

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN
DE CALIDAD DE SUELOS EN LA ZONA DE RONDA HÍDRICA DE
LA QUEBRADA OCOTÁ (CACHIPAY, CUNDINAMARCA)**

GLORIA MERCEDES ROBLES QUINTANA



**UNIVERSIDAD EL BOSQUE
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
2005**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN
DE CALIDAD DE SUELOS EN LA ZONA DE RONDA HÍDRICA DE
LA QUEBRADA OCOTÁ (CACHIPAY, CUNDINAMARCA)**

GLORIA MERCEDES ROBLES QUINTANA

**Línea de Investigación:
Manejo Integral del Recurso Hídrico**

**Director:
Felipe Andrés Martínez Vera
Ingeniero Agrónomo**

**UNIVERSIDAD EL BOSQUE
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
2005**

NOTA DE SALVEDAD

“La Universidad El Bosque no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y justicia”

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto de investigación ha surgido de los cursos ofrecidos de ingeniería ambiental en los que he estado implicada en la Universidad El Bosque. Agradezco de forma especial al Ingeniero Felipe Martínez por aportar todo su conocimiento, por su colaboración y guía en el proceso de realización del proyecto. No puedo dejar de agradecer a las personas que me dieron todo su ánimo y apoyo durante la elaboración del proyecto: Profesor Sergio Llanos, Ingeniero Félix Sánchez, Profesor Wilson Paul Rueda, Profesor Edgar Palacios, Profesor Andrés Contreras y al Profesor Pedraza.

De igual forma doy infinitas gracias a mi colega Ana Milena Piñeros por acompañarme en el proceso de aprendizaje en el último semestre; sin ella no hubiera podido realizar muchos de los objetivos de los que me propuse conseguir. Gracias igualmente por su paciencia y ánimo.

A mis tía Gloria y su esposo Alberto, les agradezco por apoyarme y ayudarme a la realización de este proyecto investigativo. Ustedes forman una parte muy importante del mismo, ya que sin ustedes no lo hubiera finalizado.

Finalmente, le doy gracias a Paula Pardo Gómez y a sus padres, Juan Pablo Pardo y Luz Marina Gómez, por habernos acogido y apoyado en las salidas de campo. Se les agradece a la Asociación de Usuarios del Acueducto del río Bahamón por habernos prestado un poco de su tiempo, colaboración y atención.

Para mis padres María Mercedes y Luís Miguel pues
sin ellos no hubiera podido alcanzar mis metas.

Gloria M. Robles

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	6
MARCO TEÓRICO	7
1. ASPECTOS GEOGRÁFICOS.....	7
1.1. Ubicación Geográfica.....	7
1.2. Clima.....	8
1.3. Zonificación climática.....	11
1.4. Geología.....	11
1.5. Suelos y relieve.....	12
1.6. Sistemas de producción.....	19
2. CALIDAD DEL SUELO	19
2.1. El concepto suelo.....	19
2.2. Calidad del suelo.....	21
2.3. Indicadores de calidad del suelo.....	22
2.3.1. Indicadores visuales.....	24
2.3.2. Indicadores físicos.....	24
2.3.3. Indicadores químicos.....	25
2.3.4. Indicadores biológicos.....	25
3. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	26
3.1. ¿Qué es un SIG?.....	27
3.2. Componentes del SIG.....	28
4. SISTEMA DE INFORMACIÓN DE SUELOS.....	33
PROBLEMA.....	35
JUSTIFICACIÓN	36
OBJETIVOS.....	37
METODOLOGÍA	38

RESULTADOS..... 45
DISCUSIÓN 56
CONCLUSIONES..... 65
RECOMENDACIONES..... 68
BIBLIOGRAFÍA..... 70

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Leyenda del mapa de suelos microcuenca de la quebrada Ocotá	46
Tabla 2. Leyenda del mapa de pendientes microcuenca de la quebrada Ocotá	47
Tabla 3. Leyenda del mapa de suelos en el área de estudio	47
Tabla 4. Leyenda del mapa de pendientes en el área de estudio.....	48
Tabla 5. Sistemas productivos encontrados en el área de estudio.....	48
Tabla 6. Puntos de muestreo y resultados de los indicadores	50
Tabla 7. Puntos de muestreo y resultados de los indicadores (Continuación Tabla 6)..	51
Tabla 8. Análisis de estadística descriptiva para cada sistema productivos.....	51
Tabla 9. Análisis de estadística descriptiva para cada sistema productivo (Continuación Tabla 8).....	52
Tabla 10. Correlación entre los indicadores y los sistemas de uso de la tierra	55
Tabla 11. Correlación entre los indicadores de densidad aparente, conductividad eléctrica y pH... ..	55

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Municipio de Cachipay departamento de Cundinamarca.....	7
Figura 2. Temperatura promedio mensual municipio de Cachipay.....	8
Figura 3. Precipitación promedio mensual municipio de Cachipay	9
Figura 4. Humedad relativa promedio mensual municipio de Cachipay.....	10
Figura 5. Evapotranspiración potencial municipio de Cachipay	10
Figura 6. Interacciones entre la atmósfera y la superficie de la corteza terrestre. Localización espacial y temporal.....	20
Figura 7. Componentes de un Sistema de Información geográfica	28
Figura 8. Esquema de las funciones de los componentes de un Sistema de Información Geográfica.....	30
Figura 9. Representación computarizada de las formas espaciales en un sistema de Información Geográfica (SIG)	31
Figura 10. Agrupación de mapas temáticos para la obtención de una unidad básica de información geográfica	32
Figura 11. Representación esquemática del Sistema de Información de Calidad de Suelos	44
Figura 12. Programas utilizados y principales análisis realizados.....	44
Figura 13. Predominio en cantidad de los sistemas productivos en porcentaje.....	49
Figura 14. Predominio en área de los sistemas productivos en porcentaje.....	49
Figura 15. Densidad aparente en cada uno de los sistemas productivos.....	53
Figura 16. Conductividad eléctrica en cada uno de los sistemas de uso de la tierra.....	53
Figura 17. pH en cada uno de los sistemas de uso de la tierra.....	53
Figura 18. Promedio de Densidad aparente en cada sistema productivo.....	54
Figura 19. Promedio de Conductividad eléctrica en cada sistema productivo	54
Figura 20. Promedio de pH en cada sistema productivo.....	55

RESUMEN

Con el fin de establecer el estado actual de los suelos en la zona de ronda hídrica de la quebrada Ocotá, y buscando definir áreas para conservación, áreas para explotación y áreas prioritarias de recuperación, se planeó construir un Sistema de Información Geográfica con los sistemas de uso de la tierra y tres indicadores de calidad de suelos.

La zona de estudio comprende los 10 m de la margen derecha de la ronda hídrica. Se hallaron once sistemas de uso de la tierra, de los cuales los cultivos Múltiples, el cultivo de café y plátano representan más del 50% de las explotaciones. En general no se respetan los 30 m de la ronda hídrica. Tanto en el nacimiento como en la desembocadura se dificultó la toma de muestras por las condiciones del terreno y el riesgo biológico que estas presentan.

La densidad aparente varía entre $0,48 \text{ g/cm}^3$ y $1,47 \text{ g/cm}^3$, los valores para conductividad eléctrica varían entre $0,0247 \text{ ds/m}$ y $0,413 \text{ ds/m}$, mientras que los valores de pH presentan valores entre 4,47 y 6,44. No se observa correlación alguna entre los sistemas de uso de la tierra y los valores de las variables observadas para el caso de los indicadores de conductividad eléctrica y densidad aparente. El pH al contrario muestra una correlación medianamente alta entre los sistemas productivos.

INTRODUCCIÓN

La Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad El Bosque ha establecido la línea de investigación “Manejo Integrado del Recurso Hídrico” la cual tiene su área de estudio en la cuenca de los ríos Apúlo y Bahamón, siendo afluente de este último la quebrada Ocotá.

Ante la situación actual que vive la microcuenca de la quebrada Ocotá con respecto a la degradación del suelo y la disminución de la oferta hídrica (posiblemente relacionado con los procesos de degradación del suelo), es necesario evaluar la Calidad del Suelo-entendiendo ésta como la capacidad de un tipo específico de suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado (USDA, 1999)-, la cual puede ser utilizada para determinar el estado actual de un ecosistema y la sostenibilidad de los usos de la tierra.

Dentro de este contexto se construyó un Sistema de Información Geográfica (SIG) con indicadores de calidad del suelo, estableciendo la relación existente entre estos últimos, los diferentes usos del territorio y la degradación del suelo. Por consiguiente, este SIG será de gran utilidad para los procesos de gestión, modelación o planeación del recurso edáfico en la zona de estudio.

Es preciso decir que la aplicación de esta herramienta requiere de información detallada y actualizada, por lo que necesita emplear metodologías apropiadas que partan del conocimiento de la realidad de la zona de estudio para identificar sus limitantes con el fin de proponer alternativas viables que den solución a los problemas encontrados.

Este trabajo ofrece una aproximación metodológica y conceptual que puede ser de gran provecho para los profesionales, planificadores y entidades gubernamentales del municipio de Cachipay. En el caso de que estas metodologías sean usadas en otras áreas de estudio, las mismas pueden ser adaptadas y mejoradas a las necesidades propias de la región.

MARCO TEÓRICO

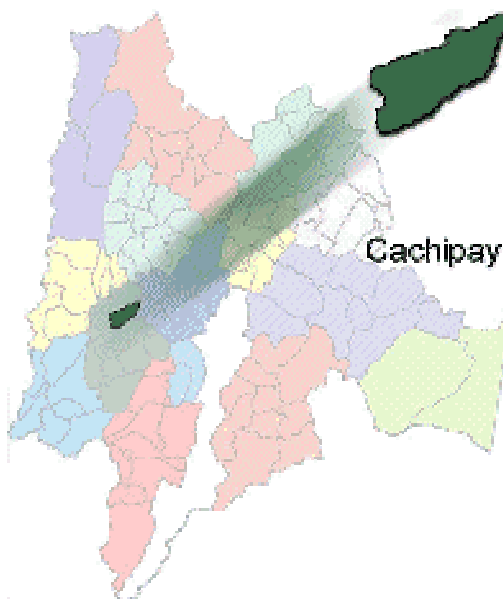
1. ASPECTOS GEOGRÁFICOS

1.1. Ubicación Geográfica

La microcuenca de la quebrada Ocotá se encuentra ubicada en la parte media de la microcuenca del río Bahamón. Nace cerca al casco urbano de Cachipay aproximadamente a los 4°43'56'' latitud norte y los 74°26'31'' longitud oeste a una altitud de 1.570 msnm y, desemboca en el río Bahamón aproximadamente a los 4°42'49'' latitud norte y los 4°42'49'' latitud oeste con una altitud aproximada de 1.120 msnm.

El área de influencia del sector de la quebrada Ocotá se encuentra dentro del perímetro del municipio de Cachipay, Cundinamarca (ver Figura 1). Cuenta con un área de 6,1 km² y su afluente principal tiene una longitud aproximada de 4,9 km.

Figura 1. *Municipio de Cachipay departamento de Cundinamarca*



Fuente: www.cundinamarca.gov.co

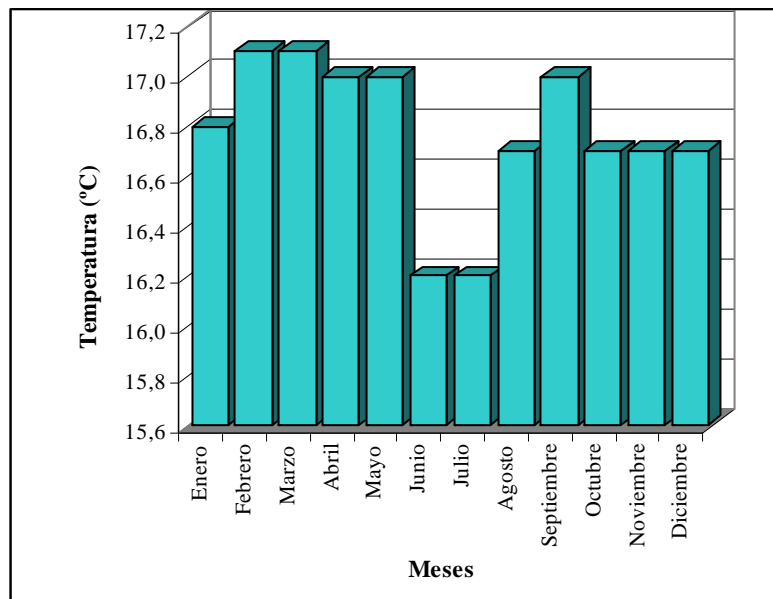
1.2. Clima

Según la CAR (2001) las estaciones climatológicas más cercanas al sector de la quebrada Ocotá son:

- Estación de la Florida (estación climatológica ordinaria) perteneciente al IDEAM y ubicada a una latitud de 04°46' norte, longitud 74°26' oeste, a una altitud de 1916 msnm. Esta estación cuenta con datos de registros continuos desde 1970 en adelante.
- Estación de Peña Negra (estación limnimétrica) perteneciente a la Corporación Autónoma Regional (CAR) y ubicada a 04°42' latitud norte y 74°29' longitud oeste, a una altitud de 980 msnm. La estación cuenta con varios datos continuos desde el año 1988.

La **temperatura** promedio anual es de 16, 8 °C (ver Figura 2.) presentando variaciones inferiores a 1 °C durante todo el año (EOT de Cachipay, 1999)

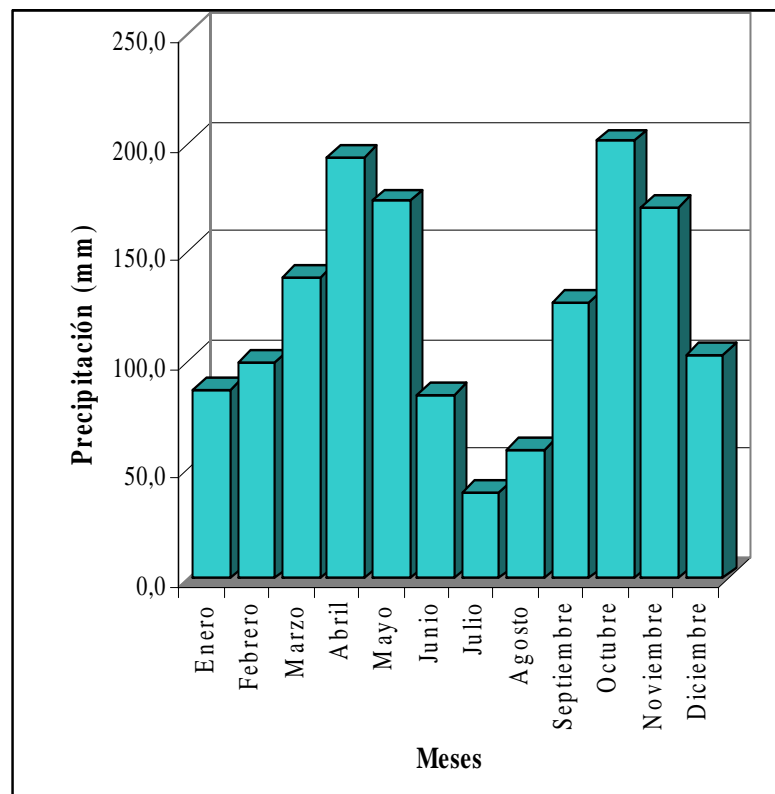
Figura 2. *Temperatura promedio mensual municipio de Cachipay*



Fuente: EOT de Cachipay, 1999

Según el EOT de Cachipay (1999) la **precipitación** promedio anual de la zona es de 1.492 mm con dos periodos secos en los meses de enero y julio y dos periodos de alta precipitación en los meses de abril y octubre, considerado como un régimen de lluvia bimodal. En general las máximas precipitaciones ocurren en abril, octubre y noviembre, siendo octubre el mes más lluvioso (202,7 mm); los períodos de mínima precipitación se presentan en julio y agosto, constituyéndose julio el más seco del año (39,5 mm). (Ver Figura 3)

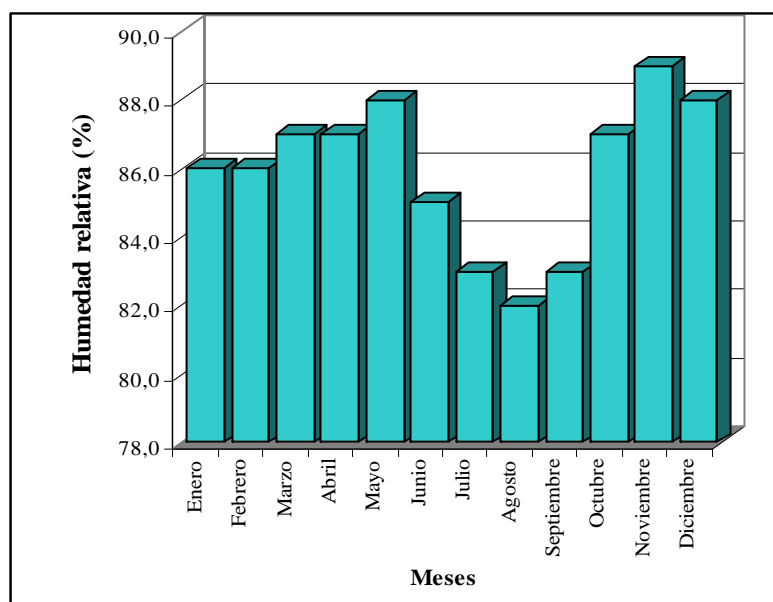
Figura 3. *Precipitación promedio mensual municipio de Cachipay*



Fuente: EOT de Cachipay, 1999

El promedio mensual de la **humedad relativa** “es muy estable a través del año superando el 80% (ver Figura 4), sus valores más bajos se presentan en el mes de julio y agosto que a su vez son los de menor precipitación” (EOT de Cachipay, 1999)

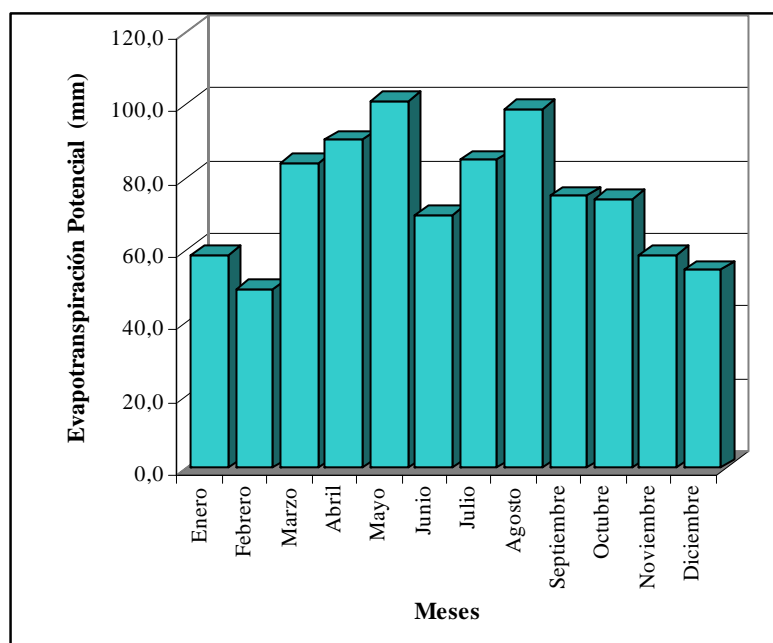
Figura 4. *Humedad relativa promedio mensual municipio de Cachipay*



Fuente: EOT de Cachipay, 1999

La **evapotranspiración potencial** registra su punto mínimo con 49,3 mm en febrero (ver Fig. 5) y, su punto más alto con 100,8 mm en mayo (EOT de Cachipay, 1999)

Figura 5. *Evapotranspiración potencial municipio de Cachipay*



Fuente: EOT de Cachipay, 1999

1.3. Zonificación climática

Según el EOT de Cachipay (1999) para la zonificación climática del municipio se tomó en cuenta las zonas de vida del sistema de Holdridge. Las zonas climáticas del municipio se describen a continuación:

Bosque seco tropical

La vegetación característica de este bosque se localiza al sur del municipio sobre superficies topográficas onduladas, aquí la vegetación natural esta dispersa debido a que ha sido reemplazada por pastos, cañas y frutales.

Bosque húmedo premontano

Apenas se encuentran relictos de bosque natural en las márgenes de las quebradas y los ríos. Entre las especies arbóreas más comunes se tienen el nogal, gague, caucho, laurel, cámbulo y guamo. El bosque natural ha sido reemplazado por cultivos de café, pasto, frutales, hortalizas y flores. Existen áreas reforestadas con especies exóticas como el “Eucalyptus globulus”

1.4. Geología

Según el EOT de Cachipay (1999) en el municipio se encuentran “las formaciones sedimentarias del Cretáceo; el grupo Villeta que corresponde al Cretáceo Inferior, mientras que el grupo Guadalupe corresponde al Cretáceo Superior (más reciente)”.

Las formaciones del Guadalupe superior están compuestas por arenisca tierna y la parte inferior por esquistos arcillosos y “plaeners”. Las formaciones Guadalupe media e inferior están compuestas por lutitas y “plaeners” en su parte superior y en la parte inferior por margas y arcillolitas margosas. Dentro de la misma formación se encuentra la formación Villeta Superior, conformada por lutitas negras (EOT de Cachipay, 1999).

“La formación Villeta presenta una alternancia de calizas y shales negros, además de areniscas calcáreas, shales grises y marrones en la superficie, con alternancia de lutitas, margas y concreciones fosilíferas” (EOT de Cachipay, 1999)

“Cabe destacar que los materiales provenientes de los volcanes del Ruiz, Tolima, Santa Isabel y Quindío, han tenido influencia sobre algunos suelos ya que se depositaron cenizas en algunos relieves ondulados, quebrados, zonas planas y depresionales. Por efectos de la erosión, en las zonas quebradas las cenizas han desaparecido casi por completo” (EOT de Cachipay, 1999).

1.5. Suelos y relieve

Según estudios del IGAC (2000) las unidades cartográficas que se presentan en el sector de la quebrada Ocotá son: Asociación Typic Udorthents - Typic Eutrudepts (MQSg), Asociación Typic Udorthents - Typic Melanudands (MQCe), y Complejo Humic Eutrudepts - Typic Eutrudepts - Typic Udipsamments (MQKd)

Asociación Typic Udorthents - Typic Eutrudepts (MQSg)

Los suelos de esta unidad se distribuyen en alturas entre 1.000 y 2.000 msnm, en clima ambiental medio y húmedo con temperaturas que oscilan entre los 18 y 24 °C y precipitación promedio anual entre 1.000 y 2.000 mm.

Ocupan el tipo de relieve de crestas y escarpes mayores, caracterizados por las laderas medias y largas, rectilíneas y cimas agudas. El relieve es fuertemente escarpado con pendientes superiores al 75%.

Los suelos se derivan de rocas clásticas limoarcillosas, son bien a excesivamente drenados, moderadamente profundos a superficiales, limitados por presentar fragmentos de roca dentro del perfil. Son de grupo textural moderadamente grueso con fragmentos de roca (gravilla) en algunos horizontes.

La unidad está compuesta en un 60% por los suelos Typic Udorthents (CU-116), 25% por Typic Eutrudepts (CU-118) y 15% de inclusiones representadas por afloramientos rocosos.

*Los suelos **Typic Udorthents (CU-116)** hacen parte de la ladera estructural con pendientes superiores al 75%. Se han desarrollado a partir de rocas clásticas limoarcillosas; son excesivamente drenados, muy superficiales limitados por fragmentos de roca que aparecen en promedio a partir de los 17 cm y de grupo textural moderadamente grueso.*

Los suelos son poco evolucionados y poseen perfiles del tipo A-C1-C2. El horizonte A tiene entre 15 y 17 cm, color gris muy oscuro, textura franco arenosa con aproximadamente 17% de gravilla y estructura en bloques subangulares débilmente desarrollados; a continuación aparece un horizonte C, subdividido por color en C1, con 30 a 35 cm de espesor, color gris muy oscuro, textura franco arcillosa con aproximadamente 70% de gravilla y sin desarrollo estructural; a continuación aparece el subhorizonte C2, de color pardo a pardo oscuro, textura franco arcillosa con 70% de gravilla, sin estructura y con espesor superior a los 100 cm.

La reacción de estos suelos es fuerte a medianamente ácida, media alta saturación de bases, niveles bajos de fósforo y medios a altos de calcio, magnesio y potasio. La saturación de aluminio es en general baja y la fertilidad moderada.

Los principales limitantes de uso son las pendientes fuertes y la susceptibilidad a la degradación (fenómenos erosivos y de remoción en masa).

*El componente menor en la unidad corresponde a los suelos **Typic Eutrudepts (CU-118)**; estos suelos se presentan en la parte inferior de las laderas de las crestas, se localizan en pendientes 50-75%, han evolucionado a partir de rocas clásticas limoarcillosas, son excesivamente drenados y moderadamente profundos limitados por la presencia de fragmentos en el perfil.*

Son suelos de baja evolución, de grupo estructural medio y morfología en el perfil A-Bw-C. El horizonte superior (A) es pardo amarillento oscuro, de 25 a 30 cm, textura franco arcillosa con aproximadamente 52% de gravilla y estructura en bloques subangulares débilmente desarrollada; el horizonte subsiguiente corresponde a un cámbico (Bw), el cual tiene en promedio 40 a 45 cm de grosor, colores pardo amarillento oscuro y gris muy oscuro, textura franco arcillosa con aproximadamente 67% de gravilla y estructura en bloques subangulares con moderado estado de desarrollo. El horizonte siguiente es de incipiente desarrollo (C), su color es pardo pálido, de textura franco arcillosa con 60% de gravilla y espesor superior a los 65 cm.

Estos suelos presentan en general contenidos medios a altos de calcio, magnesio, potasio y fósforo, capacidad de intercambio catiónico y saturación de bases altas, reacción ligeramente ácida a neutra en superficie y fuertemente ácida en profundidad, la fertilidad es alta.

Los principales limitantes para uso agropecuario so: las fuertes pendientes, la alta susceptibilidad a los fenómenos erosivos y de remoción en masa y de drenaje excesivo.

Como inclusión de la unidad cartográfica se encuentran los afloramientos rocosos que ocupan aproximadamente el 15% de la unidad.

Asociación Typic Udorthents - Typic Melanudands (MQCe)

Esta asociación se encuentra en altitudes entre 1.000 y 1.200 metros y clima ambiental medio y húmedo. Las temperaturas e la unidad varían entre 18 y 24 °C y las precipitaciones entre 1.000 y 2.000 mm/año.

Ocupan la posición de lomas dentro del paisaje montañoso con pendientes entre 12% y 50% y relieve ligera a moderadamente quebrado. Los suelos han evolucionado a partir de rocas clásticas limoarcillosas y mantos de espesor variable de ceniza volcánica, son

profundos a muy superficiales (limitados por fragmentos de roca), bien a moderadamente bien drenados y de grupo textural medio a fino.

En algunos sectores se aprecia pedregosidad superficial que dificulta la explotación agropecuaria de estas tierras.

La asociación esta constituida por los suelos Typic Udorthens (Perfil AC-28) en una proporción del 50%; Typic Melanudands (AC-12) en un 25%, e inclusiones de los suelos Typic Hapludolls (G-21) y Vertic Dystrudepts (CU-91) con 15% y 10%, respectivamente.

*Los suelos **Typic Udorthens (AC-28)** se localizan en laderas y cimas de las lomas con pendientes 25-50%, están muy poco evolucionados, desarrollados a partir de rocas clásticas limoarcillosas, de texturas finas a medias, bien drenados y de profundidad efectiva muy superficial es limitada por fragmentos de roca en el perfil.*

Morfológicamente presentan perfiles del tipo A-AC-C1-C2. el horizonte Ap tiene de 10 a 15 cm de espesor, color pardo grisáceo muy oscuro, textura franca con 5% de gravilla y estructura granular débilmente desarrollada; el horizonte AC, es pardo oliváceo claro, de textura franco arcillosa (15% de gravilla) y sin estructura (masiva); el subhorizonte C1 tiene 30 a 35 cm de grosor, color pardo fuerte, textura arcillosa con aproximadamente 30% de fragmentos y sin desarrollo estructural; el horizonte C2, es amarillo parduzco, de textura arcillo limosa y con espesor de 30 a 35 cm.

Químicamente presenta reacción fuerte a medianamente ácida, medios a bajos contenidos de calcio, magnesio, potasio y fósforo, media a baja capacidad de intercambio catiónico y media a alta saturación de bases. La saturación con aluminio es en general baja y la fertilidad moderada a baja.

Actúan como limitantes del uso y manejo: la profundidad efectiva muy superficial y la presencia de pedregosidad superficial en algunos sectores de la unidad.

*El componente secundario de la unidad corresponde a los suelos **Typic Melanudands (AC-12)** que se distribuyen en laderas de pendiente 12-25% conformando un relieve moderadamente quebrado a moderadamente ondulado; los suelos son profundos, bien drenados y de texturas medias a finas.*

Presentan perfiles con horizontes A-Bw1-Bw2. el primero de ellos es de color negro, textura franco limosa y estructura blocosa subangular moderadamente desarrollada; el horizonte siguiente (Bw1) es pardo grisáceo muy oscuro, de textura arcillo limosa y estructura en bloques subangulares moderadamente desarrollada; el Bw2 es pardo oliva claro, de textura arcillo limosa y estructura en bloques subangulares fuertemente desarrollada.

Las propiedades químicas de estos suelos reflejan alta capacidad de intercambio catiónico, contenidos medios a altos de calcio, magnesio y potasio en el primer horizonte y medios a bajos en los horizontes subsiguientes, saturación de bases media a baja que decrece con la profundidad, reacción ligeramente ácida a neutra y fertilidad moderada a alta.

*Las inclusiones están representadas por los suelos **Typic Hapludolls (G-21)** que ocupan laderas de pendiente 12-25%; son profundos moderadamente bien drenados, de texturas finas y morfología en el perfil: Ap (0-18 cm de profundidad) – Bw1 (18-41 cm de profundidad) – Bw2 (41-60 cm) – Bw3 (60-140 cm). Sus propiedades químicas reflejan contenidos medios a altos de calcio, magnesio y potasio, alta capacidad de intercambio catiónico, reacción extrema a muy fuertemente ácida y fertilidad moderada.*

Complejo Humic Eutrudepts - Typic Eutrudepts - Typic Udipsamments (MQKd)

Los suelos pertenecientes a esta unidad se encuentran entre 1.000 y 2.000 msnm, con clima ambiental medio húmedo caracterizado por temperaturas entre 18 y 24 °C y precipitaciones promedio anual entre 1.000 y 2.000 msnm.

Esta unidad ocupa la posición de glacis coluvial en el paisaje de montaña, con pendientes entre 7 y 25% (relieve ligera a moderadamente quebrado) y pedregosidad superficial en algunos sectores. Estos suelos se han desarrollado a partir de depósitos clásticos hidrogravigénicos, son profundos a moderadamente profundos y bien a excesivamente drenados.

La presencia en algunos sectores de piedra y pedregón en superficie, limitan la mecanización y por ende dificulta la explotación agropecuaria de estas tierras.

El complejo lo integran los suelos Humic Eutrudepts (perfil G-22) en una proporción estimada del 50% y Typic Eutrudepts (CU-140) en un 35%. El restante 15% lo constituyen los suelos Typic Udipsamments (perfil CC-86).

*Los suelos del subgrupo **Humic Eutrudepts (perfil G-22)**, se localiza en sectores con laderas 7-12% son bien drenados, de texturas moderadamente finas y profundidad efectiva moderada, limitada por fragmentos de roca en le perfil (a una profundidad inferior a 50 cm).*

Los suelos son de baja evolución y presentan una evolución de horizontes Ap (0-40 cm de profundidad), Bw (40-50 cm), C (50-70 cm); el primer horizonte es de color pardo oscuro, textura franco arcilloso arenosa y estructura en bloques subangulares moderadamente desarrollada, el horizonte cámbico es pardo grisáceo con moteados pardo amarillento, textura franco arcillo arenosa y estructura en bloques subangulares moderadamente desarrollada; el horizontes C, está constituido por bloques de arenisca embebidos en escasa matriz fina de suelo.

Son suelos de reacción medianamente ácida, contenidos medios de calcio, magnesio y potasio, mediana a baja capacidad de intercambio catiónico y baja a alta saturación de bases, niveles bajos de fósforo y fertilidad moderada.

*Los suelos **Typic Eutrudepts (CU-140)**, se distribuyen en sectores con pendiente 12-25%, son en general profundos, moderadamente bien drenados y de texturas medias a moderadamente gruesas.*

La evolución de estos suelos es baja, se han originado a partir de depósitos clásticos hidrogravigénicos y presentan horizontes Ap (0-16 cm de profundidad), Bw (16-76 cm), C (76-12 cm). El primer horizonte es pardo grisáceo oscuro con moteados amarillo parduzco, de textura franca y estructura en bloques subangulares débilmente desarrollada; el segundo es pardo grisáceo con moteados pardo amarillento, de textura franco limosa y estructura en bloques subangulares fuertemente desarrollada; por último el tercero es pardo pálido, de textura franco arenosa y sin desarrollo estructural.

Químicamente estos suelos se caracterizan por presentar niveles altos de saturación de bases y capacidad de intercambio catiónico, reacción ligeramente ácida en los horizontes superficiales y mediana a fuertemente alcalina en profundidad; presentan contenidos altos de calcio, magnesio y medios a bajos de potasio; la fertilidad de estos suelos es alta.

*Los suelos **Typic Udipsamments (CC-86)** constituyen otro componente de esta unidad cartográfica y se caracterizan por ser profundos, bien a excesivamente drenados, de texturas moderadamente gruesas a gruesas y se localizan en sectores de relieve moderadamente ondulado.*

Morfológicamente presentan horizontes A (36-42 cm de profundidad), C1 (6-26 cm), C2 (26-36 cm), C3 (36-42 cm), C4 (42-120 cm). Son de reacción muy fuerte a fuertemente ácida, con alta saturación de bases, baja capacidad de intercambio catiónico y fertilidad moderada a baja.

1.6. Sistemas de producción

Según el EOT de Cachipay (1999) “las actividades económicas del municipio corresponden principalmente al sector primario de la economía donde sobresalen en el sector Agrícola: café, floricultura, horticultura, frutales y cítricos; en el sector Pecuario: ganado, piscicultura y porcicultura.”

Cabe agregar que para el presente año, gran parte de las actividades agrícolas se encuentran asociadas a los cultivos forrajeros los cuales se han constituido como una alternativa ecológica y económica para los sistemas productivos que se encuentran dentro de la zona de estudio, según lo observado en el trabajo de campo.

“La actividad agropecuaria se desarrolla en los climas frío a templado con la producción de flores, hortalizas, pastos, cultivos de mora y otros frutales”. (EOT de Cachipay, 1999)

“En el clima medio la actividad humana esta orientada a la explotación cafetera esencialmente, además del plátano que se encuentra asociado con el café. Adicionalmente se cultivan frutales cítricos y maíz entre los más sobresalientes” (EOT de Cachipay, 1999).

“En algunas zonas del municipio se hacen notorios los cultivos de pasto para ganadería extensiva y caña para panela y maíz” (EOT de Cachipay, 1999)

2. CALIDAD DELSUELO

2.1. El concepto suelo

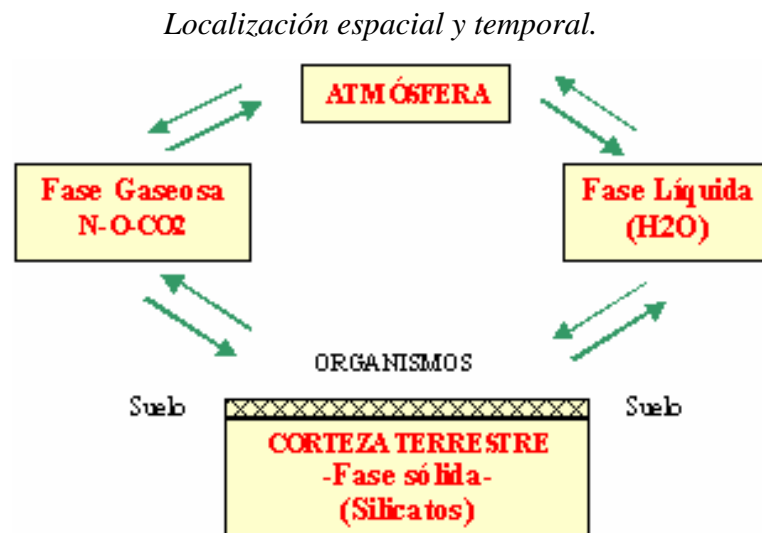
El estudio del recurso suelo ha tomado importancia durante el transcurso de los últimos años. Los suelos además de ser un soporte para los asentamientos humanos, proveen a la población de una gran variedad de productos para su alimentación y protección.

Comúnmente se cree que el suelo es una zona inerte y sin movimiento acumulado en capas horizontales, capaz de brindar un soporte para las plantas y las comunidades humanas junto con sus sistemas productivos.

Desde que se ha desarrollado el estudio del suelo el concepto del mismo ha cambiado. Según Strahler (1989) el suelo constituye una capa dinámica en la que constantemente tienen lugar numerosos y complejos procesos físicos, químicos y biológicos. La USDA (2001b) coincide en que el suelo es un cuerpo dinámico con propiedades físicas, químicas y biológicas que soporta la vida de las plantas.

Malagón (s.f.) concluye que el suelo es un cuerpo natural conformado por una conexión de elementos y procesos, resultado de su localización y del contacto de la atmósfera con la superficie de la corteza (ver Figura 6). Dentro de este contexto, el suelo se puede entender como el resultado de la interacción de varios factores como: el material parental, el clima, los factores bióticos, la topografía y el tiempo (IGAC, 2000).

Figura 6. Interacciones entre la atmósfera y la superficie de la corteza terrestre.



Fuente: Malagón (s.f.)

2.2. Calidad del suelo

Según Mausbach (1996) la calidad del suelo es una composición gráfica de las condiciones de un tipo específico de suelo para funcionar dentro de un uso determinado. Seybold, et al., (citado por USDA, 2001a) enumeran las siguientes funciones del suelo:

(1) mantener la productividad biológica, la diversidad, y la productividad; (2) regular los flujos de agua y solutos; (3) filtrar y amortiguar la contaminación, la degradación, y desintoxicar e inmovilizar la materia orgánica e inorgánica, incluyendo los productos provenientes de industrias y residuos municipales y deposiciones atmosféricas; (4) almacenar y circular nutrientes y otros elementos dentro de la biosfera terrestre; y (5) proveer soporte a las estructuras socioeconómicas y proteger los tesoros arqueológicos asociados con la civilización humana.

Debido a que la capacidad del suelo para funcionar varía naturalmente, entonces, la calidad es específica para cada tipo de suelo (USDA, 2001a). Este concepto abarca dos componentes: (1) la calidad inherente del suelo; y (2) la calidad natural del suelo (Larson and Pierce, 1991; Pierce and Larson, 1993, citado por Mausbach, 1996).

La **calidad inherente** del suelo se refiere a las características que se dan como resultado de los factores de formación del suelo –clima, topografía, vegetación, material parental, y el tiempo (Jenny, 1941, citado por Mausbach, 1996). Este concepto, por lo general, se refiere a la **capacidad del suelo** como por ejemplo: un suelo limoso tiene mayor capacidad de retener el agua que un suelo arenoso, entonces el suelo limoso tiene mayor calidad inherente para almacenar agua (USDA, 2001a).

En la actualidad, la calidad del suelo se refiere a la **calidad dinámica** del mismo, definida como las propiedades del suelo que cambian como resultado del uso y manejo antrópico (USDA, 2001a). Por ejemplo, un suelo limoso tiene una capacidad inherente para almacenar agua, pero esta capacidad puede ser limitada por las prácticas de manejo que causan la compactación, disminución de la estabilidad estructural, o bajos contenidos de materia orgánica (Mausbach, 1996). En ocasiones esta también se refiere a la salud del

suelo y es el punto focal en la evaluación de la calidad del suelo (National Research Council, 1993; Doran and Parkin, 1994; Larson and Pierce, 1991, Larson and Pierce, 1994; Harris and Bezdicek, 1994; Acton and Gregorich, 1995; Karlen et al., 1997, citado por Mausbach, 1996).

En este contexto la evaluación de la calidad del suelo es usada entonces para evaluar los efectos del manejo sobre la salud del suelo. Según USDA (2001a) la evaluación de la calidad del suelo incluye:

- (1) Comparar los efectos de diferentes sistemas de uso sobre la calidad del suelo entre dos o más terrenos con una unidad similar en el mapa de suelos (tipo de suelo);*
- (2) monitorear las tendencias en uno o más terrenos sobre el tiempo para determinar el impacto del manejo sobre el suelo e identificar los problemas del recurso del suelo; y*
- (3) diagnosticar las causas del problema en determinada área.*

2.3. Indicadores de calidad del suelo

Los indicadores son, básicamente, conjuntos de propiedades que condicionan un comportamiento (Jaramillo, 2004). La USDA (2001a) define un indicador de calidad de suelo como las propiedades físicas, químicas y biológicas; procesos y características que pueden ser medidas para monitorear los cambios que generan los diferentes usos del suelo.

Existen diferentes clases de indicadores los cuales pueden ser físicos, químicos, biológicos y/o indicadores visuales. Según la USDA (2001a) estos indicadores pueden ser evaluados por técnicas cualitativas y/o cuantitativas. La **evaluación cualitativa** es la determinación de la naturaleza de un indicador (Ej. escorrentía). La **evaluación cuantitativa** es la medida exacta de un indicador (Ej. tasa de infiltración).

Es importante tener en cuenta que el empleo de las técnicas cualitativas, pueden estar sujetas a representaciones demasiado subjetivas, por lo que la observaciones hechas con estas técnicas pueden variar de un sujeto a otro disminuyendo la exactitud de los resultados. Los indicadores que son medidos a partir de técnicas cualitativas ofrecen mayor exactitud

puesto que son representados con valores numéricos; de esta forma, cualquier persona puede obtener los mismos resultados sin tener variaciones importantes.

Según la USDA (1996b) la selección de los indicadores de calidad del suelo se pueden basar en:

- uso del suelo;
- variabilidad entre los tiempos de muestra y su variación en el espacio;
- sensibilidad de la medida a los cambios en el manejo del suelo;
- compatibilidad con el número de muestras y el monitoreo;
- la experiencia requerida para su uso e interpretación.

Así como la elección de los indicadores varía dependiendo del uso del suelo, los resultados y su interpretación también pueden variar según el uso que se le de al suelo. La frecuencia de la medida de los indicadores también puede variar de acuerdo al clima y uso del suelo (USDA, 2001a).

El momento del muestreo es importante, pues las propiedades del suelo varían con el clima y con las operaciones de manejo. Usualmente, para la evaluación general de la calidad del suelo, se recomienda un muestreo por año de un predio. El muestreo anual permite la detección de cambios a largo plazo en la calidad edáfica. El mejor momento para hacer un muestreo es cuando el clima es más estable, y durante el cual el suelo no ha sido perturbado, como por ejemplo después de la cosecha o hacia el final del período de crecimiento (USDA, 1999a).

Para evaluar la calidad de cierto tipo específico de suelo, es necesario disponer de un Juego Mínimo de Datos (Minimum Data Sets) definido como los datos mínimos de propiedades o indicadores necesarios para medir o caracterizar la calidad del suelo (USDA, 2001a). Este juego mínimo de datos puede variar de una región a otra dependiendo del tipo de suelo, clima o sistemas de uso del suelo.

Según la USDA (2001a) para que cada indicador sea de gran utilidad deben tener las siguientes características:

- Fáciles de medir
- Capaz de medir cambios en las funciones del suelo
- Accesible a muchos usuarios y aplicable a las condiciones del terreno
- Sensible a las variaciones del clima y manejo
- Representar las propiedades físicas, químicas y biológicas
- Evaluados en un tiempo razonable

2.3.1. Indicadores visuales

Los indicadores visuales pueden mostrar el efecto de ciertos procesos que estén afectando un área importante de terreno. Estos pueden ser observados de forma directa usando técnicas de evaluación cualitativas, por ejemplo en fotografías aéreas (SQI, 1996, citado por Jaramillo, 2004). Se pueden nombrar un sin número de estos indicadores, claro está, que la selección de los mismos debe coincidir con las propiedades o la calidad de un tipo específico de suelo. Algunos de estos indicadores pueden ser:

- Escorrentía superficial
- Acumulación de sedimentos
- Encostramiento superficial
- Surcos
- Estructura laminar

2.3.2. Indicadores físicos

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 (SQI, 1996, citado por Jaramillo, 2004). Algunos de estos indicadores pueden ser:

- Densidad aparente
- Porosidad
- Estabilidad estructural
- Textura
- Tasa de infiltración
- Compactación
- Profundidad de la capa superficial.

2.3.3. Indicadores químicos

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” (SQI, 1996, citado por Jaramillo, 2004). Entre estos se incluye:

- pH
- Salinidad
- Materia orgánica
- Concentración de fósforo
- Capacidad de intercambio catiónico (CIC)
- Ciclaje de nutrientes
- Concentración de elementos potencialmente contaminantes.

2.3.4. Indicadores biológicos

Los indicadores biológicos se relacionan con el contenido y actividad de organismos que viven en el suelo y su interacción con las plantas. (SQI, 1996, citado por Jaramillo, 2004). Estos indicadores incluyen: micro y macroorganismos, su actividad, o productos que generan los organismos como las lombrices, los nematodos o la población de termitas.

3. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

La interacción de los recursos naturales, durante el recorrido de la historia, se ha enfrentado a procesos complejos, dinámicos y diversos. En la actualidad, los procesos de interacción del medio natural se han hecho mucho más complejos a medida que las actividades del hombre han ido transformando al medio de acuerdo a sus necesidades aumentando las presiones sobre el mismo.

Frente al incremento del uso indiscriminado de los recursos, se ha hecho más evidente que la toma de decisiones y análisis de los mismos necesita del conocimiento de sus características fundamentales y de los procesos a través de los cuales ellos se ubican y se utilizan a partir de una visión integral e interdisciplinaria. Según Rodríguez, (s.f.) esto normalmente se lleva a cabo dentro de las siguientes etapas:

- *Estudios de los recursos naturales, incluyendo la evaluación y mapeo de las fuentes y sus demandas, así como de sus características y propiedades.*
- *Estudios de alternativas de ubicación espacial, temporal y funcional de los recursos*
- *Estudios de variables biofísicas, técnicas, económicas, sociales, políticas, legales e institucionales, las cuales condicionan la ubicación y uso de los recursos.*
- *Estudios de impacto de la localización espacial de los recursos.*

“Dentro de este contexto, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) pueden facilitar los procesos de análisis y toma de decisiones de los recursos naturales en cuanto permiten el almacenamiento de datos tanto gráficos (ya sean bidimensionales o tridimensionales) como temáticos en diferentes espacios de tiempo y comparar los resultados. De esta forma los SIG constituyen una tecnología de apoyo para los procesos de planificación, ordenamiento, manejo y conservación de los recursos naturales” (Martínez et al., 1997).

3.1. ¿Qué es un SIG?

Esencialmente un Sistema de Información Geográfica “es un sistema de hardware, software y procedimientos diseñados para soportar la captura, administración, manipulación, análisis, modelamiento y graficación de datos u objetos referenciados espacialmente, para resolver problemas complejos de planeación y administración” (Carmona & Monsalve, s.f., párr. 31)

Según Aronoff (citado por Martínez et al, 1997) un Sistema de Información Geográfica se refiere al conjunto de procedimientos, ya sean manuales o computarizados, que se utilizan para almacenar, manejar y analizar datos referenciados geográficamente. Los datos usados en el SIG son estandarizados permitiendo el procesamiento de la información.

“Es un sistema porque permite la producción de información integrando las etapas de recolección, manejo, recuperación, transformación y análisis para la toma de decisiones en una organización” (Meijerink, Brower, Mannaerts & Valenzuela, 1944, citado por Martínez et al, 1997).

“Es de información geográfica porque utiliza datos que no han sido transformados, o lo han sido de forma parcial y suministra datos con conocimiento agregado, es decir, trabaja con datos georeferenciados en el espacio” (Martínez et al, 1997)

De acuerdo a esta definición el SIG es una herramienta de análisis de información, la cual debe estar debidamente georeferenciada, permitiendo la generación de nueva información a partir de la existente por medio de la sobreposición de capas de información o realización de cálculos. De esta forma los SIG permiten analizar las tendencias y determinar los factores que influyen sobre el entorno natural con el fin de evaluar las consecuencias que puede conducir una u otra decisión de planificación sobre este.

3.2. Componentes del SIG

De acuerdo con Davis y Olson (1985, citado por Rodríguez, s.f.) “los sistemas de información son un sistema integrado usuario-máquina, el cual provee la información para realizar la tarea de operación, manejo y decisión dentro de una organización”. Según Benyon (1990, citado por Rodríguez, s.f.), el sistema de información está compuesto por tres componentes principales: los datos y sus interrelaciones, los procesos y las relaciones entre los datos y los procesos. Dicho de esta forma, los SIG se componen entonces de un hardware y un software con sus correspondientes datos, personal y métodos (ver Figura 7)

El *Hardware* básicamente, es donde opera el SIG, es decir, es el conjunto de todos los elementos físicos y tangibles que permiten el funcionamiento de los programas y la comunicación con el usuario, ya sea dentro de servidores o de computadores personales. El hardware es capaz de recibir (a través de un medio de entrada) y almacenar información, para luego procesarla y entregar los resultados de forma rápida y segura (a través de un medio de salida).

Figura 7. Componentes de un Sistema de Información geográfica



Fuente: www.monografias.com

El *Software* es el programa que suministra las funciones y herramientas necesarias para almacenar, analizar y desplegar la información geográfica. En la actualidad existen varios programas que ofrecen las herramientas para facilitar el análisis de la información

geográfica como: ArcView, ArcInfo, Idrisi, Ilwis, entre otros. Según Carmona & Monsalve (s.f.) los principales componentes de los programas son:

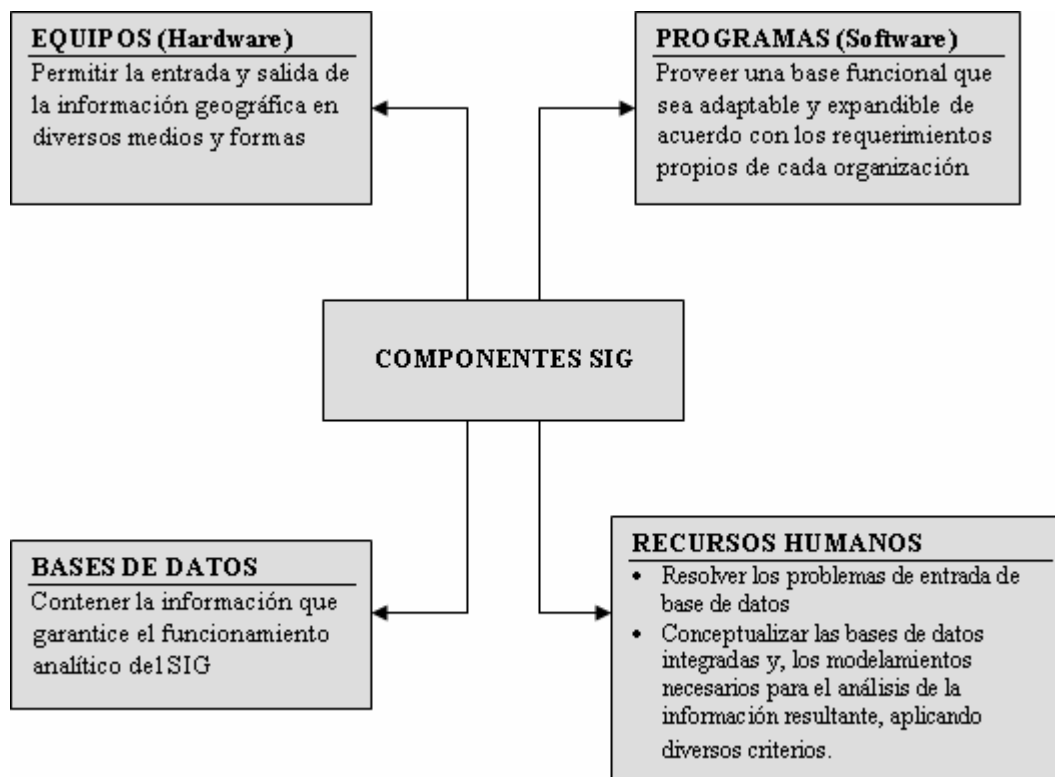
- *Herramientas para la entrada y manipulación de la información geográfica.*
- *Un sistema que maneje la base de datos (DBMS)*
- *Herramientas que permitan búsquedas geográficas, análisis y visualización.*
- *Interfase gráfica para el usuario (GUI) para acceder fácilmente a las herramientas.*

Los *datos* son otro de los componentes que ocupan un lugar importante dentro de los sistemas de información. Dentro de los métodos para la recopilación de datos se distinguen los primarios y secundarios (Thapa & Burtch, 1990, citado por Martínez et al, 1997). Los datos primarios hacen referencia a los procedimientos mediante los cuales los datos son recolectados directamente del campo. Los métodos secundarios son los procedimientos en los que los datos se adquieren a partir de documentos existentes (Martínez, 1997).

Para el manejo de la información es necesario contar con el *recurso humano* capaz de operar, desarrollar y administrar el sistema. El personal debe estar capacitado para establecer planes de manejo de los datos y aplicarlo a los problemas del mundo real. En cuanto a los planes de manejo de los datos, este debe operarse de acuerdo a un plan de manejo que ha sido diseñado con anticipación, que son los métodos o procedimientos que deben caracterizar a cada institución. La Figura 8 da una visión general de cada una de las funciones de los componentes ya expuestos.

Referente a los datos espacializados o georeferenciados estos poseen características que los diferencian de los datos utilizados en sistemas de información desarrollados para otros propósitos. Estas son: la posición geográfica, las propiedades y la temporalidad. Las propiedades deben estar relacionadas entre sí, así como con el espacio donde se encuentran y con el tiempo cuando ocurren (Meijerink *et al.* 1994, citado por Martínez *et la*, 1997).

Figura 8. Esquema de las funciones de los componentes de un Sistema de Información Geográfica



Fuente: www.monografias.com

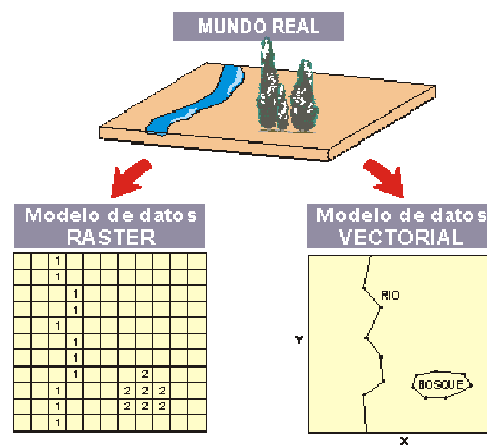
Para la representación computarizada de las formas espaciales en cada sistema, se pueden distinguir tres grandes grupos de Sistemas de Información Geográfica: *SIG vectoriales*, *SIG Raster* y *SIG con modelo de datos Orientados a Objetos*¹. La representación de los SIG Raster (ver Figura 9) consiste en una matriz de celdas de tamaño uniforme, cada una referenciada por un posicionamiento único. Este contiene un número o código que representa el tipo de valor del atributo que se mapea. La estructura en vectores representa puntos por sus coordenadas (Martínez *et la*, 1997).

“Las representaciones vectoriales pueden ser expresadas a partir de objetos universales que se refieren a los puntos, las líneas y los polígonos o áreas (ver Figura 9). Los elementos puntuales son todos aquellos objetos relativamente pequeños respecto a su entorno más inmediatamente próximo, se representan mediante líneas de longitud cero. Los objetos

¹ <http://www.monografias.com/trabajos/gis/gis>, Agosto 23 de 2005

lineales se representan por una sucesión de puntos donde el ancho del elemento lineal es despreciable respecto a la magnitud de su longitud. Los objetos de tipo área se representan en un SIG de acuerdo con un conjunto de líneas y puntos cerrados para formar una zona perfectamente definida a la que se le puede aplicar el concepto de perímetro y longitud” (Carmona & Monsalve, s.f.).

Figura 9. Representación computarizada de las formas espaciales en un sistema de Información Geográfica (SIG)

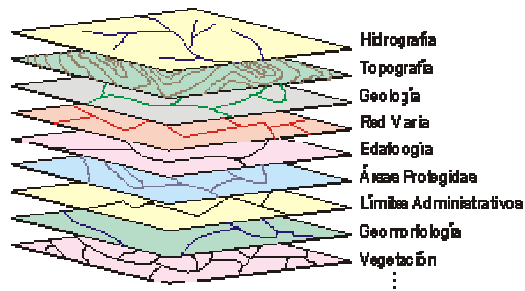


Fuente: <http://recursos.gabrielortiz.com/>

Los datos espaciales que son introducidos a un SIG pueden ser presentadas como capas en un mapa o modelo espacial como una unidad básica de agrupación de varios mapas que comparten algunas características en forma de temas relacionados con los objetos contenidos en los mapas (ver Figura10).

A un conjunto de mapas relacionados se le denomina entonces categoría, a un conjunto de categorías se les denomina un tema y al conjunto de temas dispuesto sobre una área específica de estudio se agrupa en forma de índices temáticos o geoíndice del proyecto SIG (Carmona & Monsalve, s.f.).

Figura 10. Agrupación de mapas temáticos para la obtención de una unidad básica de información geográfica



Fuente: <http://recursos.gabrielortiz.com/>

De esta forma para el montaje del SIG es fundamental identificar y definir la información que se va a requerir. Según Martínez, *et al*, (1997) para que esta información sea utilizada de forma exitosa en los procesos de planificación, debe cumplir algunos requisitos como:

- **Idoneidad.** La información debe ser apropiada a los requerimientos de cada territorio.
- **Calidad.** La calidad de la información generada depende en gran medida de la calidad de los datos que se utilizan para generarla.
- **Espacialidad.** La planificación del uso de la tierra, los procesos de degradación del medio, las acciones de conservación, manejo y recuperación de los recursos naturales y en general de todas las interacciones del hombre con el medio están referidas u ocurren en un espacio.
- **Variabilidad espacial.** Factor fundamental de algunos aspectos que caracterizan el medio biofísico y socioeconómico. El análisis de este factor permite establecer patrones de variación que son básicos para entender los fenómenos en estudio y para predecir su comportamiento en otras condiciones.
- **Temporalidad.** Se debe considerar la validez de la información en el tiempo ya que los procesos del entorno natural son muy dinámicos en el tiempo. En este caso la información generada debe permitir conocer el estado actual de dichos procesos, los cambios que han ocurrido y las tendencias probables hacia el futuro.

- **Integralidad.** *Los problemas que enfrenta la planificación del uso de la tierra tienen causas sociales, económicas, políticas y culturales, además de las biofísicas, por consiguiente, para la identificación y análisis de los problemas y para la generación y aplicación de soluciones efectivas se requiere que la información generada integre los factores antes enunciados.*
- **Disponibilidad y accesibilidad.** *Algunas características de la información producida tradicionalmente son la disponibilidad limitada, su alta dispersión, las formas inadecuadas de presentación y en general las dificultades para acceder a ella, como consecuencia, las decisiones se toman sin suficientes criterios.*

4. SISTEMA DE INFORMACIÓN DE SUELOS

En la actualidad, las investigaciones relacionadas con la obtención de información del recurso edáfico, han sido indispensables para el diseño de un sistema de información que facilite a los usuarios del mismo, la obtención de datos y métodos de forma rápida, eficaz y que de igual forma, sean presentados de forma apropiada.

Los sistemas de información como se comento anteriormente, facilitan la relación de los datos y los métodos pedológicos, los cuales deben estar orientados a los problemas que puedan afectar a cierta región o población (Bartsch, et al, 1994)

Según NSW (2004) un Sistema de Información de Suelos es una base de datos que contiene descripciones o atributos del recurso edáfico; estos datos pueden tener diferentes usos y pueden ser alimentados continuamente, por lo tanto los datos deben contener una descripción precisa sobre el estado de los recursos al igual que los métodos usados para ello.

Según Bartsch, et al. (1994) el objetivo principal de un Sistema de Información de Suelos (SIS) es determinar cómo este puede apoyar al usuario en la búsqueda de datos relacionados con el recurso edáfico. En este caso es necesario que el usuario enfoque el problema que quiere relacionar con la información que será desplegada posteriormente.

Para proporcionar una relación entre los datos y métodos usados en criterios pedológicos, estos deben ser almacenados en una estructura definida y ordenada para la obtención de resultados significativos en el sistema con el fin de aumentar el número de posibilidades para combinar los datos y por ende la información potencial que puede obtener el sistema (Bartsch, et al, 1994).

Con respecto a la estructura y manejo y funcionamiento de los SIS, es similar al expuesto en el capítulo del SIG. La tarea principal de control del sistema es la integración basada en los problemas de todos los componentes del sistema.

Según Bartsch, et al (1994) los principales pasos para el diseño y construcción de un SIS son:

- Definición del problema (determinación de las estructuras de los datos más importantes): Primero, el usuario debe especificar el tipo de información que quiere adquirir.
- Selección del modém: Cuando se ha especificado el problema, uno de los mapas es llamado para relacionarlo con el problema definido anteriormente.
- Ajuste de datos (opcional): Si el problema requiere el uso de otros métodos, el sistema genera una secuencia de módulos. Los datos de la salida se almacenan en una memoria.
- Presentación de resultados: Si se desea leer solo la base de datos, el usuario puede seleccionar las áreas o los puntos en alguna sección del mapa que haya escogido que tenga relación con el problema inicial. Los datos entonces saldrán en una ventana de la pantalla.

Bartsch *et al.* (1994) aclara que este tipo de sistemas no están diseñados para la utilización y el desarrollo de nuevos métodos en el sistema, sino que el mismo se intenta usar solo para metodologías ya existentes.

PROBLEMA

La microcuenca de la quebrada Ocotá se encuentra ubicada dentro del municipio de Cachipay. La principal actividad económica del municipio son los sistemas productivos agropecuarios. Gran parte de la población que habita en la región, se encuentra vinculada a estas actividades de forma directa o indirecta (EOT de Cachipay, 1999)

La introducción de sistemas de uso y manejo no sostenibles de las tierras en la región ha generado procesos que han degradado el recurso edáfico dentro de la microcuenca. Algunas zonas ya presentan problemas de erosión moderada donde se hacen visibles a simple vista indicando que el suelo posee un alto grado de alteración. Sin embargo, existen procesos que no son tan fáciles de observar. Martínez *et. al.* (1997) señala que estos procesos pueden ser apreciados de forma indirecta ya sea por la pérdida de fertilidad del suelo o el horizonte superficial y la capacidad de retención de humedad.

Uno de los principales problemas que enfrenta la Asociación de Usuarios de los Acueductos del Río Bajamón (comunicación personal, 6 de agosto, 2005), es la disminución de la oferta hídrica en la región, la cual se evidencia por la disminución del caudal de los cuerpos de agua en los periodos de bajas lluvias, tornándose estos insuficiente para satisfacer las necesidades de los habitantes de la cuenca. Una de las posibles causas de tales eventos son los procesos de degradación del suelo, dado que este pierde su capacidad de regulación del ciclo hidrológico cuando sufre procesos de degradación.

JUSTIFICACIÓN

El manejo de los recursos naturales, y en especial del recurso edáfico, requiere de un análisis multidisciplinario debido a la complejidad de las interacciones de éste con los otros componentes del medio. Esto implica sistematizar y analizar gran cantidad de información para lograr tomar decisiones racionales frente al recurso y su manejo.

Dado que la mayoría de los recursos naturales tienen una expresión espacial, y sus características varían espacialmente se hace necesario monitorear el cambio de estos tanto en el tiempo como en el espacio. Es importante entonces, contar con una herramienta que permita el estudio de variables espaciales para determinar las relaciones existentes entre ellas, y la influencia del uso del territorio sobre las mismas. Es así como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituyen una herramienta de apoyo para la toma de decisiones en la gestión y análisis de la información espacial en las cuencas hidrográficas.

Teniendo en cuenta la realidad actual de la zona de estudio, cobra importancia conocer el estado actual de los suelos en la microcuenca, realizar inventarios de degradación de éste, y establecer las relaciones existentes entre los diferentes usos del territorio y la degradación de los suelos.

Por lo tanto se construirá un SIG con indicadores de calidad de suelos y los sistemas de uso de la tierra. Teniendo en cuenta que la intervención antrópica, ya sea mediante actividades agrícolas, ganaderas, o forestales tienen un efecto en la calidad del suelo, este SIG será de utilidad para los dueños de los predios, expertos, planificadores e instituciones gubernamentales del municipio de Cachipay para evaluar el impacto ambiental de los diferentes sistemas de uso de la tierra encontrados, realizar un diagnóstico ambiental de la cuenca y hacer gestión del recurso edáfico en la misma.

OBJETIVOS

Objetivo General

Diseño y construcción de un Sistema de Información de Calidad de Suelos en la zona de ronda hídrica de la quebrada Ocotá del municipio Cachipay, Cundinamarca

Objetivos Específicos

- Describir los sistemas de uso de la tierra en la zona de ronda hídrica de la quebrada Ocotá.
- Evaluar indicadores visuales de erosión y encostramiento superficial.
- Evaluar indicadores fisicoquímicos de densidad aparente, conductividad eléctrica y pH en cada uno de los sistemas de uso de la tierra encontrados.
- Construir un sistema de información de calidad de suelos.

METODOLOGÍA

Primera fase

Se llevo a cabo la digitalización del mapa topográfico de la CAR a escala 1:10.000 (Plancha 227-III-B-3) Del mapa topográfico se digitalizaron los siguientes componentes:

- Divisoria de aguas o parteaguas
- Red hídrica de la quebrada Ocotá
- Curvas de nivel trazadas cada 10 m
- Perímetro urbano del municipio de Cachipay
- Vías de acceso

Con las curvas de nivel ya digitalizadas se emprendió a elaborar el mapa de pendientes en porcentaje, correspondiente al área de la microcuenca de la quebrada Ocotá. Para la elaboración del mismo se usaron los intervalos determinados por el IGAC.

Posteriormente se digitalizó las unidades cartográficas del mapa de suelos a escala 1:100.000 (Plano 227) para el área de la microcuenca de la quebrada Ocotá.

Después de la digitalización de la quebrada Ocotá, se determino el área de estudio, el cual corresponde a una línea paralela de la quebrada ubicada a 20 m del margen derecho de ésta.

Los software utilizados en esta fase son: ILWIS (Integrated Land and Water Information System) y AutoCad.

Segunda fase

Esta fase corresponde al trabajo de campo, empezando por la descripción y georeferenciación de cada uno de los sistemas de uso de la tierra que se encontraron dentro del área de estudio. Seguido de esto se evaluaron los indicadores visuales de erosión y encostramiento superficial dentro de cada sistema, como también se evaluaron los indicadores fisicoquímicos en cada sistema correspondientes a: densidad aparente (Db), conductividad eléctrica (CE) y pH. Cada punto de muestreo fue georeferenciado con tecnología GPS.

Al finalizar el procesamiento de las muestras se hace un análisis estadístico descriptivo agrupado por sistemas de uso de la tierra. A su vez se hace un análisis de correlación de cada indicador con los sistemas de uso de la tierra y un análisis de correlación entre los tres indicadores analizados. El análisis estadístico se realizó con el software SPSS.

La metodología usada para la toma de muestras y análisis de las mismas corresponde al de la USDA (1999) que se describe a continuación:

Ensayo de Densidad Aparente (Db)

La densidad aparente es uno de los indicadores más usados para medir la compactación del suelo. Esta condición puede ser alterada ya sea por los cultivos, la maquinaria agrícola, el pisoteo de animales y el clima como por ejemplo el impacto de las gotas de lluvia (Arskead et al., citado por USDA 1999).

La compactación del suelo limita el crecimiento de las raíces, e inhiben el movimiento del aire y el agua a través del suelo. En general, cuanto mayor la densidad, menor el espacio poroso para el movimiento del agua, crecimiento y penetración de raíces, y el desarrollo de las plántulas (USDA, 1999).

La medida de la densidad aparente se realizó en la superficie del suelo. Los materiales usados para esta medida fueron:

- ✓ Anillo de 2 pulgadas (5,08 cm) de diámetro y 5 cm de altura en pvc
- ✓ Maza
- ✓ Bloque de madera
- ✓ Cuchillo o navaja
- ✓ Bolsas de plástico limpias
- ✓ Marcador permanente
- ✓ Balanza (precisión 0,1 g)
- ✓ Capsula de porcelana
- ✓ Papel aluminio
- ✓ Horno (temperatura mínima 105 °C)

Para la toma de las muestras se usó la maza y el bloque de madera para clavar el anillo de pvc hasta que la parte superior del mismo llegara a ras del suelo. Posteriormente se procedió a remover el anillo con ayuda de la navaja o cuchillo cavando alrededor del mismo y levantándolo con sumo cuidado para prevenir pérdidas de suelo. El exceso de suelo que quedó en el anillo se removió con la navaja o cuchillo para que la base de la muestra quedara totalmente plana. De esta manera el volumen de la muestra se puede calcular con el diámetro interno del anillo y la altura del mismo. La muestra se guardó en la bolsa plástica la cual se etiquetó con la información correspondiente.

En el laboratorio se procedió a introducir las muestras al horno, el se precalentó a una temperatura mínima de 105 °C. El tiempo que permanecieron las muestras en el horno fue de 24 horas (mínimo).

Al culminar el tiempo de secado de las muestras se procedió a pesar las mismas con la balanza de precisión de 0,1gr. El peso se registró en la hoja de cálculo.

Los cálculos de densidad aparente se realizaron de la siguiente manera:

$$\text{Densidad aparente del suelo (gr/cm}^3\text{)} = \frac{\text{peso del suelo seco}}{\text{volumen del suelo}}$$

$$\text{Volumen del suelo (cm}^3\text{)} = \text{volumen del tubo de pvc}$$

$$\text{Volumen del tubo de pvc (cm}^3\text{)} = \pi hr^2; \text{ donde}$$

h= altura del tubo de pvc

r= radio del tubo de pvc= [diámetro externo - (2*espesor)]/2

Ensayo de Conductividad Eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica mide la cantidad de sales presentes en el suelo. A pesar de que el suelo contiene cierta cantidad de sales el cual es necesario para el crecimiento de las plantas, puede existir un exceso del mismo que puede limitar el crecimiento de las plantas al afectar el equilibrio suelo/agua (USDA, 1999).

Naturalmente existen suelos con exceso de sales. Estos suelos también pueden aparecer como resultado del uso y manejo del suelo. El exceso de sales en el suelo puede estar relacionado con el uso de fertilizantes pues la mayoría de ellos son sales.

Las mediciones de conductividad eléctrica detectan la cantidad de cationes o aniones (sales) en solución. Cuanto mayor es la cantidad de aniones o cationes tanto mayor es la lectura de la conductividad eléctrica. Los iones generalmente asociados con salinidad son Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺, Na⁺, H⁺ (cationes) ó NO₃, SO₄, Cl⁻, HCO₃, OH⁻ (aniones) (USDA, 1999)

La toma de muestras de suelo para conductividad eléctrica (CE) fue tomada del horizonte superficial del suelo. Los materiales usados para la realización de este ensayo fueron:

- ✓ Bolsas plásticas limpias
- ✓ Pala de jardinería

- ✓ Marcador permanente
- ✓ Balanza (precisión 0,1 g)
- ✓ Potenciómetro (electrodo para CE)
- ✓ Recipientes plásticos o beacker mayor de 200 ml
- ✓ Cápsula de porcelana
- ✓ Agua destilada

Con la pala de jardinería se sacó la cantidad de suelo suficiente (más de 100 gr) y se introdujo en la bolsa plástica. Se cerró y se etiquetó.

Para estandarizar las muestras fue necesario poner a secar las muestras al aire libre por espacio de 12 a 24 horas. Ya estandarizadas las muestras estas se mezclaron bien y con la balanza se pesaron 100 gr de la muestra de suelo y se introdujeron en el recipiente plástico.

A los 100 gr de suelo se agregaron 100 ml de agua destilada. La resultante de la mezcla suelo/agua, corresponde a una relación 1:1 teniendo en cuenta que la densidad del agua es de 1 gr/cm^3 . El recipiente se agitó fuertemente y se dejó reposar durante algunos minutos. Se agitó nuevamente el recipiente después del tiempo de reposo y se introdujo el electrodo de CE en la mezcla de suelo/agua. La lectura se realizó mientras las partículas del suelo permanecen suspendidas. Se guardó la mezcla suelo/agua para medir pH.

Ensayo de pH

“El pH del suelo es una medida de la acidez o alcalinidad de un suelo, y afecta la disponibilidad de los nutrientes, la actividad de microorganismos, y la solubilidad de minerales del suelo. Existen varios factores que afectan el pH edáfico como: la temperatura y precipitaciones, que controlan la intensidad del lixiviado y la meteorización de los minerales del suelo” (USDA, 1999).

La acidez por lo general está asociada con suelos lixiviados y con suelos que contienen gran cantidad de biomasa acumulada. Este último se debe a la descomposición de la materia orgánica que genera ácidos húmicos y ácidos fúlvicos.

Frecuentemente la alcalinidad aparece en regiones más secas. Sin embargo, las prácticas agrícolas como el encalado o el agregado de fertilizantes de amonio, puedan alterar el pH. La medición de pH significa en realidad medir la actividad del ión $[H^+]$ en la solución del suelo (USDA, 1999)

Para la medición de este indicador se usó la misma mezcla suelo/agua preparada en el ensayo de CE. Los materiales son los mismos al ensayo de CE a diferencia del electrodo, el cual debe medir pH. Las mediciones de pH deben hacerse después de las de CE para evitar que el electrodo que mide pH difunda las sales en la muestra.

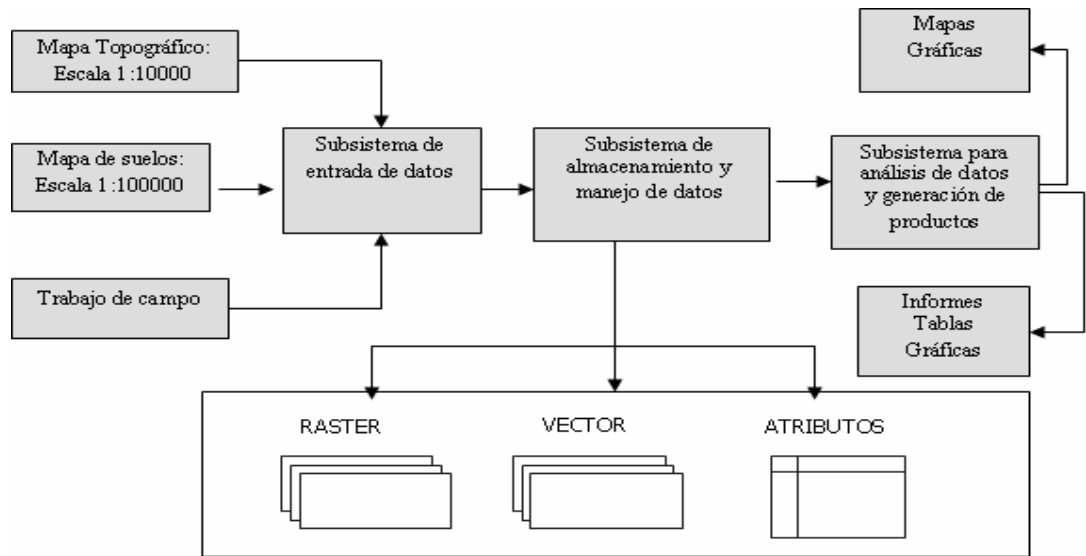
Cuando la mezcla estuvo en reposo durante algunos minutos (aproximadamente 10 minutos) se introdujo el electrodo de pH en la parte superior de la solución. Se registró la lectura en la hoja de cálculo.

Fase tres

Se procedió a construir el Sistema de Información de Calidad de Suelos con la información recolectada y procesada.

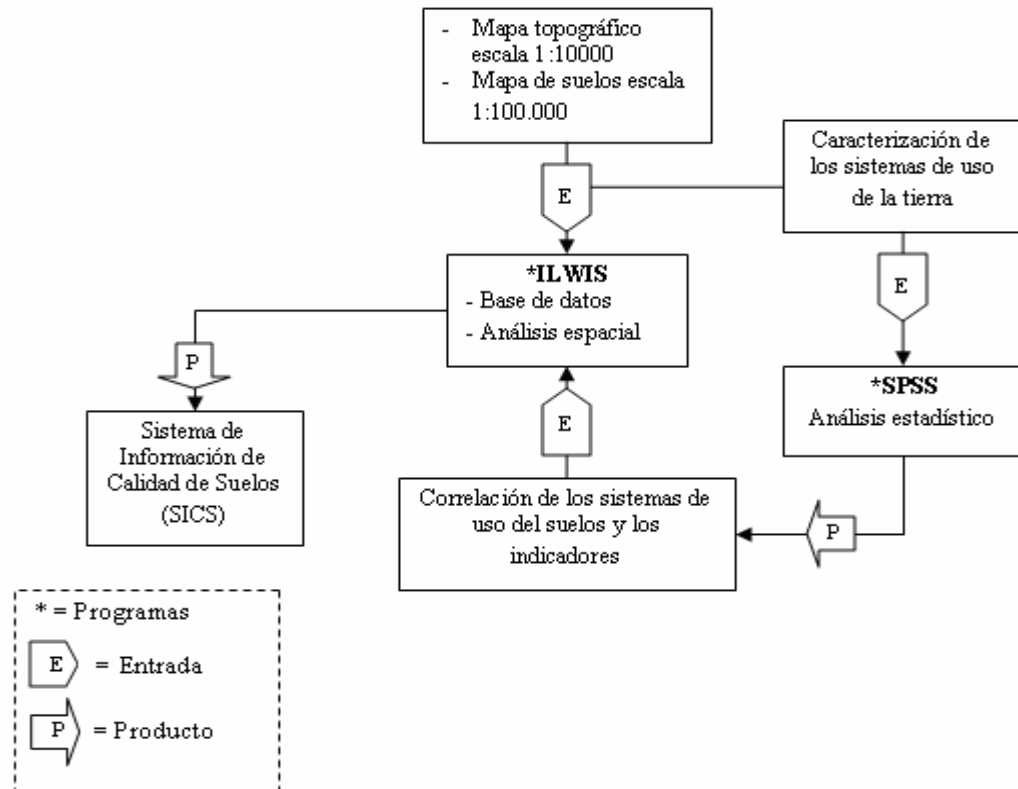
Para la construcción del SIG fue necesario integrar el uso de los programas ILWIS y ArcView. La Figura 11 muestra de forma general la representación esquemática del SIG y la Figura 12 muestra los programas que fueron necesarios para la construcción del SIG y los análisis realizados.

Figura 11. Representación esquemática del Sistema de Información de Calidad de Suelos



Adaptado de Martínez, *et. al.* (1997)

Figura 12. Programas utilizados y principales análisis realizados



Adaptado de Martínez *et. al.* (1997)

RESULTADOS

Para la construcción del SIG se comenzó con la digitalización del mapa topográfico correspondiente a la plancha 227-III-B-3 a escala 1:10.000. Los primeros resultados de esta actividad se describen a continuación:

A partir de la definición expedida por el Decreto 1729 de 2002 Ley, Capítulo I, Artículo 2°, la delimitación de una cuenca hidrográfica debe hacerse a partir de la línea de **divorcio de aguas** o, como comúnmente se le llama, divisoria de aguas o parteaguas. Esta línea debe ser trazada justo por la cota o altura máxima que divide dos cuencas contiguas. De acuerdo a esto el límite de la cuenca de la quebrada Ocotá tiene un perímetro de 12,4 Km. aproximados y, su área de influencia comprende los 6,04 km².

El cauce principal tiene una longitud de aproximada de 4,9 Km.; nace cerca del casco urbano de Cachipay a los 4°43'56'' latitud norte (959.934 m.E) y 74°26'31'' longitud oeste (1.014.738 m.N), a una altitud de 1.570 msnm y, desemboca en el río Bahamón a los 4°42'49'' latitud norte (956.648 m.E) y 74°28'18'' longitud oeste (1.012.424 m.N), a una altitud de 1.120 msnm.

Las unidades cartográficas del mapa de suelos que predominan dentro de la microcuenca de la quebrada Ocotá son: Asociación Typic Udorthents - Typic Eutrudepts (MQSg), Asociación Typic Udorthents - Typic Melanudands (MQCe), y Complejo Humic Eutrudepts - Typic Eutrudepts - Typic Udipsamments (MQKd). Las características de cada unidad cartográfica se pueden leer en detalle en el marco teórico, aparte 1.5. El resumen de las características de cada unidad cartográfica se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Leyenda del mapa de suelos microcuenca de la quebrada Ocotá

Paisaje	Tipo de relieve	Material parental	Unidades cartográficas y componentes taxonómicos	Símbolo	Perímetro* (Km.)	Área* (km²)	%*
Montaña	Crestas y escarpes mayores	Rocas clásticas limoarcillosas	Asociación Typic Udorthents - Typic Eutrudepts	MQSg	2,75	0,28	4,6
	Lomas	Rocas clásticas limoarcillosas y mantos de ceniza volcánica	Asociación Typic Udorthents - Typic Melanudands	MQCe	18,33	4,44	74
	Glacís coluvial	Depósitos clásticos hidrogravigénicos, en sectores manto de ceniza volcánica	Complejo Humic Eutrudepts - Typic Eutrudepts - Typic Udipsammments	MQKd	7,01	1,32	22
Total					6,04	100	

Fuente: IGAC (2000)

*Resultados arrojados por la digitalización del mapa de suelos y el mapa topográfico

Es necesario aclarar que la escala del mapa de suelos es muy pequeña (1:100.000), por lo que el nivel de detalle es mínimo si se quiere llevar a una escala mayor. Para el uso de las unidades cartográficas del mapa de suelos en el área de la microcuenca, es necesario contar con una escala mayor que debe ser de mínimo 1:10.000. Debido a la falta de información al respecto se optó por emplear el mapa de suelos a escala 1:100.000.

En la Tabla 2 se encuentra la leyenda de las pendientes que se localizan dentro de la microcuenca de la quebrada Ocotá. Cada intervalo de pendiente tiene su descripción física perteneciente al IGAC.

Tabla 2. Leyenda del mapa de pendientes microcuenca de la quebrada Ocotá

Código	Intervalo (%)	Descripción	Área (km ²)	% Área
a	0 – 3	Ligeramente plano	0,14	2,32
b	3 – 7	Ligeramente inclinado	0,16	2,65
c	7 – 12	Moderadamente inclinado	0,66	10,93
d	12 – 25	Moderadamente quebrado	2,17	35,93
e	25 – 50	Ligeramente escarpado	2,06	34,11
f	50 – 75	Moderadamente escarpado	0,60	9,93
g	75 – 100	Fuertemente escarpado	0,25	4,14

El área de estudio comprende los 0.1 km² aproximadamente. Esta se traza a los 20 m a partir de la mitad del cauce principal por su margen derecho. Esta tiene un perímetro de casi 9,90 km. Con respecto al área total de la microcuenca de la quebrada Ocotá (6,04 km²), el área de estudio representa el 1,66%.

Las unidades cartográficas del mapa de suelos que predominan dentro del área de estudio se describen a continuación:

Tabla 3. Leyenda del mapa de suelos en el área de estudio

Paisaje	Tipo de relieve	Material parental	Unidades cartográficas y componentes taxonómicos	Símbolo	Área* (km ²)	%*
Montaña	Crestas y escarpes mayores	Rocas clásticas limoarcillosas	Asociación Typic Udorthents - Typic Eutrudepts	MQSg	0,22	42,21
	Lomas	Rocas clásticas limoarcillosas y mantos de ceniza volcánica	Asociación Typic Udorthents - Typic Melanudands	MQCe	0,42	35,88
	Glacís coluvial	Depósitos clásticos hidrogravigénicos, en sectores manto de ceniza volcánica	Complejo Humic Eutrudepts - Typic Eutrudepts - Typic Udipsamments	MQKd	0,35	21,91
				Total=	0,099	100

Fuente: IGAC (2000)

*Resultados arrojados por la digitalización del mapa de suelos y el mapa topográfico

En la Tabla 4 se encuentra la descripción del mapa de pendientes en el área de estudio.

Tabla 4. *Leyenda del mapa de pendientes en el área de estudio*

Código	Intervalo (%)	Descripción	Área (km ²)	% Área
a	0 – 3	Ligeramente plano	0,018	17,90
b	3 – 7	Ligeramente inclinado	0,004	4,30
c	7 – 12	Moderadamente inclinado	0,019	18,47
d	12 – 25	Moderadamente quebrado	0,040	39,16
e	25 – 50	Ligeramente escarpado	0,016	16,07
f	50 – 75	Moderadamente escarpado	0,004	3,80
g	75 – 100	Fuertemente escarpado	0,0003	0,30

Dentro del área de estudio se encontraron catorce (14) sistemas de uso de la tierra. En la Tabla 5 se enumera cada uno de ellos y el porcentaje de predominancia de cada uno (Ver Figura 13).

Tabla 5. *Sistemas productivos encontrados en el área de estudio*

Sistema productivo	Cantidad	%	%2****	Área (km ²)	% Área
Bastón de emperador	3	6,52	7,32	0,0067	6,80
Bosque	2	4,35	*	0,011	11,16
Café	9	19,57	21,95	0,0193	19,57
Cítricos	2	4,35	4,88	0,0006	0,61
Guadua	4	8,70	9,76	0,0123	12,47
Guatila	1	2,17	**	0,0002	0,20
Heliconia	2	4,35	4,88	0,0017	1,72
Matadero	1	2,17	*	0,0029	2,94
Múltiple	6	13,04	14,63	0,0133	13,49
Pasto de corte	1	2,17	2,44	0,0018	1,83
Plátano	7	15,22	17,07	0,0181	18,36
Polisombra***	2	4,35	2,44	0,0035	3,55
Potrero	2	4,35	4,88	0,0017	1,72
Rastrojo	4	8,70	9,76	0,0055	5,58
Total=	46	100	100	0,0986	100

*No fueron muestreados debido al difícil acceso a los mismos

**No se muestreo por representar posible riesgo biológico

***Una de ellas no fue muestreado por estar en malas condiciones

**** Porcentaje de los sistemas productivos que fueron muestreados

La Figura 13 muestra el predominio de cada sistema productivo según la cantidad de las mismas. Hay que tener en cuenta que la gráfica solo muestra los porcentajes de los sistemas que fueron muestreados que en total fueron cuarenta y uno (41). De igual forma la Figura 14 muestra el predominio de cada sistema productivo para toda el área estudio.

Figura 13. *Predominio en cantidad de los sistemas productivos en porcentaje*

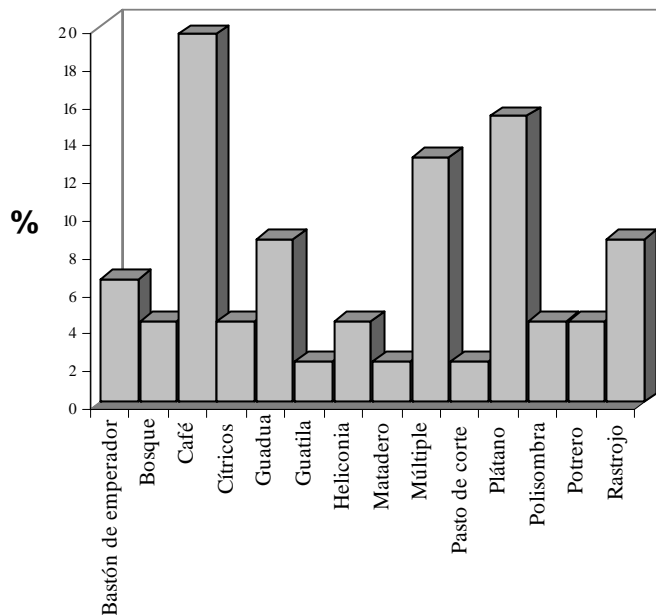
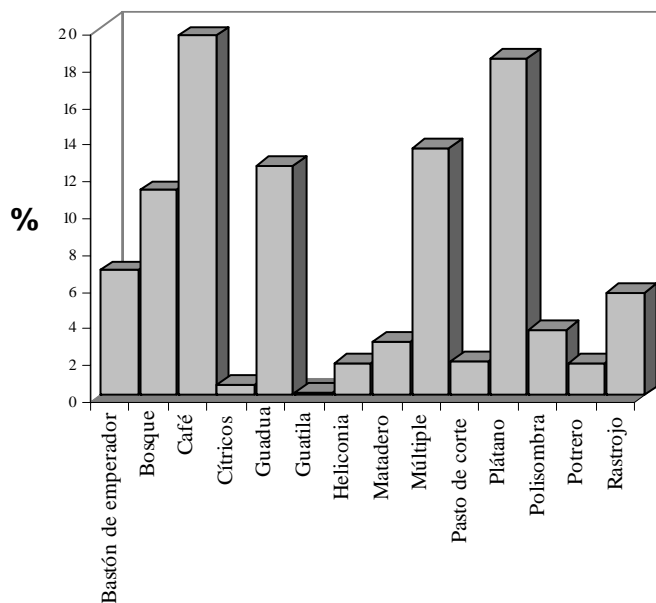


Figura 14. *Predominio en área de los sistemas productivos en porcentaje*



El diámetro externo para el tubo de pvc es de 6,032 cm y el espesor de 0,287 cm. El volumen de la muestra de suelo es entonces de 116,98413 cm³. La Tabla 6 muestra los resultados de cada indicador para todas las muestras.

Tabla 6. *Puntos de muestreo y resultados de los indicadores*

No.	Cultivo	Db (gr/cm ³)	pH	CE (dS/m)
1	Café	0,67	4,93	0,0645
2	Rastrojo	0,65	6,18	0,1308
3	Pasto de corte	0,72	6,36	0,0911
4	Guadua	0,78	5,79	0,1183
5	Bastón de emperador	1,12	5,49	0,1223
6	Guadua	0,81	6,22	0,1138
7	Plátano	0,56	6,44	0,1157
8	Heliconia	1,47	5,88	0,159
9	Bastón de emperador	0,54	4,98	0,0698
10	Rastrojo	0,48	6,18	0,1264
11	Heliconia	0,54	5,86	0,1073
12	Guadua	0,99	5,86	0,093
13	Múltiple	1,35	5,24	0,0957
14	Plátano	0,71	5	0,074
15	Guadua	0,63	5,35	0,1504
16	Plátano	0,76	5,42	0,1637
17	Rastrojo	1,09	5,39	0,156
18	Múltiple	0,95	5,08	0,0703
19	Café	0,65	4,69	0,1563
20	Plátano	0,6	6,22	0,282
21	Café	0,81	5,23	0,1884
22	Plátano	0,78	4,96	0,081
23	Café	0,84	5,94	0,247
24	Potrero	0,76	5,82	0,0653
25	Plátano	0,88	5,1	0,1859
26	Café	0,69	5,25	0,1428
27	Múltiple	0,85	4,47	0,0726
28	Café	0,53	4,64	0,413
29	Múltiple	1,06	4,95	0,1439
30	Café	0,94	5,44	0,112
31	Rastrojo	0,63	4,79	0,0898
32	Múltiple	1,07	4,72	0,0337
33	Múltiple	0,57	4,7	0,0247
34	Cítrico	1,1	5,29	0,0272
35	Café	0,86	4,67	0,0552

Tabla 7. Puntos de muestreo y resultados de los indicadores (Continuación Tabla 6)

No.	Cultivo	Db (gr/cm ³)	pH	CE (dS/m)
36	Cítrico	0,64	4,94	0,1525
37	Bastón de emperador	0,77	5,22	0,1686
38	Plátano	0,64	5,42	0,0529
39	Polisombra	0,79	5,94	0,1097
40	Potrero	1,04	6,09	0,0667
41	Café	1,03	4,63	0,1086
Máximos =		0,4792	4,47	0,0247
Mínimos =		1,4701	6,44	0,413

Las muestras No. 12, 13, 17, 21, 23 y 26 presentaron encostramiento superficial. Los cultivos que presentaron este encostramiento, representan el 50% sobre todos los cultivos en total, donde los cultivos de café representan la mitad de los cultivos con encostramiento superficial.

En la Tabla 7 se puede observar el análisis estadístico descriptivo agrupado por sistemas de uso de la tierra. En las Figuras de la 15 – 17 se encuentran las gráficas correspondientes al análisis descriptivo.

Tabla 8. Análisis de estadística descriptiva para cada sistema productivos

Sistema de uso	N	Min.	Máx.	Promedio	Desv. estándar
Bastón de emperador					
Db	3	0,54	1,12	0,81	0,2921
CE	3	0,0698	0,1686	0,1202	0,0494
pH	3	4,98	5,49	5,23	0,2551
Café					
Db	9	0,53	1,03	0,7789	0,1571
CE	9	0,0552	0,413	0,1653	0,1104
pH	9	4,63	5,94	5,0467	0,4541
Cítricos					
Db	2	0,64	1,09	0,865	0,3182
CE	2	0,0272	0,1525	0,0899	0,0886
pH	2	4,94	5,29	5,115	0,2475
Guadua					
Db	4	0,63	0,99	0,8025	0,1477
CE	4	0,093	0,1504	0,1189	0,0237
pH	4	5,35	6,22	5,805	0,3571

Tabla 9. *Análisis de estadística descriptiva para cada sistema productivo (Continuación**Tabla 8)*

Sistema de uso	N	Min.	Máx.	Promedio	Desv. estándar
Heliconia					
Db	2	0,54	1,47	1,005	0,6576
CE	2	0,1073	0,159	0,1332	0,0366
pH	2	5,86	5,88	5,87	0,0141
Múltiple					
Db	6	0,57	1,35	0,975	0,2597
CE	6	0,0247	0,1439	0,0735	0,0434
pH	6	4,47	5,24	4,86	0,2822
Pasto de corte					
Db	1	0,72	0,72	0,72	.
CE	1	0,0911	0,0911	0,0911	.
pH	1	6,36	6,36	6,36	.
Plátano					
Db	7	0,56	0,88	0,7043	0,1122
CE	7	0,0529	0,282	0,1365	0,0804
pH	7	4,96	6,44	5,5086	0,5938
Polisombra					
Db	1	0,79	0,79	0,79	.
CE	1	0,1097	0,1097	0,1097	.
pH	1	5,94	5,94	5,94	.
Potrero					
Db	2	0,76	1,04	0,9	0,198
CE	2	0,0653	0,0667	0,066	0,001
pH	2	5,82	6,09	5,955	0,1909
Rastrojo					
Db	4	0,48	1,09	0,7125	0,2629
CE	4	0,0898	0,156	0,1258	0,0273
pH	4	4,79	6,18	5,635	0,6753
Total					
Db	41	0,48	1,47	0,81293	0,225
CE	41	0,0247	0,413	0,122	0,072
pH	41	4,47	6,44	5,38463	0,559

Figura 15. Densidad aparente en cada uno de los sistemas productivos

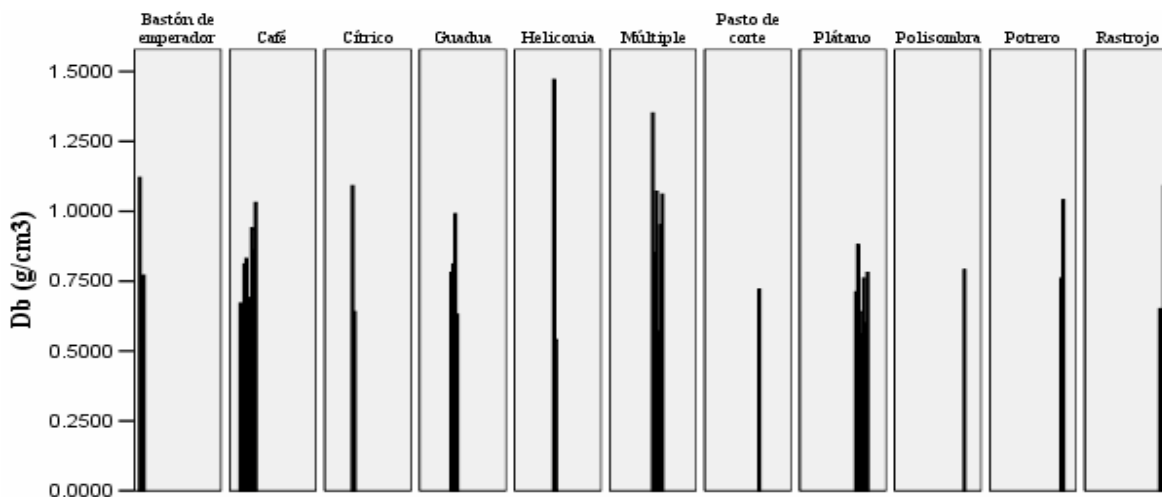


Figura 16. Conductividad eléctrica en cada uno de los sistemas de uso de la tierra

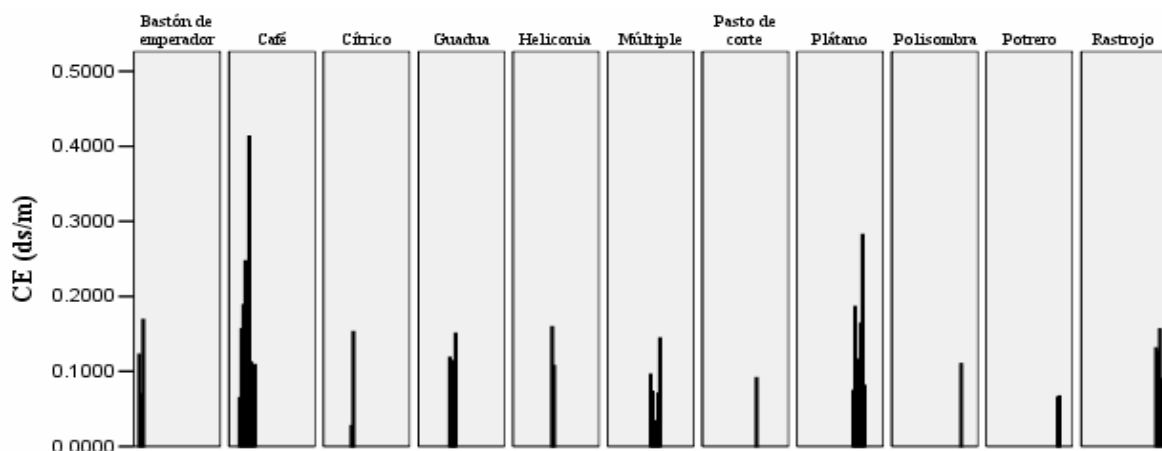
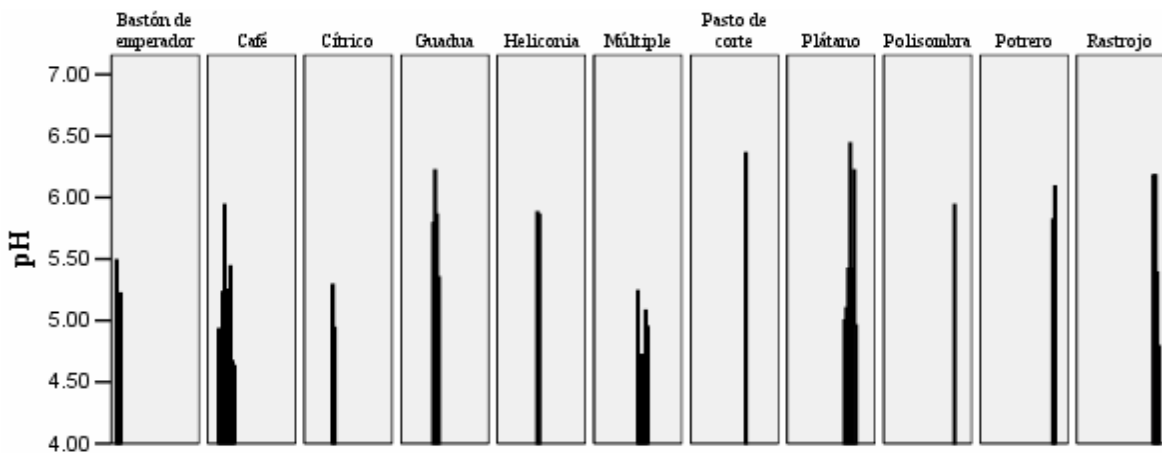


Figura 17. pH en cada uno de los sistemas de uso de la tierra



Las Figuras 18-20 ilustran los promedios de cada indicador agrupados por sistemas de uso de la tierra.

Figura 18. Promedio de Densidad aparente en cada sistema productivo

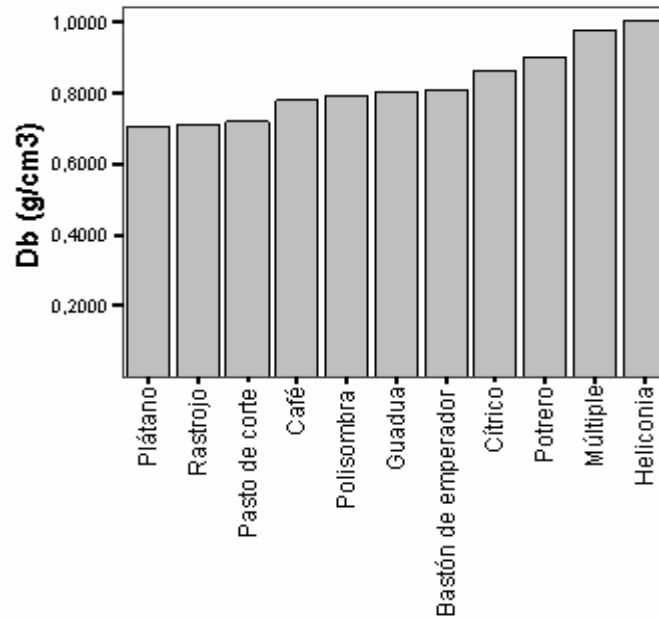


Figura 19. Promedio de Conductividad eléctrica en cada sistema productivo

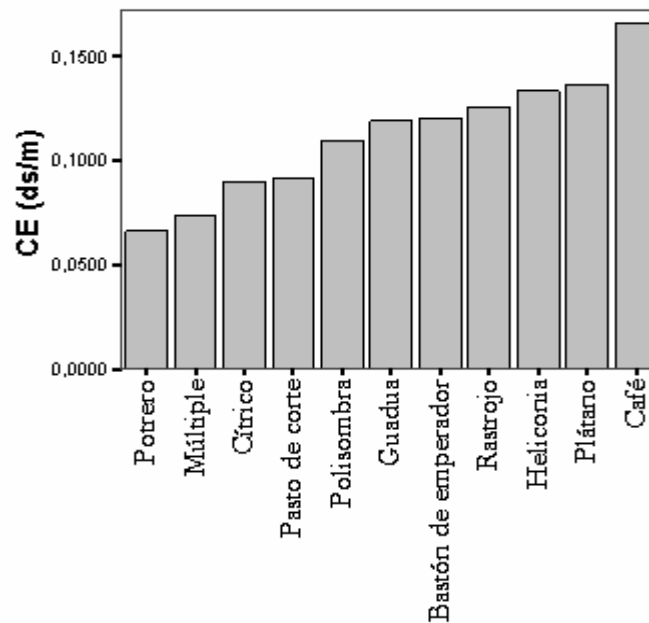
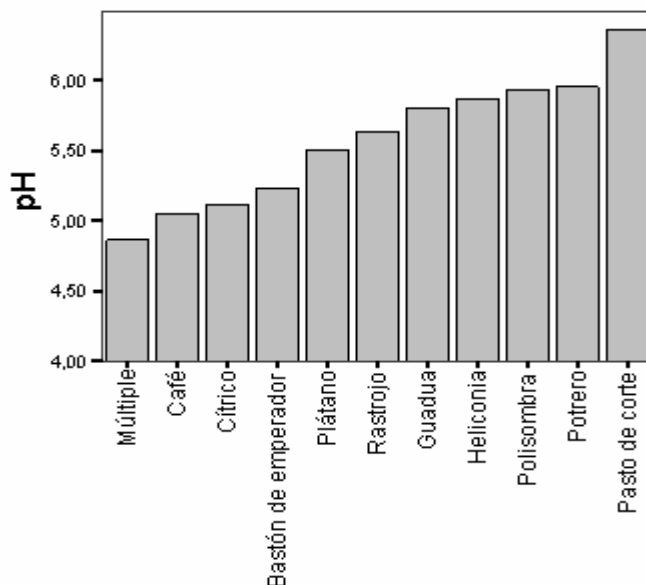


Figura 20. Promedio de pH en cada sistema productivo



La Tabla 8 muestra la correlación existente entre cada indicador y los sistemas de uso de la tierra. La Tabla 9 muestra la correlación existente entre los mismos indicadores.

Tabla 10. Correlación entre los indicadores y los sistemas de uso de la tierra

Indicador	Correlación (Pearson)
Db	0,429
CE	0,442
pH	0,703

Tabla 11. Correlación entre los indicadores de densidad aparente, conductividad eléctrica y pH

	Correlación (Pearson)		
	Db	CE	pH
Db	1	-0,173	-0,047
CE	-0,173	1	0,093
pH	-0,047	0,093	1

Nota: Los archivos (mapas) que sustentan el Sistema de Información de Calidad de Suelos se encuentran en el CD anexo a este documento. Es necesario disponer del programa ILWIS para poder verlos.

DISCUSIÓN

De acuerdo con el área de la cuenca de la quebrada Ocotá, esta debe ser denominada como unidad mínima básica, es decir, recibe el nombre de microcuenca pues tiene un área de influencia local. La denominación anterior se establece en la “Guía técnico científica para la ordenación y manejo de cuencas” establecida por el IDEAM (2004).

El cauce principal de la quebrada Ocotá nace de las aguas residuales del municipio de Cachipay. Además la disposición de los residuos sólidos del matadero que se encuentra en el nacimiento de la quebrada tienen un mal manejo; todos los residuos son arrojados al cauce de la quebrada y a los cultivos más próximos a este, por tal razón la toma de muestras en el nacimiento de la quebrada se dificultó, debido al gran riesgo biológico que estas presentaban y por las condiciones del terreno que dificultaron el acceso a estos.

El nacimiento de la quebrada se tiene destinada para los predios del matadero del municipio, por lo tanto no hay cobertura vegetal y gran parte de este se encuentra en un grado de erosión muy severa.

Hay un predio muy pequeño en el que el principal sistema de producción es la guatila. Como este se encuentra seguido de los predios del matadero y, como ya se nombro con anterioridad, los residuos de este último son arrojados al cultivo dificultando la toma de la muestra.

Fue imposible muestrear el área correspondiente a la parte final de la quebrada por las condiciones tanto del terreno como climáticas. Esta área corresponde a áreas boscosas que se encuentran limitados por guaduales. Como estos últimos se encontraban en gran cantidad, dificultó también el paso al bosque.

En cuanto a las unidades cartográficas que predominan en la microcuenca de la quebrada son: Asociación Typic Udorthents - Typic Eutrudepts (MQSg), Asociación Typic Udorthents - Typic Melanudands (MQCe), y Complejo Humic Eutrudepts - Typic Eutrudepts - Typic Udipsamments (MQKd). Cabe mencionar que las unidades cartográficas se digitalizaron a partir del mapa de suelos a escala 1:100.000 por lo que las unidades cartográficas presentes en este mapa no son muy representativas para la microcuenca de la quebrada Ocotá debido a que el nivel detalle no es el mismo. Por el momento no existen estudios más detallados dificultando el análisis de los datos.

La unidad que predomina dentro de la microcuenca de la quebrada Ocotá es la Asociación Typic Udorthents - Typic Melanudands (MQCe) representando el 74% del área total de la microcuenca con un área de 4,44 km². De forma general, esta unidad se caracteriza por tener pendientes de 25% – 50%, con una reacción ácida muy fuerte a neutra de los suelos.

El Complejo Humic Eutrudepts - Typic Eutrudepts - Typic Udipsamments (MQKd) representa el 22% del área total de la microcuenca con un área de 1,32 km²; tiene unas pendientes de 12 – 25% y su reacción es de fuerte a ligeramente ácida. La Asociación Typic Udorthents - Typic Eutrudepts (MQSg) solo representa 0,28% del área total de la microcuenca con un área de 0,28 km²; se caracteriza por sus pendientes mayores al 75%, y por tener una reacción fuertemente ácida a neutra.

Lo anterior confirma los datos arrojados por el mapa de pendientes, donde el intervalo de 12% – 25% y de 25% – 50% representan el 70% del área total de la microcuenca, con terrenos de moderadamente quebrados a ligeramente escarpados.

Por otra parte, el área de estudio representa solo el 1,66% con respecto al área total de la microcuenca. Las unidades que predominan en esta son las mismas nombradas anteriormente, a diferencia de los porcentajes de influencia de estas dentro del área de estudio: con un 42,21% la Asociación Typic Udorthents - Typic Eutrudepts, seguida de la Asociación Typic Udorthents - Typic Melanudands con un 35,88% y, por último el Complejo Humic Eutrudepts - Typic Eutrudepts - Typic Udipsamments con un 21,91%.

De igual forma los porcentajes dentro del área de estudio varían considerablemente con respecto al área total de la microcuenca, donde casi el 40% del terreno se caracteriza por tener pendientes de 12% - 25%. De acuerdo a esto, el terreno es favorable para el desarrollo agropecuario en la zona de estudio pues menos del 4% del área total de esta presentan pendientes mayores al 50%.

Dentro del área de estudio, los cultivos que más predominan en cantidad y en área son: el cultivo de café, el cultivo de plátano y los cultivos Múltiples; entre todos representan un poco más del 50% de todos los sistemas de uso del suelo hallados.

Los cultivos Múltiples son aquellos en los que siembran más de uno o dos productos de los encontrados en toda el área de estudio y, se encuentran muy fragmentados, es decir, no tienen un parámetro definido para su siembra; por esta razón es difícil determinar el cultivo principal para estos sistemas de uso del suelo. Dentro de este tipo de cultivos asocian con mucha frecuencia el trifer, el cual es usado para adornar los arreglos florales tipo exportación.

Solo se encontraron dos predios muy pequeños destinados para uso ganadero. Dentro de estos predios se produce el pasto de corte que es utilizado para alimentar al ganado. El pasto de corte encontrado en estos predios no fue muestreado, pues se encontraban fuera del área de estudio.

Los cultivos de flores solo representan el 12% de los sistemas de uso de la tierra; en área representan tan solo el 8,52%. Entre ellos se encuentran el Bastón de emperador y la Heliconia. El Anturio también se cultiva en algunos predios en pequeñas cantidades por lo que no se estableció como cultivo principal.

En cuanto al área, la guadua representa el 12,47%, es decir que este sistema de producción esta bien difundido en el área de estudio, y más teniendo en cuenta que gran parte de la ronda hídrica esta protegida por este.

La mitad de los cultivos encontrados presentaron encostramiento superficial. Ninguno de ellos tenía cobertura al nivel del suelo que lo protegiera, por lo que son cultivos susceptibles a sufrir procesos de degradación del suelo por efecto del impacto de las gotas de lluvia que caen sobre el suelo movilizándolo los agregados menos estables. Algunos de los sectores ya presentan erosión ligera expresada como erosión hídrica laminar.

El efecto de la erosión hídrica puede tornarse delicado ya sea a largo o mediano plazo si se considera que las zonas influenciadas por cenizas volcánicas ofrecen mediana estabilidad estructural. Al respecto, es necesario tomar las medidas adecuadas para evitar la degradación acelerada del suelo.

La otra mitad de los cultivos encontrados estaban protegidos por rastrojo. Esta cobertura a nivel del suelo le brinda protección a este último evitando los procesos de degradación del suelo y permiten que la retención de humedad sea más alta, a diferencia de los cultivos que no tienen ninguna cobertura que proteja el suelo.

Los valores de pH fluctúan desde 4,47 (muy fuertemente ácido) hasta 6,44 (ligeramente alcalino); son suelos que tienden a ser ácidos lo que se relaciona comúnmente con suelos lixiviados. Usualmente, los valores óptimos para permitir el crecimiento de gran parte de los cultivos están entre 6,0 y 7,5, a pesar de ello, con respecto a la calidad del suelo, este indicador dependerá del uso específico y el grado de tolerancia del cultivo.

Es pertinente considerar que las unidades cartográficas que identifican a la microcuenca de la quebrada Ocotá tienen una reacción neutra a fuertemente ácida, es decir tienden a ser suelos ácidos.

En orden de importancia para el cultivo de café, los valores para el análisis de pH se encuentran entre 4,63 y 5,94; para el cultivo de plátano los valores fluctúan entre 4,96 a 6,44; en tanto que para los cultivos Múltiples se encuentran valores entre 4,47 y 5,24.

Para el cultivo de café el rango de pH esta dentro de lo normal ya que la reacción del suelo para este cultivo debe ser más bien ácida. Normalmente los rangos permisibles para este cultivo se encuentran entre 4,21 y 5,1.

El cultivo de plátano tiene una gran tolerancia a la acidez del suelo, oscilando el pH entre 4,5 a 8; por lo que la acidez del suelo en el área de estudio no afecta estos cultivos, pues se encuentran dentro del rango permisible con respecto a este cultivo.

En general la mayoría de los cultivos que se encontraron en la zona de estudio son tolerantes a los valores de pH registrados. A pesar de ello, hay que prestar especial atención a los pH menores de 5,5 pues frecuentemente estos valores favorecen la saturación de aluminio y otros metales pesados.

La saturación de aluminio puede afectar el desarrollo normal de los cultivos que no sean tolerantes a altas concentraciones de este metal, produciendo efectos tóxicos en los mismos. Con respecto al recurso hídrico, valores muy bajos de pH en el suelo además de afectar la forma química de los metales pesados, también afectan su movilidad por lo que pueden perturbar la calidad del recurso si este se presenta en cantidades no permisibles para el mismo.

Con relación a los valores registrados para el indicador de conductividad eléctrica, estos fluctúan con valores desde los 0,0247 ds/m (cultivo Múltiple) y 0,4130 ds/m (cultivo de café). Estos valores están dentro del rango normal (suelos no salinos tienen valores de 0 – 0,98 ds/m), es decir son muy bajos por los que sus efectos son despreciables y no afectan la respuesta microbiana en ningún cultivo.

Se registraron valores de densidad aparente desde 0,4792 g/cm³ hasta 1,4701 g/cm³ Las densidades de las partículas minerales usualmente se encuentran en el rango de entre 2,5 a 2,8 g/cm³, mientras que las partículas orgánicas presentan densidades menores a 1,0 g/cm³. Típicas densidades aparentes del suelo fluctúan entre 1,0 y 1,7 g/cm³.

El 78% de las muestras registraron valores menores al $0,9 \text{ g/cm}^3$, estos valores pueden estar relacionados con dos factores. El primero son los altos niveles de materia orgánica y, la influencia de cenizas volcánicas. La combinación de estos dos factores da como resultado valores por debajo de $0,9 \text{ g/cm}^3$.

Con respecto al otro 22%, los datos de densidad aparente se encuentran entre los intervalos adecuados, sin tener en cuenta la clase textural del suelo. Por otra parte, si se considera la variabilidad espacial de los suelos en la zona, puede que muchas áreas en las que se encontraron valores mayores a $0,9 \text{ g/cm}^3$, carezcan de cenizas volcánicas.

En relación con las zonas en las que se encontraron rastrojo, los valores tienden a estabilizarse, es decir, pasan de valores altos a más bajos. Solo uno de ellos mostró un valor alto ($1,09 \text{ g/cm}^3$), posiblemente este valor este influenciado por la temporada de rotación del cultivo, donde el rastrojo es el inicio a la etapa de descanso del suelo.

De igual forma los cultivos que se encontraban asociados con rastrojo, tienden a tener valores bajos de densidad aparente a diferencia de los otros que presentaron valores mayores a $0,9 \text{ g/cm}^3$.

Si se tiene en cuenta la influencia de cenizas volcánicas en la zona de estudio que le transfieren valores bajos de densidad aparente a los suelos, entonces hay que considerar que de alguna forma los sistemas productivos que presenten valores de densidad aparente mayores a $0,9 \text{ g/cm}^3$ puedan estar afectando las características físicas del suelo.

Esta teoría se apoya en base a los valores encontrados en las zonas donde se hallaron rastrojos, debido a que estos sistemas presentaron valores bastante bajos con respecto a los demás revelando el hecho de su importancia dentro de los sistemas de producción.

Es importante tener en cuenta que el rastrojo es un proceso natural que le brinda equilibrio al sistema; mejoran las propiedades físicas, regula la temperatura del suelo y reduce los costos de producción pues no requiere del uso de fertilizantes químicos, pesticidas o

insumos ya que estos por sí mismos le suministran abono a los cultivos. El producto final de mantener el rastrojo en los sistemas productivos, es la obtención de una buena cosecha.

Con respecto a los indicadores de conductividad eléctrica y densidad aparente no se observó ninguna correlación significativa entre estos y los sistemas de uso del suelo. El indicador de densidad aparente solo mostró una correlación del 43% en tanto que el de conductividad eléctrica mostró una correlación del 44%, es decir, más del 50% de los valores hallados de cada indicador no muestran una relación paralela con respecto a los sistemas productivos.

A diferencia de los anteriores, el indicador de pH muestra una correlación medianamente alta comparados con los sistemas de uso de la tierra. Para este indicador se halló una correlación del 70%; sólo el 30% restante no mostró ninguna correlación con los sistemas productivos.

Debido a que los valores de pH están estrechamente relacionados con cada tipo específico de suelo, es muy difícil determinar las razones por las cuales los datos de correlación fueron altos.

Pueden existir varias razones por la que estos valores además de ser bajos tienen una alta correlación con cada sistema productivo. La primera puede ser el uso de fertilizantes que le transfiere características ácidas al suelo. Otra de las razones posibles puede ser la instalación previa de cada sistema de uso de acuerdo al tipo de suelo, que como ya se había expuesto anteriormente, los suelos de la zona tienen características ácidas.

La acidez del suelo también puede estar relacionado con la tasa de descomposición de la materia orgánica debido a la acumulación de biomasa en gran parte de los sistemas de uso de la tierra que hacen que el suelo adquiera características ácidas.

Al no existir ninguna correlación entre los indicadores de densidad aparente y conductividad eléctrica y los sistemas de uso de la tierra, lleva a determinar que la

variabilidad de los suelos de la microcuenca es alta, por lo que hay que realizar una toma de muestras más exhaustiva para obtener resultados más evidentes.

Con respecto a la protección de rondas hídricas, existen varias normatividades que exigen la protección de las mismas las cuales deben ser trazadas a partir de una línea paralela de las mareas máximas del cauce permanente hasta treinta metros de ancho.

El Decreto No. 2811 de 1974 menciona en el Artículo 83, la protección de las rondas hídricas y las declaran como bienes inalienables; pero queda claro como la misma excluye los derechos adquiridos por particulares.

La Resolución 1449 de 1977 es más clara al respecto, obligando a proteger las rondas ya sean de propiedad pública o privada. Para ello tienen que conservar y proteger las zonas boscosas, las cuales deben tener una extensión mínima de 100 metros a la redonda en el caso de nacimientos de fuentes de agua y, para el caso de rondas hídricas, esta debe tener una extensión mínima de 30 m trazados a partir de las líneas de marea máxima a cada lado de las fuentes de agua.

La zonificación general para la reglamentación de los usos del suelo en el municipio se basa en la Ley de Ordenamiento Territorial (Ley 388 de 1997). En ella nombran a las rondas hídricas como zonas de protección, las cuales deben ser preservadas en su estado natural o actual de las condiciones que las caracterizan junto con su valor paisajístico.

El EOT del municipio de Cachipay es claro cuando dispone el manejo prioritario de estas zonas, defendiendo sus márgenes 30 m a cada lado, desde su nacimiento hasta su desembocadura. El EOT recomienda plantar guadua a una distancia de 2 m y a 4 m para especies nativas, donde el terreno lo permita.

En general, estas recomendaciones fueron cumplidas pues gran parte del trayecto de la ronda hídrica se encuentra protegida por guadua solo entre los 2 m y 4 m de esta. A pesar

de esto, los otros 28 o 26 m se tienen bien establecidos los cultivos, incluso algunos de ellos se encuentran cercanos al margen de la quebrada.

La protección de las márgenes de la quebrada con guadua, son una buena alternativa para este efecto pues además de constituirse como cercas vivas, cumplen su función productora. Es un recurso renovable que crece rápido y se adapta bien al clima que caracteriza al municipio. Es un árbol que se maneja muy fácil y brinda muchos beneficios en términos económicos, sociales y ambientales. En general no requiere de herramientas demasiado costosas para su manejo, ni fertilizantes; la guadua se da naturalmente en toda Latinoamérica.

CONCLUSIONES

Los Sistemas de Información Geográfica sin duda se han convertido en una herramienta indispensable para los procesos de planeación, modelamiento, gestión, monitoreo, entre otros. Sin embargo, como su definición lo indica, es solo una herramienta de apoyo que facilita el análisis de datos espaciotemporales y para ello es necesario contar con personal especializado que sea capaz de manejar dicha información para facilitar los procesos ya antes mencionados.

Entre las ventajas que presenta el sistema, está la actualización de las bases de datos que esta posee permitiendo el análisis de información espaciotemporal. Para ello es necesario contar con información actualizada que permita predecir tendencias futuras. La necesidad de actualizar la información no solo surge a partir de la variabilidad de los recursos en espacio y en tiempo, se debe tener en cuenta que los procesos de planificación, investigación y gestión también avanzan con el tiempo lo que implica generar nueva información que cuente con datos actualizados.

Una de las desventajas de estos sistemas es su costo en cuanto a la adopción y mantenimiento del material necesario para su realización y contrato de personal especializado. Esto crea una desventaja muy grande para algunas entidades o municipios que no cuentan con los recursos necesarios atrasando y dificultando las tareas asignadas.

Los procesos de planificación por otra parte, requieren información en cierto grado de detalle, el cual puede variar dependiendo del área de estudio. Esto implica disponer de la información adecuada a cierto nivel específico. En muchas ocasiones esto limita y retrasa no solo los procesos de planificación, sino también retrasa y dificulta la implementación de los SIG.

Particularmente en el municipio de Cachipay, la información esta muy dispersa y no se presenta a un nivel apropiado. Gran parte de la cartografía que tienen a su disposición esta muy generalizada y no es de buena calidad. En el documento digital del EOT del municipio, aparecen registrados varios mapas, pero estos no se encuentran aparentemente a disposición de las entidades o instituciones que la requieran.

Este hecho, atrasó varios de los procesos para la construcción del SICS por lo que se tuvo que usar solo la información que se encontraba disponible. La falta de información puede llevar a tomar decisiones no muy acertadas sobre el manejo del recurso, lo que puede desencadenar una serie de eventos que agraven aún más el problema existente en la microcuenca.

El estudio del recurso edáfico es una tarea que requiere de esfuerzo, tiempo y lo más importante, de grandes recursos económicos, si se tiene en cuenta la gran variabilidad espaciotemporal del mismo.

Por ello una de las grandes limitantes para la realización del proyecto, fue la disposición de tiempo y la falta de recursos económicos. Por esta razón solo se estableció un juego de indicadores que por si solos no generan información muy definida. Es necesario incluir un juego mínimo de indicadores los cuales deben complementarse entre sí para realizar un análisis a mejor nivel de detalle.

A pesar de ello, se logro determinar la gran variabilidad espacial de los suelos en la zona de estudio y por ende su variabilidad temporal. Esto combinado con la gran variabilidad espacial de los sistemas de uso del suelo exige un estudio más detallado, el cual debe realizarse en lo posible a una escala mayor, lo que permitirá mejorar la base de datos del sistema para optimización del análisis de la información que ésta contenga y evitar posibles errores en la toma de dediciones.

Con respecto al estado de la ronda hídrica, hay que tomar en cuenta que es una zona de protección. Los cultivos establecidos en la zona delimitada por los 30 m pueden generar

procesos de degradación no solo del recurso edáfico sino también del recurso hídrico que en muchas ocasiones pueden ser irreversibles. Referente a este último, si el municipio no toma las medidas adecuadas para su protección y recuperación con prontitud podrían estar causando la pérdida de tan valioso recurso.

De hecho en la actualidad, el municipio ya presenta problemas de estrés hídrico por lo que el recurso se torna insuficiente para satisfacer las necesidades de los habitantes de la cuenca y por ende afecta a los sistemas productivos de los cuales estos derivan su sustento.

Al respecto, la CAR (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca) debe ejercer su autoridad y hacerse presente para el establecimiento de estrategias y mecanismos de control que permitan recuperar y conservar el nacimiento y ronda de la quebrada en todo su recorrido, teniendo en cuenta que el objetivo principal de la entidad es la promoción y orientación al desarrollo económico de la región, atendiendo a su conservación, defensa, coordinación y administración de todos los recursos naturales con el fin de asegurar su disponibilidad a largo plazo con miras al beneficio común.

Por otra parte, la construcción del sistema de Información Geográfica basado en evaluaciones de calidad del suelo y de acuerdo a lo expuesto anteriormente, este podrá ser de gran utilidad no solo para las instituciones gubernamentales que involucren dentro de sus tareas procesos de planificación, modelación o gestión; sino que también puede ser de gran utilidad para los dueños de los predios o agricultores, en su defecto, para el municipio de Cachipay.

Cabe mencionar que para generar apoyo a la planeación del recurso edáfico, es necesario integrar varios factores como el componente económico, social y ecológico para lograr una visión de integralidad e interacción de cada uno de los componentes. De esta forma se podrá hacer una aproximación al desarrollo sostenible y a la identificación de los problemas, facilitando la toma de decisiones y la adopción de decisiones exitosas.

RECOMENDACIONES

Es necesario realizar un estudio mucho más concienzudo sobre el recurso edáfico, por lo que se debe contar con el conocimiento local, con el fin de conocer eventos pasados y presentes para poder predecir los futuros. De igual forma se debe contar con un análisis más detallado sobre las características físico-químicas del suelo, es decir, se necesita un mayor número de indicadores para hallar la correlación entre cada uno de ellos y poder brindar un diagnóstico más acertado no solo para el recurso edáfico, sino también para el recurso hídrico.

En primera instancia, considerando el desarrollo sostenible y el ordenamiento ambiental del territorio, es necesario realizar una zonificación ambiental para establecer los usos y el manejo correcto para el recurso suelo. A partir de allí se deberán establecer un juego mínimo de indicadores los cuales variaran de acuerdo a la zonificación propuesta (suelos de protección, restauración y producción). Si este procedimiento no se realiza, podrían realizarse estudios que a largo plazo constituirían en grandes costos económicos e innecesarios.

Para el caso de evaluación de zonas de producción es recomendable incluir indicadores como infiltración, nitratos del suelo, estabilidad estructural, desleimiento del suelo y otras características físicas del suelo como la profundidad del horizonte superior, crecimiento de las raíces, resistencia a la penetración, estructura del suelo y textura del suelo.

De igual forma y debido a la gran variabilidad espaciotemporal de los suelos se aconseja realizar mediciones como mínimo cada año. Para ello, es vital involucrar a la población en la planificación y conservación del recurso de forma activa; esto permitirá establecer una relación más íntima entre los investigadores y la comunidad haciendo posible la retroalimentación e interacción de estos. Esto podría resultar a largo plazo en grandes

ahorros y beneficios no solo económicos, sino también puede significar una ganancia de tiempo muy grande.

Con el fin de optimizar la participación de la comunidad y en especial, de los pequeños y medianos agricultores, es necesario buscar y adoptar metodologías que estén accesibles a estos, en términos económicos y prácticos. Esto permitirá a la vez que la comunidad se apropie de los proyectos, además de facilitar la aceptación a los cambios e implicaciones del mismo.

Por otra parte, las entidades gubernamentales del municipio, deben estar involucrados de forma activa para apoyar los proyectos investigativos en las zonas que lo requieran, para ello deben comprometerse con la comunidad y ser mucho más constantes en su evaluación y realización.

Seria ideal usar imágenes de satélite para realizar descripciones físicas para el área de la microcuenca de la quebrada Ocotá. Para esto es necesario contar con imágenes actualizadas y que la escala no sea menor de 1:25.000.

BIBLIOGRAFÍA

ASOCIACIÓN DE USUARIOS DE LOS ACUEDUCTOS DEL RÍO BAHAMÓN, 2000. Recuperación y protección de las quebradas San Miguel y Agua Regada, en le municipio de Cachipay, Cundinamarca. Proyecto ambiental comunitario. Alcaldía municipal de Cachipay. Cachipay, Cundinamarca.

BARTSCH, H. U., J. Kues, J. Sbresny , J. Schneider, (1994). Soil information system as a part of a municipal environmental information system, Environmental Geology. Hannover, German.

BEARE, M.H., K.C. Cameron, P.H. Williams and C. Doscher. 1997. Soil quality monitoring for sustainable agriculture. Horticulture and Food Research Institute of New Zealand Limited. Palmerston North, New Zealand. Artículo publicado en la World Wide Web: <http://www.hortnet.co.nz>

CARMONA & MOSALVE, (s.f.). Publicado en la World Web Wide: <http://www.monografias.com/trabajos/gis/gis>

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA (CAR), 2001. Atlas Ambiental. Bogotá

DECRETO No. 1449 de 1977. Marco jurídico sobre la conservación de los recursos naturales. Ministerio de Agricultura. Colombia

DECRETO No. 2811 de 1974. Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Colombia

ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL MUNICIPIO DE CACHIPAY. E.O.T. (1999) Provincia de Tequendama. Documento publicado en la World Wide Web: http://www.car.gov.co/paginas.aspx?cat_id=132&pub_id=207&pag=7

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). Guía técnica científica para la ordenación y manejo de cuencas, 2004. Bogotá, D.C.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI (IGAC). Subdirección de Agrología, 2000. Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Cundinamarca. Volumen I - III. Bogotá.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI (IGAC). Subdirección de Agrología, 2000. Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Cundinamarca. Mapa de Suelos: Mapa 1 – Mapa 22. Bogotá.

JARAMILLO, Daniel F. 2004. El recurso suelo y la competitividad del sector agrario colombiano. Competitividad del Sector Agrario Colombiano: Posibilidades y Limitaciones. Cátedra Pedro Nel Gómez. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

LEY 388 de 1997. Marco jurídico para el Ordenamiento Territorial. Colombia

LILBURNE, L., G. Sparling, L. Schipper, 2003. Soil quality monitoring in New Zealand: development of an interpretative framework. Agriculture, Ecosystems and

Environment. Elsevier Ltd. New Zealand. Artículo publicado en la World Web Wide:
www.elsevier.com/locate/agee.

LÓPEZ Acevedo Reguerín, M., J. Porta Casanellas, C. Roquero de Laburu, 1994.
Edafología: Para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.

MALAGÓN Castro, D. (s.f.). Los suelos de Colombia. Agrólogo. Subdirección de
Agrología. IGAC. Consultado en la World Wide Web:
<http://www.sogeocol.com.co/documentos/05loss.pdf>

MARTÍNEZ M., L.J., D.E. Vanegas R., W van Wijngaarden, M. Quiñónez F., W. Bijker y
D.H. Hoekman, 1997. Sistema de Información Geográfica para la Amazonía: el caso
Guaviare. Estudios en la Amazonía colombiana. Tomo XIII. Programa Tropenbos –
Colombia. Santafé de Bogotá, D.C.

MAUSBACH, Maurice J. 1996. Soil Quality Considerations in the Conversion of CRP
Land to Crop Production. Presented at CRP-96 Conference: Preparing for Future
CRP Land use in the Central and Southern Great Plains October 22-23, 1996.
Amarillo, Texas. Documento publicado en la World Wide Web:
<http://soils.usda.gov/sqi/files/CRPpaper.pdf>

NEW SOUTH WALES GOVERMENT (NSW), 2004. Soil And Land Information System
(SALIS) Documento publicado en la World Wide Web:
<http://www.dlwc.nsw.gov.au/care/soil/salis/>

RODRÍGUEZ S., Erasmo Alfredo. (s.f.) Los Sistemas de Información Geográfica (SIG)
como sistemas de ayuda en la toma de decisiones para el manejo de los recursos
naturales. Documento sin editar (s.f.). Santafé de Bogotá, D.C.

SPARLING, G.P., L.A. Schipper, W. Bettjeman, R. Hill, 2003. Soil quality monitoring in New Zealand: practical lessons from a 6-year trial. Agriculture, Ecosystems and Environment. Elsevier Ltd. New Zealand. Artículo publicado en la World Web Wide: www.elsevier.com/locate/agee.

SPARLING, G.P., L.A. Schipper, 2003. Soil quality monitoring in New Zealand: trends and issues arising from a broad-scale survey. Agriculture, Ecosystems and Environment. Elsevier Ltd. New Zealand. Artículo publicado en la World Web Wide: www.elsevier.com/locate/agee.

STRAHLER, Arthur, (1989). Geografía Física. Editorial Omega, 3a ed. Barcelona.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA), 1996a. Soil Quality Resource Concerns: Soil Erosion. Washington D.C. Artículo publicado en la World Web Wide: http://soils.usda.gov/sqi/files/sq_two_1.pdf

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA), 1996b. Indicators for Soil Quality Evaluation. Soil Quality Information Sheet. Washington D.C. Artículo publicado en la World Web Wide: http://soils.usda.gov/sqi/files/sq_thr_2.pdf

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA), 1999. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Washington, D.C. Artículo publicado en la World Web Wide: <http://soils.usda.gov/sqi/files/KitSpanish.pdf>

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA), 2001a. Guidelines for Soil Quality Assessment in Conservation Planning. Washington, D.C. Artículo publicado en la World Web Wide: <http://soils.usda.gov/sqi/files/Assess.pdf>

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA), 2001b. Soil Quality – Introduction. Washington D.C. Artículo publicado en la World Web Wide: http://soils.usda.gov/sqi/files/sq_one_1.pdf

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA), Natural Resources Conservation Service (NRCS). Examination and Description of Soils: Erosion. Soil Survey Manual. Chapter Three (Part 2 of 9). Consultado en la World Wide Web: <http://soils.usda.gov/technical/manual/contents/chapter3b.html>.

VELÁSQUEZ, E., P. Lavelle, E. Barrios, R. Joffre, F. Reversat, 2003. Evaluating soil quality in tropical agroecosystems of Colombia using NIRS. Soil Biology & Biochemistry, Elsevier Ltd. New Zealand. Artículo publicado en la World Web Wide: www.elsevier.com/locate/soilbio

<http://www.monografias.com/trabajos/gis/gis>. Consultado el día 23 de Agosto de 2005.