

# Interacción entre microorganismos; estructura del suelo y nutrición vegetal

Por: GARCÍA, Francisco<sup>1</sup>



## RESUMEN

La producción vegetal depende del suelo, clima, nutrición y manejo, entre otros factores que determinan la calidad y cantidad de la cosecha. Las plantas toman los elementos a través de sus raíces individualmente o en simbiosis con microorganismos; estableciendo una relación mediante la cual se benefician o afectan los demás habitantes de la rizosfera. Las enzimas, flavonoides, ácidos orgánicos, aminoácidos, proteínas, antibióticos y vitaminas que segregan raíces y microbios, desatan procesos colaterales como la agregación de partículas organo-minerales, cambiando la condición física del suelo al menos temporalmente; además, en esta sustancia pueden quedar atrapados cationes de manera axequible para la raíz; por la desprotonación de estas moléculas también se aumenta a CIC al quedar libre una carga negativa que puede ser reemplazada por un catión bivalente. Existen 17 elementos que son esenciales para el vegetal, sin los cuales no puede completar el ciclo de vida, formar moléculas orgánicas constituyentes y por tanto aparecen deficiencias. Esta situación también ocurre en los organismos de la rizosfera afectando las poblaciones; además, nitrógeno y fósforo requieren de microorganismos para las plantas. Las enmiendas orgánicas u orgánico-minerales aplicadas al suelo tienen 3 características: son fuente mineral con elementos disponibles para la planta, tienen una población microbiana heterogénea y, un complejo de moléculas orgánicas, producto de la descomposición y fermentación; pero, son pobres en nitrógeno y fósforo. A cambio son fuente de Unidades Formadoras de Colonia UFC de microorganismos fijadores de nitrógeno y solubilizadores de fósforo, y de otros que también pueden llegar a convertirse en agentes causales de enfermedades si una de sus poblaciones sobre pasa a las demás.

Palabras clave: bioestructura, jalea bacteriana, ácidos poliurónicos, solubilizadores de fosfato, fijadores de nitrógeno.

## ABSTRAC

The vegetable production depends on the floor, climate, nutrition and handling, among other factors that determine the quality and quantity of the crop. Plants take the elements through their roots individually or by means of symbiosis with microorganism, establishing a relationship through which the other inhabitants of the rhizosphere are affected or benefited. Enzymes, flavonoids, organic acids, amino acids, proteins, antibiotics and vitamins that roots and microbes segregate, untie collateral proceedings like organ-minerals particles aggregation, changing the physical condition of the floor at least temporarily. Moreover, in this substance can be caught cations within root's reach. Due to these molecules' deprotonation it also increases up to CIC because it end up free a negative load that can be replaced by a bivalent cation. Exist 17 elements essential the vegetable, without which it cannot complete the life cycle, form organic molecules and constituents and therefore deficiencias appear. This situation also occurs in the rhizosphere organisms affecting the populations; besides, nitrogen and phosphorus require microorganisms to be available for plants. The organic amendments or organic-minerals applied to the floor have three characteristics: they are a mineral source with elements available for the plant, they have a heterogeneous microbial population and a complex of organic molecules, as a result of the decomposition and fermentation. Although they are poor in nitrogen and phosphorus, they are also a source of nitrogen fixers and phosphorus solubilizer microorganisms' UFC, and of others that can also become agents of illnesses if one of the populations surpasses the others.

Key Words: biostructure, bacterial jelly, poliuronic sour, phosphate solubili-

<sup>1</sup>M.Sc. en Ciencias Agrarias Universidad de Colombia, Especialista en gerencia agraria JDC, Ingeniero Agronomo UPTC, Docente investigador Inicien JDC. E-mail: jfgm29@hotmail.com

## Introducción

Este escrito evalúa el efecto de la aplicación de materia orgánica en el comportamiento de las propiedades físicas y químicas en un suelo, la disponibilidad de nutrientes minerales agregados al aof líquido como sulfatos de Fe, Mn, Zn, Cu, Mg, y ácido bórico H<sub>3</sub>BO<sub>4</sub>, utilizados para el enriquecimiento de aof sólido fabricado en el centro experimental agroambiental de la JDC en Soracá Boyacá; así como la incidencia de las cantidades de sulfatos agregados al biol sobre las poblaciones de microorganismos fijadores de nitrógeno y solubilizadores de fosfatos. en el proceso colaboraron estudiantes de agrozootecnia.

Cardozo, 1992, citado por (Patiño y Amézquita 1998), argumenta que debido al tamaño semejante de los microorganismos, con las partículas de arcilla existe una posibilidad de adhesión o ligazón de éstas con células microbianas. La naturaleza de esa adhesión es principalmente química y medida por sustancias de tipo gomas o musilaginosas, producto del metabolismo microbiano. Los microorganismos que más contribuyen a agregación del suelo son los heterótrofos que requieren de materia orgánica como fuente de energía.

Primavesi (1982) confirma que las bacterias que descomponen celulosa en condiciones aeróbicas, segregan ácidos poliurónicos que sirven como agregantes de suelo; esta sustancia coloidal producida especialmente por *Cytophaga* spp, *Esporocytophaga* spp, *Celvibrio* spp asociadas con hongos como *Trichoderma lignorum*, *Penicillium urticae*, *Fusarium lignorum* entre otros; permite la formación de agregados cuya estabilidad se determina por agentes ligantes.

Tisdall y Oades, 1982 citados por (Patiño y Amézquita 1998), clasificaron los agregados en: Transitorios, los



Foto 1. Micelio de microorganismos formados en aof mineral líquido

Fuente: Jaramillo (2006)

cuales incluyen algunos exudados microbianos y radicales de polisacáridos y mucopolisacáridos cuyo efecto sólo dura unas pocas semanas: temporales y se asocian con raíces e hifas fúngicas y duran unos meses; y persistentes incluyen además compuestos orgánicos aromáticos ligados por cationes metálicos polivalentes a las superficies de las arcillas.

De los agregados de formación que son "agregados primarios," con los cuales los microorganismos forman los grumos, se pueden considerar otros de mayor tamaño, o "agregados secundarios," cuya estabilidad depende de la presencia de materia orgánica por la acción de los grupos carboxílicos (COOH-), y donde los grumos orgánicos originarios de la humificación de la materia orgánica están como "puentes" entre los formados por la atracción electroquímica. De otra parte, estos agregados arcillo-húmicos son pegados a unidades mayores por la "cola bacteriana", que por ser azúcar ácido sirve de alimento a hongos y actinomicetos que con sus hifas envuelven los grumos y los entrelazan. (Primavesi, A. 1982).

Estos ácidos son responsables de la formación de agregados para la estructura del suelo. La textura y

estructura son factores decisivos en la distribución del tamaño de los poros y en los efectos osmóticos de la doble capa difusa.

La producción de ácidos poliurónicos es importante para la presencia de hongos y actinomicetos, lo que sugiere reposición permanente de materia orgánica puesto que para crecer los microorganismos deben obtener de su ambiente sustancias diversas que utilizan para producir energía y para la biosíntesis. El efecto de la materia orgánica reside tanto en la liberación de nutrientes, el mantenimiento de una microbiota heterótrofa y la bioestructura del suelo.

Estas mismas especies de hongos han sido reportadas por (Burbano, H. 1989), como solubilizadores de fosfatos orgánicos e inorgánicos de las especies fúngicas. *Penicillium* sp demostró un efecto claro sobre el fitato y fosfato de calcio, y en menor grado sobre la roca fosfórica. *Aspergillus niger* y *Botrytis* sp fueron universales, porque solubilizaron todos los fosfatos estudiados. Estos resultados junto con el descenso del pH, muestran la solubilización debido a la liberación de ácidos orgánicos con capacidad quelante. *Aspergillus niger* bajó el pH por la producción de ácidos oxálico y cítrico, *Botrytis* sp solubilizó

fosfatos inorgánicos de hierro y aluminio, y *Mucor* sp solubilizó fosfato de calcio.

Pelzar et al 1988, sostiene que las sustancias orgánicas nitrogenadas del suelo están representadas por las proteínas, ácidos nucleicos, bases púricas y pirimídicas y azúcares amidados (glucosamina y galactosamina). El nitrógeno en las proteínas está encerrado y no se halla disponible como alimento para las plantas; su liberación se produce a través de la hidrólisis enzimática de las proteínas (proteólisis), efectuado por microorganismos capaces de elaborar proteinasas y peptidasas extracelulares.

El Nitrógeno de la alanina es más resistente a la oxidación que el amoníaco. Esto explica la rareza del compuesto en la naturaleza comparado con el nitrógeno del grupo amino. El amoníaco se libera en gran cantidad sólo cuando el carbono requerido para la formación de compuestos amino se oxida rápidamente. (Bonh et al 1993)

Al mejorar la estructura del suelo por formación de nuevos agregados se favorecen otras condiciones físicas como el movimiento del agua, por el aumento en el tamaño de los poros, disminuyendo las densidades real y aparente, pero además de éstas, otras propiedades dependen del contenido

de humedad, por ejemplo, consistencia, plasticidad, compactación, penetrabilidad y pegajosidad.

El carácter polar del agua con dos cargas electropositivas y dos electro negativas, hacen que sus moléculas sean atraídas por los iones de la solución del suelo; estas fuerzas de atracción orientan el agua en torno de éstos. Un catión libre en la solución acuosa tiene varias moléculas de agua unidas de tal forma que la parte negativa del dipolo de esta forma enlaces con los orbitales libres del catión. Cuando una o varias de estas moléculas de agua son reemplazadas por aniones, llamadas ligandos, la unidad química que se forma se denomina complejo de coordinación. (Zapata, R. 2005).

Así mismo, la presencia de oxígeno, gas carbónico y agua en los poros del suelo, aumenta el potencial de oxidoreducción de moléculas orgánicas e inorgánicas, además de la capacidad de intercambio catiónico, contenidas por las cargas negativas en la materia orgánica al desprotonarse en algunos grupos como: carboxilo, fenólico, alcohol, etanol, metanol, aldehído, quetoácido, amino, amida, anima e imino.

Zapata, R. 2005, afirma que, prácticamente todos los aspectos de la química de los cationes metálicos en suelos,

están relacionados con la formación de complejos con la materia orgánica.



Fuente: Jaramillo (2006)

Foto 2. Montón de aof sólido donde se evalúa pH y temperatura en la superficie y a diferentes profundidades

# Resultados Y discusión Solubilizadores de fósforo

Los aof analizados muestran una baja población de solubilizadores de fosfato ( $0.95 \times 10^2$  y  $53 \times 10^2$  UFC/g), de igual manera el  $P_2O_5$  está entre 1.72 y 2.56%, (gráfica 3 y 5), cantidades que son aportadas al suelo y cultivo; así mismo, se reporta en el suelo entre 54 y 105 pmm para el T1 donde se aplicó durante 3 años, 82 a 94.1, 1 año y 30.8 a 41.3 pmm. Donde no se aplicó, se nota un aumento en la cantidad del fósforo con relación al aof, que tiene un contenido muy bajo pero, estos valores pueden ser el resultado de la presencia de solubilizadores, teniendo en cuenta que los cultivos no mostraron deficiencias del elemento.

Osorio, W. 2005 alude que cuando los materiales orgánicos son aplicados al suelo la actividad microbiana de éste se incrementa aumentando la actividad de fosfatasa capaces de romper los enlaces ester que forman el  $H_2PO_4^-$  con grupos carbonados en fosfolípidos, fosfoazúcares, ácidos nucleicos y ATP.

Los mecanismos de adsorción de fósforo sobre las superficies arcillosas fueron descritos por Bohn et al (1985) adsorción no específica: atracción electrostática que ejercen las cargas positivas de la superficie de los minerales (óxidos e hidróxidos de Fe) y adsorción específica: sustitución de grupos  $OH^-$  por grupos  $H_2PO_4^-$  en la superficie de los minerales arcillosos.

## Fijadores de nitrógeno

En la fabricación de los aof ocurren procesos donde participan microorganismos que rompen moléculas nitrogenadas hasta llevarlos a nitrógeno en forma asimilable para las plantas. Los datos reportados para este elemento disponible en el suelo están como cantidades de  $NH_4^+$ , 2.6 a 7.2 ppm para el T1, el T2 presentó 4.9 a 7.2 y 4.9 a 11.9 del T0 cuyo valor es el más alto; esto obedece a que las labores de labranza en el cultivo disminuyen el porcentaje de materia orgánica porque aceleran el proceso de oxidación.

El porcentaje de nitrógeno total obtenido en los aof sólidos está entre 1.36 y 1.45%, valores muy bajos para el requerimiento nutricional de cualquier planta; de otra parte se encuentra que en este mismo aof se reportan microorganismos fijadores de nitrógeno de vida libre entre  $26 \times 10^5$  y  $54 \times 10^5$  UFC/g (gráfica 2 y 4). La actividad de estas poblaciones está reflejada en el nitrógeno que pueden hacer disponible para la planta. Según (Burbanco, H. 1989) la presencia de éstos microorganismos en poblaciones considerables está dada por la disponibilidad de aminoácidos y aminoazúcares, compuestos de fácil mineralización.

## Potasio, calcio, magnesio y azufre aportados por un aof

Los valores de potasio están entre 3,08 hasta 4,1 reportados como  $K_2O$ . Según (Espinosa, J. 2004) las necesidades de la planta están suje-

tas a factores como tipo de suelo, nutrientes aplicados y su interacción, también, prácticas de labranza, manejo de residuos y variedad de híbrido utilizado.

El porcentaje 5.3 de calcio disminuye el valor del pH; pero, este valor es superior a 7.91 influyendo sobre la disponibilidad de algunos elementos como Fe, P, B, Cu, Zn y Mn que son tomados por la planta a pH más bajo; sin embargo una vez aplicado el aof en el suelo la actividad microbiana y las condiciones abióticas bajan el pH a nivel ligeramente ácido (gráfica 1).

El Ca registrado en el suelo para T1 esta entre 5.9 8.7 meq/100g, con pH de 6.4; T2 entre 6.9 7.3 meq/100g con pH 5.8 y, T2 8.9 a 9.4 con pH de 5.8 lo que indica que el valor de pH está influenciado por otros factores permitiendo la disponibilidad de los nutrientes que requieren plantas y microorganismos.

El azufre es aportado a los aof como sulfato de K, Cu, Fe, Zn, Mn, y Mg, en 0.5% inorgánico y, un porcentaje orgánico que va en el estiércol, desperdicios de molinería y suero. Los valores que muestran los análisis de laboratorio están entre 0.69 y 1.03%, muy bajos como aporte a la nutrición vegetal; seguramente debido a la actividad microbiana, puesto que el S lo utilizan en la síntesis de moléculas orgánicas e inorgánicas. El S registrado en el suelo para T1 está entre 13.1 a 22.9 ppm, T2 15.7 a 20.1, y 9.1 a 12.3 para T0.

## Estabilidad estructural

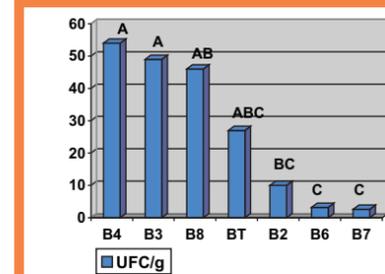
La estabilidad de los agregados depende de la presencia de materia orgánica. El ensayo muestra que no existe una diferencia significativa en los tratamientos, sin embargo, el suelo no intervenido presenta una estabilidad estructural de 57,17%, clasificado como moderadamente estable; esta respuesta obedece a la acción de las raicillas del kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) a las cuales se adhieren partículas por la presencia de polisacáridos que éstas exudan, y se mantienen porque no hay movimiento de suelo, contrario a los otros tratamientos donde se realizan labores de labranza que oxidan la materia orgánica disminuyendo la posibilidad de agregación. Por ejemplo el tratamiento 2 mostró un estado de agregación de 43,03% ligeramente estable (gráfica 6).

## Comportamiento del pH

Los ensayos mostraron que la adición de enmiendas orgánicas minerales sostiene el pH en valores de 6.4 para T1, donde se viene agregando materia orgánica durante 3 años, 5.8 para T2 y T0. De acuerdo con (Bonh, H. et al 1993) las mediciones del pH en el suelo pueden ser bastante ambiguas. Los dos factores que influyen de manera apreciable en estas mediciones son la relación existente entre la solución y el suelo y la concentración salina de equilibrio. Normalmente, al aumentar cualquiera de los dos factores disminuye el valor medido del pH (gráfica 7).

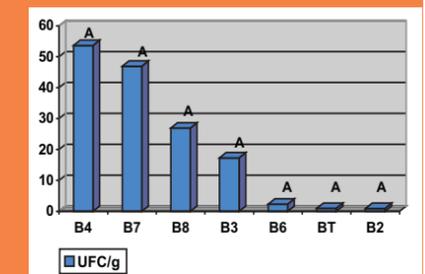
El aprovechamiento del fosfato del suelo (principalmente  $H_2PO_4^-$  monómero y  $HPO_4^{2-}$ ) depende del pH, pues en un ambiente ácido estos se precipitan como fosfatos de hierro y aluminio bastante insolubles y a un pH alto esta precipitación ocurre por compuestos de fosfatos de calcio igualmente insoluble. El margen de pH para que exista un máximo aprovechamiento del fosfato se encuentra aproximadamente entre 6 y 7 para la mayoría de los suelos agrícolas.

Gráfica 4. Unidades Formadoras de Colonia (UFC) fijadores de N



Fuente: Jaramillo (2005)

Gráfica 5. Solubilizadores de fosfatos

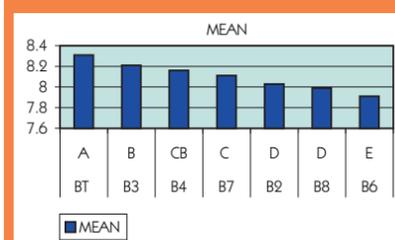


## Capacidad de intercambio de cationes (CIC) en el suelo

La adición de materia orgánica durante 3 años mostró una CIC de 9.8 en promedio mientras que cuando se adicionó en 2 ocasiones durante 1 año esta fue de 8.5 y para el T0 sin ninguna aplicación externa fue de 9.7. Fassbender (1982) sostiene que la cantidad de cationes cambiantes en el suelo dependen de sus minerales, de la superficie, de las cargas del complejo coloidal y de las características de los iones presentes en la solución del suelo (gráfica 8).

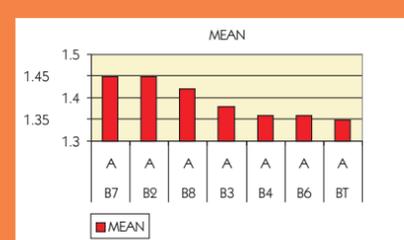


Gráfica 1. Valores significativos de pH en aof



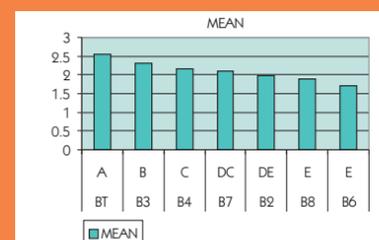
Fuente: Jaramillo (2005)

Gráfica 2. Valores significativos de nitrógeno en aof



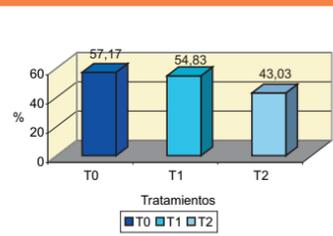
Fuente: Jaramillo (2005)

Gráfica 3. Valores significativos de fósforo en aof



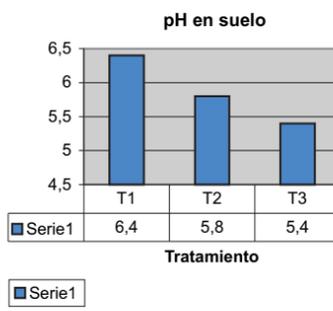
Fuente: Jaramillo (2005)

Gráfica 6. Estado de agregación de las partículas del suelo



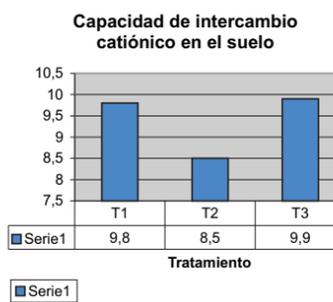
Fuente: Jaramillo (2005)

Gráfica 7. Comportamiento del pH en el suelo



Fuente: Jaramillo (2005)

Gráfica 8. Comportamiento de la capacidad de intercambio catiónico en el suelo



<sup>2</sup>Si en el suelo hay nitrógeno se inhibe el proceso de fijación por cuanto las bacterias simbiotas o de vida libre fijan este elemento sólo en ausencia de él en el suelo, por el consumo de energía que demanda este proceso. Racca (2006) afirma: esto es así porque la triple ligadura que une los dos átomos de N<sub>2</sub> es una de las más fuertes que se conoce en la naturaleza. Solamente, algunas bacterias que poseen el complejo enzimático nitrogenasa le permite romper está ligadura a temperatura y presión ambientales normales, necesitando para ello energía metabólica (ATP); además de H contenido de P y K del suelo, disponibilidad de agua y radiación.

Tabla 1. Procesos y producto final de los aof líquidos y sólidos

PROCESO	REACCIÓN	PRODUCTO FINAL
Descomposición	Rompimiento mecánico	Carbohidratos estructurales, no estructurales, minerales y microorganismos
Fermentación (1 Molécula de glucosa, produce: 2 de ATP y 2 de Piruvato)	Oxidación-reducción	Alcohol (OH), etanol(CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH), metano (CH <sub>4</sub> ), sulfuros (H <sub>2</sub> S), ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ), gas carbónico (CO <sub>2</sub> ).
		Sulfatos, Fosfatos, Amonio, carbohidratos Nitrato, Fitatos, aminas, azúcares, fosfatados
Humificación	Oxidoreducción	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , K <sup>+</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Fe <sup>2+</sup> , Cu <sup>2+</sup> , Zn <sup>2+</sup> , Mn <sup>2+</sup> , MoO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , Co, Na <sup>+</sup> , B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>
		Ácidos Húmicos, Grises Pardos Himatomelánicos
		Ácidos Fúlvicos, Huminas
Mineralización	Oxidoreducción	C, O, N, Ca, Mo, Mn, B, H, Zn, Na, Mg, S, Fe, P, Cu, Co y otros

## Conclusiones

Un microorganismo segrega enzimas que le facilitan la toma de un elemento; estas sustancias en el suelo pueden, a demás de la anterior, cumplir otras funciones como: servir de material agregante de partículas (arena limo arcilla) o proteger al organismo de otro que lo quiera tomar como alimento. En este sentido; por ejemplo, la fijación de nitrógeno de organismos que consumen principalmente celulosa segregan celulasa e inmovilizan el nitrógeno metabolizando los aminoácidos que requieren<sup>2</sup>.

Un microorganismo presente en un abono o en el suelo puede solubilizar un elemento, si lo hace de un compuesto mineral; mineralizarlo si lo extrae de una molécula orgánica e inmovilizarlo si lo incorpora a su estructura celular. Por esta razón, en los análisis pueden variar las cantidades dependiendo del estado de maduración del aof.

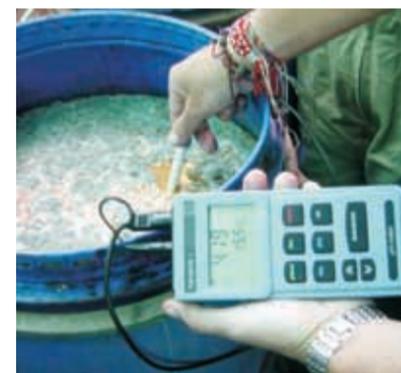
El elemento solubilizado o mineralizado por el organismo es igualmente aprovechado por la planta que lo absorbe de la solución del suelo por diferentes mecanismos, aprovechando de esta manera la actividad

microbiana. Las enzimas, las proteínas, los ácidos, los carbohidratos y demás moléculas orgánicas obran como coloides que atraen aniones y cationes, evitando su lixiviación.

Para el fósforo el camino que siguen los microorganismos es disolver fosfatos insolubles, a través de la secreción de ácidos orgánicos como el láctico, el oxálico, el cítrico o la fosfatasa dependiendo de la fuente del fosfato.

No existe una relación directamente proporcional entre el porcentaje de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, el P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y la cantidad de fijadores de nitrógeno o solubilizadores de fosfato en los aof.

Foto 3. Medición de pH en aof líquido



- AMAYA, A. (2005). Evaluación del efecto de la materia orgánica sobre las propiedades químicas de un Molisol en Tuta, Boyacá. Tunja: JDC.
- ATLAS, R.; BARTHA, R. (2001). Ecología microbiana y microbiología ambiental. Madrid España. Editorial Grafilles
- BONH, H.; MAGNEAL, B. and O'CONNOR G. (1993). Química del Suelo. Méjico: Limusa.
- BORNEMISZA, E. (1982). Introducción a la química de suelos. Washington DC. Editora Eva V. Chesneau.
- BURBANO, H. (1989). El suelo una visión sobre sus componentes bioorgánicos. Pasto Colombia. Universidad de Nariño.
- CASTRO, H. (1998). Fundamentos para el conocimiento y manejo de suelos agrícolas. Tunja Editorial FUJC.
- CRUZ, B y VEGA R. (2005). Incidencia de los sulfatos en las poblaciones de microorganismos fijadores de nitrógeno y solubilizadores de fosfatos en los aof. Tunja: JDC.
- ESPINOSA, J. (2004). Potasio en suelos tropicales. Memorias Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Medellín.
- FASSBENDER, H. (1982). Química de Suelos, con énfasis en suelos de América Latina. San José de Costa Rica: IICA.
- GÓMEZ, L. (2005). Efecto de la materia orgánica sobre el comportamiento de las propiedades físicas de un Mollisol en el municipio de Tuta Boyacá. Tunja: JDC.
- GÓMEZ, J. (2000). La materia orgánica en el agroecosistema. Palmira, Valle, UNC.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. (1999). Propiedades físicas de los suelos. Editor subdirección agrícola. Bogotá.
- MATHEWS, C. VAN HOLDE K.E. (1998). Bioquímica. Mc Graw Hill. Madrid España.
- OSORIO, W. (2005). Función de las enmiendas orgánicas en el manejo de la fertilidad del suelo. Encuentro Nacional de la ciencia del suelo "Materiales orgánicos y microorganismos en la agricultura colombiana" SCCS Medellín.
- PATIÑO, A. AMEZQUITA E. (1998) Selección de microorganismos con potencias de agregación (bioestructura) en algunos suelos de Colombia. Encuentro Nacional de labranza de conservación. Villavicencio Meta.
- PELZCAR, M.; DREID R, CHANG E.C.S. (1988). Microbiología Mc Graw-Hill. México D.F
- PINZÓN, M. (2005). Evaluación de la disponibilidad nutricional de minerales agregados al biol, en procesos aeróbicos y anaeróbicos para el enriquecimiento de bocashi elaborado en Soracá Boyacá. Tunja: JDC.
- PRIMAVESSI, A. (1980). Manejo ecológico del suelo. Buenos aires: Editorial El Ateneo.
- RACCA, R.; GONZÁLEZ, N. (2006). Bases fisiológicas para el manejo de la FBN en especies forrajeras: Alfalfa. Curso internacional: Producción de Biofertilizantes desde el laboratorio hasta la aplicación en campo. IBUN. Bogotá.
- SALISBURY, F. y ROSS, C. (1992). fisiología vegetal. México DF. Grupo Editorial Iberoamérica.
- SÁNCHEZ, De Prager M. (1999). Endomicorrizas en agrosistemas colombianos. Palmira, Valle. Universidad Nacional de Colombia.
- SANJUÁN J., SOTO J. M., OLIVA-GARCIA J.J., OLIVARES J. (2006). Simbiosis mutualista risorium-leguminosa Vs Patogénesis. Curso internacional: Producción de Biofertilizantes desde el laboratorio hasta la aplicación en campo. IBUN. Bogotá.
- ZAPATA, R. (2005). Función de la materia orgánica sobre la movilidad iónica. Encuentro Nacional de la ciencia del suelo "Materiales orgánicos y microorganismos en la agricultura colombiana" SCCS Medellín.