como actualmente se hace, en la cantidad que lo determine el análisis del suelo y con los correctivos que sean necesarios.

Se debe también adicionar al suelo los nutrientes necesarios para obtener buenos rendimientos, ya que ésto garantiza la formación de una buena cantidad de biomasa externa e interna (raíces) que a la vez actuará como correctivo del suelo.

Mejoramiento biológico: para el mejoramiento biológico del suelo se sugiere: (a) elevar el contenido de materia orgánica, mediante la promoción de raíces y la incorporación de residuos; (b) incrementan la estabilidad de los agregados mediante la incorporación de materiales orgánicos lignificados y fragmentados (2-3 cm); (c) propiciar el incremento del reciclaje superficial de nutrientes a través del uso del mulch; y (d) propiciar el uso de plantas de raíces profundas para mejorar la condición estructural del suelo en profundidad. Rao *et al.* (1996) ha estudiado la distribución de raíces de pasto en suelos de la Altillanura.

Actualmente se llevan a cabo ensayos de campo encaminados a la formación de "capas arables" o de "perfil cultural". La Tabla 4 muestra algunos de los resultados que hasta ahora se han obtenido. En ella se muestran los cambios de porosidad total obtenidos cuando se pretende conseguir una capa arable por medios biológicos (leguminosa, pasto y pasto-leguminosa) y físicos (cincel 1, cincel 2, cincel 3 - los números representan la cantidad de pases paralelos que se dan).

Tabla 4. Cambios en la porosidad total (%) como respuesta a los diferentes tratamientos y usos del suelo

Profundidad (cm)	Testigo Sabana	Tratamiento Biológico			Tratamiento Químico y Físico		
		Legum.	Pasto	Pasto + Leg	Q1	Q2	Q3
0-10	34.0	37.8	44.8	41.7	44.4	46.3	48.6
10-20	34.0	37.0	39.0	42.1	37.1	42.5	40.5
20-30	29.6	35.0	32.3	30.8	33.5	34.2	35.0
30-40	28.8	34.6	29.5	28.0	31.4	36.8	31.8

Las siguientes observaciones merecen destacarse: (a) bajo sabana nativa la porosidad total es baja, no apta para producción agrícola; (b) el uso de agentes biológicos ha mejorado la condición de porosidad total hasta 30 cm de profundidad, pero especialmente lo ha hecho la combinación pasto-leguminosa, y (c) el mejoramiento físico con cincel ha mejorado la porosidad total hasta llevarla a valores muy buenos para producción agrícola. Ese mejoramiento ha sido función del número de pases y es mejor cuando se hacen tres pases.

El uso de los conceptos presentados satisfacen las recomendaciones de Spoor (1975) y de Soane y Pidgeon (1974) en el sentido de que la labranza no debería definirse en términos, de los implementos usados, sino más bien por los cambios en las condiciones físicas del suelo, que ellos producen. Glinski y Lipiec (1990) han hecho una buena recopilación de la influencia de las propiedades físicas de los cultivos.

8. BIBLIOGRAFIA

- Amézquita, E. (1981). A study of the water regime of a soil during approach to field capacity and permanent wilting point. Ph.D. Theses. University of Reading, U.K. 244 p.
- Amézquita, E. (1994). Las propiedades físicas y el manejo productivo de los suelos. **In:** F. Silva (ed.). Fertilidad de Suelos: Diagnóstico y Control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Colombia. pp.137-154.
- Amézquita, E. y Escobar, C.J. (1996). Degradación de tierras en regiones húmedas. Congreso Latinoamericano de Ciencia del Suelo. Solo Suelo-96. S.P., Brasil, Agosto 4-8 de 1996.
- Amézquita, E., J.I. Sanz, R.J. Thomas, R.R. Vera, P. Hoyos, D.L. Molina y L.F. Chávez (1997). Características estructurales de los suelos de los Llanos Orientales de Colombia sometidos a varios sistemas de manejo. *Revista Suelos Ecuatoriales* Vol.27:151-156.
- Amézquita, E. y H. Londoño (1997). La infiltración del agua en algunos suelos de los Llanos Orientales y sus implicaciones en su uso y manejo. *Revista Suelos Ecuatoriales* Vol.27:163-168.
- Amézquita, E. 1998. Propiedades físicas de los suelos de los Llanos Orientales y sus requerimientos de labranza. Trabajo presentado en el taller sobre "Encuentro nacional de labranza" Villavicencio, 28-30 de abril de 1998.
- Arkin, G.F. y H.M. Taylor (1981). Modifying the root environment to reduce crop stress. ASAE Monograph No.4.
- Aubertin, G.M. y L.T. Kardos (1965). Root growth through porous media under controlled conditions. I. Effect of pore size rigidity. *Soil Sci.Soc.Am.Proc.* 29:290-293.
- Castro, H. y E. Amézquita (1991). Sistemas de labranza y producción de cultivos en suelos con limitantes físicos. *Revista Suelos Ecuatoriales* Vol.21(1):21-28.
- Chaney, K. y Swift, R.S. (1984). The influence of organic matter on aggregate stability in some British soils. *J. Soil Sci.* 35:223-230.
- Eavis, B.W., L.F. Ratliff y H.M. Taylor (1969). Use of a dead-load technique to determine axial root growth pressure. *Agron.J.* 61:640-643.
- FAO. 1983. Guidelines for the control of soil degradation. UNFSF and FAO. Rome.
- Feller, C., Albrecht, A. y Tessier, D. (1996). Aggregation and organic matter storage in kaolinitic and smectitic tropical soils. In, Structure and organic matter storage in agricultural soils. Carter, M. y Stewart, B. eds. Advances in soil Sci. CRC Lewis publishers. New York, pp 309-359.

- Fujisaka, S., W. Bell, N. Thomas, L. Hurtado y E. Crawford. (forthcoming). Slash-and-burn Agriculture, conversion to pasture and deforestation in two Brazilian Amazon Colonies. Agriculture, Ecosystems and Environment. Elsevier Science Publisher. B.V. Amsterdam.
- Glinski, J. y J. Lipiec (1990). Soil physical conditions and plant roots. CRC Press Inc. 249 p.
- Hecht, S.B. (1982). Agroforestry in the Amazon Basin: practice, theory and limits of a promising land use. pp. 331-371. In: S.B. HECHT (ed), Amazonia: Agriculture and Land Use Research. CIAT, Cali, Colombia.
- Lal, R., and B.A. Stewart. (1990). Soil degradation. Adv. in Soil Sci. vol II. Springer - Verlag, New York INC. United States of America.
- Lal, R. (1993). Tillage effects on soil degradation, soil resilience, soil quality and sustainability. *Soil & Tillage Research*, 27 (1993) 1-8.
- Lal, R. (1994). Methods and guidelines for assessing sustainable use of soil and water resources in the tropics. USDA-The Ohio State University. SMSS Technical Monograph No.21.
- Le Bissonnais, Y. (1996). Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science* 47:425-437.
- Melillo, J.M., C.A. Palm, R.A. Houghton, G.W. Woodwell y N. Myers. (1985). A comparison of two recent estimates of disturbance in tropical forest. *Environmental Conservation*. 12 : 37-40.
- Mulla, D.J., L.M. Huyck y J.P. Reganold (1992). Temporal variation in aggregate stability on conventional and alternative farms. *Soil Science Society of America Journal* 56:1620-1624.
- Orozco, O.L. (1991). Caracterización física y dinámica del agua bajo tres sistemas de labranza en un Andisol de la antigua serie Tibaitatá. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, Tesis de Maestría. 122 p.
- Preciado, L.G. (1997). Influencia del tiempo de uso del suelo en las propiedades físicas, en la productividad y sostenibilidad del cultivo de arroz en Casanare. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira.
- Quirk, J.P. y R.S. Murray (1991). Towards a model for soil structural behaviour. *Australian Journal of Soil Research* 29:829-867.
- Rao, I.M., V. Borrero, J. Ricaurte, R. García y M.A. Ayarza (1996). Adaptive attributes of tropical forage species to acid soils. II. Differences in shoot and root growth responses to varying phosphorus supply and soil type. *Journal of Plant Nutrition* 19(2):323-352.
- Reichardt, K. (1985). Procesos de transferencia no sistema solo-planta-atmósfera. Publicação Especial do Centro de Energia Nuclear na Agricultura USP-CNEN e Fundação Cargill. 3a. edição. Brasil. 285 p.
- Riquier, J. 1982. A world assessment of soil degradation. *Nature and resources*, 18 (2): 18-21.
- Russell, R.S. y M.J. Goss (1974). Physical aspects of soil fertility-the response of roots to mechanical impedance. *Neth.J.Agric.Sci.* 22:305-318.
- Soane, B.D. y J.D. Pidgeon (1974). Tillage requirement in relation to soil physical properties. *Soil Science* 119 (5):376-384.

- Spoor, G. (1975). Fundamental aspects of cultivation. **In:** Soil physical conditions and crop production. Min.Agricultural, Food Fish., H.M.S.O. London. *Technical Bulletin* 29: 128-145
- Stolzy, L.H. y K.P. Barley (1968). Mechanical resistance encountered by roots entering compact soils. *Soil Sci.* 105: 297-301.
- Szabolcs, I. (1994). The concept of soil resilience. In, Soil resilience and sustainable land use. D.I. Greenland y I. Szabolcs. CAB International, Wattingford. U.K.
- Taylor, H.M. (1980). Mechanical impedance to root growth. **In:** Soil Related Constraints to Food Production in the Tropics. IRRI, Los Baños, Laguna, Philippines. pp.389-404.
- Taylor, H.M y H.R. Gardner (1960). Use of wax substrates in root penetration studies. *Soil Sci.Soc.Am.Proc.* 24:79-81.
- Taylor, H.M. y L.F. Ratliff (1969). Root growth pressures of cotton, peas and peanuts. *Agron.J.* 61:398-402.
- Tisdall, J.M. y Oades, J.M. (1982). Organic matter and water stable aggregates in soil. *J. Soil Sci.* 33:141-163.