

Efecto del Sistema de Labranza Conservacionista en las Propiedades de los Suelos de Ladera en el Cultivo de Papa (*Solanum tuberosum*)

System effects of conservation tillage on hillside soils properties in potato crop (*Solanum tuberosum*)

Claudia Amorocho C.¹; Carolina Sánchez S.² y Gilberto Murcia C.³

Resumen

Con el propósito de contribuir con la labranza de conservación de suelos en ladera se emplearon tecnologías fundamentadas en la minimización del movimiento de suelo y en el establecimiento de coberturas y fertilización orgánica con abonos verdes. Se estableció el sistema de rotación abono verde- papa- abono verde, utilizando semilla de papa “parda pastusa” y 9 tipos de abonos verdes evaluándose las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo. El sistema propuesto mejoró la densidad aparente, porosidad, estabilidad estructural e infiltración del suelo; donde se destacó en densidad aparente el lote HB14 que pasó de 1.14 a 1.06 Mg/m³ y el lote PC19 de 0,84 Mg/m³ a 0.8 Mg/m³. Respecto a la porosidad el lote HB14 tuvo un valor inicial de 49.33% y final de 52.72% y en el lote PC19 un valor inicial de 57.22% y final de 59.27%. El diámetro ponderado medio destacado fue del lote HB8 pasando de 0.929 mm a 2.014 mm y el lote PC1 con un valor inicial de 1.48 mm y final de 2.25 mm. La infiltración más notoria fue para el lote HB2 con valor inicial de 22.57 cm/h y final de 138.07 cm/h y PC1 con valor inicial de 18.62 cm/h y final de 63.21 cm/h.

Palabras-clave: abonos verdes, rotación de cultivos, propiedades físicas, químicas, microbiológicas.

Abstract

In order to contribute to soil conservation on hillside slopes through tilling, technologies based on minimizing the movement of soil and establishing cover crops and organic fertilization with green fertilizers were used. A rotating system of green fertilizer/potato/green fertilizer was established, using the seeds of the “parda pastusa” potato and nine varieties of green manures and the physical, chemical and microbiological properties of the soil were evaluated. The proposed improved the apparent density, porosity, structural stability and infiltration of the soil. The greatest changes in apparent density were in HB14, which decreased from 1.14 Mg/m³ to 1.06 Mg/m³ and in PC19, which decreased from 0.84 Mg/m³ to 0.8 Mg/m³. Porosity in HB14 increased from 49.13% to 52.72% and it increased in PC10 from 57.22% to 59.27%. The structural stability of the soil improved from 0.929 mm to 2.014 mm in HB8 and in PC1 from 1.48 mm to 2.25 mm. The most notable changes in infiltration were in HB2, with an initial value of 22.57 cm/h and final value of 138.07 cm/h, and in PC1, with an initial value of 18.62 cm/h and a final value of 63.21 cm/h.

Keywords: cover crops, crop rotation, physical, chemical, microbiological properties.

¹ PhD Biotecnología. Docente Universidad Surcolombiana- Neiva. Av. Pastrana Cra 1ª. claudiamilena.amorocho@usco.edu.co

² MSc Ingeniería Agrícola. Docente Universidad Nacional de Colombia-Bogotá. cmsanchezs@unal.edu.co

³ PhD Ingeniería Agrícola. Investigador CORPOICA. C.I. Tibaitatá, km 14 via Mosquera- Colombia. gmurcia@corpoica.org.co

1. Introducción

La Región Andina colombiana está caracterizada por zonas de ladera, predominante en microfundio. La problemática de rentabilidad y sostenibilidad agrícola se debe al uso excesivo de agroquímicos, el incremento en costos de producción, intensidad en mecanización, baja calidad de semillas, deforestación, contaminación de fuentes hídricas, el deterioro de la capacidad productiva del suelo, disminución de la materia orgánica y así, se ha afectado la microbiota encargada del aporte de nutrientes y sustancias promotoras (Viteri, et al, 2006, Lara, et al, 2011).

Dentro de los productores de papa en Colombia hay una diferenciación entre el área sembrada y la producción. La producción nacional corresponde a pequeños y medianos cultivadores, quienes cuentan con áreas menores de 10 hectáreas; de las cuales solo una parte se emplea en el cultivo, contando con bajo acceso de tecnología y riego, falta de información de mercados, precios y capacidad financiera (Rodríguez, 1996).

Las prácticas de labranza convencional han traído problemas en la producción porque han deteriorado notoriamente la capacidad productiva del suelo al afectar sus propiedades (Manso, et al, 2012). De acuerdo con Lara, et al, (2011), el uso de biofertilizantes, la incorporación de enmiendas orgánicas, prácticas de labranza conservacionista, rotación de cultivos y uso de leguminosas de cobertura a largo plazo contribuyen en la recuperación de las poblaciones microbianas del suelo; así se mejora la calidad y la fertilidad del suelo; ya que en los procesos de descomposición de materiales orgánicos primarios se producen sustancias agregantes que contribuyen favorablemente en la estructura biológica del suelo (Medina, 1997).

La labranza conservacionista consiste en realizar siembra directa, manejo de rastrojo en la superficie y reducción en las actividades de laboreo (Manso, et al, 2012). Estas prácticas sostenibles han mostrado buenos resultados en estudios desarrollados en diferentes regiones, en cultivos de ciclo corto (Sánchez, et al, 2010, Sáenz et al, 2008, Murcia, 2001, CAR-GTZ-KFW, 2000). Las experiencias en labranza de conservación muestran mejoramientos significativos a mediano plazo en las propiedades microbiológicas y físicas del suelo; siendo las más representativas de estas, la resistencia a la penetración, densidad aparente, infiltración y retención de humedad, donde la presencia de coberturas vegetales en el momento de la siembra han influido favorablemente en el rendimiento de los cultivos (Bejarano, 2000). Con el fin de mejorar la fertilidad del suelo y la vez la productividad agrícola es fundamental estudiar las relaciones suelo-planta e integrar dichos conocimientos (Martínez-Viera, et al, 2010).

Es importante destacar los beneficios que se obtienen en los suelos con la utilización de los abonos verdes al evaluar las características químicas: la fertilidad del suelo se ve beneficiada porque aumenta el contenido de materia orgánica, debido a los aportes continuos de biomasa; se promueve el aporte de nitrógeno a través de la fijación biológica con el uso de leguminosas; se disminuye el efecto tóxico del aluminio presente en el suelo, se aumenta la capacidad de intercambio catiónico; se promueve el reciclaje y movilización de nutrientes, haciéndolos aprovechables para el cultivo principal y evitando la lixiviación de estos que se encuentran en las capas más profundas del suelo (Murcia, 2002). Según el ICA (1992), en Colombia la Capacidad de Intercambio Catiónico CIC es muy variable, es deseable que todo suelo presente una CIC alta, asociada con elevada saturación de bases, ya que esto indica la mayor capacidad potencial para suministrar Ca, Mg y K a las plantas. Se considera baja para valores menores a 10 m-eq/100 g, media de 10-20 m-eq /100 g y alta con valores mayores de 20 m-eq/100 g.

El efecto de los abonos verdes al incrementar los contenidos de materia orgánica y al mejorar las propiedades físicas del suelo, es concluyente en el aumento de la actividad de los microorganismos del suelo como bacterias, hongos y actinomicetos. Además, dicha población microbiana está en función del cultivo establecido (Garrido M.F., et al, 2010). De esta forma el principal objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de diferentes abonos verdes en las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo, en un terreno que ha sido destinado desde hace muchos años al monocultivo de papa.

2. Metodología

2.1 Localización

El estudio se realizó en las fincas Hierbabuena de la Vereda El Alisal y Peña Colorada de la Vereda El Papayo en el municipio Carmen de Carupa, Cundinamarca en Colombia. Los ensayos se establecieron en dos franjas altitudinales diferentes y representativas del sistema de producción papa, entre los 2800 y 3000 m.s.n.m, en zonas de ladera con pendientes de 10 a 25%.

2.2 Sistema de labranza conservacionista y tratamientos

El sistema de labranza conservacionista implementado comprendió: uso de abonos verdes como coberturas vegetales, rotación de cultivos y mínima preparación de suelos o labranza mínima a través de la surcada. Los diferentes abonos verdes empleados fueron: avena caldas (*Avena sativa L.*), avena negra (*Avena strigosa Schreb.*), avena nehuén, avena cayuse (*Avena sativa L.*), nabo forrajero (*Raphanus sativus L.*), colza (*Brassica rapus L.*), mostaza (*Sinapsis alba-cruciferae*), centeno (*Secale cereale L.*) y las combinaciones vicia (*Vicia sativa L.*) + avena cayuse (*Avena sativa L.*) y vicia (*Vicia sativa L.*) + centeno (*Secale cereale L.*).

En la Tabla 5 y 6 se presenta los abonos verdes correspondientes a cada lote evaluado; se seleccionaron 20 lotes HB (Finca Hierbabuena) y 20 lotes PC (Finca Peña Colorada) y un testigo para cada una de las fincas evaluadas (Tabla 5 y 6). A cada uno de los abonos verdes se les realizó un análisis de germinación a partir del cual se determinó la densidad de siembra. Los abonos verdes se cortaron antes de la producción de semillas y se dejaron en el suelo para que lo enriquecieran y protegieran de la erosión ocasionada por la lluvia y el viento.

2.3 Variables a evaluar

2.3.1 Aspectos productivos

Las muestras correspondientes a las evaluaciones de las propiedades químicas y microbiológicas se tomaron en campo con un barrenado holandés a una profundidad de 20 cm. En cada lote se realizaron entre 5 y 7 repeticiones de toma de suelo, se juntaron y homogenizaron. Las condiciones iniciales de las variables de respuesta se realizaron antes de establecer los abonos verdes y el seguimiento se hizo en el momento de la deposición de los abonos verdes, antes del establecimiento del cultivo comercial (papa).

2.3.2 Aspectos físicos del suelo

Cada una de las propiedades se evaluó teniendo en cuenta la humedad gravimétrica. Las propiedades evaluadas fueron infiltración empleando el método de anillos concéntricos, retención de humedad usando el método de ollas, platos y mesa de tensión, resistencia a la penetración "Índice de cono" con el penetrómetro Findlay, Irvine-cono 30°, densidad real por el método del picnómetro, densidad aparente con el método del cilindro, textura a partir del método de Bouyucos y estabilidad estructural por medio del método de tamizado en húmedo o de Tiulin, modificado por Yoder.

2.3.3 Aspectos químicos del suelo

Las variables analizadas fueron pH con el método del potenciómetro 1:25; aluminio intercambiable (Al+H. Acidez intercambiable KCL 1N), contenido de Materia Orgánica (Método de Walkley-Black modificado); elementos mayores P, Ca, Mg, K, Na (Métodos: Bray II, Ac. NH₄, 1N, pH 7.0); elementos menores Cu, Fe, Mn, Zn (Métodos: Olsen modificado), Boro (Método: Fosfato Monocalcico); textura (Método: Tacto). Los métodos de análisis utilizados fueron suministrados por el laboratorio de Corpoica-Tibaitatá sede Central que corresponde al Programa Nacional de Recursos Biofísicos.

2.3.4 Aspecto microbiológicos del suelo

Las variables evaluadas fueron nivel de microorganismos nitrificadores y microfauna total del suelo a nivel de bacterias, hongos y actinomicetos. Los datos fueron obtenidos por el Laboratorio de Microbiología de Suelos y Aguas del Programa Nacional de Recursos Biofísicos de Corpoica-Tibaitatá.

2.3.5 Abonos verdes

En los abonos verdes se evaluó el aporte de biomasa, materia seca y composición de elementos. Se empleó un cuadrado patrón de 0,25 m² de área, se tomaron muestras de cada uno de los abonos verdes, con la precaución de no afectar la raíces, haciendo 3 repeticiones por tratamiento, las cuales se llevaron al laboratorio de Física de Suelos, Programa Nacional de Recursos Biofísicos, Corpoica-Tibaitatá, quienes suministraron datos de humedad y caracterización química, según metodología empleada en el laboratorio. Con los valores de materia seca en Mg/ha de cada abono verde y su correspondiente porcentaje de materia seca de cada elemento, se determinó la cantidad de fertilizante incorporado por hectárea debido al uso de los abonos y el contenido de elementos químicos en el momento de la deposición. La deposición de los abonos verdes se realizó aproximadamente a los 100 días del establecimiento de estos con el implemento rollo cuchillo acoplado al tractor.

2.4 Análisis Estadístico

La parcelación se hizo de acuerdo al diseño experimental; el cual corresponde a bloques completos al azar, con dos repeticiones para un total de 21 ensayos (10 tratamientos x 2 repeticiones, más un testigo que corresponde a las prácticas convencionales del agricultor), cada unidad experimental de aproximadamente 500 m². El análisis estadístico se realizó mediante el programa SAS, buscando evaluar variables más significativas y en las que se espera encontrar cambios

representativos. El análisis utilizó covarianzas para obtener una distribución normal, en los casos en los que no se presentó dicha distribución, se hizo necesario transformar los datos empleando logaritmo neperiano (ln) para así obtener una distribución normal, caso explícito de hongos y actinomicetos correspondientes a las propiedades microbiológicas. Se efectuó un análisis de covarianza por cada finca, usando la información inicial de las variables como una covariable. También, un análisis combinado de los resultados de las dos fincas para conocer el efecto del ambiente para los diferentes tratamientos. En este caso la variación finca – ambiente incluyó la diferencia altitudinal existente entre las dos fincas.

3. Resultados y discusión

3.1 Propiedades Físicas

3.1.1 Densidad real

Las fincas Hierbabuena y Peña Colorada presentaron una textura Franco – Arcillosa, con valores de densidad real de 2.24 y 1.95 Mg/m³ respectivamente, indicando un alto contenido de materia orgánica en el suelo (Montenegro y Malagón, 1990). En ambas fincas los microorganismos del suelo tuvieron disponibilidad de materia orgánica para su proliferación, así pueden mejorar el estado general del suelo y por tanto al cultivo establecido. El sistema de rotación de cultivos ayuda a no agotar la capacidad productiva del suelo debido a que la materia orgánica presente es un elemento clave para mantener la productividad, algunos estudios muestran la relación directa entre la materia orgánica y la productividad (Sáenz, et al. 2008, Galantini, J. 2007).

3.1.2 Densidad aparente - porosidad

A partir de los valores de densidad aparente y real se calculó la porosidad. De acuerdo a los datos de porosidad cabe resaltar los lotes HB1, HB2, HB4, HB7, HB9, HB11, HB14, HB19 y testigo en la finca Hierbabuena; los cuales presentan incremento en la porosidad y por tanto disminución en la densidad aparente. Cabe anotar que en la parcela del testigo se desarrolló un abono no contemplado y se considera que este rompió su latencia en la preparación del terreno previa a la siembra de los tratamientos contemplados. En Peña Colorada la mayoría de los lotes mejoraron la porosidad a excepción de PC1, PC3, PC14, PC18, PC19 y testigo.

Analizando las variables anteriores estadísticamente se muestra que los abonos verdes no tienen efecto en la porosidad y la densidad aparente en la franja altitudinal comprendida entre 2800 - 3000 m.s.n.m, en un periodo de 110 días. Realmente, el efecto significativo sobre estas propiedades se puede obtener a largo plazo (Murcia, 2002).

3.1.3 Estabilidad Estructural

En la evaluación de estabilidad estructural se tuvo en cuenta el Diámetro Ponderado Medio (DPM). En la finca Hierbabuena, se evidenció la tendencia de los lotes a las condiciones de suelo ligeramente estable y moderadamente estable, presentando mejoría en esta condición los lotes HB2, HB7, HB8, HB9, HB10, HB13, HB14, HB15, HB16, HB17, HB18 y testigo. Sobresaliendo el nabo forrajero, avena nehuén y avena negra por presentar mejora de esta variable en las dos repeticiones de la finca por cada abono.

Peña Colorada presentó ascenso en la condición de estabilidad estructural en las parcelas PC1, PC7, PC10, PC13, PC14, PC15, PC16, PC17, PC19, PC20 donde se destacan la combinación vicia + avena cayuse y centeno en los tratamientos respectivos. El análisis estadístico en esta variable no mostró diferencias significativas entre fincas, tratamientos y finca*tratamiento.

3.1.4 Infiltración

En Hierbabuena la infiltración básica mejoró en los lotes HB1, HB2, HB4, HB6, HB9, HB10, HB11, HB14, HB16; sobresaliendo las especies avena caldas y la combinación vicia + centeno. En Peña Colorada se incrementa en los tratamientos PC1, PC4, PC5, PC6, PC13, PC19 y PC20; siendo la combinación vicia + avena cayuse la que reitera sus buenos resultados.

La evaluación de la infiltración del agua de lluvia o riego en el suelo a través de la medida de la tasa de infiltración por tiempo, tiene gran importancia en el control de erosión, en la identificación de la disponibilidad de agua para cultivos y permite conocer el movimiento de sustancias químicas en el suelo; y en especial en sitios donde se presenta un declive mayor del 2%, cualquier disminución en la tasa de infiltración conduce al aumento de escurrimiento superficial (FAO, 1992).

3.1.5 Humedad Aprovechable

En Hierbabuena se incrementó la humedad aprovechable en la mayoría de los lotes exceptuando los tratamientos HB12, HB13, HB15, HB17, HB18, HB20. Mientras que en Peña Colorada la humedad aprovechable en el seguimiento mostró disminución en todos los tratamientos evidenciando que los abonos al estar más desarrollados tienen una mayor demanda

hídrica, que puede suplirse con riego y así, hacer disponible los nutrientes aportados por la presencia de estas coberturas (Minoldo, G., 2007).

3.1.6 Resistencia a la penetración

La resistencia a la penetración, en todos los lotes inicialmente presentaban compactación entre 25 a 30 cm de profundidad, debido a que estos suelos han sido preparados con arado de cuchillas rotativas y arados de discos, los cuales no penetran más de esta profundidad (Camacho, 1981) y dicha condición afecta el desarrollo radicular de los cultivos (Martínez I., et al, 2011). Sin embargo, en los resultados de este estudio, en la mayoría de los lotes se presentó una importante disminución en la resistencia a la penetración, la cual se produjo fundamentalmente por el efecto de los abonos verdes, lo cual se evidencia en las figuras 1-4.

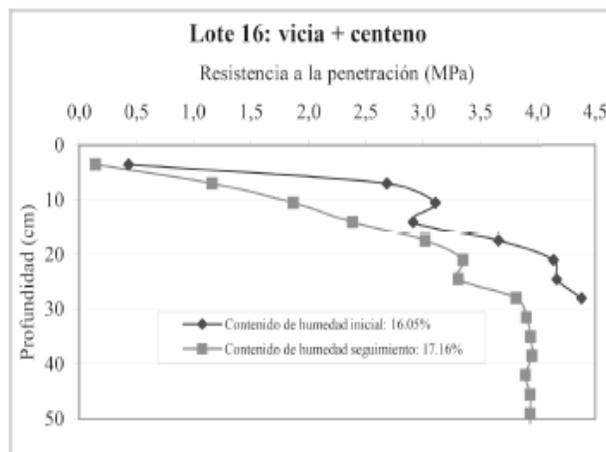


Fig. 1. Variación de la resistencia a la penetración lote HB16.

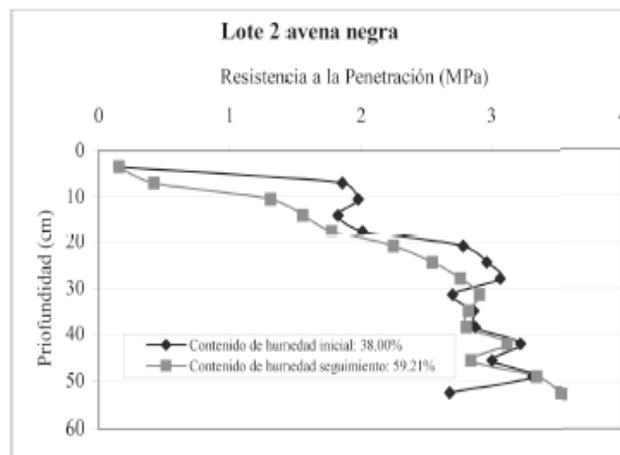


Fig. 2. Variación de la resistencia a la penetración lote PC2.

3.2 Propiedades Químicas

En la finca Hierbabuena, en todos los lotes el contenido de pH fue ácido con valores entre 4.4 y 5.3, a excepción del lote HB16 donde se presentó un pH de 5.6 el cual corresponde a un valor moderadamente ácido. Entretanto, el contenido de materia orgánica fue alto para los lotes HB5, HB8, HB9 y HB10, con nivel medio para los demás lotes. Respecto a los elementos mayores presentes, se encontraron las siguientes consideraciones: El contenido de P fue alto para la totalidad de los lotes. En promedio, la presencia de S en los lotes fue media. La manifestación de Ca fue media para la mayoría de los lotes a excepción del lote HB16 donde la presencia fue alta. El contenido de Mg fue bajo para todos los lotes con excepción

del HB16, que presentó un contenido medio. Con respecto al contenido de K fue alto para todos los lotes en estudio. Los contenidos de Na fueron bajos en todos los lotes, mientras los datos de conductividad eléctrica en la totalidad de los lotes muestran un suelo no salino. En cuanto a los elementos menores, todos los lotes presentaron un contenido alto de Fe, Cu y de Mn y un contenido medio de Zn y B. Entretanto, la CIC fue baja para la mayoría de todos los lotes de acuerdo a los valores dados por ICA (1992), a excepción del lote HB16 que tiene una CIC media, ya que presenta mayor contenido de Ca y Mg y por consiguiente de pH.

En la finca Peña Colorada, en todos los lotes el contenido de pH estuvo entre extremadamente y moderadamente ácido, mientras el contenido de materia orgánica fue alto para todos los lotes. Respecto a los elementos mayores presentes, se encontraron las siguientes consideraciones: en promedio, el contenido de P y S fue medio para todos los lotes. La manifestación de Ca, Mg y K en promedio fue alta para todos los lotes en estudio. Los contenidos de Na fueron bajos en todos los lotes, mientras los datos de conductividad eléctrica en la totalidad de los lotes muestran un suelo no salino. En cuanto a los elementos menores se obtuvo, todos los lotes presentaron un contenido alto de Fe, medio en Mn y B y bajo en Zn y en Cu. Entretanto, en promedio la CIC fue media para la mayoría de todos los lotes de acuerdo a los valores dados por ICA (1992). La composición química de los abonos se relaciona en la Tabla 3.

3.3 Propiedades Microbiológicas

El análisis estadístico mostró que existe diferencia significativa sobre la población de hongos entre las fincas, la cual está determinada por la altitud. Entre los tratamientos ni la interacción finca tratamiento presentó diferencias significativas sobre la población.

En Hierbabuena se evidenció un incremento en la población de bacterias en la mayoría de los lotes y una disminución de la población de hongos, acompañada de una baja humedad del suelo (Tabla 1). Esto puede deberse a que las bacterias son resistentes y pueden soportar condiciones de estrés, disminución de humedad, sin afectar su proliferación. También, es conocido que las bacterias son los microorganismos más abundantes en el suelo y de otro lado los hongos dado su mayor tamaño aunque en menor abundancia tienen la biomasa más significativa (Tatte III, 1995, Martín, 1980). Estudios previos mencionan que las bacterias segregan reguladores de crecimiento de plantas como auxinas, giberelinas y citoquininas mejorando procesos de germinación de semillas, nutrición mineral, desarrollo de raíces y por tanto, mejor empleo de agua (Santillana N., 2006). Peña Colorada mostró incrementos considerables de población de hongos y también en la mayoría de lotes la población de bacterias, favorecidas por la disponibilidad de materia orgánica (Tablas 1 y 2).

En la población de bacterias no tuvo ningún efecto la altitud, ya dentro de las fincas se encontró una diferencia relevante entre los tratamientos al mismo nivel de significancia. Para visualizar este efecto fue necesario hacer un análisis de contrastes para evidenciar las diferencias presentes entre tratamientos, el cual se efectuó para los datos de la finca Peña Colorada.

Los contrastes manifestaron que el testigo tuvo mayor contenido de bacterias que los demás tratamientos, situación que resulta lógica si se tiene presente que esta parcela estaba ubicada en la parte baja del área experimental, por tanto es receptora de muchos nutrientes de la parte más alta y el ambiente proporcionado por las raíces de papa pastusa propician un medio favorable en la proliferación de estos microorganismos. Al comparar las combinaciones se encontró que la combinación vicia + centeno se comportó mejor en cuanto a contenido de bacterias que la combinación vicia + avena cayuse. Las avenas cayuse, negra y nehuen presentaron mejores resultados que la avena caldas; las avenas cayuse y negra tuvieron mejor resultado que la nehuen y finalmente la avena negra fue mejor que la avena cayuse, sobresaliendo la avena negra como la más favorable en la reproducción de bacterias. La población de actinomicetos aumentó en ambas fincas, sin embargo el análisis estadístico no mostró diferencias significativas entre fincas, tratamientos, ni en la interacción finca*tratamiento ($p > 0.05$).

Tabla 1. Datos de salida del conteo de hongos

| Efecto | DF | DF | F Value | Pr > F |
|------------------------------------|----|----|---------|--------|
| Efecto entre Fincas | 1 | 2 | 37.7 | 0.0255 |
| Efecto entre los tratamientos | 10 | 19 | 0.52 | 0.8517 |
| Efecto entre fincas y tratamientos | 10 | 19 | 1.25 | 0.3215 |
| Efecto de hongos | 1 | 19 | 0.21 | 0.6506 |

Tabla 2. Datos de salida sin la covariable, para el conteo de hongos.

| Efecto | DF | DF | F Value | Pr > F |
|------------------------------------|----|----|---------|--------|
| Efecto entre Fincas | 1 | 2 | 41.26 | 0.0234 |
| Efecto entre los tratamientos | 10 | 20 | 0.52 | 0.8547 |
| Efecto entre fincas y tratamientos | 10 | 20 | 1.29 | 0.2987 |

3.4 Abonos verdes

En la Tabla 3 se observa que las gramíneas presentaron baja relación C/N (Carbono/Nitrógeno) en el momento de la deposición, debido a que aún se encontraban en crecimiento, mientras las crucíferas ya presentaban frutos en estado lechoso, que corresponde al estado ideal para la deposición. En otras investigaciones se ha encontrado resultados correspondientes a la relación C/N en las gramíneas superiores a 30 cuando se encuentran los frutos en estado lechoso (120-130 días aproximadamente después de la siembra). La descomposición del material vegetal es un proceso biológico realizado especialmente por hongos y bacterias que abundan en el suelo. La relación C/N determina los procesos de descomposición, mineralización y disponibilidad del nitrógeno para el cultivo siguiente. De acuerdo a Murcia (2002) entre más alta sea esta relación C/N, la descomposición se hace más lenta.

Tabla 3. Composición química de los abonos verdes empleados en el momento de la deposición.

| Especie | % materia seca | | | | | | | | Ppm | | | | |
|----------------|----------------|------|------|------|------|------|-------|---------------|-----|----|-----|-----|------|
| | N | P | K | Ca | Mg | S | C | Relación C/N* | Zn | Cu | Fe | Mn | B |
| Vicia | 2.4 | 0.25 | 1.3 | 0.35 | 0.12 | 0.24 | 24.57 | 10.24 | 54 | 27 | 988 | 107 | 21.5 |
| Avena Cayuse | 1.4 | 0.27 | 1.06 | 0.17 | 0.06 | 0.12 | 25.71 | 18.36 | 31 | 4 | 342 | 42 | 7.8 |
| Avena negra | 1 | 0.35 | 1.11 | 0.15 | 0.08 | 0.15 | 23.71 | 23.71 | 33 | 5 | 43 | 157 | 6.3 |
| Colza | 1.4 | 0.38 | 1.18 | 0.28 | 0.12 | 0.28 | 25.71 | 18.36 | 52 | 5 | 191 | 42 | 16.9 |
| Centeno | 1 | 0.25 | 1.06 | 0.27 | 0.06 | 0.17 | 24.57 | 24.57 | 104 | 8 | 70 | 72 | 6.9 |
| Mostaza | 0.9 | 0.27 | 1.46 | 0.23 | 0.1 | 0.29 | 25.14 | 27.93 | 38 | 3 | 124 | 24 | 9.2 |
| Nabo forrajero | 1 | 0.4 | 1.18 | 0.44 | 0.13 | 0.28 | 25.14 | 25.14 | 42 | 4 | 42 | 13 | 15.4 |
| Avena Caldas | 1.4 | 0.3 | 0.9 | 0.24 | 0.1 | 0.21 | 25.72 | 18.37 | 36 | 5 | 73 | 124 | 6.3 |
| Avena Nehuen | 2.4 | 0.36 | 1.46 | 0.41 | 0.13 | 0.3 | 24 | 10.00 | 71 | 7 | 100 | 231 | 53.2 |

En la Tabla 4 se presentan los requerimientos nutricionales del cultivo de la papa para diferentes rendimientos esperados. Guerrero (1996), sostiene que son diversos los factores que inciden en la utilización de los nutrientes, particularmente la constitución genética de la variedad y el rendimiento obtenido. Es de resaltar la alta demanda de potasio, la cual duplica la de nitrógeno y los bajos requerimientos de fósforo que contrasta con las grandes cantidades aplicadas tradicionalmente, debido a la fijación de este elemento.

Tabla 4. Requerimientos nutricionales de la papa para diferentes niveles de productividad (kg/ha)

| Nutrientes | Rendimiento obtenido (Mg/ha) | | |
|------------|------------------------------|-----|-----|
| | 20 | 40 | 50 |
| N | 120 | 210 | 300 |
| P2O5 | 40 | 70 | 100 |
| K2O | 250 | 430 | 600 |
| Mg | 20 | 40 | 60 |
| S | 10 | 20 | 25 |

Los aportes de biomasa y materia seca se presentan en las Tablas 5 y 6 para cada una de las fincas. En Hierbabuena los abonos con mayor aporte de materia seca fueron centeno, avena caldas, negra y nehuen con contenidos de 24.8, 21.9, 17.2, 16.6 Mg/ha respectivamente. En Peña Colorada se destacaron los tratamientos vicia + centeno, avena negra, nehuen y vicia + cayuse con valores de 16.4, 15.3, 12.2, 12.0 Mg/ha respectivamente.

Tabla 5. Aporte de biomasa y materia seca de los abonos verdes. Finca Hierbabuena. Valores x (n=3)

| Lote | Material | Altura (cm) | Peso (kg) | Biomasa Mg/ha | Humedad | Materia seca Mg/ha |
|------|-----------------|-------------|-----------|---------------|---------|--------------------|
| HB1 | Vicia + Cayuse | 50 | 0.5 | 20.0 | 0.32 | 6.4 |
| HB2 | Avena negra | 50 | 0.7 | 29.3 | 0.29 | 8.4 |
| HB3 | Colza | 40 | 0.4 | 14.7 | 0.18 | 2.6 |
| HB4 | Vicia + Centeno | 120 | 0.7 | 26.7 | 0.36 | 9.6 |
| HB5 | Cayuse | 50 | 0.7 | 28.0 | 0.32 | 9.0 |
| HB6 | Mostaza | 50 | 0.3 | 13.3 | 0.30 | 4.0 |
| HB7 | Centeno | 120 | 0.6 | 24.0 | 0.36 | 8.7 |
| HB8 | Nabo forrajero | 180 | 2.0 | 81.3 | 0.19 | 15.2 |
| HB9 | Avena Nehuen | 110 | 1.8 | 72.0 | 0.23 | 16.6 |
| HB10 | Avena Caldas | 150 | 1.8 | 73.3 | 0.30 | 21.9 |
| HB11 | Avena Caldas | 80 | 0.4 | 16.0 | 0.30 | 4.8 |
| HB12 | Mostaza | 40 | 0.3 | 13.3 | 0.30 | 4.0 |
| HB13 | Vicia + Cayuse | 60 | 0.7 | 26.7 | 0.32 | 8.5 |
| HB14 | Cayuse | 60 | 0.7 | 28.0 | 0.32 | 9.0 |
| HB15 | Nabo forrajero | 70 | 0.4 | 14.7 | 0.19 | 2.7 |
| HB16 | Vicia + centeno | 90 | 0.5 | 21.3 | 0.36 | 7.7 |
| HB17 | Avena Nehuen | 80 | 1.2 | 46.7 | 0.23 | 10.8 |
| HB18 | Avena Negra | 90 | 1.5 | 60.0 | 0.29 | 17.2 |
| HB19 | Colza | 120 | 1.7 | 66.7 | 0.18 | 11.7 |
| HB20 | Centeno | 190 | 1.7 | 68.0 | 0.36 | 24.8 |

Tabla 6. Aporte de biomasa y materia seca de los abonos verdes. Finca Peña Colorada. Valores x (n=3)

| Lote | Material | Altura (cm) | Peso (kg) | Biomasa Mg/ha | Humedad | Materia seca Mg/ha |
|-------|-----------------|-------------|-----------|---------------|---------|--------------------|
| PC-1 | Vicia + Cayuse | 70 | 1.2 | 48.0 | 0.25 | 12.0 |
| PC-2 | Avena negra | 70 | 1.5 | 60.0 | 0.25 | 15.3 |
| PC-3 | Colza | 65 | 0.3 | 13.3 | 0.20 | 2.7 |
| PC-4 | Vicia + Centeno | 90 | 1.5 | 58.7 | 0.28 | 16.4 |
| PC-5 | Cayuse | 70 | 0.4 | 16.0 | 0.26 | 4.2 |
| PC-6 | Mostaza | 75 | 0.3 | 13.3 | 0.27 | 3.6 |
| PC-7 | Centeno | 130 | 0.4 | 16.0 | 0.28 | 4.5 |
| PC-8 | Nabo forrajero | 160 | 0.4 | 16.0 | 0.14 | 2.3 |
| PC-9 | Avena Nehuen | 70 | 1.3 | 53.3 | 0.23 | 12.2 |
| PC-10 | Avena Caldas | 90 | 0.8 | 33.3 | 0.32 | 10.6 |
| PC-11 | Avena Caldas | 130 | 0.9 | 34.7 | 0.32 | 11.0 |
| PC-12 | Mostaza | 95 | 0.6 | 22.7 | 0.27 | 6.0 |
| PC-13 | Vicia + Cayuse | 80 | 0.6 | 22.7 | 0.25 | 5.8 |
| PC-14 | Cayuse | 75 | 0.6 | 22.7 | 0.26 | 6.0 |
| PC-15 | Nabo forrajero | 85 | 0.7 | 26.7 | 0.14 | 3.8 |
| PC-16 | Vicia + centeno | 110 | 0.7 | 26.7 | 0.27 | 7.2 |
| PC-17 | Avena Nehuen | 65 | 1.7 | 66.7 | 0.14 | 9.5 |
| PC-18 | Avena Negra | 70 | 0.3 | 13.3 | 0.25 | 3.4 |
| PC-19 | Colza | 75 | 0.4 | 16.0 | 0.20 | 3.2 |
| PC-20 | Centeno | 40 | 0.5 | 20.0 | 0.28 | 5.7 |

4. Conclusiones

El sistema de labranza conservacionista propuesto que comprende mínima preparación del suelo, uso de abonos verdes como coberturas vegetales y como rotación de cultivos, mostró tendencia a mejorar algunas propiedades físicas como densidad aparente, porosidad, estabilidad estructural e infiltración.

La población de hongos, bacterias y actinomicetos aumentó en los lotes de la finca Peña Colorada cuando se incrementó la humedad del suelo, mientras que en los lotes de la finca Hierbabuena aumentó la población de bacterias y actinomicetos cuando la humedad del suelo disminuyó.

La composición química de los abonos verdes utilizados (avena caldas, nehuen, negra, cayuse, centeno, mostaza, nabo forrajero, vicia, colza) permite prever un importante aporte de elementos nutricionales al suelo. Aunque cabe resaltar que la contribución nutricional de los abonos es muy pequeña al compararla con los requerimientos nutricionales del cultivo de papa.

Los abonos verdes que aportaron mayor cantidad de materia seca como coberturas superficiales mas no incorporados, en la finca Hierbabuena fueron avena caldas, negra y nehuen y el centeno mientras que en Peña Colorada sobresalieron las avenas negra y nehuen y las combinaciones con vicia.

Se evidenció que para ambas fincas los resultados de las diferentes propiedades evaluadas en algunos tratamientos no presentó respuestas similares lo cual manifiesta la heterogeneidad del suelo en área pequeñas (1 ha).

De acuerdo a los datos obtenidos mediante el análisis estadístico para las propiedades físicas evaluadas como densidad aparente, porosidad y DPM, se notó que es un tiempo muy corto (100 días) para evidenciar cambios significativos en éstas propiedades.

5. Referencias Bibliográficas

1. Bejarano A. 2000. Evaluación de diferentes sistemas de labranza como contribución al desarrollo de la producción sostenible del cultivo de papa (*solanum tuberosum*) en la vereda "Los Soches", localidad de Usme. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia. 2000.
2. Camacho, H. Maquinaria Agrícola. Bogotá, Colombia: ICA, manual N°20, 1981. 220 pp.
3. CAR – GTZ –KFW. 2000. Cultivar sin Arar: Labranza Mínima y Siembra directa en los Andes. Proyecto Checua. Bogotá D.C, 146 pp.
4. FAO. 1992. Manual de sistemas de labranza para América Latina. Boletín de suelos. FAO. #66. 193 pp.
5. Galantini, J; Landriscini, M; Hevia, C. 2007. Contenido y Calidad de la materia orgánica particulada del suelo. Sistemas productivos. Revista técnica. Buenos Aires, 36-40.
6. Garrido M.F., Cárdenas D.M., Bonilla R.R., Vera B. 2010. Efecto de los factores edafoclimáticos y la especie de pasto en la diversidad de bacterias diazotróficas. Pastos y Forrajes, Vol 33, No 4, 1-7.
7. Guerrero R. 1998. Fertilización de cultivos en clima frío. Bogotá. 370 pp.
8. ICA, 1992. Fertilidad en diversos cultivos. Manual de asistencia técnica No 25. C.I Tibaitatá. 9 pp.
9. Lara C., García L.P., Oviedo L.E. 2011. Efecto biofertilizante del preparado: residuos vegetales-bacteria native diazótropa, sobre las variables biométricas en plántulas de *Rhapanus sativus*. Rev. Colom. Biotecnol. Vol. XIII No 1. 156-162.
10. Manso M.L., Forján H.J., Studdert G.A., San Martino S. 2012. Rev. Fca Uncuyo, 44 (1), 85-99.
11. Martín A. Introducción a la microbiología del suelo. México D.F. 1980. 491pp.

12. Martínez I., Ovalle C., Del Pozo A., Uribe H., Valderrama N., Prat C., Sandoval M., Fernández F., Zagal E. 2011. Influence of conservation tillage and soil water content on crop yield in dryland compacted alfisol of central Chile. *Chilean Journal of agricultural research* 71 (4), 615-622.
13. Martínez-Viera R., Dibut B., Ríos Y. 2010. Efecto de la integración de aplicaciones agrícolas de biofertilizantes y fertilizantes minerales sobre las relaciones suelo-planta. *Cultivos Tropicales*, vol 31, No 3, 27-31.
14. Medina, C. 1997. Evolución del suelo con sustratos orgánicos (paja de maíz dulce y gallinaza) y observaciones generales de su fauna edáfica. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía. Bogotá, 103-121.
15. Minoldo, G. Galantini, J; Iglesias J. 2007. Efecto de las rotaciones con leguminosas y la fertilización. *Sistemas productivos. Revista Técnica*. Buenos Aires, 33-35.
16. Montenegro, H. Malagón, D. 1990. *Propiedades físicas de los suelos*. IGAC. Bogotá 1990. 811pp.
17. Murcia, G. 2001. Conservación de suelos de ladera bajo el sistema de producción de papa (*Solanum Tuberosum*). CORPOICA. Bogotá, 146 pp.
18. Murcia, G., 2002. Potencialidad del uso de los abonos verdes en la recuperación y conservación de suelos de ladera bajo el sistema de producción de papa (*Solanum Tuberosum*). *Boletín técnico*. CORPOICA. Bogotá, 47 pp.
19. Rodríguez, P. 1996. *La papa y el desarrollo económico en Colombia*. Bogotá, Colombia: CORPOICA. 72pp.
20. Sáenz, C.M.S., Souza, Z.M., Matsura, E.E., Campos, M.C.C. 2008. Descomposição do residuo de milho e produtividade do feijão irrigado. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.8, 207-213.
21. Sánchez, C.M.S., Souza, Z.M., Matsura, E.E., Freitas, N.R.S. 2010. Efecto de la cobertura en las propiedades del suelo y en la producción de frijol irrigado. *Revista UDCA Actualidad y divulgación científica*. Bogotá, v13, 40-48.
22. Santillana N. 2006. Producción de biofertilizantes utilizando *Pseudomonas* sp. *Ecología Aplicada*, 5 (1,2). Departamento Académico de Biología, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú, 87-91.
23. Tate R.L. 1995. *Soil microbiology*. John Wiley & Sons. New York. USA. 1995. 398 pp.
24. Viteri S, Velandia J. 2006. Evaluación de asociaciones vegetales por su potencial como fuente de materia orgánica para suelos de Samacá (Boyacá). *Agronomía Colombiana* 24 (1):138-146.