

**ESTUDIO DE LA MATERIA ORGANICA PRESENTE EN LOS SUELOS DE LA
VEREDA LA HOYA - TUNJA**

GABRIEL RICARDO CIFUENTES OSORIO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2006**

**ESTUDIO DE LA MATERIA ORGANICA PRESENTE EN LOS SUELOS DE LA
VEREDA LA HOYA - TUNJA**

GABRIEL RICARDO CIFUENTES OSORIO

**Monografía de Grado para optar el título de
Especialista en Química Ambiental**

**Asesor
CLARA INÉS SÁNCHEZ SUÁREZ
BLC MSc**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2006**

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	9
OBJETIVOS	13
OBJETIVO GENERAL	13
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1. MARCO TEÓRICO	14
1.1. MATERIA ORGÁNICA	14
1.1.1. LAS SUSTANCIAS HÚMICAS	14
1.1.2. FORMACIÓN DE LAS SUSTANCIAS HÚMICAS	19
1.1.3. ACCION AGRONOMICA DE LAS SUSTANCIAS HUMICAS	20
2. MARCO GEOGRÁFICO	27
2.1 POBLACIÓN DE LA VEREDA	27
2.2. ACTIVIDADES SOCIOECONÓMICAS DE LA ZONA	27
2.2.1. AGRICULTURA.	28
3. MATERIALES Y MÉTODOS	29
3.1. EVENTOS DE MUESTREO (EM).	29
3.2. ANÁLISIS QUÍMICOS	31
3.2.1. CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN HÚMICA (FH)	31
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	37
4.1. PRIMER EVENTO DE MUESTREO 1	37
4.2. SEGUNDO EVENTO DE MUESTREO	39
4.3. TERCER EVENTO DE MUESTREO	43
CONCLUSIONES	46

RECOMENDACIONES **47**

BIBIOGRAFIA **48**

ANEXOS **50**

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Principales contribuciones físicas, químicas y biológicas de la materia orgánica en el suelo	21
Tabla 2. Clasificación de los suelos según su contenido de Materia Orgánica (Stevenson, 1982)	22
Tabla 3. Usos del suelo en la vereda la Hoya	28
Tabla 4. Resultados de los parámetros analizados en el estudio en suelos sin cultivar	37
Tabla 5. Resultados de los parámetros analizados en el estudio en suelos cultivados	37
Tabla 6. Ubicación geográfica de las muestras analizadas	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fraccionamiento de las sustancias humicas (Senesi 1999)	16
Figura 2. Modelo estructural los ácidos húmicos (Stevenson, 1982)	18
Figura3. Modelo estructural los ácidos fúlvicos (Stevenson, 1982)	18
Figura 4. Rol de los organismos vivos en la descomposición de la materia orgánica (Eldor, 1993)	20
Figura 5. Localización de la zona de estudio	27
Figura 6. Esquema experimental desarrollado durante el trabajo	29
Figura 7. Zonificación de la vereda La Hoya (Vargas, E., 2005)	30
Figura 8. Marcha analítica para la caracterización de la fracción húmica de suelo	36
Figura 9. Resultados de los parámetros evaluados en el primer EM	38
Figura 10. Resultados de los parámetros evaluados en el segundo EM a una profundidad de 30 cm	41
Figura 11. Resultados de los parámetros evaluados en el segundo EM a una profundidad de 60 cm	42
Figura 12. Razón E_4/E_6 para las muestras del segundo EM	43
Figura 13. Resultados de los parámetros evaluados en el tercer EM	44
Figura 14. Razón E_4/E_6 para las muestras del tercer EM.	44
Figura 15. Capacidad de Intercambio Catiónico para las muestras del tercer EM.	45

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Normalidad de la solución de sulfato ferroso amoniacal _____	32
Ecuación 2. Contenido del carbono orgánico del producto _____	33
Ecuación 3. Contenido del CEHT _____	33
Ecuación 4. Contenido del carbono no extraído _____	33
Ecuación 5. Contenido del carbono orgánico en los ácidos húmicos _____	34
Ecuación 6. Porcentaje de carbono de ácidos fúlvicos _____	35

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Resultados del segundo evento de muestreo	51
Anexo 2. Resultados del tercer evento de muestreo	53

-

TITULO: ESTUDIO DE LA MATERIA ORGANICA PRESENTE EN LOS SUELOS DE LA VEREDA LA HOYA – TUNJA *

Gabriel Ricardo Cifuentes O** Clara Ines Sánchez S***

Palabras Clave: Materia Orgánica, Acido Húmico, Razón E_4/E_6 , Ácido Fulvico, Huminas, Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C)

La materia orgánica del suelo es uno de los más importantes recursos y por ende la base fundamental de la fertilidad del suelo. Los componente de dicha materia orgánica presente en el suelo se pueden clasificar en dos grupos generales como son las sustancias húmicas y las no húmicas.

En el presente estudio si quiso comparar el porcentaje de materia orgánica expresado en la concentración de las fracciones húmicas y fúlvicas de suelos cultivados y no cultivados convencionalmente en la vereda la Hoya del municipio de Tunja. Inicialmente se realizó un muestreo en suelos cultivados y sin cultivar para la estandarización de las técnicas de cuantificación de sustancias húmicas en donde se pudo observar que el contenido del Extracto Húmico Total (%CEHT) para las dos muestras de suelo, esta compuesto en su mayoría por la fracción Húmica, siendo mayor significativamente para el suelo cultivado. Posteriormente se realizo el segundo evento de muestreo el cual pretendió establecer las diferencias de los parámetros analizados en dos profundidades (30 y 60 cm) en siete suelos cultivados con papa *Solanum tuberosum*. Los resultados evidencian diferencias en todos los parámetros dependientes del sitio donde se tomo la muestra, siendo las huminas las sustancias más persistentes en el suelo. En el tercer evento de muestreo se quiso determinar el grado de condensación aromática de las fracciones húmicas y su relación con el grado de humificación del suelo, en donde se pudo apreciar una relación con la Capacidad de Intercambio catiónico (CIC).

La presencia de sustancias húmicas extraíbles y capacidad de Intercambio catiónico estan relacionadas inversamente con la razon E_4/E_6 en la muestras analizadas, haciendo favorable la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

* Trabajo de Grado

** Facultad De Ciencias- Escuela De Química-Especialización En Química Ambiental

*** BLC MSc. Universidad Nacional de Colombia. Docente Universidad de Boyacá-Asesor

**TITLE: STUDY OF ORGANIC MATTER EXISTENT IN THE SOIL OF THE TOWNSHIP “LA HOYA”,
SUBDIVISION OF THE CITY OF TUNJA**

Gabriel Ricardo Cifuentes O** Clara Ines Sánchez S***

KEY WORDS: Organic matter, humic acid, rate E_4/E_6 , Fulvic Acid, Humins, Cationic interchange capability (C.I.C)

The organic matter of the soil is one of the most important resources, therefore the fundamental base of the fertility of the soil. The components of such organic matter existent in the soil can be classified in two general groups: humic substances and no-humic substances.

In this study the percentages of organic matter were compared expressed in the levels of concentration of fulvic and humic fractions from the traditionally cultivated and no cultivated soil of the township or village “La Hoya” from the city of Tunja. Initially samples were taken from the cultivated and no cultivated soils to standardize the quantification techniques of humic substances, in this experience was observed that the total humic extract for the two soil samples were composed by majority of the humic fraction, being this fraction significantly higher in the cultivated soil sample. Afterwards a second set of samples were taken, which main purpose was to establish the differences between the two analyzed parameters in two depths (30 and 60 cm) in seven potato crops (*solanum tuberosum*). The results showed differences in all the depending parameters of the sites where the samples were taken, being the humins the most persistent substance in the soil. The third sample taken event was to determine the aromatic condensation levels of the humic fractions and its relationship with the humification levels of the soil, which showed to be linked with the Cationic Interchange Capability (C.I.C).

The presence of extractable humic substances and cationic interchange capability are inversely related with the rate E_4/E_6 in the analyzed samples, which makes the availability of nutrients favorable for the plants.

** Facultad De Ciencias- Escuela De Química-Especialización En Química Ambiental

*** BLC MSc. Universidad Nacional de Colombia. Docente Universidad de Boyacá-Asesor

INTRODUCCIÓN

El estudio de la materia orgánica del suelo se inició en la segunda mitad del siglo XVIII, con los trabajos de Walerius que analizó la formación del humus a partir de la descomposición de las plantas, haciendo mención de la capacidad de retención de agua, sustancias nutritivas, entre otras. Achard, Vauquelin y Thomson a finales del siglo XVIII intentaron extraer sustancias húmicas a partir de turbas, restos vegetales en descomposición y suelos. (Senesi, N. and Loffredo, E. 1999). En este mismo período se sugirió la posibilidad de una asimilación directa por las plantas de las sustancias húmicas y su participación en la nutrición. (Eldor, P. 1993)

Ya en el siglo XIX, Sprengel describió y analizó el ácido húmico presente en el suelo, como responsable de la fertilidad. Berzelius estudió los ácidos crénico y apocrénico, conocidos posteriormente como fulvoácidos o ácidos fúlvicos. Numerosos investigadores estudiaron estas sustancias a partir de distintos suelos y turbas mediante extracciones alcalinas.

Con el desarrollo de la microbiología se empezó a considerar la humificación como un proceso biológico de descomposición de los restos vegetales gracias a la acción de los microorganismos. (Dos Santos Junior, L., 2003)

En la primera mitad del siglo XX se trabajó en el conocimiento de la materia orgánica y del humus, considerando en muchas ocasiones los ácidos húmicos como compuestos de naturaleza individual hasta que se argumentó que se trataba de un grupo de sustancias con una estructura característica de naturaleza aromática con grupos funcionales carboxilos y fenólicos. La mayor parte de las investigaciones admitían las sustancias húmicas como un grupo característico de la materia orgánica del suelo, que era posible extraer de éste mediante reactivos alcalinos, pero la efectividad era superior partiendo de turbas o lignitos.

Después de la Segunda Guerra Mundial, gracias a las nuevas técnicas de análisis (microscopio electrónico, cromatografía, espectroscopía, etc.) se continuaron investigaciones acerca del humus, logrando la caracterización de la naturaleza de las sustancias húmicas.

En la época actual se presta una especial atención al conocimiento de la actividad agronómica de los ácidos húmicos y a su extracción y purificación para obtener abonos cuya que incremente su fertilidad y por ende aumenten la productividad. En la actualidad el desarrollo de la industria de los fertilizantes, ha generado una gran cantidad de formulaciones que pueden encontrarse especialmente en las zonas de cultivos intensivos, pero que en muchas ocasiones han desvirtuado la efectividad reconocida de las sustancias húmicas, al tratarse de productos muy diversos, de orígenes y metodologías de fabricación dispares, y con recomendaciones agronómicas en general poco satisfactorias. (Wander, M. 2004)

En relación con lo anterior, el propósito de este trabajo fue comparar el porcentaje de materia orgánica expresado en la concentración de las fracciones húmicas y fulvicas de suelos no cultivados y cultivados convencionalmente y así establecer el posible efecto del manejo agronómico sobre estas sustancias en el suelo.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Comparar el porcentaje de materia orgánica expresado en la concentración de las fracciones húmicas y fulvicas de suelos no cultivados y cultivados convencionalmente en la vereda la Hoya del municipio de Tunja.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estandarizar la técnica analítica para la determinación de materia orgánica en muestras de suelo.

Determinar los porcentajes correspondientes a las fracciones de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos presentes en la materia orgánica de los suelos de interés.

Evaluar el grado de condensación aromática de las moléculas de las fracciones húmicas y su correlación con la humificación del suelo.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Materia Orgánica

La materia orgánica del suelo (MOS) es uno de los más importantes recursos y la base de la fertilidad del suelo, en términos generales se refiere al contenido total de carbón orgánico en el suelo. La masa orgánica total de C orgánico se ha estimado en 22 x 10¹⁴ Kg.

La última fuente de MOS es el C fijado a través de las reacciones fotosintéticas, las cuales pueden ser liberadas al suelo primariamente desde desechos y exudados de las raíces de las plantas. Sin embargo, también existe contribución por parte de restos animales, bacterias autotróficas y fuentes fósiles aunque es relativamente poca. (Senesi, N. and Loffredo, E. 1999).

Los componentes de la materia orgánica del suelo pueden clasificarse en dos grupos generales de sustancias: no húmicas y húmicas. En el grupo de sustancias no húmicas se incluyen los residuos inalterados de tejidos vegetales y animales que son la fuente o materia prima para que los microorganismos los sinteticen o descompongan hacia sustancias húmicas, las cuales pierden toda semejanza con los compuestos orgánicos originales. (Castro, H., 1998).

1.1.1. Las sustancias húmicas

Las sustancias húmicas son compuestos de color de amarillento a negro, amorfos, muy polimerizados, con peso molecular muy elevado, naturaleza coloidal y que presentan núcleos de carácter aromático (benceno, naftaleno, furano, etc.). En estado natural todas estas sustancias están íntimamente ligadas entre si y con otros constituyentes orgánicos (hidratos de carbono, proteínas, etc.). De hecho, las diferentes fracciones

húmicas representan un sistema de polímeros que varían en cuanto a su composición elemental, acidez, grado de polimerización y peso molecular.

El origen de los compuestos húmicos parece que se debe a la presencia de polifenoles derivados de la lignina o sintetizados por los microorganismos que se convierten mediante la acción de enzimas en quinonas, que después se polimerizan para formar los polímeros que constituyen el humus.

Las sustancias húmicas se clasifican en función de su solubilidad en ácidos y bases,, cuando la extracción se realiza con medios alcalinos, la parte insoluble se denomina Humina y la parte soluble sustancias húmicas, cuando las últimas son tratadas con ácidos, el precipitado es denominado ácido húmico y el que queda en suspensión es el ácido fúlvico.

Dentro de los ácidos húmicos, se pueden distinguir el ácido himatomelánico, que es la parte del ácido húmico soluble en alcohol (también llamado ácido úlmico), los ácidos húmicos pardos, que no precipitan en presencia de sales como el cloruro sódico y los ácidos húmicos grises, que precipitan en presencia de sales

Dentro de los ácidos fúlvicos se pueden distinguir el ácido crénico (amarillo claro) y el ácido apocrénico (amarillo-pardo). La distribución de estos distintos tipos de sustancias húmicas en los suelos naturales y en la materia orgánica descompuesta es variable y es característica del tipo de suelo o sustrato.

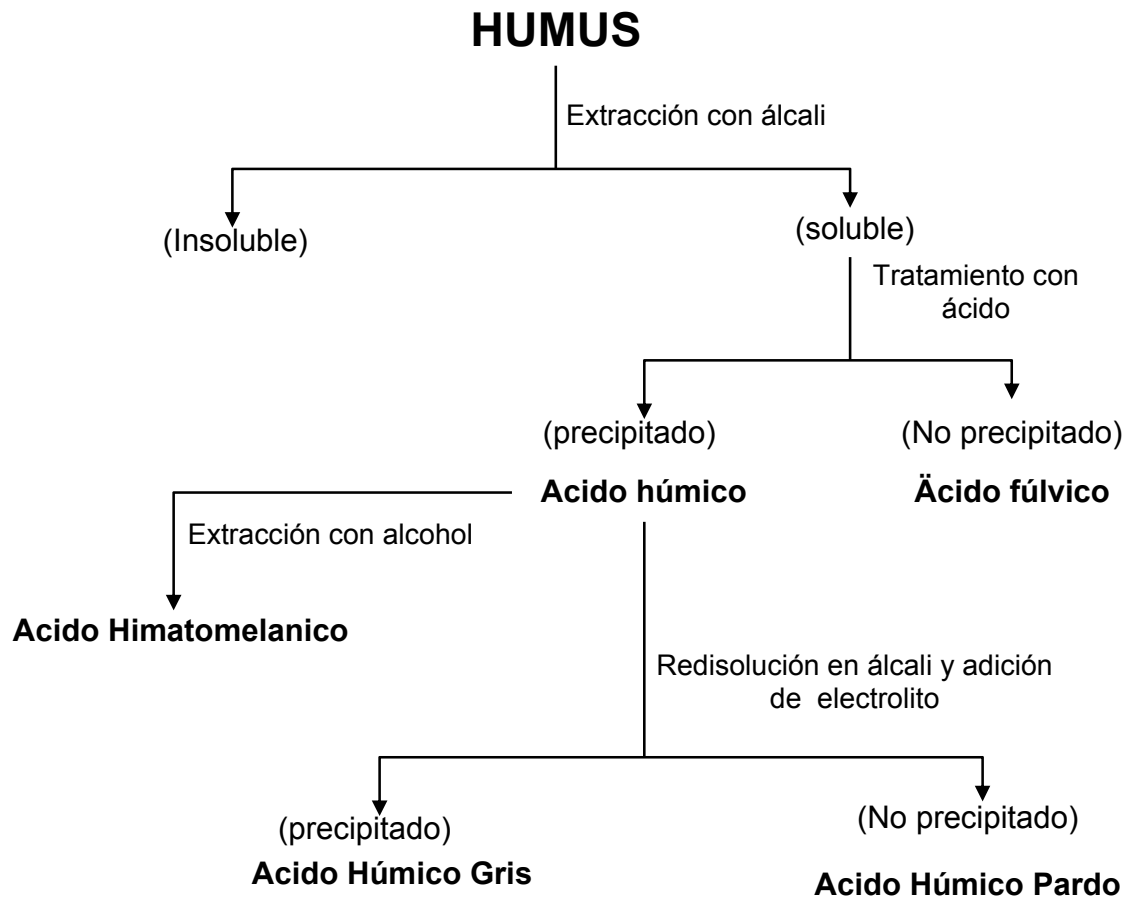


Figura 1. Fraccionamiento de las sustancias húmicas (Senesi 1999)

Las sustancias húmicas también difieren en su composición, la cantidad de carbono es menor en los ácidos fúlvicos correspondiente a un 40-50% en contraste con un 53-60% en los ácidos húmicos, por el contrario el contenido de oxígeno es mayor en los ácidos fúlvicos (40-50%) en comparación al de los ácidos húmicos ((32-38%). Estas características son consistentes con la alta capacidad de intercambio catiónico de los ácidos fúlvicos, la cual es de 640-1420 cmol (+) kg⁻¹ frente a 560-890 cmol (+) kg⁻¹ de los ácidos húmicos. (Wander, M. 2004)

Por espectrometría infrarroja se detecta que los ácidos húmicos poseen gran cantidad de estructuras aromáticas con oscilaciones de valencia de dobles enlaces C=C, que denotan así mismo la presencia de quinonas y oxiquinonas, y formas cíclicas de nitrógeno C=N correspondientes a purinas, pirimidinas, etc. y nitrógeno en forma alifática constituyendo diversos aminoácidos. También se observan oscilaciones de grupos carbonilos C=O y grupos carboxilo COOH presentes en los ácidos alifáticos y aromáticos. Del mismo modo se observan cadenas alifáticas CH₂, CH₃, metoxilos OCH₃, etc, y alcoholes, ésteres, restos de hidratos de carbono, etc.

Es particularmente característico de los ácidos húmicos la presencia de grupos funcionales carboxilos e hidroxilos fenólicos con gran poder reactivo gracias a la capacidad de sustitución de su hidrógeno, lo que le da un carácter global ácido y una elevada capacidad de intercambio catiónico,

Los ácidos húmicos (Figura 2) son estructuras poliméricas con características coloidales, formando cadenas primordialmente esféricas, que permiten la presencia de porosidades y de naturaleza amorfa, con la presencia de carbono (hidrófobo) primordialmente en las estructuras aromáticas y en menor cantidad en las cadenas laterales, mientras en éstas se presentan radicales hidrófilos que favorecen la formación de compuestos intracomplejos o quelatos con cationes polivalentes, de gran importancia en la disponibilidad de algunos nutrientes, como veremos.

La estructura básica de los ácidos húmicos son las unidades polifenólicas procedentes de la lignina vegetal, polifenol relativamente resistente a la descomposición microbiana, con abundantes grupos reactivos carboxilos, hidroxilos fenólicos y aminas, que le confieren a los ácidos húmicos sus características coloidales y electronegativas, formando complejos con las arcillas estabilizando la estructura del suelo y responsabilizándose de la capacidad de intercambio catiónico.

Constituyen compuestos poliméricos de elevado peso molecular promedio, según determinaciones crioscópicas, estando entre 50000 y 100000.

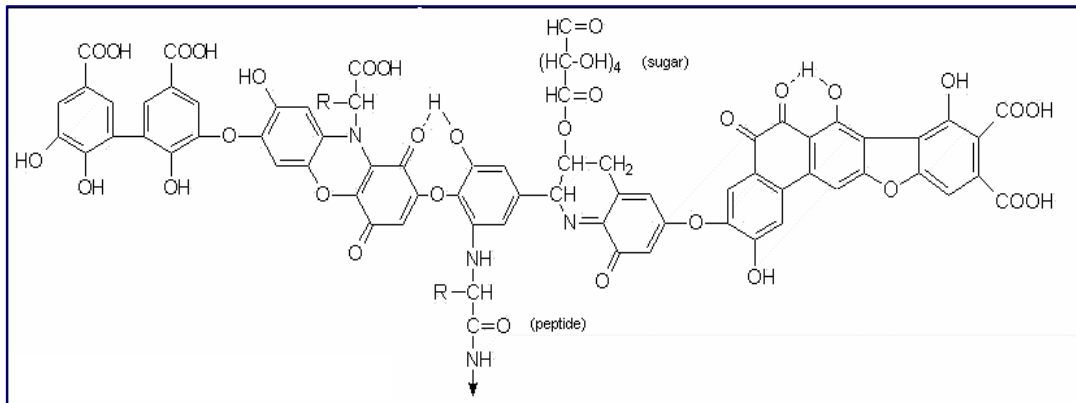


Figura 2. Modelo estructural los ácidos húmicos (Stevenson, 1982)

Otro componente orgánico de los suelos es el ácido fúlvico (Figura 3), que es un tipo de sustancia húmica débilmente polimerizado, que interviene en el proceso de podsolización. Junto con las arcillas y el hierro presentes en el suelo, este ácido forma complejos coloidales que por lixiviación son desplazados hasta cierta profundidad, donde finalmente floculan como consecuencia de actividad bacteriana.

Constituyen una serie de compuestos sólidos o semisólidos, amorfos, de color amarillento y naturaleza coloidal, fácilmente dispersables en agua, no precipitables por los ácidos,, susceptibles en cambio de experimentar floculación en determinadas condiciones de pH y concentración de las soluciones de cationes no alcalinos.

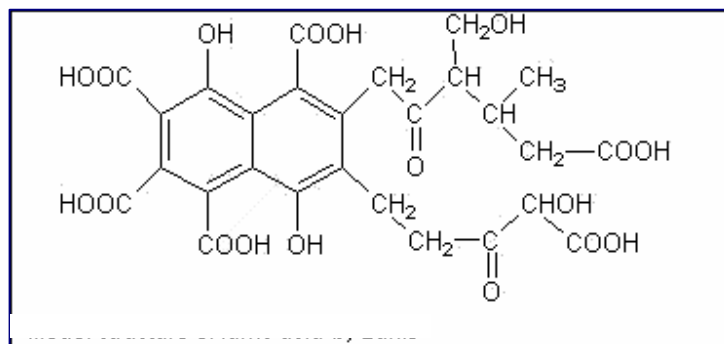


Figura3. Modelo estructural los ácidos fúlvicos (Stevenson, 1982)

1.1.2. Formación de las sustancias húmicas

La materia orgánica del suelo está compuesta de hidratos de carbono, lignina, ácidos orgánicos alifáticos y sus ésteres, alcoholes, éteres, aldehidos, resinas y una serie de compuestos nitrogenados. Entre los hidratos de carbono, la celulosa y la hemicelulosa se encuentran en una gran proporción, mientras lignina y una serie de polifenoles como los taninos son escasos.

Los microorganismos del suelo, la humedad y la temperatura, descomponen los materiales orgánicos durante el proceso de humificación. En el suelo existen una serie de enzimas microbianas que hidrolizan los hidratos de carbono produciendo azúcares metabolizables que al ser digeridos por los microorganismos incrementan su multiplicación, generándose nuevas proteínas, grasas y polisacáridos, así como diversos compuestos fenólicos y quinónicos consecuencia de oxidaciones parciales e hidrólisis.

La lignina, constituyente básico de los tejidos vegetales, es un polímero de estructura cerrada aromática con gran cantidad de grupos polifenólicos y numerosos radicales metoxilos, fenólicos y alcohólicos. Son precisamente los metoxilos y metílicos los primeros radicales que se descomponen en el proceso degradativo de la lignina por la acción de enzimas de microorganismos, dando lugar a grupos carboxilos. Aunque la lignina es más resistente a la descomposición que los hidratos de carbono, se producen importantes modificaciones de su estructura a nivel bioquímico. (Eldor, P., 1993). Son pocos los microorganismos, principalmente hongos, los encargados del proceso degradativo de la lignina, dado que poseen enzimas especiales para el proceso, la lignina peroxidasa y manganeso peroxidasa, sin embargo, la lignina es uno de los mayores componentes del humus (Figura 4)

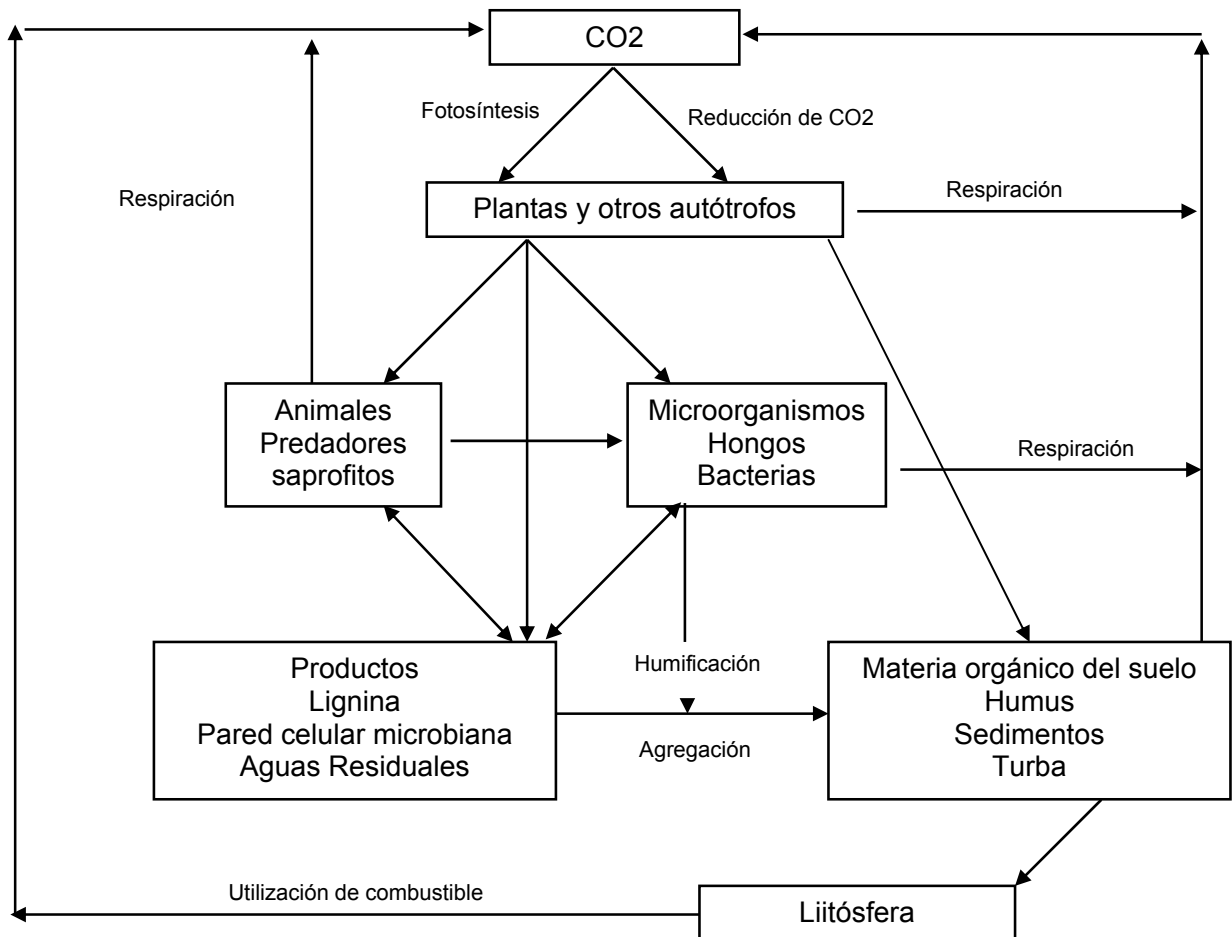


Figura 4. Rol de los organismos vivos en la descomposición de la materia orgánica (Eldor, 1993)

1.1.3. Acción agronomica de las sustancias humicas

Las sustancias húmicas incide sobre el suelo, física y químicamente, y sobre la planta, fisiológica y bioquímicamente. En la Tabla 1 se muestra las diferentes contribuciones que cumple la materia orgánica sobre el suelo

1.1.3.1. Influencia Sobre El Suelo

La materia orgánica es fundamental en la formación del suelo y su estructura debido por una parte a la descomposición de los silicatos y aluminosilicatos por los ácidos húmicos y fúlvicos que forman compuestos organometálicos y por otra parte a la reactividad química de los grupos carboxílicos y fenólicos que contienen, aumentando la capacidad de intercambio catiónico (CIC).

Tabla 1. Principales contribuciones físicas, químicas y biológicas de la materia orgánica en el suelo

Según Waksman (1938)	Según Stevenson (1994)
Funciones Físicas	
Modifica el color, estructura y capacidad de retención, mezcla y la aireación del suelo	Mejora el color y retención de agua, ayuda y evita la desecación, combinada con minerales y arcillas, mejora las propiedades de mezcla y retención. Estabiliza la estructura y permite el intercambio gaseoso
Funciones Químicas	
Aumenta la solubilidad de minerales, la formación de compuestos con elementos tales como el Fe, la disponibilidad de los minerales para las plantas e incrementa las propiedades amortiguadoras del suelo	Influye sobre la actividad de los agentes quelantes hacia los micronutrientes disponibles, mantiene uniforme las reacciones en el suelo e incrementa el intercambio catiónico
Funciones Biológicas	
Se constituye como fuente de energía para los microorganismos, hace del suelo el mejor medio para el crecimiento de las plantas, proporciona un flujo lento pero continuo de nutrientes indispensables para el crecimiento de las mismas	Proporciona fuente de mineralización de nutrientes, combinada con xenobióticos, influye en la biodisponibilidad de los plaguicidas

Fuente. Wander, M. (2004) pág 70.

La materia orgánica es un parámetro relacionado directamente con la calidad edáfica., adicionalmente interviene en la estructura del horizonte, ayuda a formar los complejos arcillo-húmicos del suelo, mejora la capacidad de infiltración del agua en suelos arcillosos y aumenta la capacidad de retención en los suelos arenosos y determina la disponibilidad de nutrientes, influyendo por tanto positivamente en la productividad del suelo.

En la Tabla 2 se presenta como se clasifican los suelos según su contenido en materia orgánica

Tabla 2. Clasificación de los suelos según su contenido de Materia Orgánica (Stevenson, 1982)

% M.O.	Clasificación del suelo
0-2	Muy deficiente en M.O.
2-4	Deficiente en M.O.
4-6	Contenido normal en M.O.
6-8	Contenido apreciable en M.O
8-10	Gumífero
>10	Muy humífero

Actividad Físico -Química

En la primera mitad del siglo, ya se hablaba de la descomposición de distintos tipos de minerales del suelo debidos a las sustancias húmicas (que tienen poder disgregante), la acción erosiva de los microorganismos del suelo y de los propios exudados radiculares de las plantas. Las sustancias húmicas forman "uniones" con la parte mineral del suelo,

de tal modo que contribuyen eficazmente a liberar hierro, cobre, manganeso y otros nutrientes de los minerales y hacerlos asequibles a los cultivos.

Concretamente se forman sales de ácidos húmicos y fúlvicos (humatos y fulvatos), complejos o quelatos naturales, compuestos de sustancias húmicas con hidratos de sesquióxidos. Además las sustancias húmicas al ser ricas en radicales hidrófilos de naturaleza coloidal contribuyen a la agregación o aglutinación de los agregados minerales evitando su dispersión.

Los ácidos húmicos forman cadenas poliméricas polifenólicas con abundantes grupos reactivos carboxílicos, hidroxilos fenólicos y aminas, mientras que los ácidos fúlvicos tienen una estructura similar pero con menor polimerización, menor cantidad de anillos aromáticos y cadenas laterales de mayor longitud. Los grupos reactivos citados se caracterizan por tener capacidad de sustitución del hidrógeno, lo que le da un carácter global ácido y una elevada capacidad de intercambio catiónico.

Además se forman complejos entre las arcillas y las sustancias húmicas a través de puentes de sesquióxidos, o bien a través de calcio cambiante, magnesio, entre otros. que contribuyen a la meteorización y disponibilidad de nutrientes a la solución del suelo. (Wander, 2004)

Además se ha evidenciado que a partir de la descomposición de la lignina y los taninos se forman polifenoles en las sustancias húmicas que tienen un papel fundamental en el transporte del hierro, propiamente las propiedades reductoras de los ácidos fúlvicos, permiten la reducción del Fe^{+++} a Fe^{++} movilizándolo el hierro. (Eldor, P)

Respecto a la acción estructural de las sustancias húmicas, es fundamental la unión porosa con los minerales arcillosos a través de calcio cambiante, que le da estabilización, la cual es de vital importancia como medio de desarrollo de las raíces y

de absorción de nutrientes de la solución del suelo. La formación de los agregados del suelo se produce debido a las características coloidales de las sustancias húmicas y a la acción protectora y adhesiva de los mucílagos bacterianos y de micelios de hongos..

Gracias a la formación de los agregados se produce una retención de nutrientes en el suelo siendo cedidos gradualmente al cultivo y evitando pérdidas por lavados, bloqueos, precipitaciones, etc. Cuanto mayor sea la capacidad de intercambio catiónico, es decir la capacidad del suelo de retener nutrientes, mayor será la disponibilidad de estos y por tanto mayor será su calidad.

1.1.3.2. Influencia Sobre La Planta

Desde la primera mitad de nuestro siglo se sabe que las sustancias húmicas ejercen una notable acción sobre los procesos fisiológicos y bioquímicos de las plantas, incidiendo favorablemente en la nutrición de los cultivos.

Actividad Fisiológica

En los años 30, Lieske observó que los carbones pardos al ser ricos en sustancias húmicas resultaban de interés en la fertilización, dado que se incrementaba la permeabilidad de las membranas celulares y por tanto se favorecía la entrada activa de sustancias nutritivas a los cultivos

Posteriormente se hicieron numerosos estudios sobre la estimulación de la formación de raíces y la diferenciación de los puntos de crecimiento (los meristemas) tanto por parte de los ácidos húmicos como de los fúlvicos.

El incremento de la permeabilidad de las membranas celulares cuando entran en contacto con ácidos húmicos, está ligado a una intensificación de la exoósmosis de los

azúcares y un aumento de la entrada de nitrógeno, fósforo y potasio en el medio nutritivo. La actividad fisiológica de las sustancias húmicas parece deberse a la presencia de polifenoles y quinonas.

Las fracciones macromoleculares inciden en la regulación de la entrada y distribución de los elementos nutritivos en la planta, aumentando la asimilación de los nutrientes del suelo y de los fertilizantes, su movilización y participación en los procesos metabólicos.

Actividad Bioquímica

Los procesos bioquímicos en las plantas van ligados estrechamente a los fisiológicos, pero los primeros son más afectados por las sustancias húmicas.

Las sustancias húmicas y sus componentes, los polifenoles y las oxiquinonas, parecen ser catalizadores de la respiración ya que regulan el estado oxido-reductor del medio en que se desarrollan las plantas, especialmente las oxiquinonas que aceptan el hidrógeno en la oxidación de sustancias en los tejidos vegetales. De este modo cuando el oxígeno es insuficiente, los humatos facilitan la respiración de la planta, elevándose la intensidad de la respiración de las raíces.

Además, las sustancias húmicas actúan sobre la actividad fermentativa de las plantas, elevando la actividad de los fermentos sintetizantes como la aldolasa y la sacarosa, que generan la acumulación de carbohidratos solubles, de mucho interés en numerosos cultivos. Se eleva la presión osmótica de la planta contribuyendo a una mayor resistencia al marchitamiento en períodos de sequía.

Junto con la estimulación del proceso respiratorio y la actividad de los fermentos, se conocen otras actividades bioquímicas relacionadas con el contenido en clorofila, activación del metabolismo, crecimiento y diferenciación celular, etc. que en definitiva

contribuyen a un consumo más energético y eficiente de los elementos nutritivos del suelo y fertilizantes.

2. MARCO GEOGRÁFICO

La vereda de la Hoya (Figura 5), esta ubicada en el extremo sur-occidental del Municipio de Tunja.

Limita por el norte con la vereda Varón Germania, por el oriente con la Vereda la Lajita, por el sur con el Municipio de Ventaquemada, y por el Occidente con el municipio de Samacá.

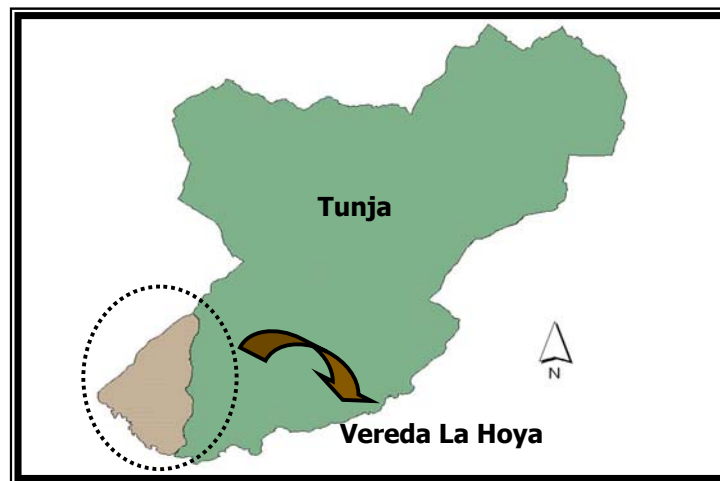


Figura 5. Localización de la zona de estudio

Fuente: TUNJA. ALCALDÍA MUNICIPAL. Plan de Ordenamiento Territorial. Tunja : La Alcaldía, 2000. p. 457.

2.1 Población de la vereda

Número Total de pobladores: 747

Area: 839.92 Ha

Área Promedio por predio. 6.6473 Ha

Promedio de la Población rural en el municipio: 1%

2.2. Actividades socioeconómicas de la zona

Las actividades agropecuarias son propias de la zona en estudio, y constituyen la base económica para sus pobladores. Cuya actividad principal es la agricultura.

2.2.1. Agricultura.

Se caracteriza por las explotaciones minifundistas de carácter familiar, realizadas en su mayoría con herramientas tradicionales, el ciclo de los cultivos depende en gran parte del ciclo de lluvias, con poco riego y limitada por suelos de uso ganadero. A esta situación se le adiciona la escasez de mano de obra por despoblamiento del campo. En la Tabla 3 se presentan las diferentes actividades que se realizan en los suelos de esta vereda.

Tabla 3. Usos del suelo en la vereda la Hoya

Uso del Suelo	Porcentaje
Agricultura	39%
Ganadería	24.9%
Forestal	2.30%
Pasto	32.9%
Barbecho	0.9%

Fuente: POT-Tunja. Dimensión Económica. Pag.91

Los principales productos agrarios cultivados en la vereda la hoya son la papa, arveja, maíz, haba, trigo cebolla.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

La Figura 6 se describe en forma resumida el esquema experimental que se utilizó para la realización del trabajo.

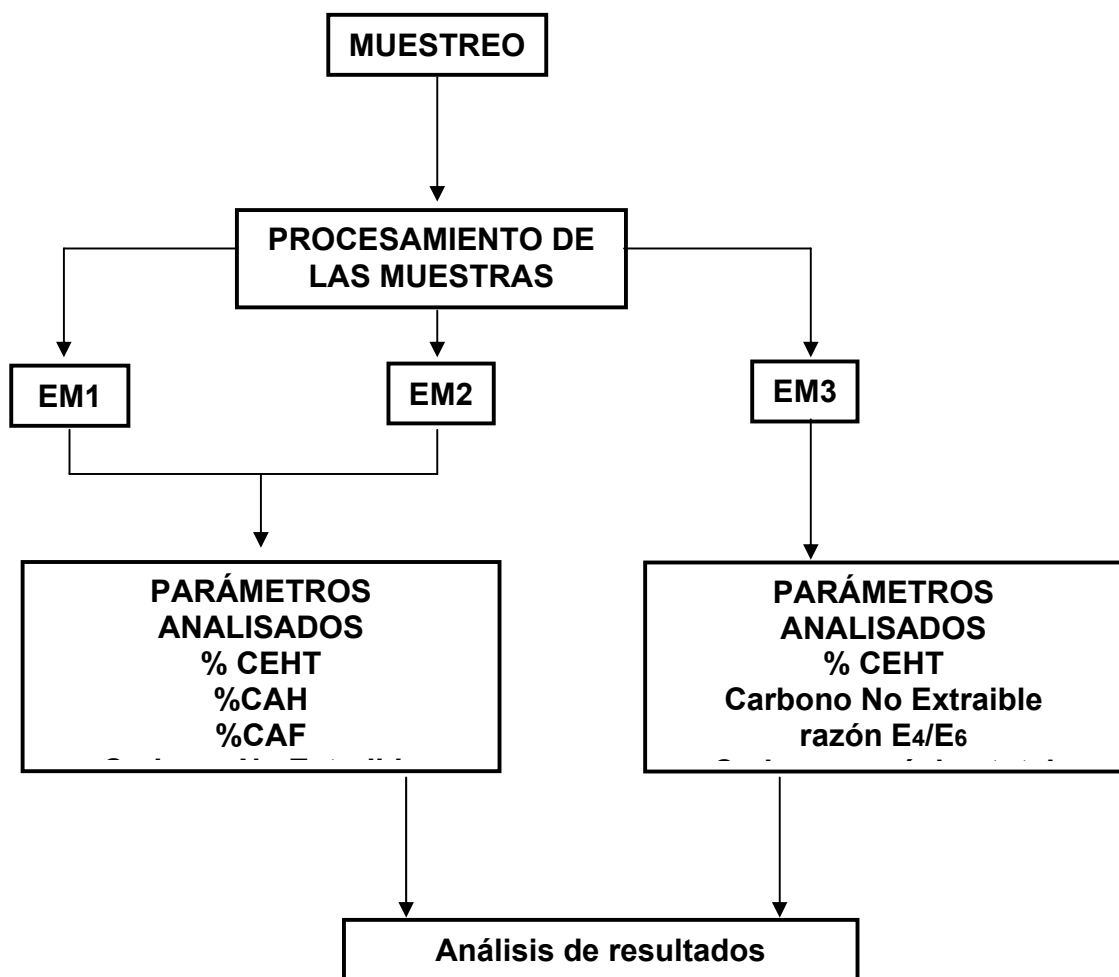


Figura 6. Esquema experimental desarrollado durante el trabajo

3.1. Eventos de Muestreo (EM).

El material de estudio fue extraído de la vereda la Hoya del municipio de Tunja; se realizaron tres EM, en el primero se obtuvieron dos muestras que provenían de un suelo

cultivado y otro sin cultivar, en el segundo EM se exploraron ocho puntos de predios cultivados con papa, se colectaron aleatoriamente y dado que la composición fisicoquímica de los suelos varía según la profundidad, se tomaron a 30 cm y 60 cm aproximadamente, en el tercero EM se realizó colección de siete (7) muestras compuestas que fueron representativas de cada zona de estudio (Figura 7). Las muestras de suelo fueron transportadas al laboratorio para su posterior análisis.

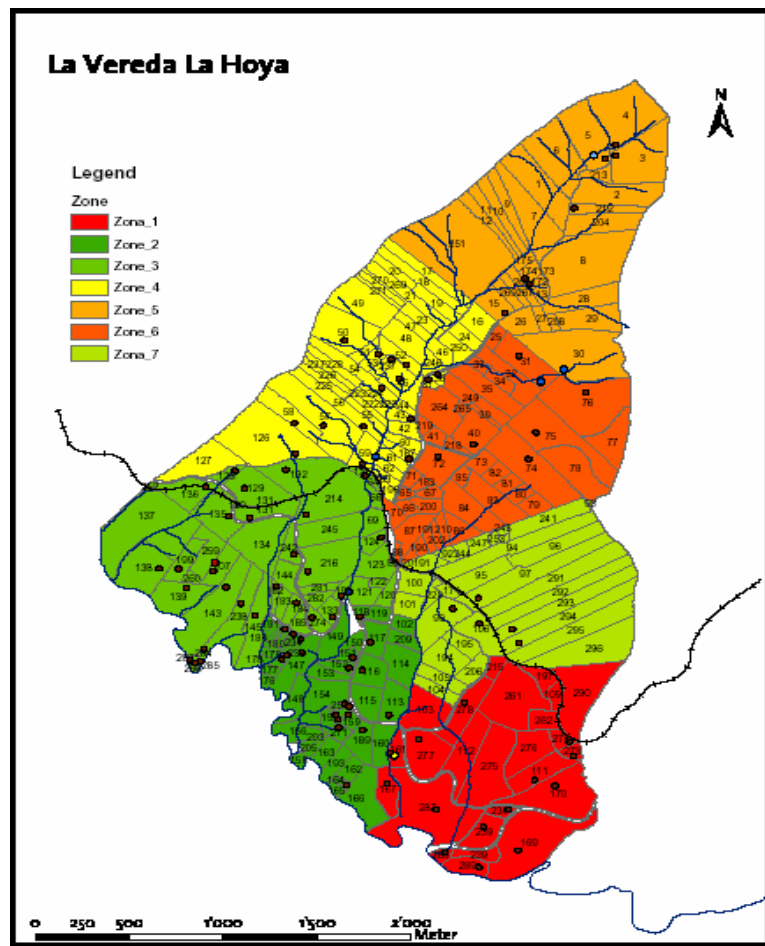


Figura 7. Zonificación de la vereda La Hoya (Vargas, E., 2005)

3.2. Análisis Químicos

A continuación se describe la técnica utilizada para la determinación de ácidos húmicos y fulvicos; esta técnica esta dentro de la Norma Técnica Colombiana 554/02.

3.2.1. Caracterización de la fracción húmica (FH)

Por definición los materiales húmicos son de origen pedogenético y analíticamente es la fracción de materia orgánica (carbono orgánico) extraíble o soluble en medio alcalino.

3.2.1.1. Cuantificación del Carbono Orgánico del Extracto Húmico Total (CEHT)

El extracto húmico total se define como el contenido de carbono total extraíble en medio alcalino sobre un material de origen pedogenético, esto es de un suelo.

- Pesar 15 gr del producto seco, molido y tamizado(malla 30)
- Adicionar 100 mL de hidróxido de potasio (KOH) al 4%
- Agitar durante dos horas.
- Centrifugar a una velocidad de 4000 rpm durante 15 minutos
- Colocar una alícuota de 2 mL del sobrenadante obtenido, en un erlenmeyer y evaporar en baño de María a 70 C.
- Adicionar la mezcla oxidante, dicromato de potasio 1.0 N y ácido sulfúrico concentrado ($K_2Cr_2O_7$ y H_2SO_4), dejar enfriar. Si la solución se torna verde brillante se deben duplicar las cantidades añadidas o pesar menos según sea el caso.
- A un volumen de 30 mL agregar 5 mL de ácido fosfórico concentrado y 5 gotas del indicador (ortofenantrolina)
- Preparar paralelamente un blanco de reactivos compuesto por 10 mL de $K_2Cr_2O_7$ y 20 mL H_2SO_4 concentrado. Esto permite la valoración de la normalidad de la solución de sulfato ferroso amoniacal.

- Titular la solución con sulfato ferroso amoniacal previamente valorado, el cambio de color es de café rojizo hasta verde brillante.
- Secar el residuo insoluble, pesar y cuantificar el contenido de carbono sobre 0.1 g del residuo seco.
- Adicionar la mezcla oxidante, dicromato de potasio 1.0 N y ácido sulfúrico concentrado ($K_2Cr_2O_7$ y H_2SO_4) y dejar enfriar. Si la solución se torna verde brillante se debe duplicar las cantidades añadidas o pesar menos según sea el caso.
- A un volumen de 30 mL agregar 5 mL de ácido fosfórico concentrado y 5 gotas del indicador (ortofenantrolina)
- Preparar paralelamente un blanco de reactivos 10 mL de $K_2Cr_2O_7$ y 20 mL H_2SO_4 concentrado. Esto permite la valoración de la normalidad de la solución de sulfato ferroso amoniacal.
- Titular la solución con sulfato ferroso amoniacal previamente valorado, el cambio de color es desde un café rojizo hasta un verde brillante.

Cálculos.

Normalidad de la solución de sulfato ferroso amoniacal

$$\text{Normalidad} = \frac{10 \text{ mL}}{X}$$

Ecuación 1. Normalidad de la solución de sulfato ferroso amoniacal

Donde:

10 mL: Volumen de la solución de Dicromato 1N usado para el blanco

X : Volumen de solución de sulfato ferroso amoniacal gastado en la titulación

Contenido del carbono orgánico del producto

$$\%C = \frac{(Vb - Vm) * N * 0.0003 * 100}{Pm}$$

Ecuación 2. Contenido del carbono orgánico del producto

Donde:

Vb = Volumen de solución de Sulfato ferroso amoniacal gastado en el blanco

Vm = Volumen de solución de Sulfato ferroso amoniacal gastado en la muestra

N = Normalidad de la solución de sulfato ferroso amoniacal

Pm = Peso de la muestra

Cálculo del Contenido de Carbono del Extracto Húmico Total %CEHT

$$\%CEHT = \frac{(Vb - Vm) * N * 0.003 * ml * 100g}{A * 15g}$$

Ecuación 3. Contenido del CEHT

Donde:

Vb = Volumen de solución de Sulfato ferroso amoniacal gastado en el blanco

Vm = Volumen de solución de Sulfato ferroso amoniacal gastado en la muestra

N = Normalidad de la solución de sulfato ferroso amoniacal

100 mL = Volumen de solución extractante de KOH

A = Alícuota de la solución problema.

Cálculo del Contenido de Carbono no extraído.

$$\% C \text{ extraído} = \frac{\% \text{ carbono del EHT} * 100}{\% \text{ carbono total en el producto}}$$

Ecuación 4. Contenido del carbono no extraído

3.2.1.2. Distribución del carbono del Extracto Húmico Total

Carbono orgánico en los ácido Húmicos

El carbono de los ácidos húmicos es el contenido de carbono precipitable a pH 2 a partir del extracto húmico total, es decir del extracto en medio alcalino. De igual manera el contenido de carbono que no es precipitable a pH 2 y que se mantiene en solución se denomina carbono de ácidos fúlvicos. El proceso para determinar estos ácidos se describe a continuación:

- Tomar una alícuota de 25 mL del Extracto Húmico Total en un vaso de precipitado, a ajustar a pH 2 con ácido sulfúrico concentrado.
- Colocar la muestra a 4°C durante 24 horas. Al cabo de este tiempo centrifugar por 15 minutos a 4000 rpm.
- Pasar el precipitado con agua destilada a un vaso de precipitado y secar a 50°C en baño de María y pesar.
- Tomar 0.1 g del precipitado seco
- Adicionar la mezcla oxidante, dicromato de potasio 1.0 N y ácido sulfúrico concentrado ($K_2Cr_2O_7$ y H_2SO_4) y dejar enfriar. Si la solución se torna verde brillante se debe duplicar las cantidades añadidas o pesar menos según sea el caso.
- Agregar un volumen de 30 ml más 5 ml de ácido fosfórico concentrado y 5 gotas del indicador (ortofenantrolina)
- Titular la solución con sulfato ferroso amoniacal previamente valorado, el cambio de color es desde un café rojizo hasta un verde brillante.

Expresión de resultados

$$\%C = \frac{(Vb - Vm) * N * wt * 100ml * 100g}{0.1g * 25ml * 15}$$

Ecuación 5. Contenido del carbono orgánico en los ácidos húmicos

Donde:

Vb = Volumen de solución de Sulfato ferroso amoniacal gastado en el blanco
Vm = Volumen de solución de Sulfato ferroso amoniacal gastado en la muestra
N = Normalidad de la solución de sulfato ferroso amoniacal
Wt =Peso total del residuo en gramos

Método de cálculo para % de Carbono de Acidos Fúlvicos. %CAF

$$\% \text{ C de ácidos fúlvicos} = \% \text{ CEHT} - \% \text{ CAH}$$

Ecuación 6. Porcentaje de carbono de ácidos fúlvicos

En la Figura 8 se presenta la marcha analítica para la caracterización de la fracción húmica en muestras de suelo

3.2.1.3 La relación E_4/E_6 .

Para determinar el grado de condensación aromática de las moléculas de las fracciones de las sustancias húmicas, es decir la relación entre la presencia de grupos alifáticos y aromáticos en la molécula; Stevenson (1994) establece la relación existente entre la absorbancia del extracto húmico total medida a dos longitudes de onda (465nm y 665nm). A las muestras recolectadas se les realizó dicha determinación obteniendo lecturas de absorbancia comprendidas entre 0.051 y 1.662 a 465 nm y entre 0.004 y 0.416 a 665 nm; sobre el extracto húmico total.

La relación que existe entre las absorbancias obtenidas a 465 nm y 665 nm se denomina relación E_4/E_6

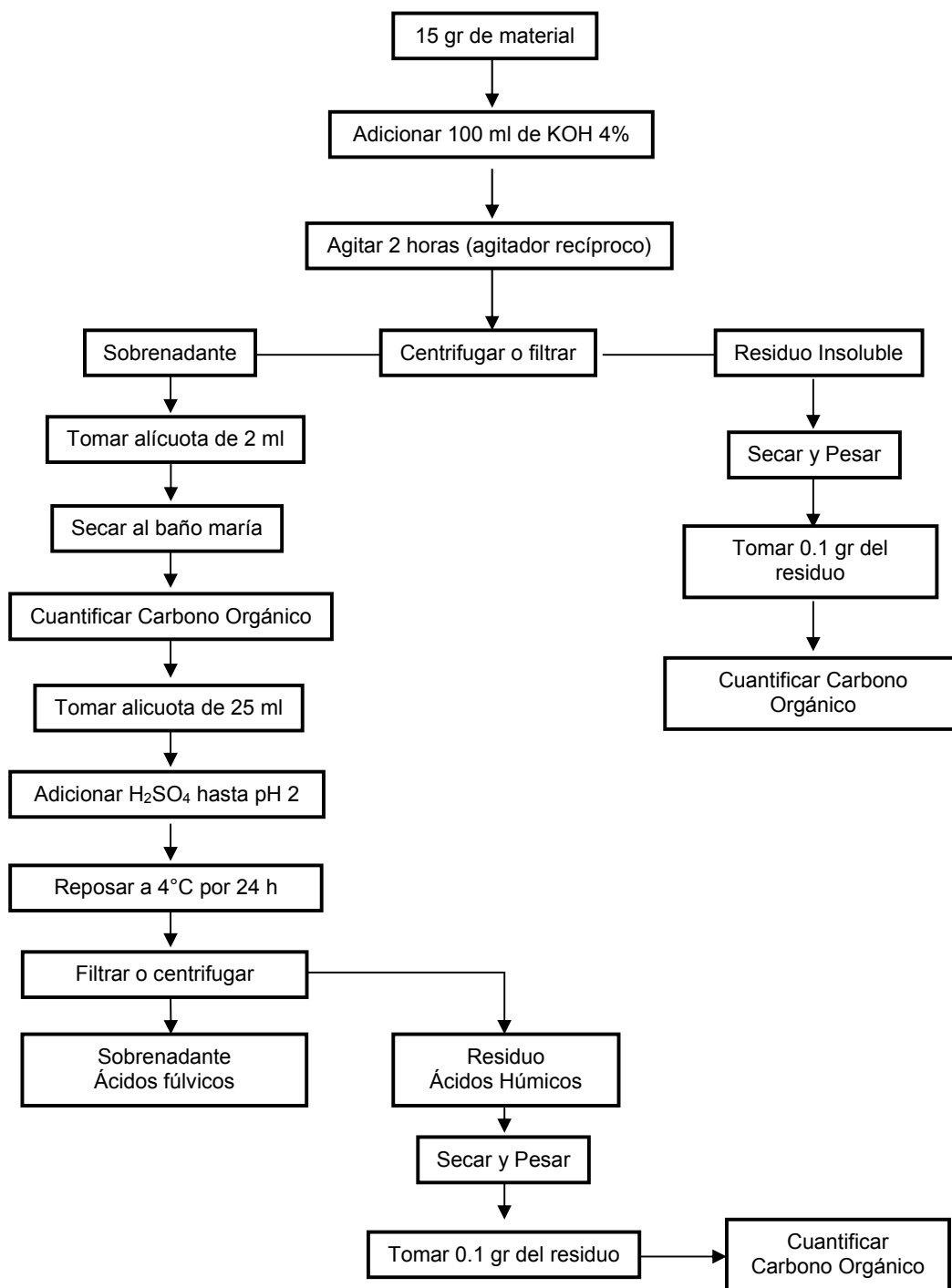


Figura 8. Marcha analítica para la caracterización de la fracción húmica de suelo

Fuente: Norma Técnica Colombiana DE204/02

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

A continuación se presentan los resultados de los EM, con los respectivos análisis, realizando una comparación entre los diferentes suelos estudiados.

4.1. Primer Evento de muestreo 1

Este muestreo se realizó para estandarizar las técnicas de cuantificación de sustancias húmicas y para establecer parámetros de comparación con los análisis posteriores.

En las tablas 4 y 5 se presentan los resultados de suelos sin cultivar y suelos cultivados, respectivamente.

Tabla 4. Resultados de los parámetros analizados en el estudio en suelos sin cultivar

Muestra	Alicuota	Peso	Vol.	Peso total	%CEHT	Carbono	%CAH	%CAF
	mL	muestra	Titulante	residuo		No		
		(g)	(mL)	WT (g)		extraíble		
						%		
Replica 1	2	15.03	27.8	6.15	3.1	3.20	3.60	ND
Replica 2	2	15.02	29.8	5.17	2.6	2.13	2.40	0.2
Prom.	2.00	15.03	28.80	5.66	2.85	2.66	3.00	ND

%CEHT = Porcentaje del Extracto Húmico Total, %CAH= Porcentaje de Carbono de Acidos Húmicos, %CAF = Porcentaje de Carbono de Acidos Fulvicos.

Tabla 5. Resultados de los parámetros analizados en el estudio en suelos cultivados

Muestra	Alicuota	Peso	Vol.	Peso total	%	Carbono	%	%
	mL	muestra	Titulante	residuo	CEHT	No	CAH	CAF
		(g)	(mL)	WT (g)		extraíble		
						%		
Replica 1	2	15.00	25.6	1.46	4.141	1.209	2.93	1.21
Replica 2	2	15.02	23.6	1.78	3.645	1.297	2.47	1.17
Prom.	2.00	15.01	24.6	1.62	3.893	1.253	2.70	1.19

%CEHT = Porcentaje del Extracto Húmico Total, %CAH= Porcentaje de Carbono de Acidos Húmicos, %CAF = Porcentaje de Carbono de Acidos Fulvicos.

Como se puede observar, el contenido del extracto húmico total para las dos muestras de suelo, esta compuesto en su mayoría por la fracción húmica (2.85 y 3.893% en suelos sin cultivar y cultivados, respectivamente) siendo mayor significativamente para el suelo cultivado, esto se correlaciona con lo propuesto por Rasmussen et al.(1998) quienes especifican que la adición de sustancias fertilizantes como estiércol y NPK junto con la rotación de cultivos favorece un aumento en la cantidad de materia orgánica, los suelos cultivados analizados tienen rotaciones anuales entre papá y zanahoría.

En contraste a lo anterior, las huminas o el carbono no extraíble es más alto en suelos sin cultivar que suelos cultivados (2.66 y 1.253 %, respectivamente), según Wander, (2004), las huminas son poco estudiadas pero se cree que son los componentes más persistentes de la MOS y están directamente relacionadas con la presencia de Carbono (C) en el suelo, en consecuencia se podría suponer que la concentración de Carbono es más alta en suelos sin cultivar.

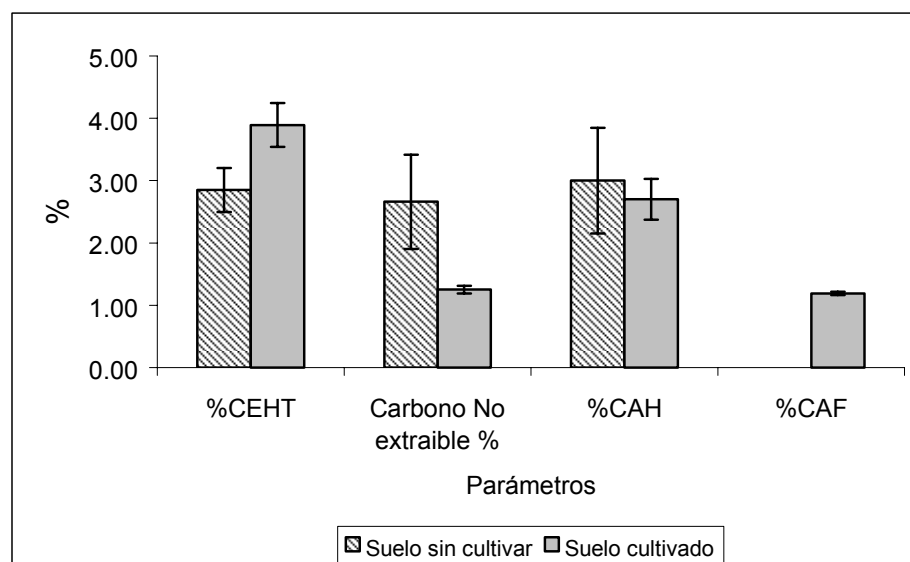


Figura 9. Resultados de los parámetros evaluados en el primer EM

En la Figura 9 se presenta los datos con las respectivas desviaciones estándar, evidenciando que no existe diferencias significativas en el porcentaje de ácidos húmicos en los dos suelos, en el caso de los fúlvicos en la muestra de suelo sin cultivar no se pudo detectar el porcentaje de estos debido a alteraciones en la muestra. Con relación a los suelos cultivados se evidencia una mayor concentración de carbono de los ácidos húmicos que de los ácidos fúlvicos siendo significativo estadísticamente (2.70 y 1.19, % respectivamente), esto es favorable para el suelo dado que los ácidos húmicos por su peso molecular tienen un poder de intercambio catiónico (CIC) es superior, lo que favorece la nutrición de la planta y la movilidad de los estos elementos en el suelo, sin embargo, es necesario considerar que los plaguicidas utilizados en los cultivos pueden disminuir ese CIC por la unión con los puntos activos que presentan estos ácidos.

El contenido de carbono orgánico para la muestra de suelo sin cultivar se encuentra alrededor del 5.66% y para la muestra de suelo cultivado el porcentaje corresponde a 5.14%.; datos que se encuentran dentro del rango establecido para dicho parámetro según Malagón, Pulido y otros (1995). Los cuales se encuentran clasificados como suelos con alto contenido de materia orgánica.

4.2. Segundo Evento de Muestreo

Con este muestreo se pretendió establecer las diferencias de los parámetros analizados en dos profundidades (30 y 60 cm) en siete (7) suelos cultivados con papa. En la Tabla 6 se presenta la Ubicación geográfica de estas muestras.

Se siguió la marcha analítica descrita anteriormente y se determinó % de Carbono del Extracto Húmico Total, % de Carbono de los Ácidos Húmicos, % de Carbono de los Ácidos Fúlvicos, Razón E4/E6, % de Carbono orgánico total.

Tabla 6. Ubicación geográfica de las muestras analizadas

MUESTRA	UBICACIÓN NORTE *	UBICACIÓN OESTE *	PROFUNDIDAD [cm]	ALTURA [m]
1	5° 28' 06.1''	73° 25' 40.2''	30	2942
2	5° 28' 06.1''	73° 25' 40.2''	60	2942
3	5° 28' 42.2''	73° 25' 47.8''	30	2915
4	5° 28' 42.2''	73° 25' 47.8''	60	2915
5	5° 28' 20.3''	73° 26' 32.6''	30	2893
6	5° 28' 20.3''	73° 26' 32.6''	60	2893
7	5° 27' 52.6''	73° 26' 35.4''	30	3780
8	5° 28' 06.1''	73° 25' 40.2''	30	2942
9	5° 28' 06.1''	73° 25' 40.2''	60	2942
10	5° 28' 42.2''	73° 25' 47.8''	30	2915
11	5° 27' 24.0''	73° 25' 59.0''	30	2821
12	5° 29' 17.1''	73° 25' 01.0''	30	3144
13	5° 29' 17.1''	73° 25' 01.0''	60	3144
14	5° 29' 07.6''	73° 25' 28.0''	30	3065

En las Figuras 10 y 11 se presentan los resultados de porcentaje de carbono del extracto húmico total (%CEHT), porcentaje de carbono de los ácidos húmicos (%CAH), porcentaje de carbono de los ácidos fúlvicos (%CAF) y porcentaje de carbono no extraído (Huminas) a 30 y 60 cm, respectivamente. Estos resultados evidencian diferencias en todos los parámetros dependientes del sitio donde se tomó la muestra. De los parámetros evaluados el porcentaje de carbono no extraíble (huminas) fue el más alto en la mayoría de muestras exceptuando la muestra 2 a 60 cm, esto está correlacionado con lo propuesto por Wander, (2004) quien afirma que las huminas son las sustancias más persistentes en el suelo, adicionalmente se podría pensar que siendo las huminas sustancias estructuralmente más pequeñas que los ácidos húmicos su CIC sería menor, lo que implicaría un aumento en la fertilización de los suelos para mejorar el mayor reciclaje de nutrientes por parte de las plantas. La muestra 1 fue la que presentó valores más altos en los parámetros en las dos profundidades

exceptuando el % CAH, en este caso, porcentaje de extracto húmico total fue de 7.52 y 7.55% (30 y 60 cm, respectivamente) este resultado dependiente del % de CAF (5.86 y 4.52% a 30 y 60 cm, respectivamente), en las otras muestras, este mismo comportamiento se observó en la muestra 7. El resto de muestras fueron dependientes del porcentaje de ácidos húmicos, siendo mayor el porcentaje a 60 cm exceptuando las muestras 3 y 6 (1.41 y 0.48 % y 2.89 y 1.06, respectivamente). Teniendo en cuenta que la teoría del polifenol para la formación de las sustancias húmicas (Senesi and Loffredo, 1999) describe que en orden de formación se generan ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas, se podría establecer que para las muestras analizadas se cumple esta teoría en la mayoría de las muestras, estando correlacionado con el manejo que se le da a estos suelos, en cuanto al uso indiscriminado de plaguicidas y fertilizantes de síntesis.

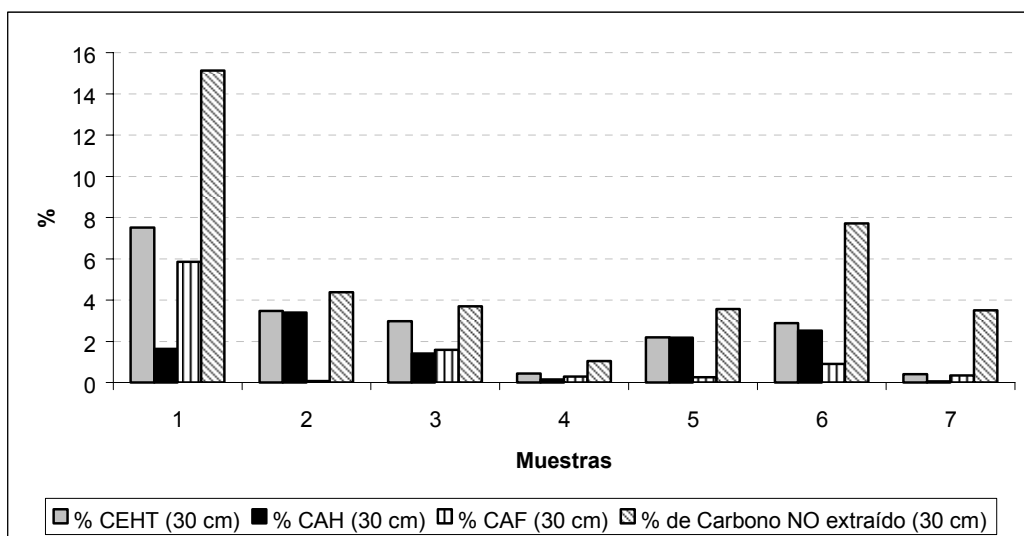


Figura 10. Resultados de los parámetros evaluados en el segundo EM a una profundidad de 30 cm

Según Eldor, (1993) los datos físico-químicos de los suelos varían de acuerdo a la profundidad; y considerando la disponibilidad de nutrientes que le facilitan las sustancias húmicas a las plantas, en este estudio se quiso determinar que tan distintos eran estos parámetros analizados en dos profundidades 30 y 60 cm. Como se observa

en las Figuras 10 y 11 el comportamiento de los datos, es distinto y dependiente de la muestra. Las muestras 1, 2, 5 y 7 presentaron un porcentaje mayor de % CEHT a una profundidad de 60 cm que a una profundidad de 30 cm, siendo marcada esta diferencia en la muestra 7 (1.78 y 1.39 %, respectivamente), en las otras muestras sucedió lo contrario, esto podría sugerir que la disponibilidad de nutrientes no sería favorable para las plantas cultivadas en estos suelos y aumentaría la necesidad de fertilización de las mismas elevando los costos de producción y causando un daño ambiental a largo término.

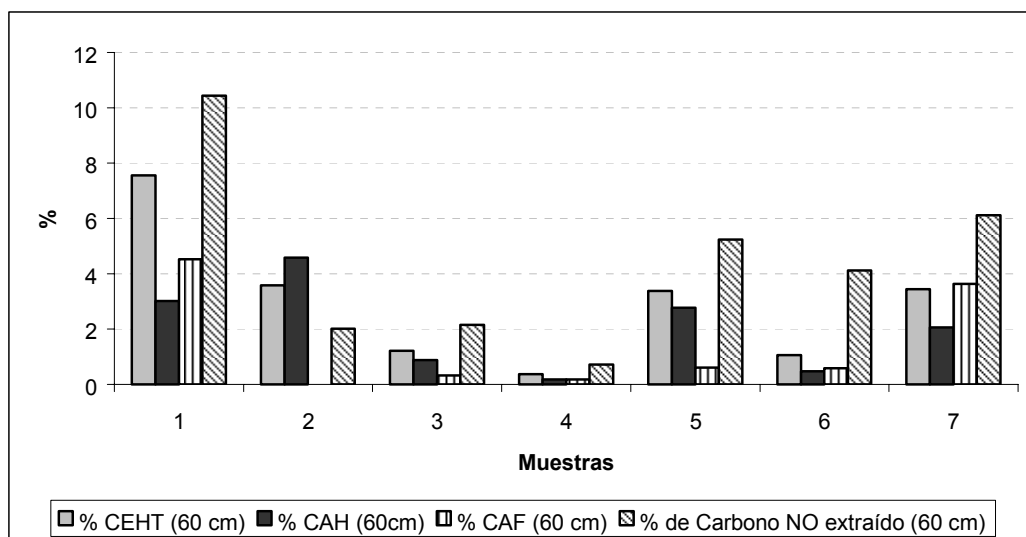


Figura 11. Resultados de los parámetros evaluados en el segundo EM a una profundidad de 60 cm

Según Stevenson, (1994) referenciado por Dos Santos (2003, 30) la relación E_4/E_6 tiene como objeto verificar el grado de condensación aromática de las moléculas de las fracciones de sustancias húmicas y su relación entre la presencia de grupos alifáticos y aromáticos en dicha molécula, si esta relación es menor de cinco (5), significa un mayor grado de condensación aromática y mayor masa molecular de la fracción, siendo un indicativo de la humificación del suelo; en la Figura 12 se presenta esta relación para

las muestras a las dos profundidades, según esto se esperaría que las muestras 1, 4 y 6, tuvieran una mayor concentración de sustancias húmicas, que esta afirmación no se cumple en la muestra 4, dado que la concentración de sustancias húmicas, en este caso, fue la más baja de todas.

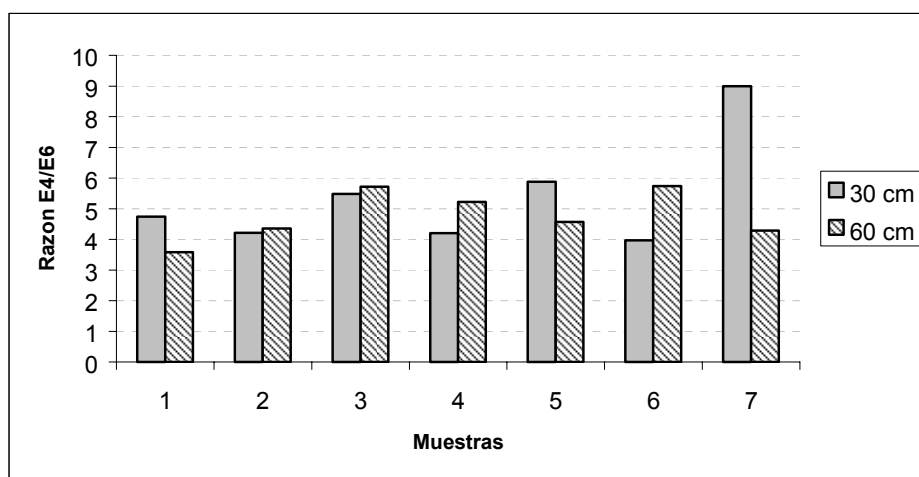


Figura 12. Razón E_4/E_6 para las muestras del segundo EM

4.3. Tercer Evento de Muestreo

Con el tercer evento de muestreo se quiso determinar el comportamiento de la concentración de carbono del extracto húmico total, el carbono orgánico total, el porcentaje de carbono no extraíble y la razón E_4/E_6 en las diferentes zonas de la vereda, que se ven afectadas por cultivos distintos.

En la Figura 13 se presentan los resultados de las muestras compuestas del tercer EM, como se puede observar las muestras 1, 5, 6 y 7 tienen los porcentajes más altos de carbono tanto extraíble como no extraíble (1, 4.41 y 7.63%; 5, 5.94 y 4.96%; 6, 6.50 y 9.85 %; 7, 3.83 y 5.55 %, respectivamente), siendo mayor la muestra 6; las muestras restantes presentan el mismo comportamiento con valores similares (ver Anexo 2).

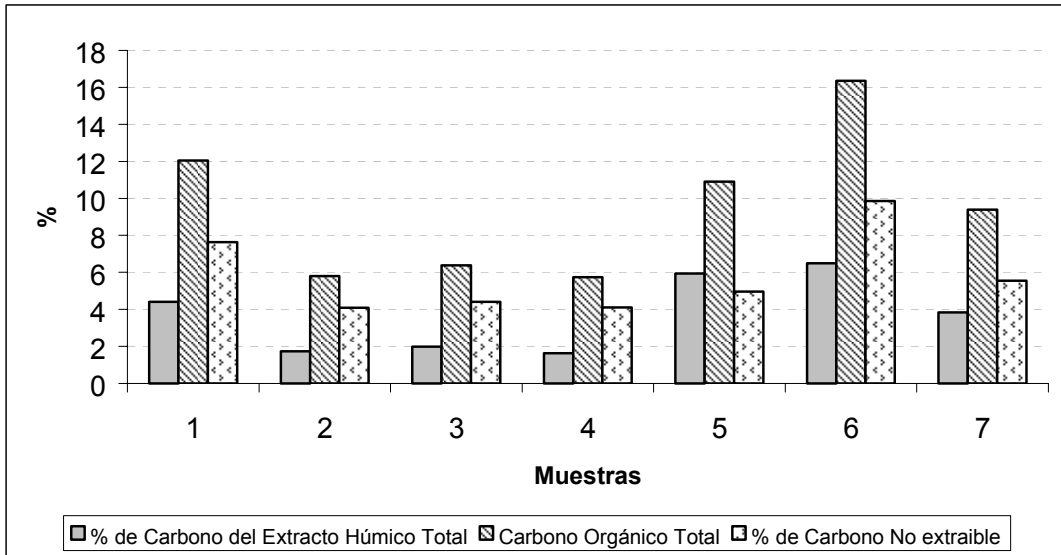


Figura 13. Resultados de los parámetros evaluados en el tercer EM

En la Figura 14 se presenta la razón E_4/E_6 para las muestras del tercer EM, todas las muestras presentan valores por debajo de cinco, presentando una relación inversamente proporcional con la cantidad de carbono orgánico total, dependiente en la mayoría de las muestras del carbono orgánico no extraíble, excepto en la muestra 5.

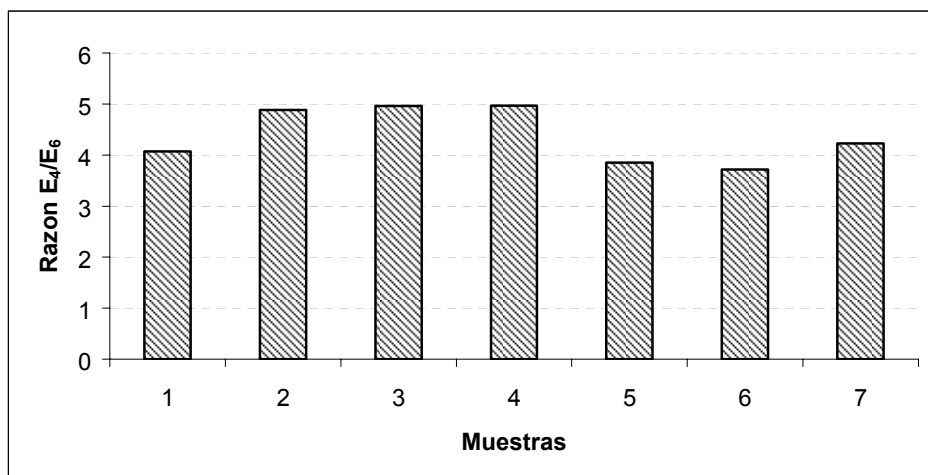


Figura 14. Razón E_4/E_6 para las muestras del tercer EM.

Adicionalmente, tomando los datos de C.I.C para estas muestras (Figura 15), analizados por Vargas (2005, 66), se evidencia que el C.I.C es mayor para la muestra 6 (48.1 meq/100g de suelo), seguidos en su orden por la muestra 5 (42.8 meq/100g de suelo), muestra 7 (38 meq/100 g de suelo) y muestra 1 (36.4 meq/100g de suelo), las cuales presentaron en este mismo orden la razón E_4/E_6 más baja, que según lo referenciado por Stevenson (1994), se correlacionaría con la presencia de mayor cantidad de sustancias húmicas en las muestras y por ende una mayor humificación de los suelos, lo que significaría un aumento en la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C), se podría decir que en este estudio se cumple esta premisa.

Los resultados obtenidos en las muestras 5 y 6 se deben probablemente al manejo que se le ha dado a los terrenos ya que en dichas zonas, se presentan cultivos de papa de mayor extensión y se encuentran regiones sin intervenir, por el contrario, el resto de zonas presentan minifundios de varios cultivos (alverja, haba, zanahoria) siendo estas zonas más vulnerables a la depreciación de la materia orgánica. Wander (2004, 68) encontró que las rotaciones de cultivo aumentaban la cantidad de sustancias húmicas en el suelo, esto podría correlacionarse con lo presentado en las muestras 5 y 6.

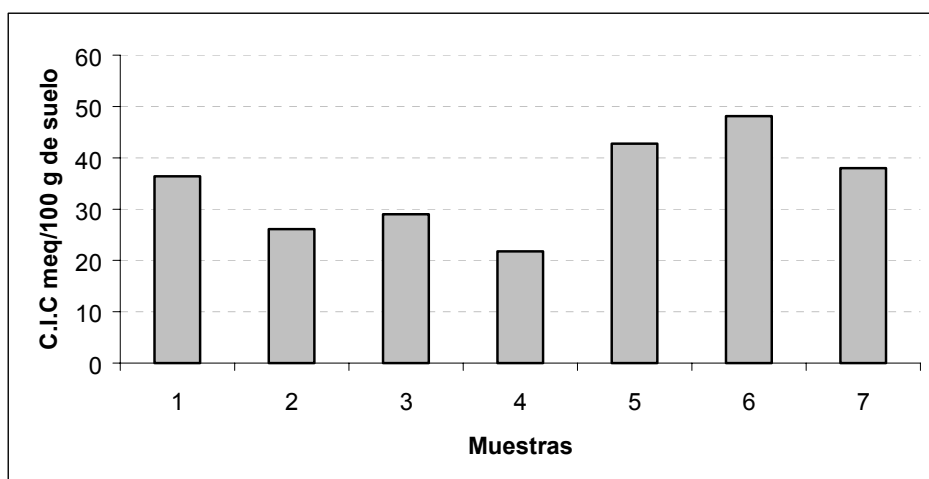


Figura 15. Capacidad de Intercambio Catiónico para las muestras del tercer EM.

Datos tomados de Vargas (2005, 66)

CONCLUSIONES

En el primer EM se encontró que el contenido de carbono orgánico para la muestra de suelo sin cultivar fue mayor que la de suelo cultivado, evidenciando un posible efecto de las condiciones de cultivo sobre este parámetro para las muestras analizadas.

Las huminas son las sustancias más persistentes en los suelos cultivados, lo que sugiere que el manejo dado a estos suelos está relacionado con el proceso de humificación.

La presencia de sustancias húmicas extraíbles y la capacidad de Intercambio catiónico están relacionadas inversamente con la razón E_4/E_6 en las muestras analizadas, haciendo favorable la disponibilidad de nutrientes para las plantas en suelos con razones menores de cinco.

Los suelos de las zonas cinco y seis, que corresponden a suelos recientemente cultivados o no intervenidos tienen una mayor concentración de sustancias húmicas, lo que indica que el manejo que se les está dando a los suelos de las otras zonas, es desfavorable para la calidad de los mismos.

Las zonas en donde se presenta una razón E_4/E_6 cercana a cinco son más vulnerables a la depreciación de la materia orgánica y por ende a la disminución de la calidad del suelo, debido a que dentro de los resultados, los porcentajes de carbono del extracto húmico total son más bajos.

RECOMENDACIONES

Realizar una réplica de los procedimientos, para determinar como esta evolucionando la concentración de sustancias húmicas en los suelos analizados para así evaluar el efecto del manejo, a mediano y largo plazo, sobre la calidad de los mismos.

Plantear alternativas de manejo de los suelos para favorecer la conservación de la calidad del mismo en cuanto a materia orgánica y todos sus componentes.

Concientizar a los agricultores sobre la importancia que tiene el buen manejo de sus suelos y la rotación de los cultivos para conservar características de salud y calidad de los mismos y el posible efecto de este manejo sobre la productividad.

BIBLIOGRAFIA

Alvarado, H. y Buitrago, H. (2000). Aplicación de un sistema de información geográfica para la evaluación del impacto ambiental por las actividades agrícolas – Estudio de caso: Zona rural del municipio de Tunja. Vereda la Hoya. Fundación Universitaria de Boyaca.

Castro, H. (1998) Fundamentos para el conocimiento y manejo de suelos agrícolas. Manual Técnico.. Instituto Universitario Juan de Castellanos, Tunja. Pp. 243-244.

Dos Santos Junior, L. (2003) Estudio de las fracciones obtenidas por proceso de extracción alcalina de sustancias húmicas en Turba. Tesis de pos grado en Ingeniería de Minas y Metalurgia. Universidad Federal Do Rio Grande Do Soul, Portoalegre, Brasil.

Eldor, P. (1993). Organic Matter, Descomposition. En: *Enciclopedia of Microbiology* (vol: 3. pp. 289-304) Academic Press. New York. EE UU.

Martin-Neto, L., Gomes, D., Vaz, C., Crestana, S. and Sposito, G. (2001). Organic Compounds in the Environmental. *Journal Environmental Quality*. 30, 250-525.

MATERIA ORGÁNICA.[en línea].España, (1999). Disponible en <http://www.terraia.com/revista9/pagina16.htm>

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. Productos para la industria agrícola. Materiales usados como fertilizantes y Acondicionadores del Suelo.

Pechaparro, C. y Malagon, D. (1995). Suelos de Colombia, origen, evolución, clasificación, distribución y uso. Santa fé de Bogotá.: Canal Ramirez Antarea Ltda.

Properties Of Humic Substances.[en linea]. Disponible en: <http://www.arwroc.pl/~weber/kwasy2.htm>

Rasmussen, P., Goulding, J., Brown, P., Janzen, H., and Korschens, M. (1998). Long-term agroecosystem experiments: Assessing agricultural sustainability and global change. *Science* 282, 893-896.

Senesi, N. and Loffredo, E. (1999). The Chemistry of Soil Organic Matter. En: Sparks, D. *Soil Physical Chemistry* (pp 270-341) Newark, Delaware. EE.UU.

Stevenson, F.J. (1994). Humus Chemistry. Genesis, composition, reactions, 2nd ed. New York, USA: John Wiley & Sons INC. 496 p.

Vargas, E. (2005). Evaluación de la lixiviación de pesticidas hacia las aguas subterráneas de la vereda la hoyá del municipio de Tunja, por medio del modelo peral 2.2.2. Tesis de grado en Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Universidad de Boyacá., Tunja, Colombia.

Wander, M. (2004). Soil Organic Matter Fractions and Their Relevance to Soil Function. En: Soil Organic Matter in Sustainable Agricultura. Recuperado el 1 de octubre de 2005, del sitio web University of Illinois at Urbana-Champaign. <http://www.nres.uiuc.edu/faculty/cv/wander04.pdf>.

ANEXOS

ANEXO 1. RESULTADOS DEL SEGUNDO EVENTO DE MUESTREO

MUESTRA	% de Carbono del Extracto Húmico Total	% de Carbono de los Ácidos Húmicos	% de Carbono de los Ácidos Fúlvicos	Razón E₄/E₆
1	7.52	1.63	5.86	47.49
2	7.55	3.02	4.52	3.58
3	3.47	3.40	0.07	4.21
4	3.58	4.58	No detectable	4.36
5	2.98	1.41	1.58	5.48
6	1.22	0.88	0.33	5.72
7	0.44	0.15	0.28	4.20
9	0.37	0.18	0.18	5.22
10	2.19	2.17	0.25	5.88
11	3.38	2.77	0.61	4.57
12	2.89	2.52	0.90	3.97
13	1.06	0.47	0.59	5.74
14	0.41	0.06	0.35	8.99
15	3.45	2.06	3.64	4.28
16	1.78	0.97	0.81	4.63
17	1.39	0.69	0.70	4.04

MUESTRA	% De Carbono Orgánico Total	% de Cenizas	% de Carbono NO extraído
1	16.76	51.77	15.13
2	13.45	51.47	10.43
3	7.78	15.00	4.38
4	6.60	8.00	2.02
5	5.11	6.20	3.70
6	3.03	14.56	2.15
7	1.19	5.36	1.04
9	0.90	9.31	0.72
10	5.73		3.56
11	8.00	3.88	5.23
12	10.24	4.53	7.72
13	4.59	2.01	4.12
14	3.56	2.32	3.50
15	8.17	4.61	6.11
16	6.12	3.19	5.15
17	2.93	2.90	2.24

ANEXO 2. RESULTADOS DEL TERCER EVENTO DE MUESTREO

Muestra	% de Carbono del Extracto Húmico Total	% de Carbono de los Ácidos Fúlvicos	Razón E₄/E₆	Carbono Orgánico Total	% de Carbono No extraible
1	4.41		4.07	12.04	7.63
2	1.73		4.88	5.81	4.08
3	1.98		4.96	6.38	4.40
4	1.63		4.97	5.74	4.11
5	5.94		3.85	10.90	4.96
6	6.50		3.72	16.35	9.85
7	3.83		4.23	9.38	5.55