

**EL RECURSO SUELO Y LA COMPETITIVIDAD DEL SECTOR  
AGRARIO COLOMBIANO**

**DANIEL F. JARAMILLO J.**

**CÁTEDRA PEDRO NEL GÓMEZ 01-2004**

**Competitividad del Sector Agrario Colombiano: Posibilidades y Limitaciones**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA**

**MEDELLÍN**

**Junio de 2004**

## **CONTENIDO**

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
<b>2. ¿CÓMO SE DESARROLLA UN SUELO?</b>	<b>3</b>
<b>3. CALIDAD DEL RECURSO SUELO</b>	<b>4</b>
<b>4. NIVEL DE FERTILIDAD DEL SUELO</b>	<b>5</b>
4.1. ¿CUÁNDO SE CONSIDERA FÉRTIL UN SUELO?	5
4.2. RELACIÓN FERTILIDAD – CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DEL SUELO	5
<b>5. EL RECURSO SUELO EN COLOMBIA</b>	<b>7</b>
5.1. ASPECTOS PEDOGENÉTICOS	7
5.2. DISTRIBUCIÓN DE LOS SUELOS EN COLOMBIA	9
5.3. FERTILIDAD Y LIMITANTES DE USO DE LOS SUELOS COLOMBIANOS	10
<b>6. CONOCIMIENTO DEL RECURSO CON MIRAS A LA COMPETITIVIDAD</b>	<b>12</b>
6.1. CONOCER EN DETALLE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS SUELOS	12
6.2. CONOCER EN DETALLE LA CALIDAD DE LOS SUELOS	16
6.3. CONOCER EL MANEJO MÁS ADECUADO DE LOS SUELOS	18
6.4. ALGO SOBRE INVESTIGACIÓN	20
<b>7. UN EJEMPLO DE COMPETITIVIDAD AGRÍCOLA EN COLOMBIA</b>	<b>22</b>
<b>8. CONCLUSIÓN</b>	<b>25</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>25</b>

# EL RECURSO SUELO Y LA COMPETITIVIDAD DEL SECTOR AGRARIO COLOMBIANO

*DANIEL F. JARAMILLO J.<sup>1</sup>*

## 1. INTRODUCCIÓN

Se podría concebir la “**competitividad**” como “**la capacidad de competir**”, “**la preparación que se tiene para competir**”. Desde este punto de vista, la competitividad es un estado de acción que, para poderlo conservar, implica que se tenga un amplio conocimiento del producto que se maneja, así como de los medios con los cuales aquel se produce. Como lo anotaba Cano (2004), citando palabras de Sir Francis Bacon, la competitividad consiste en tener ventajas prácticas para producir un determinado bien y estas ventajas se obtienen del **conocimiento**.

La producción de cualquier tipo de bien demanda la utilización de una serie de insumos, cuya calidad condiciona, en buena parte, la calidad del producto, la intensidad de los procesos productivos y, en últimas, los beneficios económicos que reporta la producción de aquel bien. En el caso del sector agrario, los insumos fundamentales son la tierra, la mano de obra, la semilla, los agroquímicos y la maquinaria.

El suelo es uno de los componentes del insumo tierra y tiene una fuerte interacción con los demás insumos mencionados: Es la cama de germinación de las semillas y, posteriormente, el soporte físico de las plantas. Recibe los agroquímicos que no quedan en la planta y responde por su degradación o por su acumulación. Soporta la actividad de la maquinaria y, dependiendo de cómo se utilice ésta, mantendrá o no su calidad. Estas interacciones, y los efectos producidos por ellas, además de las propiedades intrínsecas del suelo mismo, van a definir qué ventajas o desventajas va a presentar este recurso en el proceso productivo, en una determinada situación de competencia.

Con lo anterior como derrotero y, centrándonos en el título del trabajo, en éste se hará, en primer lugar, una revisión acerca de lo que se entiende por fertilidad del recurso suelo, después se establecerá cómo es dicha fertilidad en los suelos de Colombia y cuáles son los factores que la determinan, para terminar analizando cuál es su efecto sobre la productividad agrícola.

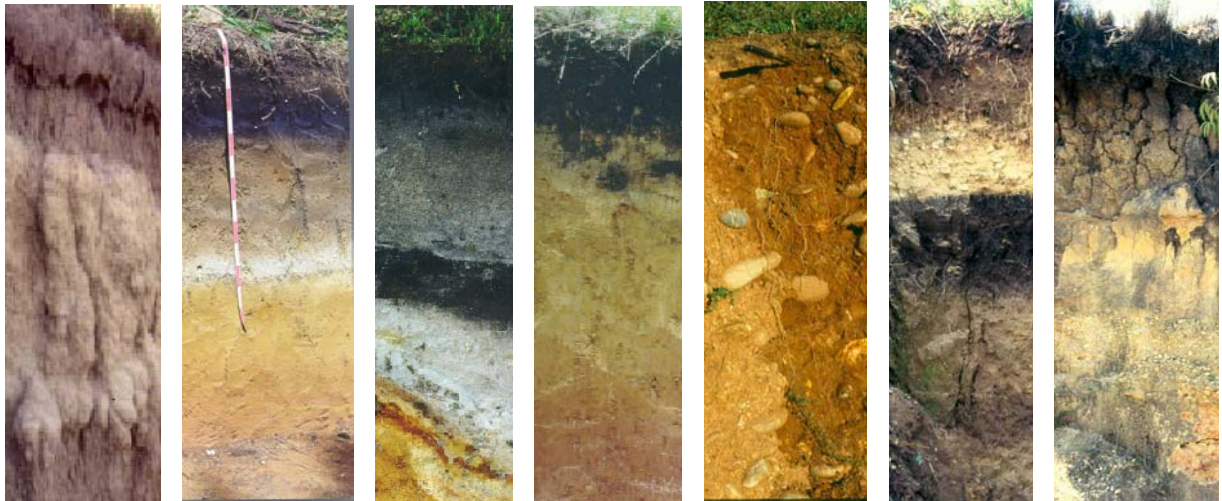
## 2. ¿CÓMO SE DESARROLLA UN SUELO?

Un suelo se desarrolla mediante la acción de una serie de **procesos pedogenéticos** trabajando sobre un **material parental**, bajo unas **condiciones climáticas** y con unos **organismos** asociados a ellas, con un control ejercido por el **relieve**, todo lo anterior durante un determinado lapso de **tiempo**. En negrilla se presentan lo que se conoce como “**Factores de Formación del Suelo**”.

---

<sup>1</sup> Profesor Titular. Escuela de Geociencias. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. [djaramal@unalmed.edu.co](mailto:djaramal@unalmed.edu.co)

Los procesos pedogenéticos actúan produciendo 4 efectos mayores en el suelo: **Adiciones, Transformaciones, Translocaciones y/o Pérdidas**. El grupo de procesos que actúe con mayor intensidad, será el que controle un mayor número de propiedades del suelo, es decir, el que le va a imprimir sus rasgos característicos (ver Figura 1).



**FIGURA 1.** Muestra de la variedad de suelos que se pueden desarrollar debido a la gran cantidad de procesos específicos que pueden actuar sobre ellos.

### 3. CALIDAD DEL RECURSO SUELO

El Instituto de la Calidad del Suelo (Soil Quality Institute, SQI) del Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS) del USDA (SQI, 1999), define la calidad del suelo como “la capacidad que tiene un tipo específico de suelo de llevar a cabo una serie de funciones básicas en él como mantener la productividad biológica, regular los flujos de agua y de solutos, amortiguar la contaminación y almacenar y circular nutrientes”.

Para evaluar dicha capacidad se han seleccionado unos **indicadores** que son, básicamente, conjuntos de propiedades que condicionan un comportamiento. Hay indicadores visuales, indicadores físicos, indicadores químicos e indicadores biológicos. Los indicadores visuales pueden mostrar el efecto de ciertos procesos que estén afectando un área importante de terreno, como por ejemplo, la acumulación de sedimentos como consecuencia de algún proceso geomorfológico de sedimentación. Los indicadores físicos se relacionan con el arreglo de las partículas del suelo y definen limitaciones para el crecimiento de las raíces, para la germinación de las semillas o para el comportamiento del agua en el suelo. Los indicadores químicos se relacionan, fundamentalmente, con los procesos que tienen que ver con el suministro de nutrientes a las plantas y es lo que tradicionalmente se ha llamado “fertilidad del suelo” y, los biológicos, con el contenido y actividad de organismos que viven en el suelo y su interacción con las plantas. En todas las situaciones no es necesario evaluar todos los indicadores planteados (SQI, 1996).

## 4. NIVEL DE FERTILIDAD DEL SUELO

Como ya se mencionó, cuando se habla de fertilidad de suelos, en el sentido tradicional, se hace referencia a la capacidad que tiene el suelo de suministrarle a la planta los nutrientes que ella necesita para desarrollar cabalmente su ciclo de vida. Obviamente esta consideración se queda corta pues hay propiedades físicas y biológicas del suelo que condicionan, por ejemplo, el estado químico en que se presenta un determinado nutriente y, por lo tanto, controlan su disponibilidad para la planta. Sin embargo, se hará caso omiso de esta advertencia y la discusión siguiente mantendrá el sentido tradicional de la fertilidad.

### 4.1. ¿CUÁNDO SE CONSIDERA FÉRTIL UN SUELO?

Para caracterizar la fertilidad del suelo se determinan, en laboratorio, algunas de sus propiedades químicas y los contenidos que presenta de los elementos esenciales nutritivos que requiere la planta. Para interpretar esta información, en un contexto general, se han diseñado índices que combinan los resultados de los análisis y, de acuerdo con su valor y con unos límites críticos definidos para cada propiedad, le dan una calificación al suelo. Un ejemplo de índice de fertilidad es el que utiliza el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Cortés y Malagón, 1984).

Jaramillo et al (1994) utilizaron otro sistema de calificación de la fertilidad de los suelos en el cual, utilizando tablas de interpretación para cada una de las variables analizadas en el laboratorio, fueron calificando cada una de ellas y al final, aquella propiedad que se encontraba en la forma menos favorable le transmitía su calificación al suelo en conjunto. En la Figura 2 se puede apreciar una representación de la aplicación de este sistema a un Mollisol del Valle del Cauca y a un Andisol del oriente antioqueño. En la gráfica se colocan los valores límite de cada propiedad en cada nivel y las barras verticales corresponden al valor que tuvo la respectiva propiedad en el análisis de laboratorio. Obsérvese que el Mollisol tiene un nivel de fertilidad que se puede considerar de alto a muy alto, mientras que el Andisol presenta un nivel entre bajo y medio. Téngase en cuenta que cuando la interpretación se hace para un uso o para un cultivo específico, ese uso puede restringir la manera de hacer las interpretaciones.

Las propiedades que se evalúan sistemáticamente en estudios de fertilidad de suelos son: pH, textura, contenido de materia orgánica, contenido de aluminio intercambiable, si el pH del suelo es menor a 5.5 y los contenidos disponibles de fósforo, potasio, calcio y magnesio.

### 4.2. RELACIÓN FERTILIDAD – CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DEL SUELO

En Colombia se utiliza, oficialmente, el Sistema de Clasificación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (Soil Survey Staff (SSS), 1999). Este sistema es multicategorico y agrupa los suelos, en la categoría más general, en 12 clases que llama “**Orden**”. A este nivel de generalización se puede establecer el grado relativo de evolución del suelo en cada una de las clases definidas, condición fuertemente relacionada con el grado de fertilidad que él presenta: “A mayor grado de evolución, menor nivel de fertilidad”.

Las 12 clases de suelos definidas al nivel de orden se identifican con los siguientes nombres: **Alfisol**, **Andisol**, **Aridisol**, **Entisol**, **Espodosol**, **Gelisol**, **Histosol**, **Inceptisol**, **Mollisol**, **Oxisol**, **Ultisol** y **Vertisol**. El grado relativo de evolución de cada clase se presenta en la Figura 3 y su nivel de fertilidad natural en la Figura 4.

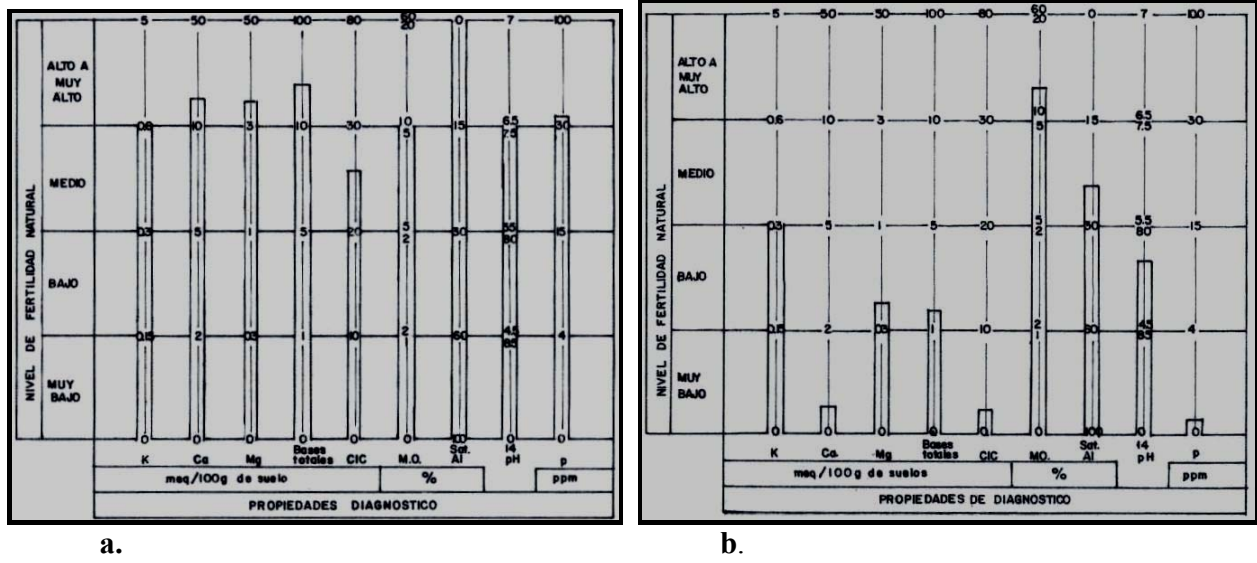


FIGURA 2. Determinación gráfica del nivel de fertilidad de dos suelos de Colombia. **a.** De un Mollisol del Valle del Cauca. **b.** De un Andisol de Antioquia. (Tomadas de Jaramillo et al, 1994).

En la Figura 3 se establece una escala de grado de evolución relativa con el propósito de comparar este atributo entre los diferentes órdenes de suelo. En ella, el rango entre 0 y 1, indica muy bajo grado de evolución, entre 1 y 2, bajo; entre 2 y 3, medio; entre 3 y 4, alto y entre 4 y 5, muy alto.

En relación con las clases de fertilidad utilizadas en la Figura 4, el 1 corresponde con un nivel de fertilidad muy bajo; el 2 es bajo; el 3, medio; el 4, alto y el 5, muy alto; la clase 6 se seleccionó para aquellos suelos cuyo nivel de fertilidad es muy variable y depende fuertemente de la zona en la que esté ubicado. Cuando la barra de fertilidad está en una posición intermedia entre 2 clases es porque la calidad del suelo fluctúa entre ellas.

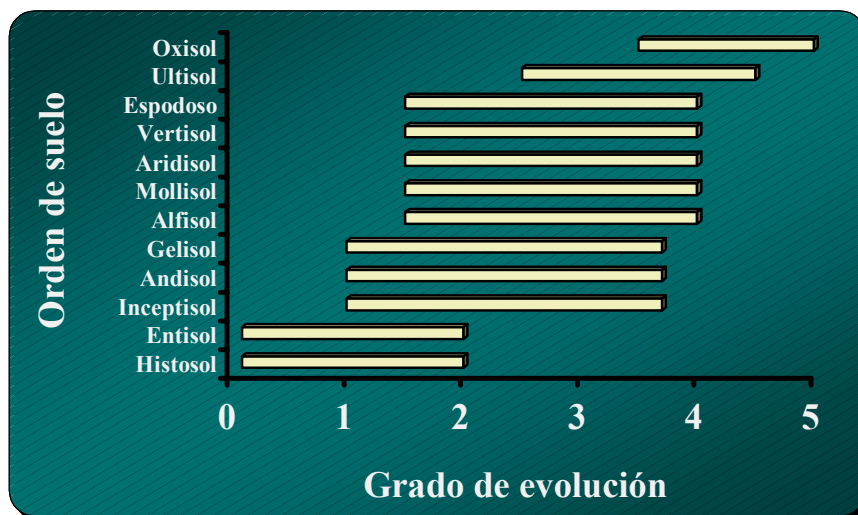
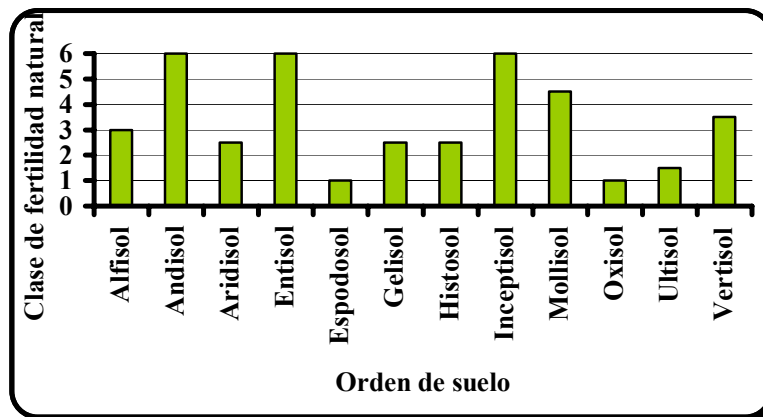


FIGURA 3. Grado de evolución relativo del suelo, agrupado en clases por orden taxonómico.



**FIGURA 4.** Nivel de fertilidad natural de los suelos, agrupados por orden taxonómico. Con base en criterios de Jaramillo et al (1994), de Malagón (1998) y SSS (1999).

## 5. EL RECURSO SUELO EN COLOMBIA

### 5.1. ASPECTOS PEDOGENÉTICOS

Colombia, por su ubicación geográfica, presenta unas condiciones climáticas especiales en la mayor parte de su territorio: clima tropical, el cual se caracteriza por tener alta humedad y alta temperatura todo el año. Según Castellanos y Callejas, citados por Malagón et al (1995), el 82.88% del territorio colombiano se encuentra ubicado por debajo de los 1000 msnm (clima caliente) y tiene una temperatura media mayor de 27 °C. Además, el IGAC (2003) ha estimado que aproximadamente el 80% del territorio presenta una condición climática húmeda, muy húmeda o pluvial (ver Figura 5).

Dichas condiciones climáticas han generado procesos intensos de alteración de los minerales primarios del material parental y de mineralización de la materia orgánica, así como de lavado (lixiviación) intenso de todo aquello que es soluble en agua. Estos procesos producen un complejo coloidal inorgánico de intercambio de baja actividad (LAC), dominado por arcillas caoliníticas; baja acumulación de materia orgánica coloidal de baja calidad; empobrecimiento del suelo en bases, lo que implica una disminución en el pH y una acidificación intensa, todo lo cual se combina para producir unos suelos de **baja fertilidad**, en el sentido de la nutrición de la planta.

Un aspecto práctico muy importante, consecuencia del modelo de evolución planteado para los suelos de clima cálido – húmedo, es la reducción del pH. En la Figura 6 puede apreciarse que la condición en que se encuentre el pH determina el grado de disponibilidad que tienen los elementos esenciales en la nutrición de la planta. Nótese que la máxima disponibilidad de los elementos que la planta consume en mayores cantidades del suelo: N, P, K, Ca, Mg, S, se presenta con valores de pH > 6. En los suelos fuertemente ácidos se da la máxima disponibilidad de los elementos menores: Fe, Mn, Cu, Zn y B, los cuales pueden llegar a cantidades tóxicas con relativa facilidad en suelos con dicha condición de pH.

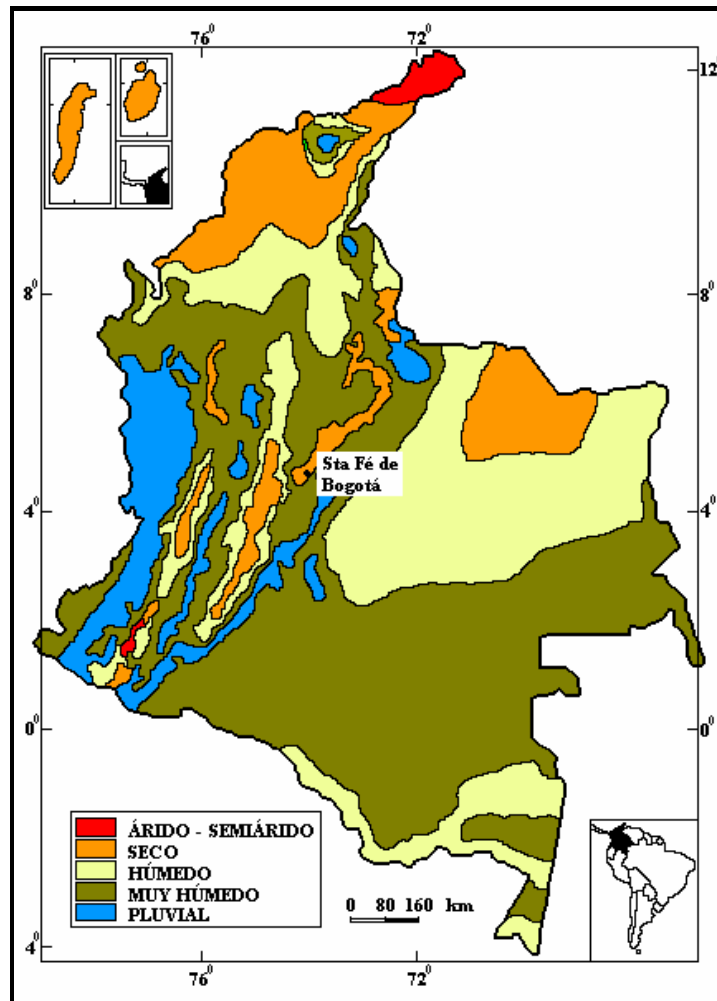


FIGURA 5. Condición de humedad climática en el territorio colombiano. Tomado de Jaramillo (2002).

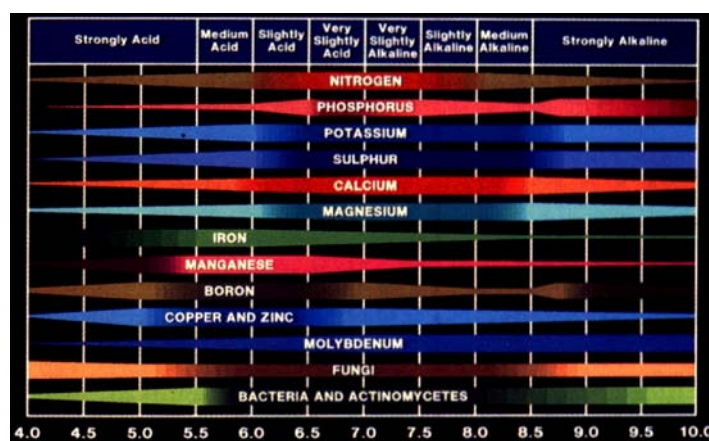
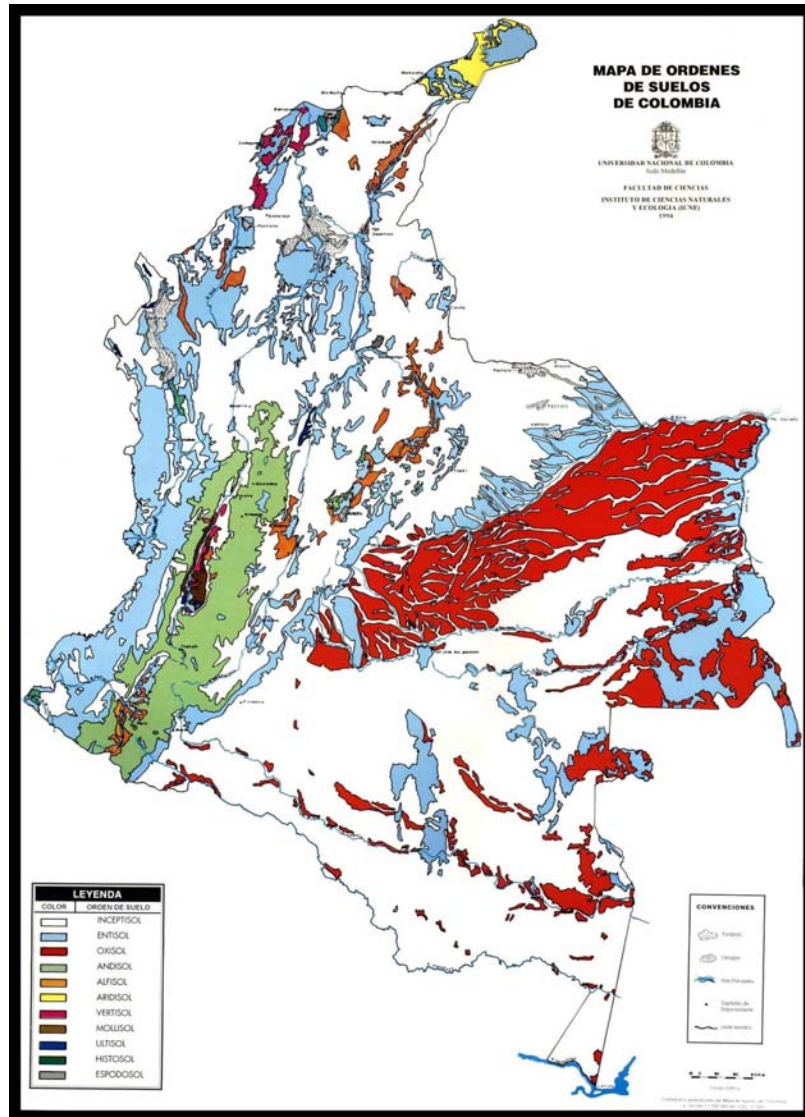


FIGURA 6. Efecto del pH sobre la disponibilidad de los nutrientes para la planta en el suelo. Tomada de SQI (1996).



## 5.2. DISTRIBUCIÓN DE LOS SUELOS EN COLOMBIA

En Colombia la ubicación de las diferentes clases de suelos, agrupadas por órdenes, se puede ver en la Figura 7.



**FIGURA 7.** Distribución de los suelos de Colombia, agrupados por orden taxonómico. Tomado de Jaramillo et al (1994).

En el mapa anterior es bastante notorio el predominio de los suelos correspondientes a los Inceptisoles, seguidos por los de los órdenes Entisol, Oxisol y Andisol. Los demás órdenes son dominantes en áreas muy pequeñas del país. Haciendo una discretización de la distribución de los órdenes en las diferentes regiones naturales de Colombia, se tiene la información que se presenta en la Tabla 1.

**TABLA 1.** Distribución de los órdenes de suelos de Colombia, por regiones naturales. Con base en información presentada por IGAC (2003).

<b>Región Natural</b>	<b>Órdenes de suelos dominantes</b>
Amazonia	Oxisol (36.9%), Inceptisol (20.8%), Ultisol (18.9%), Entisol (16.1%), Espodosol (2.9%)
Andina	Inceptisol (35%), Entisol (33%), Andisol (18%), Alfisol (3%), Ultisol (3%), Mollisol (2%)
Orinoquia	Oxisol (39%), Inceptisol (28%), Entisol (21%), Ultisol (6%)
Llanura Caribe*	Inceptisol (38%), Entisol (31%), Mollisol (6%), Vertisol (6%), Aridisol (5%), Alfisol (4%), Oxisol (1%)
Andén Pacífico	Inceptisol (50%), Entisol (26%), Oxisol (8%), Ultisol (8%), Histosol (4%)
Valles interandinos**	Inceptisol (44.4%), Entisol (40.1%), Alfisol (3.7%), Mollisol (3.7%), Vertisol (1.4%), Andisol (0.8%)
Islas del Caribe	Inceptisol (30%), Entisol (22%), Vertisol (15%), Histosol (13%), Mollisol (12%)

\* Incluye la Guajira.

\*\* Comprende el valle alto y medio del río Magdalena y el valle del río Cauca.

En resumen, según el mapa de suelos de Colombia del IGAC (2003), la distribución de los órdenes de suelos en el país corresponde a las siguientes proporciones: Inceptisol (31.4%), Entisol (24.3%), Oxisol (20%), Ultisol (10.1%), Andisol (4.5%), Mollisol (1.2%), Espodosol (0.9%), Alfisol (0.8%), Vertisol (0.6%), Histosol (0.5%) y Aridisol (0.4%).

### **5.3. FERTILIDAD Y LIMITANTES DE USO DE LOS SUELOS COLOMBIANOS**

Un limitante que es común a la mayor parte de los suelos del territorio nacional es su baja fertilidad (ver Figura 8), la cual se manifiesta en condiciones de alta acidez, con altos contenidos de Al intercambiable; bajo contenido de elementos nutricionales para las plantas como P, K, Ca y Mg; baja capacidad de suministrar nutrientes como N y S debido a la presencia de bajos contenidos y/o a la mala calidad de la materia orgánica que se ha acumulado en ellos; presencia de altos contenidos de materiales coloidales inorgánicos de baja actividad en la fracción arcilla (arcillas LAC). Cabe aclarar que no en todos los suelos se presentan, necesariamente, todas las condiciones negativas mencionadas para calificarlos como de baja fertilidad

De acuerdo con el IGAC (1988), aproximadamente en el 85% del territorio nacional los suelos tienen valores de pH menores a 5.5 y el 57.6% tiene pH < 5. Además, en la Amazonia, la Orinoquia, el Andén Pacífico, el Valle del Magdalena y las islas del Caribe predominan los contenidos bajos de materia orgánica (entre 1 y 1.5% de carbono orgánico), en la región Caribe el contenido de carbono orgánico está entre 0.5 y 1% y en la Guajira es menor de 0.5%, es decir que, en el 73.11% del país los suelos presentan deficiencia en el contenido de materia orgánica; el comportamiento de esta propiedad en la región andina es muy variable debido a la gran cantidad de condiciones ambientales que se presentan en ella. En los suelos del 98% del país se presenta deficiencia de fósforo para las plantas.

En las regiones Guajira, Caribe y Valle del Cauca se encuentran amplias áreas con suelos afectados por sales y/o por sodio, características que imponen limitaciones fuertes para su uso agropecuario

intensivo. Pulido (2000) estudió la distribución de diferentes formas de salinidad en los suelos de las regiones Caribe y Guajira y encontró que el 28.3% del área de ellas (3' 506 033 ha) estaba afectada por algún tipo de salinidad.

En las regiones Caribe, Valle del Cauca y Alto Magdalena son frecuentes también las limitaciones de carácter físico para el uso del suelo, relacionadas con la presencia de propiedades vérticas, de horizontes endurecidos, de deterioro estructural y de alta susceptibilidad a la erosión. A manera de síntesis, en la Tabla 2 se exponen los limitantes de uso que afectan mayor cantidad de suelos en las diferentes regiones naturales del país.

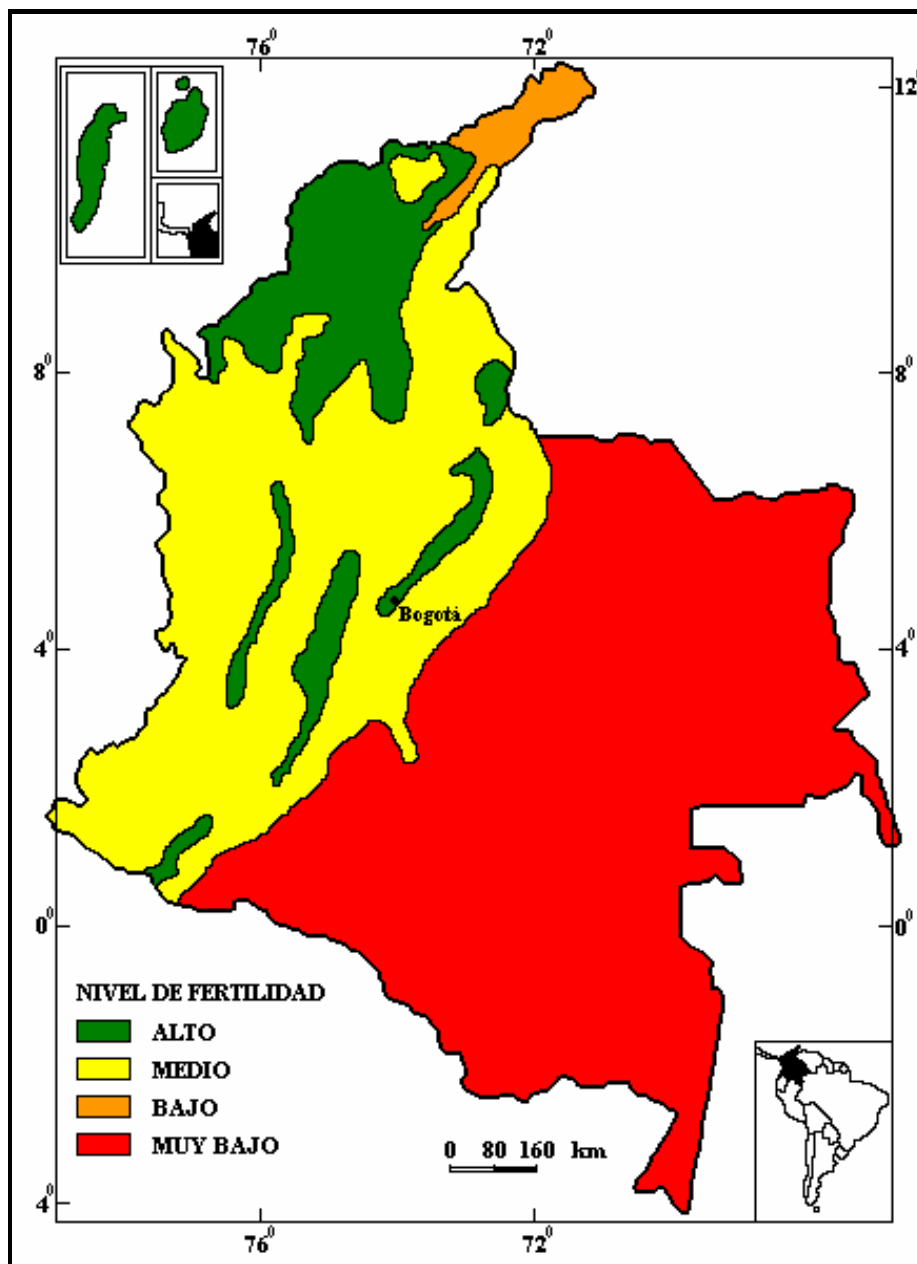


FIGURA 8. Fertilidad natural de los suelos de Colombia. Tomada de Jaramillo (2002).

**TABLA 2.** Principales limitantes para el uso intensivo agropecuario de los suelos en las diferentes regiones naturales de Colombia. Tomada de Jaramillo (2002).

<b>Región o Sub-región</b>	<b>Principales limitantes</b>
Amazonia	Clima húmedo, baja fertilidad, alta susceptibilidad a la erosión, arcillas LAC
Andina	Pendientes fuertes, baja fertilidad, alta susceptibilidad a la erosión, propiedades ándicas, erosión actual moderada a severa
Orinoquia	Clima húmedo, baja fertilidad, alta susceptibilidad a la erosión, arcillas LAC, mal drenaje, erosión actual severa
Caribe	Clima seco, salinidad, alta susceptibilidad a la erosión, propiedades vérticas, horizontes endurecidos, erosión actual moderada a severa
Andén Pacífico	Clima muy húmedo, baja fertilidad, alta susceptibilidad a la erosión, arcillas LAC, mal drenaje
Alto Magdalena	Clima seco, salinidad, alta susceptibilidad a la erosión, propiedades vérticas, horizontes endurecidos, erosión actual severa
Magdalena Medio	Clima húmedo, baja fertilidad, alta susceptibilidad a la erosión, arcillas LAC, mal drenaje
Alta y Media Guajira	Clima muy seco, salinidad, alta susceptibilidad a la erosión, horizontes endurecidos, erosión actual muy severa
Valle del Cauca Sur	Clima húmedo, baja fertilidad, alta susceptibilidad a la erosión, arcillas LAC, mal drenaje
Valle del Cauca Norte	Clima seco, salinidad, alta susceptibilidad a la erosión, propiedades vérticas, horizontes endurecidos, erosión actual severa
Islas del caribe	Clima seco, salinidad, alta susceptibilidad a la erosión, horizontes endurecidos, erosión actual moderada a severa

## **6. CONOCIMIENTO DEL RECURSO CON MIRAS A LA COMPETITIVIDAD**

Después de la visión panorámica que acaba de hacerse, se puede concluir que, en general, las condiciones del recurso suelo en Colombia no son favorables a una competencia intensa en el sector agrícola del país. Lo anterior quiere decir que los suelos de alta calidad en Colombia ocupan una pequeña porción del territorio nacional y obliga, entonces, a enfatizar algunos aspectos estratégicos para afrontar dichas deficiencias:

- En primer lugar, hay que estudiar el recurso para conocerlo, tanto a él como a su ubicación, con el mayor detalle posible.
- Segundo, hay que establecer, de manera muy precisa, cuál es el uso más adecuado de la tierra.
- Tercero, hay que investigar a fondo acerca del manejo más adecuado que debe hacerse de los suelos para garantizar su conservación.

### **6.1. CONOCER EN DETALLE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS SUELOS**

Como se indicó anteriormente, la poca cantidad de suelos de alta calidad para actividades agropecuarias impone la necesidad de que su ubicación sea establecida con la mayor precisión posible y que, una vez sean ubicados, su caracterización se haga con el mayor detalle. Para esto se necesita tener un cubrimiento del territorio nacional con estudios de suelos que tengan el nivel de detalle adecuado a estas necesidades. Los estudios o levantamientos de suelos se hacen con diferentes niveles de detalle, condicionados por los objetivos que ellos persigan. Del tipo de

levantamiento seleccionado depende la escala de trabajo que se adopte, la cual, a su vez, define el detalle con el que se va a estudiar el suelo.

Los tipos de levantamiento de suelos más importantes en el país y sus principales características son, según Elbersen et al (1986), los siguientes:

- **Exploratorio:** Se hace en zonas extensas y/o poco accesibles, con cualquier tipo de relieve, con muy baja intensidad de trabajo de campo, con potencial desconocido y bajo o nulo desarrollo. El objetivo primordial es identificar áreas con diferentes potencialidades de uso y definir, en consecuencia, aquellas áreas que ameritan estudios más detallados. Las unidades cartográficas que se definen en él tienen una alta variabilidad en suelos y la escala de trabajo es muy pequeña (1:250 000) por lo que no se va a encontrar en ellos solución a problemas específicos de localidad pequeña o de vereda y, mucho menos, de finca o de parcela.
- **General:** Se realiza en amplias zonas, desde planas a onduladas de bajo desarrollo hasta áreas montañosas con alto a medio desarrollo, con accesibilidad limitada y moderado potencial agropecuario; la intensidad de trabajo de campo es baja y se hacen fundamentalmente en zonas que actualmente no requieren estudios con más detalle. Siguen presentando limitaciones para ser usados en áreas pequeñas pues las unidades de suelos todavía contienen mucha variabilidad y la escala de publicación de sus mapas es de 1:100 000.
- **Semidetallado:** Se llevan a cabo en zonas desde planas a onduladas que presentan un alto potencial agropecuario, alto a medio desarrollo, con buena a moderada accesibilidad y con una intensidad media de trabajo de campo. El fin primordial de éstos estudios es realizar la planeación técnica del uso y manejo del suelo con explotaciones semi-intensivas. Son la base para establecer las especificaciones de anteproyectos y deben ser precursores de los estudios detallados. Además, pueden ser utilizados, junto con los detallados, como los documentos básicos de suelos para definir los planes de ordenamiento territorial municipales (IGAC, 1997). La escala a la cual se publican es generalmente de 1:50 000 y las unidades de suelo que se cartografían no admiten mucha variabilidad, sin embargo, aunque el detalle y la precisión de este levantamiento son considerablemente mayores que en los anteriores, todavía no son suficientes para resolver problemas prediales muy específicos.
- **Detallado:** Se desarrollan con una intensidad alta de trabajo de campo en áreas de alto potencial agropecuario, con avanzado desarrollo, planas o casi planas y prácticamente sin limitaciones de acceso; tiene unos objetivos muy específicos como:
  - Planear el uso intensivo de la tierra.
  - Efectuar avalúos catastrales.
  - Evaluar el potencial de producción de una zona para implementar proyectos de riego y drenajes o para establecer granjas experimentales.
  - Reconocer áreas afectadas por problemas especiales de suelos como salinidad, entre otros.

Con los levantamientos detallados se obtiene un amplio conocimiento del suelo, tanto de sus cualidades como de su extensión y ubicación, ya que exigen un intenso trabajo de campo. Dependiendo de los objetivos específicos propuestos para el estudio, éste puede suministrar

información para resolver problemas prediales; su principal limitante para ser usado radica en el elevado costo que tiene su realización.

En las zonas de mayor desarrollo agropecuario y socioeconómico y con miras a implementar sistemas de manejo más eficientes: menores costos de producción, excelente calidad de los productos, competitividad en los mercados internacionales y conservación de un ambiente sano, Jaramillo (2002) recomienda llevar a cabo estudios **ultra-detallados** de suelos, con apoyo de la **geoadministrativa**, que permitan conocer mejor el suelo y su **variabilidad espacial**.

La **escala** de un mapa informa acerca de las veces que se han tenido que reducir las dimensiones de los objetos reales para poderlos representar en él. De acuerdo con lo anterior, ella define el tamaño mínimo que deben tener los objetos que quieren representarse en el mapa y, en el caso de los levantamientos de suelos, el tamaño mínimo que debe tener un cuerpo suelo para que pueda ser representado en aquel.

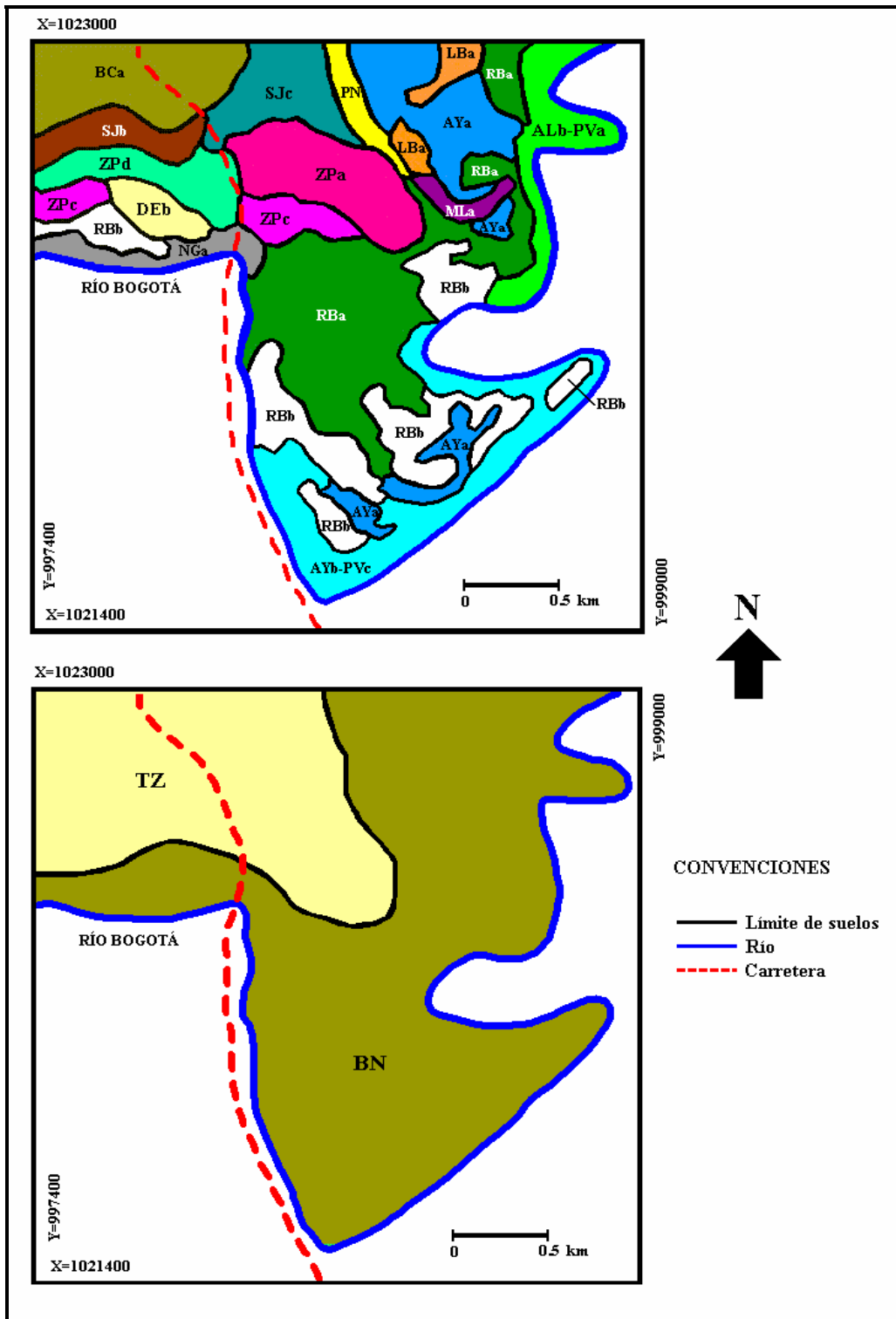
La escala es adimensional y significa, por ejemplo en una escala de 1:10 000, que una parte (cualquier unidad como cm, mm, etc.) medida en el mapa equivale a 10 000 de esas mismas partes medidas en el terreno, es decir que, en el ejemplo, 1 cm medido en el mapa representa una distancia de 10 000 cm ó de 100 m en el terreno. En la Tabla 3 se presentan los valores de escala más utilizados para publicar los mapas en los diferentes tipos de levantamientos de suelos y el área mínima que puede ser cartografiada en ellos.

**TABLA 3.** Relación entre el tipo de levantamiento de suelos con la escala del mapa y el área mínima de mapeo en campo (Adaptada de Elbersen et al, 1986).

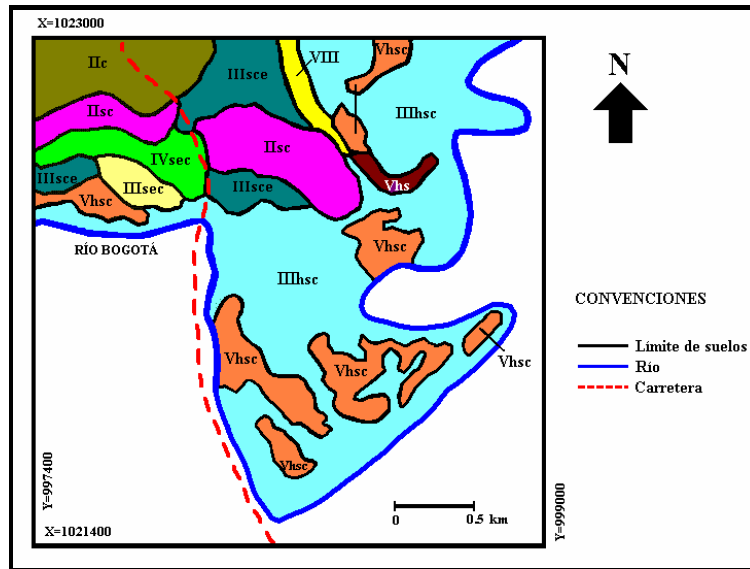
<b>TIPO DE LEVANTAMIENTO</b>	<b>ESCALA DEL MAPA</b>	<b>ÁREA MÍNIMA DE MAPEO EN CAMPO (ha)</b>
Detallado	1:10 000 a 1:25 000	0.25 ó 1.56
Semidetallado	1:25 000 a 1:50 000	1.56 ó 6.25
General	1:50 000 a 1:100 000	6.25 ó 25
Exploratorio	1:100 000 a 1:250 000	25 ó 156

También se habla de “escala del levantamiento” para indicar el grado de detalle del mismo: estudios de escala grande son detallados, media es semidetallado y escala pequeña implica estudio general o menos detallado. Este concepto se relaciona con el de escala cartográfica, en el sentido de que mientras más detallado sea un levantamiento, se requiere mayor intensidad en el trabajo de campo y de laboratorio, lo que lleva a acumular una gran cantidad de información que, a la hora de representarla en un mapa, impone el uso de escalas grandes para no perderla.

Para ilustrar las diferencias entre los mapas de estudios de diferente escala, con respecto a la precisión, al detalle de las delineaciones hechas en ellos y a la cantidad de información que presentan, en la Figura 9 se exponen fragmentos de mapas de la misma zona, uno de un estudio general y el otro de uno detallado (se omite intencionalmente la leyenda; cada color implica una unidad de suelos diferente). Obsérvese que en el mapa detallado hay un número de unidades de suelos mucho mayor que en el general. Además, las unidades del general están agrupando una buena cantidad de suelos diferentes en cada una de ellas, lo que aumenta la variabilidad dentro de la unidad y limita las interpretaciones que se puedan hacer en ellas. Con respecto a las interpretaciones, el mapa agrológico que se presenta en la Figura 10 es imposible de obtener a partir del estudio general.



**FIGURA 9.** Fragmentos de mapas de suelos de la misma región, realizados en dos tipos de levantamientos diferentes: El superior, en un estudio detallado (IGAC, 1977) y el inferior en uno general (Carrera et al, 1968).



**FIGURA 10.** Mapa agrológico de la zona representada en los fragmentos de la Figura 9. Tomada de IGAC (1977).

De los conceptos presentados anteriormente se desprende la importancia que tienen los estudios detallados de suelos, como documentos básicos para adquirir un conocimiento suficientemente amplio del recurso suelo que permita obtener aquellas ventajas que hacen competitiva la producción agrícola.

Desgraciadamente, el IGAC (2001) en su página de Internet presenta un mapa de la cobertura que hay en el país de los diferentes tipos de levantamientos de suelos y el único estudio que cubre casi todo el territorio nacional es el General que obviamente no es adecuado para lo que aquí se ha propuesto. Según el mismo mapa, pequeñas áreas en las regiones Caribe, Magdalena Medio, Valle del Cauca, Sabana de Bogotá y Orinoquia, además de granjas experimentales y distritos de riego, cuentan con estudios detallados de suelos.

Malagón (1998) encontró que en Colombia sólo el 6% de los levantamientos llevados a cabo hasta esa fecha, correspondía a estudios de escalas mayores a 1:50 000, situación que no debe haber cambiado mucho a la fecha. A lo anterior hay que agregarle que muchos de los estudios de suelos se hicieron hace ya varias décadas y pueden tener una desactualización importante.

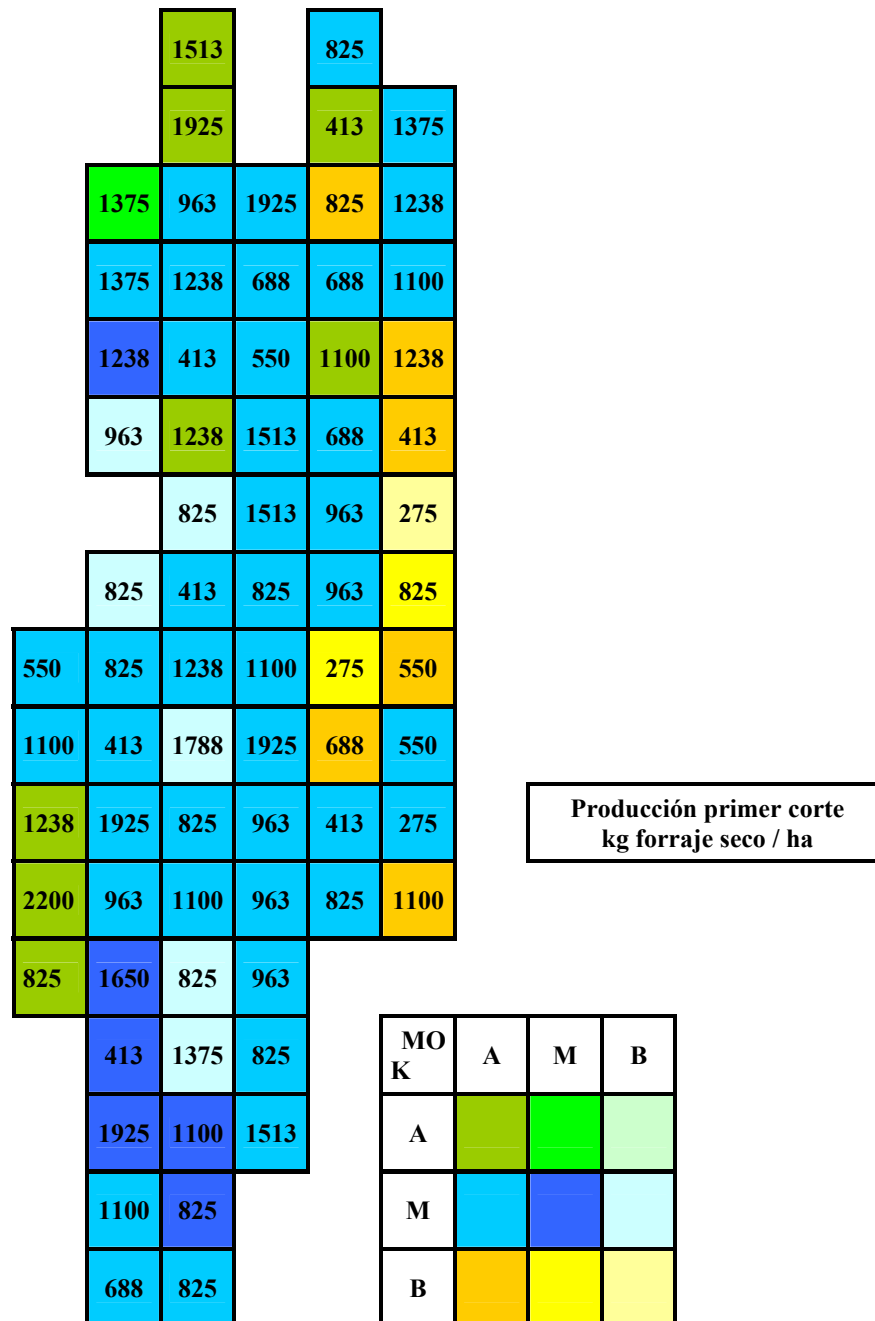
## 6.2. CONOCER EN DETALLE LA CALIDAD DE LOS SUELOS

Se mencionó en un aparte anterior que parte del conocimiento detallado de los suelos debe implicar el conocimiento de su variabilidad. Jaramillo (1997, 2003) ha demostrado ampliamente que las propiedades del suelo tienen, en general, una variabilidad alta y que buena parte de esa variabilidad es espacial.

En la Figura 11 se presenta la distribución espacial de la producción de forraje seco de pasto ángleton y de los contenidos de materia orgánica y de potasio en un Alfisol de clima seco que puede considerarse de buena fertilidad general. En la gráfica se representan las celdas de una cuadrícula



regular de muestreo de 10 m x 10 m; las muestras de pasto y de suelo fueron tomadas en el centro de cada celda.



**FIGURA 11.** Variabilidad espacial de la producción de forraje seco ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) y de los contenidos de materia orgánica (%) y de potasio ( $\text{cmol (+) kg}^{-1}$  de suelo) en un lote muestreado en una red con celdas de 10 m x 10 m, con suelos que se consideran de buena fertilidad general (Alfisoles)<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Gráfica elaborada con datos sin publicar y con autorización de Arango, A. L. 2004, correspondientes a su Tesis de Maestría.

Obsérvese en la Figura 11 cómo cambia la distribución de los colores de las celdas, mostrando cambios importantes en la interacción de los contenidos de materia orgánica y de potasio en el suelo, en distancias muy cortas, y cómo cambia, también, la producción de forraje, aunque este cambio no se presenta relacionado espacialmente con el cambio en las propiedades del suelo evaluadas.

Para poder tener el conocimiento que se deriva de los estudios planteados en la Figura 11 es indispensable tener estudios de suelos detallados o muy detallados: Se tiene que estar seguro de que se está trabajando con unidades de suelos que tienen una alta homogeneidad, tanto en las clases de suelos que se han cartografiado, como en las características de ellas y esa seguridad sólo la proporcionan dichos estudios.

Con un conocimiento de tal profundidad como el que se generaría en el estudio referenciado, sí se pueden identificar plenamente limitantes de uso, problemas especiales para los cultivos, áreas que merecen cuidados especiales o que no deben ser tenidas en cuenta para la producción, etc., y se pueden diseñar sistemas de manejo que ofrezcan las ventajas competitivas buscadas.

### **6.3. CONOCER EL MANEJO MÁS ADECUADO DE LOS SUELOS**

Como se mencionó en el numeral anterior, con los resultados arrojados por los estudios más detallados se pueden diseñar propuestas de manejo igualmente detalladas que pueden redundar en una explotación más rentable, limpia y sostenible.

En la Figura 12 se muestra la distribución para el contenido de nitrógeno<sup>1</sup> en la misma parcela de la Figura 11, agrupado en 3 categorías, de acuerdo con los valores obtenidos para cada celda en los análisis de laboratorio. Se aprecia que también en este caso hay una alta variabilidad espacial en los contenidos, lo que hace difícil generalizar una práctica de manejo del fertilizante nitrogenado que se deba aplicar al pasto.

El contenido promedio de nitrógeno total en toda la parcela fue de 34.09 ppm<sup>1</sup>, lo que significa que el contenido de N total en ella estaría en la categoría intermedia y, si se toma este criterio como guía para hacer las recomendaciones de fertilizante, un área importante de la parcela (en rojo) quedaría sub-fertilizada mientras que otra (la azul) sería sobre-fertilizada, con las consecuencias no sólo económicas sino de riesgo de contaminación que ello conlleva.

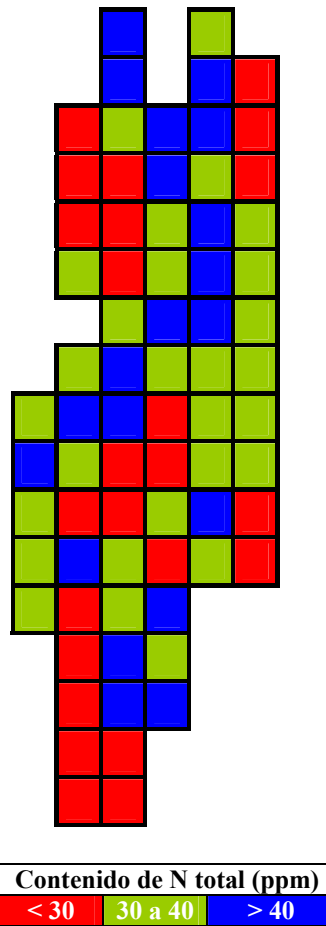
La manera más adecuada (ideal) de resolver el problema planteado sería recurrir al sistema de “**manejo por sitio específico**”, es decir, establecer el nivel de fertilización que requiere cada una de las celdas de la cuadrícula. Una aproximación que no es tan adecuada como aquella sería establecer dicho nivel por categoría (una dosis de fertilizante para cada color) y, definitivamente la menos acertada es la de utilizar el promedio para toda la parcela y aplicar el fertilizante en forma homogénea en toda ella, con una sola dosis de fertilizante.

Lo que se ha mostrado en los párrafos anteriores pretende llamar la atención acerca de lo variable que es el suelo, aún en distancias muy cortas y en condiciones topográficas muy homogéneas, lo que implica que, si se quiere hacer un uso racional y económico de él, hay que conocerlo muy bien. Para

---

<sup>1</sup> Resultados sin publicar y presentados con autorización de la Tesis de Maestría de Arango, A. L. 2004.

alcanzar este conocimiento se requiere de altas inversiones en **investigación básica** que, por lo menos en áreas como **agricultura de precisión**, no se están haciendo en el país.



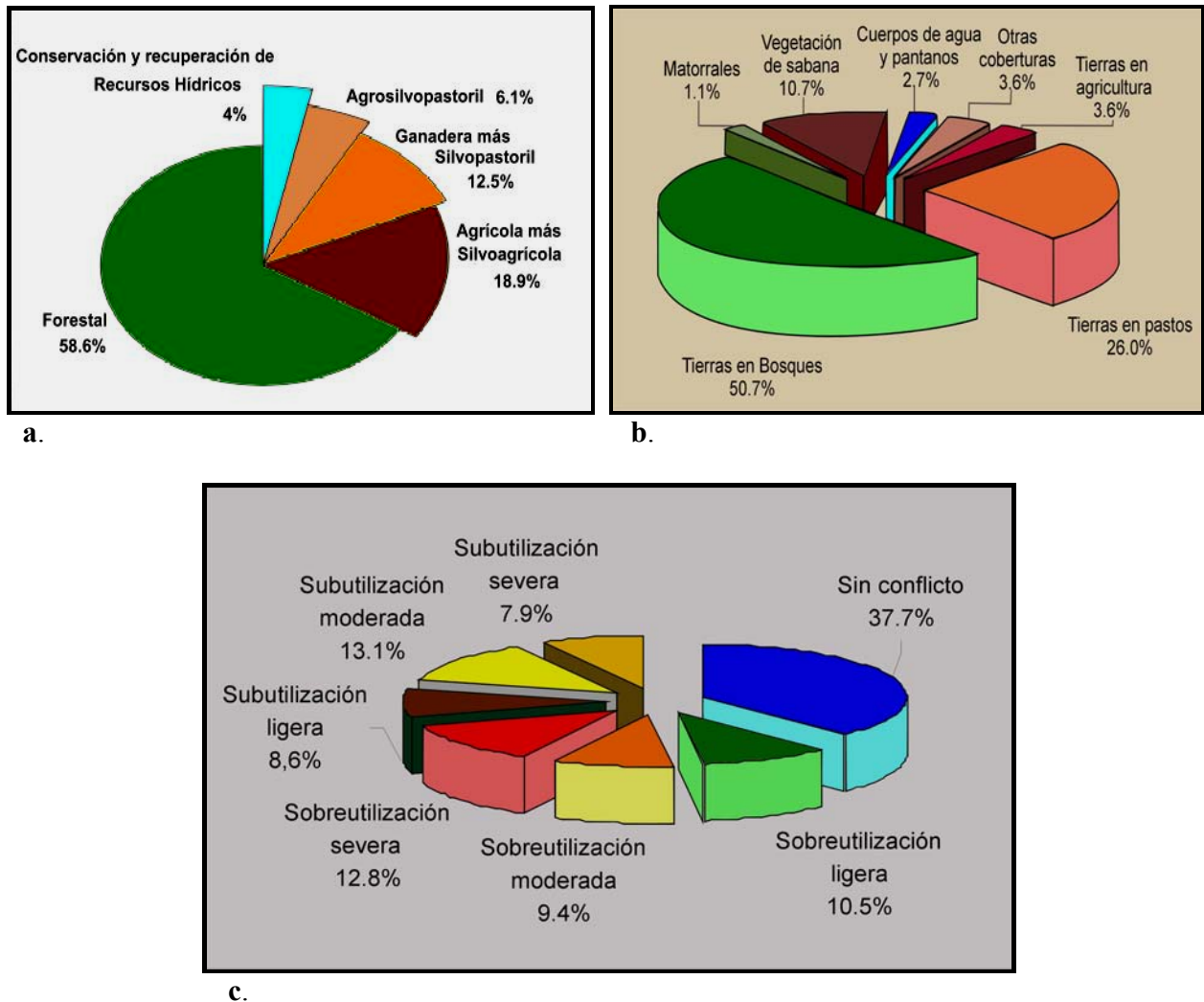
**FIGURA 12.** Distribución espacial del contenido de N total del suelo, agrupado en 3 categorías, en un Alfisol de buena fertilidad de clima cálido seco sometido a explotación de pasto ángleton para forraje seco<sup>1</sup>.

Otro aspecto fundamental en el manejo del suelo es el que tiene que ver con el uso que se haga de él, es decir, “**el suelo se debe utilizar para lo que sirve**”. Si el uso de las tierras se planificara teniendo en mente esta premisa, se evitarían muchos inconvenientes en su explotación. Para poder hacer ésto, se requieren buenos estudios de suelos, además de la investigación básica correspondiente.

El Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2004) presenta algunos resultados de un estudio hecho por el IGAC y Corpoica en 2001 sobre el uso de la tierra en Colombia, de los cuales se extraen las gráficas que se exponen en la Figura 13.

<sup>1</sup> Elaborada con base en información sin publicar y autorizada de la Tesis de Maestría de Arango, A. L. 2004.

En las gráficas de la Figura 13 se observa que sólo en el 37.7% del territorio nacional, la tierra se está utilizando en aquellas actividades para las que tiene vocación natural. En el resto hay sobre o sub-explotación del recurso con respecto a sus potencialidades. El 32.7% está sobre-utilizado y el 29.6% está sub-utilizado. La sobre-utilización hace que las explotaciones no sean sostenibles pues van degradando el recurso; un efecto de este tipo de conflictos se manifiesta en la erosión hídrica del suelo que, en Colombia, afecta en algún grado el 34.6% del territorio, como puede verse en la Figura 14. El deterioro del suelo también puede manifestarse con la presencia de salinidad y/o alcalinidad en él, como ya se resaltó anteriormente para los suelos de la región Caribe y para el Valle del Cauca.

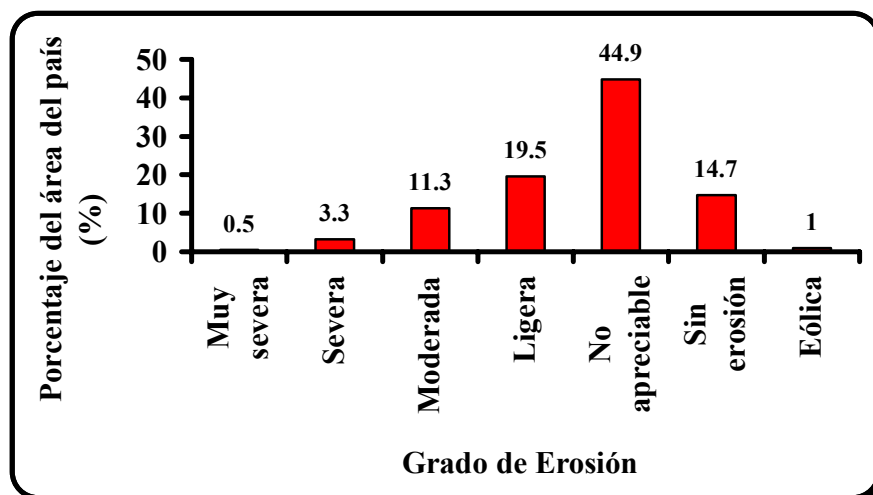


**FIGURA 13.** El uso de la tierra en Colombia, según estudio del IGAC y Corpoica en 2001. **a.** Uso potencial o vocación de las tierras. **b.** Cobertura y uso actual de la tierra. **c.** Conflictos en el uso de la tierra. Tomado de DNP (2004).

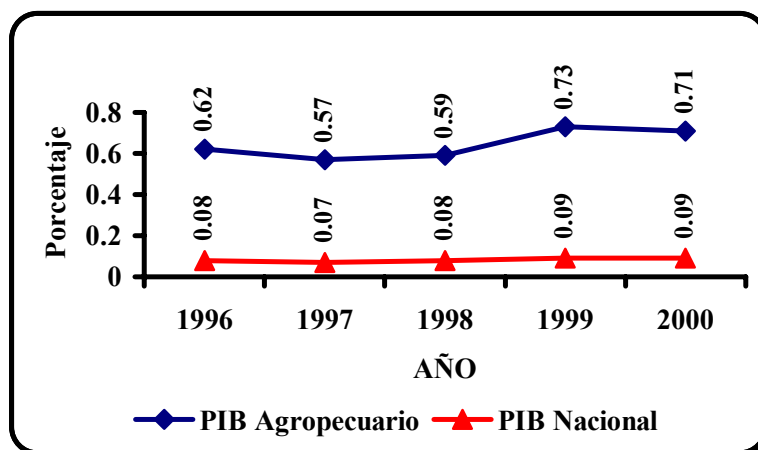
#### 6.4. ALGO SOBRE INVESTIGACIÓN

Benítez (2002) analizó el impacto que ha tenido la investigación y el desarrollo tecnológico en el sector agropecuario colombiano y su competitividad y sus resultados no son nada halagüeños.

Estableció cómo ha sido la evolución de la ejecución de recursos en esta actividad entre los años 1996-2000 y cuánto ha representado dicha ejecución en el PIB agropecuario y nacional, encontrando los resultados que se muestran en la Figura 15. Llama la atención acerca de lo irrisorios que son estos valores, al compararlos con la inversión hecha por los Estados Unidos de Norteamérica que correspondió al 2.7% del PIB nacional.



**FIGURA 14.** Áreas afectadas por diferentes grados de erosión en Colombia, según el IGAC. Elaborada con base en información presentada por Mendivelso et al (1998).



**FIGURA 15.** Participación de los recursos invertidos en investigación y desarrollo tecnológico por el sector agropecuario en el PIB agropecuario y nacional, entre los años 1996 y 2000. Con base en datos de Benítez (2002).

También Benítez (2002) identifica las principales características y fallas de la investigación y de la transferencia de tecnología agropecuaria que se está imponiendo hoy en el país:

➤ **Características:**

- Investigación para el mejor postor: Accede a ella quien pueda pagarla.
- Bajo presupuesto asignado: No hay voluntad política para fomentarla.
- Desarticulación de las Universidades.
- No hay coherencia con la demanda de los procesos productivos.
- Falta de dirección y planeación estratégica: Dispersión de los énfasis.
- Carencia de prospectiva: Se involucra poco con desarrollos de punta.
- Excesivo énfasis en la producción y en el manejo de los factores productivos: Se ha descuidado la post-cosecha y la agregación de valor económico a los productos.

➤ **Fallas:**

- Ruptura entre investigación y transferencia de tecnología.
- Ruptura entre la transferencia y la adopción de la tecnología.
- Ruptura entre la oferta y la demanda de los agentes generadores de tecnología.

Con respecto a la investigación que está implícita en la ejecución de un levantamiento de suelos, al estudiar el programa de trabajo que tiene el Instituto Geográfico Agustín Codazzi para el 2004 (IGAC, 2004) se encuentra que no prevé la ejecución de ningún levantamiento nuevo, sólo la revisión final para edición y la actualización de algunos estudios generales departamentales.

En la parte presupuestal, lo mismo que se mencionó en los apartes anteriores, los levantamientos de suelos también tienen una asignación de recursos de la Nación irrisoria: Para el 2004 le fueron asignados \$ 37' 000 000 para el rubro "Levantamiento de suelos, geomorfología y monitoreo de factores que afectan el recurso tierra en Colombia". Para el 2003 este mismo rubro contó con \$ 32' 940 000. El monto total del presupuesto para el 2003 fue de \$ 42 170'989 000 y para el 2004 le ha sido asignado un presupuesto de \$ 46 387' 000 000. También en el manejo de los recursos financieros del IGAC se presenta la "investigación por contrato": El instituto debe generar, en el 2004, \$ 10 000' 000 000 mediante la suscripción de convenios y contratos, de los cuales la Subdirección de Agrología debe aportar 880' 000 000 (IGAC, 2004).

Para ilustrar lo que sería un proceso adecuado de investigación en el manejo de suelos, en la Figura 16 se presenta lo que puede considerarse una síntesis de varias décadas de investigación en manejo de suelos para café y aunque todavía le falta mucho para llegar al nivel de manejo "ideal" (no se sabe cuál es), sí lleva mucho camino ganado en esa dirección, en comparación con las demás explotaciones agrícolas de nuestro país.

En términos generales, en el sector oficial no se le está dando la importancia que merece la investigación en nuestros recursos edáficos, lo que no va a permitir una producción competitiva y sí va a perpetuar nuestra dependencia tecnológica de países desarrollados, con todo lo que ha implicado este traslado e implementación de tecnologías foráneas que también llegan sin la respectiva evaluación en nuestro medio.

## **7. UN EJEMPLO DE COMPETITIVIDAD AGRÍCOLA EN COLOMBIA**

Se quiere presentar un caso de competitividad estudiado en Colombia por varios investigadores y recopilado por Roldán y Navarro (1998). Se analizó la producción de soya, dentro de la cadena de oleaginosas, aceites y grasas vegetales y animales, en dos regiones del país: Valle del Cauca y

Orinoquia, para el segundo semestre de 1994. En la Figura 17 se representa la participación (%) de los diferentes rubros involucrados en los costos de producción alcanzados para tener un rendimiento de 2.5 y 2.38 ton ha<sup>-1</sup>, en promedio para cada zona, respectivamente.

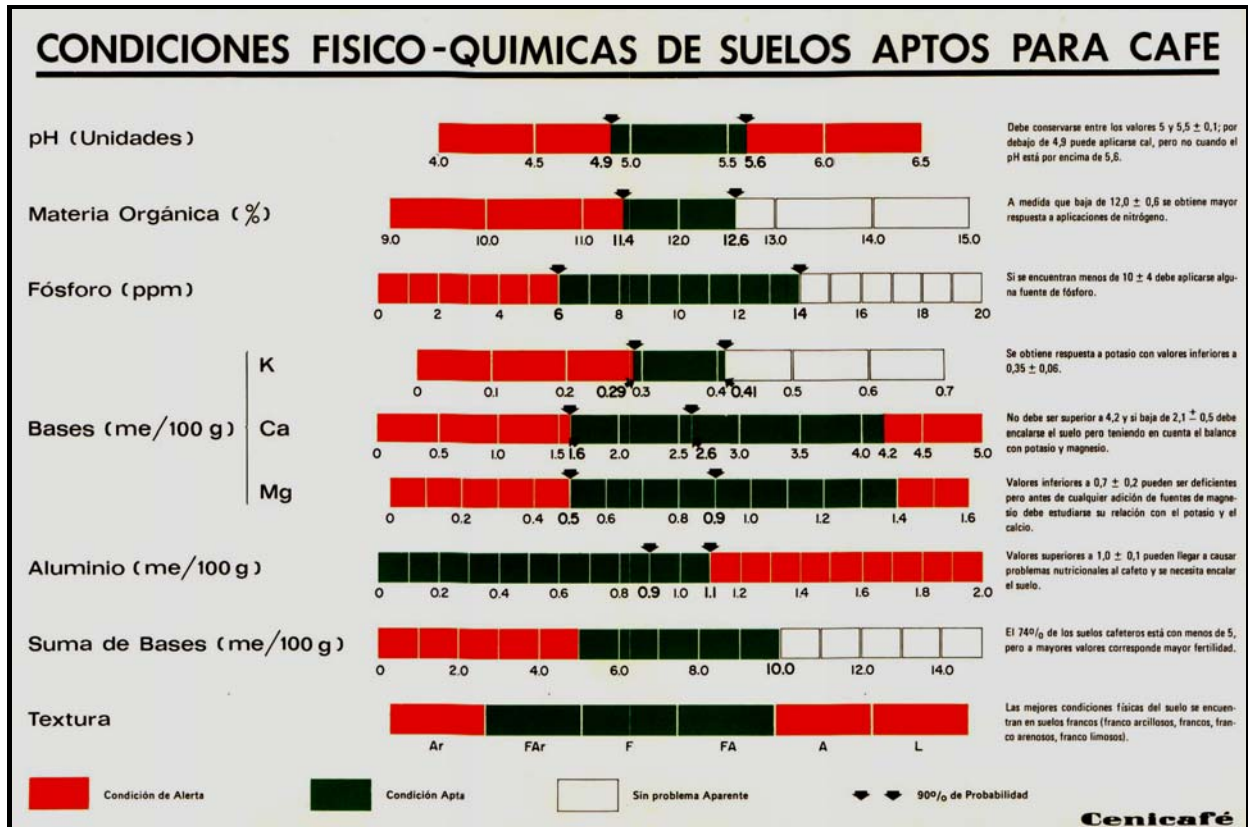
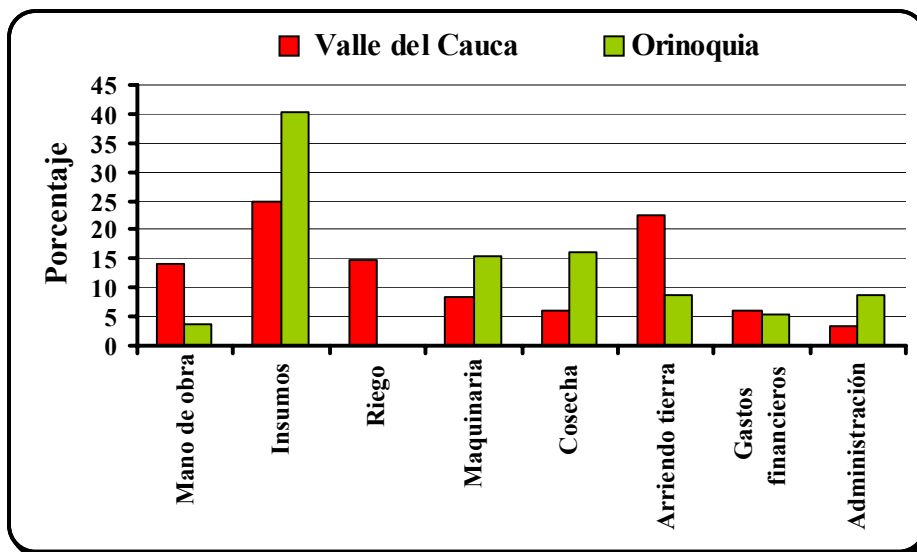


FIGURA 16. Guía para el manejo de la fertilidad del suelo para el cultivo de café en Colombia. Tomada de Valencia y Carrillo (1983).

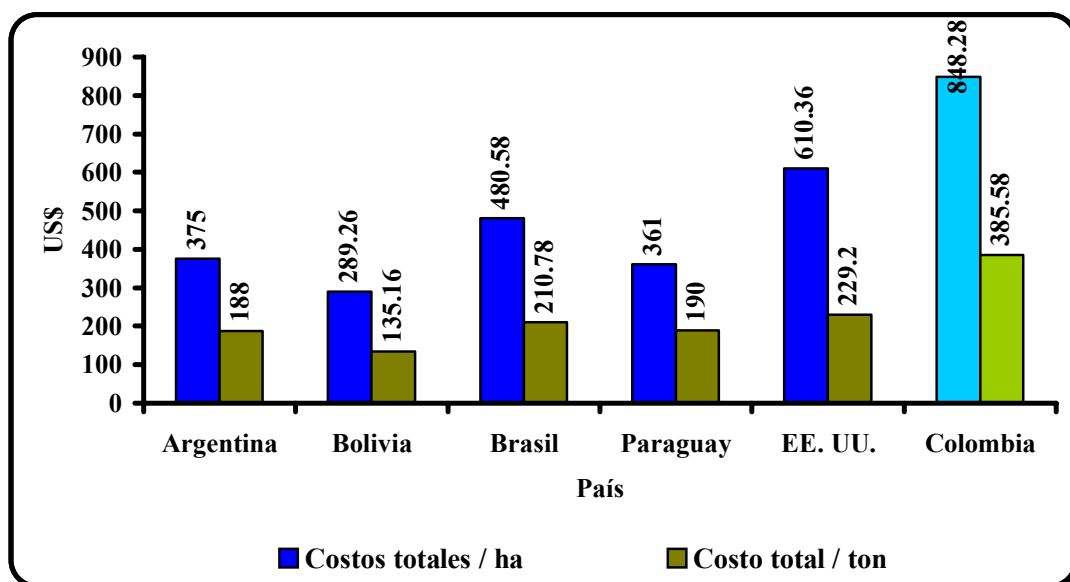
En la gráfica de la Figura 17 se aprecia que, en ambas regiones, el rubro que mayor peso tiene en los costos es el correspondiente a los insumos, en los cuales, los fertilizantes representan el mayor porcentaje. Se nota también que la participación de los insumos en los costos globales en la Orinoquia es casi el doble de la participación de los mismos en el Valle del Cauca, diferencia que puede asumirse debida a la gran diferencia en la calidad de los suelos que hay entre las dos regiones.

El Valle del Cauca tiene desventajas con la Orinoquia en la necesidad de aplicar riego y en el costo de la mano de obra y del alquiler de la tierra. Con los costos estimados y con la producción establecida, en el Valle del Cauca se invertirían 833 532 \$ ha<sup>-1</sup>, mientras que en la Orinoquia la inversión era de 566 653 \$ ha<sup>-1</sup>, lo que, si se tiene en cuenta la poca diferencia en producción que hay entre las dos regiones, le da una amplia ventaja competitiva a la región de la Orinoquia sobre la del Valle del Cauca, para el cultivo de la soya.



**FIGURA 17.** Comparación de la composición relativa (%) de los costos de producción de soya entre el Valle del Cauca ( $2.5 \text{ ton ha}^{-1}$ ) y la Orinoquia ( $2.38 \text{ ton ha}^{-1}$ ), en 1994. Con base en datos de Roldán y Navarro (1998).

En otro análisis de costos recopilado por Roldán y Navarro (1998), se observó que los costos de producción de soya (en US\$) en Colombia (Valle del Cauca) fueron más altos que los de otros países americanos, en el año de 1997, como puede apreciarse en la Figura 18. Se concluye de esta gráfica que con respecto a los países más productores de soya en América, la región del Valle del Cauca, en Colombia, tampoco tiene ventajas que le permitan competir con ellos en condiciones favorables.



**FIGURA 18.** Costos de producción totales ( $\text{US\$ ha}^{-1}$ ) y por tonelada de soya producida ( $\text{US\$ ton}^{-1}$ ) en varios países americanos en el año de 1997. Con base en datos de Roldán y Navarro (1998).



## 8. CONCLUSIÓN

Los suelos de Colombia son, en general, recursos de bajo nivel de fertilidad. Se requiere conocer de manera detallada su ubicación y sus características, de modo que se pueda hacer un uso y manejo adecuado a sus potencialidades.

La escasa investigación básica que se ha hecho en el país y los menguados presupuestos asignados por la Nación a las entidades encargadas de estudiar nuestro recurso edáfico, no han permitido adquirir el conocimiento que se requiere para contar con algunas ventajas que le permitan al agro colombiano, en la parte del manejo de los suelos, ser competitivo, sostenible y limpio en su producción.

## BIBLIOGRAFÍA

- BENÍTEZ, V. R. M. 2002. Investigación y competitividad agropecuaria. Economía Colombiana y Coyuntura Política. Agosto de 2002: 92-100.
- CANO, C. G. 2004. Biotecnología y propiedad intelectual en el agro. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Bogotá. 58 p.
- CARRERA, E.; J. PICHOTT y E. B. ALEXANDER. 1968. Estudio general de clasificación de los suelos de la cuenca alta del río Bogotá para fines agrícolas. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Bogotá. 200 p.
- CORTÉS, A. y D. MALAGÓN. 1984. Los levantamientos agrológicos y sus aplicaciones múltiples. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá. 360 p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN (DNP). 2004. Los conflictos de uso de las tierras en Colombia. [En línea]. DNP. Bogotá. [Consultada en marzo de 2004]. Disponible en: <http://www.dnp.gov.co>
- ELBERSEN, G. W.; S. T. BENAVIDES y P. J. BOTERO. 1986. Metodología para levantamientos edafológicos. Segunda parte: Especificaciones y manual de procedimientos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Bogotá. 82 p.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. (IGAC). 2004. Programa 2004. [En línea]. IGAC. Bogotá. [Consultada en marzo de 2004]. Disponible en: <http://www.igac.gov.co/programa2004.doc>
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. (IGAC). 2003. Mapa suelos de Colombia. Escala 1:500 000. Memoria explicativa. [En CD-ROM]. IGAC. Bogotá.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. (IGAC). 2001. Levantamiento de suelos. [En línea]. IGAC. Bogotá. [Consultada en marzo de 2004]. Disponible en: <http://www.igac.gov.co/levansuelos.htm>
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. (IGAC). 1997. Guía metodológica para la formulación del plan de ordenamiento territorial municipal. IGAC. Santa fe de Bogotá. 186 p.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI (IGAC). 1988. Suelos y bosques de Colombia. IGAC. Bogotá. 135 p.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI (IGAC). 1977. Estudio general y detallado de suelos de los municipios de Cota, Funza, Mosquera y parte de Madrid (departamento de Cundinamarca). IGAC. Bogotá. 513 p.
- JARAMILLO, J. D. F. 2003. La variabilidad de las propiedades del suelo y su efecto sobre el manejo de la fertilidad. **En:** Curso teórico práctico sobre interpretación de análisis de suelos. Centro de Extensión y Oficina del Egresado. Facultad de ciencias agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. pp: 1-19.
- JARAMILLO, J. D. F. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. [Libro en CD-ROM]. 1ª ed. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.
- JARAMILLO, D. F. 1997. Variabilidad espacial de suelos. **En:** Diagnóstico químico de la fertilidad del suelo. Editor W. Osorio. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo – Universidad Nacional de Colombia – Universidad de Antioquia. Medellín. pp 167-187.

- JARAMILLO, J. D. F.; L. N. PARRA y L. H. GONZÁLEZ. 1994. El recurso suelo en Colombia: Distribución y Evaluación. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 88 p.
- MALAGÓN, D. 1998. El recurso suelo en Colombia: Inventario y Problemática. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 82: 13-52.
- MALAGÓN, D.; C. PULIDO; R. LLINÁS y C. CHAMORRO. 1995. Suelos de Colombia: Origen, evolución, clasificación, distribución y uso. IGAC. Bogotá. 632 p.
- MENDIVELSO, L. D. et al. 1998. Erosión de las tierras colombianas. **En:** Manejo de suelos e impacto ambiental. Memorias IX Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Editores: F. Silva y H. Castro. Tunja. pp 41-49.
- PULIDO, C. 2000. Distribución geográfica de sales solubles, sodio intercambiable y carbonato de calcio en la región del Caribe colombiano. Suelos Ecuatoriales 30(1): 44-49.
- ROLDÁN, L. D. y H. E. NAVARRO. 1998. Competitividad de la cadena de oleaginosas, aceites y grasas vegetales y animales: Aspectos relevantes del diagnóstico. Colección de documentos IICA 8: Serie Competitividad. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural-IICA. Bogotá. 71 p.
- SOIL QUALITY INSTITUTE (SQI). 1999. Soil quality test kit guide. USDA. Washington D. C. 82 p.
- SOIL QUALITY INSTITUTE (SQI). 1996. Indicators for soil quality evaluation. Soil Quality Information Sheet. USDA. Washington D. C. 2 p.
- SOIL SURVEY STAFF. (SSS) 1999. Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. 2<sup>a</sup>. ed. Agriculture Handbook N° 436. Soil Survey Staff. Washington D. C. 869 p.
- VALENCIA, A. G. e I. F. CARRILLO. 1983. Interpretación de análisis de suelos para café. Avances Técnicos Cenicafé N° 115. Chinchina. 6 p.