

**INFLUENCIA DE DIFERENTES CULTIVOS AGRÍCOLAS SOBRE EL CARBONO
ORGÁNICO TOTAL Y LA ACTIVIDAD MICROBIANA EN SUELOS DE CINCO
SISTEMAS DE CULTIVOS DEL MUNICIPIO DE PAMPLONA, NORTE DE
SANTANDER**

STEVE SANDOVAL SENEGAL

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA
PAMPLONA – NORTE DE SANTANDER**

2019

**INFLUENCIA DE DIFERENTES CULTIVOS AGRÍCOLAS SOBRE EL CARBONO
ORGÁNICO TOTAL Y LA ACTIVIDAD MICROBIANA EN SUELOS DE CINCO
SISTEMAS DE CULTIVOS DEL MUNICIPIO DE PAMPLONA, NORTE DE
SANTANDER**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO**

STEVE SANDOVAL SENEGAL

CC. 1050552413

ASESORA

ANA FRANCISCA GONZALEZ PEDRAZA

INGENIERA AGRÓNOMA

DOCTORA EN CIENCIAS, MENCIÓN ECOLOGÍA

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA

PAMPLONA – NORTE DE SANTANDER

2019

Pamplona, 20 de Septiembre del 2019

Señores,

Universidad de Pamplona

Facultad de Ciencias Agrarias

Departamento de Ingeniería Agronómica

Comité de Trabajo de Grado

Por medio de la presente se autoriza al estudiante: Steve Sandoval Senegal, identificado con cedula de ciudadanía: 1.050.552.413 de San Pablo Bolívar para realizar la sustentación del trabajo de grado titulado **"INFLUENCIA DE DIFERENTES CULTIVOS AGRÍCOLAS SOBRE EL CARBONO ORGÁNICO TOTAL Y LA ACTIVIDAD MICROBIANA EN SUELOS DE CINCO SISTEMAS DE CULTIVOS DEL MUNICIPIO DE PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER"**, como requisito para optar al título de Ingeniero Agrónomo de la Universidad de Pamplona.

Sin otro particular.

Cordialmente



Dra. Ana Francisca González Pedraza

Tutora

Departamento de Agronomía

Resumen

La calidad de los suelos está influenciada por el manejo que se le de éstos y que pueden afectar sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Se realizó un estudio con el fin de evaluar la influencia de cinco sistemas de cultivo sobre el carbono orgánico y algunas variables fisicoquímicas y microbianas del suelo en zonas productoras del municipio de Pamplona, Norte de Santander. En una finca de la vereda Monte dentro se tomaron 25 muestras de suelo a una profundidad de (0-10cm) y se determinaron variables físicas como densidad aparente, textura, porcentaje de humedad, y químicas como pH, conductividad eléctrica, carbono orgánico y propiedades biológicas del suelo como la respiración basal. Se aplicó un análisis de la varianza de una vía (ANOVA), cuando éste resultó significativo ($p < 0,05$) se empleó una prueba de Tukey para la comparación de medias. El pH resultó ácido y moderadamente ácido; la conductividad eléctrica fue baja lo cual caracteriza a estos suelos como no salinos. La respiración basal fue mayor en los suelos cultivados y menor en el bosque, mientras que el carbono orgánico total fue mayor en el bosque y menor en los cultivos. Es probable que en los sistemas de cultivos los microorganismos se encuentren en una situación de estrés que los haga generar más pérdidas de C-CO₂ debido a la respiración.

Palabras clave: respiración basal, actividad microbiana, carbono orgánico.

Abstract

The quality of the soils is influenced by their management and that can affect their physical, chemical and biological properties. A study was conducted in order to evaluate the influence of five cultivation systems on organic carbon and some physicochemical and microbial variables of the soil in producing areas of the municipality of Pamplona, Norte de Santander. In a farm on the Monteadentro village, 25 soil samples were taken at a depth of (0-10cm) and physical variables such as bulk density, texture, moisture percentage, and chemical variables such as pH, electrical conductivity, organic carbon and biological properties were determined from the ground like basal breathing. A one-way variance analysis (ANOVA) was applied, when it was significant ($p < 0.05$), a Tukey test was used to compare means. The pH was acidic and moderately acidic; The electrical conductivity was low which characterizes these soils as non-saline. Basal respiration was greater in cultivated soils and less in the forest, while total organic carbon was greater in the forest and less in crops. It is likely that in crop systems the microorganisms are in a stress situation that causes them to generate more C-CO₂ losses due to breathing.

Keywords: basal respiration, microbial activity, organic carbon.

Tabla de contenido

Abstract.....	v
Lista de figuras	viii
CAPITULO 1.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.3. JUSTIFICACIÓN	5
1.4. OBJETIVOS.....	6
1.4.1. Objetivo general:.....	6
1.4.2. Objetivos específicos:.....	6
CAPÍTULO 2.....	7
2.1. MARCO DE REFERENCIA.....	7
2.1.1. Antecedentes	7
2.2. Marco contextual.....	10
2.2.1 División político- administrativa.....	11
2.2.3 Economía rural	12
2.2.4. Actividad agrícola	12
2.3. Marco teórico	13
2.3.1. Fresa (<i>Fragaria L.</i>)	13
2.3.2. Cultivo de arveja (<i>Pisum sativum L.</i>)	14
2.3.3 Cultivo de tomate de árbol (<i>Solanum betaceum Cav.</i>).....	14
2.3.4 Explotación pecuaria en Pamplona	15
2.3.5 Carbono orgánico del suelo.....	16
2.3.6. Importancia de la materia orgánica	17
2.3.7. Actividad microbiana de los suelos	17
2.3.8. Respiración del suelo	19
CAPÍTULO 3.....	20
3.1. MARCO LEGAL.....	20
3.1.1 Reglamento Estudiantil, Universidad de Pamplona. Acuerdo No. 186.....	20
3.1.2 Artículo 35.....	20
3.1.3 Artículo 36.....	20
CAPÍTULO 4.....	22

4.1. METODOLOGIA	22
4.1.1 Descripción del área de estudio	22
4.1.2 Diseño del experimento	22
4.1.3 Tipo de cultivos a evaluar	22
4.1.4 Toma de muestras de suelos	22
4.1.5. Variables de estudio	23
4.1.6. Análisis estadístico	25
CAPÍTULO 5	27
5.1. Análisis y resultados	27
5.1.1 pH de los suelos	27
5.1.2 Conductividad eléctrica	28
5.1.3 Porcentaje de humedad (%H)	29
5.1.4 Textura	31
5.1.5 Densidad aparente D_a (g/cm^3)	35
5.1.6 Carbono orgánico total	36
5.1.7 Respiración basal	38
6. CONCLUSIONES	41
7. RECOMENDACIONES	42
Bibliografía	43

Lista de figuras

Figura 1. Ubicación geográfica del municipio Pamplona, Norte de Santander.....	11
Figura 2. Distribución de las actividades productivas del sector rural en el municipio Pamplona.....	12
Fuente: (CENSO RURAL, PAMPLONA, 2013.....)	12
Figura 3. Comparación del pH de los suelos entre los diferentes cultivos evaluados en el municipio de Pamplona, Norte de Santander.....	27
Figura 4. Comparación de la conductividad eléctrica de los suelos entre los diferentes cultivos evaluados en el municipio de Pamplona, Norte de Santander.....	29
Figura 5. Comparación del porcentaje de humedad volumétrica de los suelos entre los diferentes cultivos evaluados en el municipio de Pamplona, Norte de Santander.....	30
Figura 6. Comparación del porcentaje de humedad gravimétrica de los suelos entre los diferentes cultivos evaluados en el municipio de Pamplona, Norte de Santander.....	31
Figura 7. Comparación del porcentaje de arena de los suelos entre los diferentes cultivos evaluados en el municipio de Pamplona, Norte de Santander.....	32
Figura 8. Comparación del porcentaje de arcilla de los suelos entre los diferentes cultivos evaluados en el municipio de Pamplona, Norte de Santander.....	33
Figura 9. Comparación del porcentaje de limo de los suelos entre los diferentes cultivos evaluados en el municipio de Pamplona, Norte de Santander.....	34
Figura 10. Comparación de la densidad aparente de los suelos entre los diferentes cultivos evaluados en el municipio de Pamplona, Norte de Santander.....	35
Figura 11. Comparación del carbono orgánico total de los suelos entre los diferentes cultivos evaluados en el municipio de Pamplona, Norte de Santander.....	37
Figura 12. Comparación de la respiración basal de los suelos entre los diferentes cultivos evaluados en el municipio de Pamplona, Norte de Santander.....	39

Lista de anexos

Anexo 1 Toma de muestras con barreno (1)	50
Anexo 2 Toma de muestras con barreno (2)	50
Anexo 3 Secado de muestras de suelo	51
Anexo 4 Tamizado de muestras de suelo	52
Anexo 5 Análisis de textura en laboratorio (1)	52
Anexo 6 Análisis de textura en laboratorio (2)	53
Anexo 7 Toma del % humedad y CE en campo (1)	53
Anexo 8 Toma de % humedad y CE en campo (2)	54
Anexo 9 Peso de cilindro sin suelo	55
Anexo 10 Cilindros con muestras de suelo	55
Anexo 11 Determinación de pH de las muestras de suelo en el laboratorio	56
Anexo 12 Peso de crisol más la muestra de suelo	56
Anexo 13 Peso de crisol sin muestra de suelo	57
Anexo 14 Titulación para respiración basal	57
Anexos 15 Montaje para captación de CO ₂	58
Anexo 16 Frascos sellados puestos a la oscuridad	58
Anexos 17 Tabla Anova de un factor	59
Anexo 18 Datos estadísticos descriptivos	60
Anexo 19 Tabla de comparaciones múltiples	67

CAPITULO 1

1.1. INTRODUCCIÓN

El municipio de Pamplona se caracteriza por la producción de diversos rubros hortofrutícolas. Cuenta con cultivos de fresa (*Fragaria L.*) con aproximadamente 21,3 ha sembradas y tomate de árbol (*Solanum betaceum*) con 14 ha (Alcaldía de Pamplona , 2016).

La producción de arveja ocupa un lugar muy importante en la vereda Monte dentro del municipio de Pamplona, ya que gran parte de sus habitantes tiene dedicada sus tierras a la producción de este rubro. El aporte económico de este rubro es primordial para su subsistencia y para el desarrollo económico y agrícola de la provincia de Pamplona (Cáceres y Gelvez, 2011).

Para la provincia de Pamplona, el área sembrada de arveja tecnificada para el 2008 fue de 73 hectáreas, con una producción de 584 ton, representando el 46,23% de la producción total del departamento (Cáceres y Gelvez, 2011).

Por otra parte, el cultivo de tomate de árbol (*Solanum betaceum*), se caracteriza como un gran generador de divisas por su explotación en el país, siendo la región del Sumapaz una de las mayores productoras a nivel nacional constituyendo el 16,4% del total de la producción nacional (Zuluaga y Rondon, 2012).

Uno de los forrajes de mayor adaptación en el departamento de Norte de Santander es el kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), y se ha convertido en una opción de cultivo, ya que no necesita de gran intervención con agroquímicos para su producción y se perfila como un buen recurso alimenticio en diversos sistemas de producción pecuaria (Silva, 2001).

La materia orgánica (MO) del suelo es considerada como el mejor indicador de su calidad y de la productividad del sistema (Campbell et al., 1999). Sin embargo, el simple valor de

MO no siempre es un indicador sensible del estado y evolución del sistema. En la MO se pueden diferenciar dos fracciones: la MO humificada asociada a la fracción mineral (MOM) y la materia orgánica joven, o particulada (MOP).

Adicionalmente, la respiración del suelo es un indicador sensible que permite evaluar la calidad biológica de los suelos, así como los cambios en la calidad de la MO. Igualmente, el flujo de CO₂ del suelo es un buen indicador de la distribución del carbono en el suelo subsuperficial y de la productividad del ecosistema (Arriche y Ponce, 2012).

El suelo representa un factor de producción importante para el buen desarrollo de los cultivos y en este estudio se busca evaluar el impacto que tienen los cultivos agrícolas sobre el carbono orgánico total y la respiración del suelo.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La agricultura representa la mayor proporción de uso de la tierra por el hombre. Sólo los pastos y los cultivos ocupaban el 37 por ciento de la superficie de tierras de labranza del mundo y casi dos terceras partes del agua utilizada por el hombre se destinan a la agricultura (FAO, 2015).

Un problema asociado al mal manejo del suelo; es que al degradarse significativamente éste no es capaz de seguir produciendo, generando que los agricultores deban recurrir a expandir la frontera agrícola, reduciendo áreas naturales importantes para la diversidad y la conservación (Tilman, 1999).

El suelo presenta una dinámica tal que se puede afirmar que es el ecosistema más estable y sustentable para el grupo microbiano, los aportes de materia orgánica e inorgánica mantienen una inmensa cantidad de microbios los cuales apenas estamos comenzando a descubrir. Directa o indirectamente los desechos humanos y animales, sus cuerpos y los tejidos de vegetales llegan a la tierra y allí “se desaparecen” al transformarse en tierra, todo este trabajo es realizado por los microorganismos; además, estos microorganismos liberan sustancias útiles para las plantas de tal manera que sin la actividad microbiana del suelo la vida se extinguiría gradualmente (Castaño, 2006).

En la mayoría de las zonas productoras del municipio Pamplona se utilizan sistemas de producción agrícola convencional en donde se hace una alta utilización de productos agroquímicos, así como remoción de la cobertura vegetal natural. Las consecuencias de estos efectos son un aumento de la escorrentía y de la erosión hídrica y eólica del suelo, pérdida del carbono orgánico en el suelo, así como la disminución de la actividad microbiana.

Por lo tanto, el presente proyecto se enfocó en analizar parámetros físicos del suelo como la humedad, textura y la densidad aparente, otras características químicas como el pH, conductividad eléctrica y el carbono orgánico total y parámetros biológicos como la respiración del suelo, que permiten evaluar de alguna manera la calidad biológica de éste, a fin de analizar el impacto de los sistemas agrícolas sobre los suelos utilizados en la vereda Monteadentro del municipio de Pamplona .

1.3. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo del presente proyecto se llevó a cabo en la vereda Monte dentro en el municipio de Pamplona, con el fin de evaluar las condiciones del suelo, ya que esta vereda es una de las productoras importantes de frutas y hortalizas del departamento del Norte de Santander, no existe información al respecto y además es necesario diagnosticar la influencia que los cultivos ejercen sobre la actividad microbiana de los suelos.

Este tipo de estudios es importante realizarlos porque la materia orgánica es un indicador clave de la calidad del suelo, ya que en ella ocurren procesos microbiológicos que pueden aportar nutrientes para las plantas y rendimientos en cosecha.

El suelo es un ecosistema que contiene una gran variedad de poblaciones microbianas cuyos miembros representan muchos tipos fisiológicos. Las características químicas, físicas y biológicas de un suelo particular, así como la presencia de crecimiento de plantas, influirán en el número y actividades de sus diversos componentes microbianos (Pinochet, 2006).

El aumento en las últimas décadas de la productividad agrícola se ha conseguido a cambio de la reducción gradual del contenido de materia orgánica (MO) en las tierras bajo cultivo intensivo y el deterioro de la estructura del suelo, lo cual lo ha vuelto más propenso a la compactación y a la erosión; a esto debe incorporarse el proceso de desertificación, salinización, alcalinización y contaminación de napas subterráneas con plaguicidas y fertilizantes (Pinochet, 2006).

Paralelamente a la disminución de la fertilidad, ha decrecido la actividad biótica edáfica, que depende de la disponibilidad de nutrientes y de la energía aportada por la MO del suelo y de los residuos de los cultivos y de los animales. La diversidad de microorganismos del suelo es un indicador muy sensible de la contaminación y degradación de los ecosistemas.

La biomasa microbiana es un componente lábil de la fracción orgánica del suelo y es muy importante debido a que participa en forma activa en la descomposición de la materia orgánica muerta, representa una importante reserva lábil de nutrientes en el suelo, y es un indicador sensible de los cambios en la materia orgánica total causados por las prácticas de manejo en suelos cultivados (González-Pedraza et al., 2011).

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general:

Evaluar la influencia de cinco sistemas de cultivo sobre el carbono orgánico y algunas variables fisicoquímicas y microbianas del suelo en zonas productoras del municipio de Pamplona, Norte de Santander.

1.4.2. Objetivos específicos:

- Analizar el pH, porcentaje de humedad, textura, densidad aparente y carbono orgánico total en suelos cultivados con fresa, tomate de árbol, arveja, pastos y bosque natural en la vereda Monte dentro en el municipio de Pamplona, Norte de Santander.
- Comparar la respiración del suelo en áreas cultivadas con fresas, tomate de árbol, arveja, pastos y bosque natural en la vereda Monte dentro en el municipio de Pamplona, Norte de Santander.

CAPÍTULO 2

2.1. MARCO DE REFERENCIA

2.1.1. Antecedentes

2.1.1.1 Actividad microbiana en suelos cultivados

El tipo de vegetación afecta la fracción lábil de la MO y la actividad microbiana de los suelos (Álvarez, Álvarez, Grigera y Lavado, 1998). A este respecto, Chen, Condrón, Davis y Sherlock (2004) encontraron una mayor actividad microbiana en suelos bajo bosque que bajo pasto, lo cual fue asociado a un alto contenido de carbono orgánico soluble en agua presente en los exudados y restos de raíces de las plantas del bosque.

2.1.1.2 Efecto de la aplicación de agroquímicos en el suelo

En un Oxisol de los Llanos Orientales de Colombia, en condiciones de campo se evaluó el efecto de la aplicación de agroquímicos sobre los microorganismos presentes en un cultivo de arroz seco. Los agroquímicos evaluados fueron Glifosato, Bispiribac, Azoxystrobin y Malatión, aplicados en dosis comerciales, en un diseño experimental de bloques con medidas repetidas. Para el recuento de microorganismos se tomaron muestras compuestas de suelo rizosférico usando la metodología de transectos. A partir de las muestras fueron realizados conteos microbianos empleando dilución en placa y los datos se analizaron empleando análisis de varianza y prueba de comparaciones múltiples. En los conteos se encontraron bacterias Gram (+), Gram (-), actinomicetos, y los grupos funcionales fijadores de nitrógeno y solubilizadores de fósforo, junto con los hongos *Trichoderma spp.*, *Fusarium spp.* Y *Penicillium spp.* Los hongos, los actinomicetos y los solubilizadores de fósforo fueron los microorganismos más afectados por los agroquímicos, con reducciones en la abundancia. Las bacterias presentaron comportamientos variables dependiendo del agroquímico y los fijadores

de nitrógeno fueron estimulados por los tratamientos. Estos resultados indican que los agroquímicos utilizados en el estudio pueden impactar de diferente manera los microorganismos que se encargan de la descomposición de la materia orgánica (Bedoya et al., 2013).

Otro estudio que aborda los efectos del manejo del suelo sobre la actividad microbiana es el titulado “Evaluación de la actividad microbiana en un suelo bajo cobertura de chocho (*Lupinus mutabilis* L.) En un andisol en Pasto, Nariño”. En este trabajo se cuantificó la actividad de los microorganismos del suelo, a través de la producción de CO₂ en la respiración microbiana, en términos de mg CO₂/ 10 g de suelo. Y en el cual se afirma, que la medida de la actividad microbiana, a través de la producción de CO₂, muestra que esta es mayor en el suelo rizosférico y a medida que se incrementa la dosis de Rafos (Hernández et al., 2012).

2.1.1.3 Evaluación de la calidad de suelos

El Soil Quality Institute define en su documento “Indicators for soil quality evaluation” (1996), lo que es la calidad del suelo y los indicadores para evaluarla. Explica también para que sean utilizados los indicadores y las características que se pueden evaluar con ellos. Ya en el de USDA 1999 en la “Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo” y en la “Guía Práctica para el Estudio Introductorio de los Suelos con un Enfoque Agrícola” de Heriquez et al., (1999), se muestran los métodos para medir o evaluar algunos indicadores en campo o laboratorio como son Infiltración (SQI, 1996).

2.1.1.4. La actividad microbiana CO₂ en suelos cultivados

Las variaciones temporales de la actividad microbiana se relacionaron estrechamente con la disponibilidad de nutrientes (materia orgánica), humedad y aireación.

El suelo desarrollado bajo el sistema boscoso presenta mejores características físicas y biológicas en comparación con terrenos agrícolas con manejo intensivo (Madriñan, 1997).

2.1.1.5. Indicadores de calidad de suelo

La producción de CO₂ se reduce entre más alejado del rizoplaneo de la planta esté el volumen de suelo, debido a una menor influencia de la dinámica rizosférica. La estimación de la respiración del suelo da una idea de la dinámica de su biota y, por lo tanto, de los procesos metabólicos que en él se desarrollan; tales procesos varían en función de factores biofísicos y climáticos del suelo y del uso de la tierra, por lo cual su medición es un indicador de la biomasa microbiana presente (Delgado, 2006).

2.1.1.6. Materia orgánica en suelos cultivados

La materia orgánica de los suelos cultivados se encuentra más humificada que aquella de suelos con vegetación nativa. El incremento en el grado de humificación de la MOS es causado por los regímenes microclimáticos y la ruptura de los agregados del suelo en sistemas de cultivo convencional. A través del tiempo de cultivo disminuyen tanto la cantidad de humus en el suelo como la productividad de los cultivos. Tanto la textura como la D.A. afectan las propiedades físicas del suelo, especialmente la retención de agua y aire necesarios para la mineralización y biosíntesis de la M.O (Salazar et al., 2013).

Un adecuado manejo del suelo puede proveer insumos y activar la microbiota con beneficios para el crecimiento y vigor de los cultivos. En las áreas agrícolas la adición de MO proporciona los elementos esenciales a través de los procesos biogeoquímicos que determinan la fertilidad del suelo. Por tal razón, la decisión de manejo del cultivo de parte del agricultor, al momento de la siembra debe ayudar a promover la actividad microbiana y

proporcionar insumos orgánicos a ésta, ya que es fundamental para un crecimiento vigoroso de las plantas en el período pre-cosecha (Armbrecht et al., 2011).

La calidad de la materia orgánica tiene un efecto significativo en estos procesos, así, una mejor calidad redundará en menor movilidad de cadmio, previniendo contaminación de aguas subterráneas y toxicidad por bioacumulación de cadmio. En la MOH los ácidos húmicos tienen un papel primordial en la retención de Cd, formando enlaces fuertes en sus grupos carboxílicos y fenólicos, con mayor capacidad y fuerza de retención que el resto de fases adsorbentes; mientras que los AF (ácidos fenólicos) movilizan el metal por fenómenos de complejación y solubilización (Realpe et al, 2014).

2.2. Marco contextual

Pamplona es un municipio colombiano, ubicado en el departamento de Norte de Santander. Es la capital de la Provincia de Pamplona y su economía está basada en la gastronomía, la agricultura, el turismo (especialmente el turismo religioso) y la educación (Alcaldía de Pamplona, 2014). Está localizado en la Cordillera Oriental de los Andes colombianos, a una altitud de 2200 msnm, en la zona suroccidental de Norte de Santander. Su extensión territorial es de 1.176 km² y su temperatura promedio de 14 °C. Limita al norte con Pamplonita, al sur con Cúcota y Chitagá, al oriente con Labateca y al occidente con Cucutilla (Figura 1) (Alcaldía de Pamplona, 2014).



Figura 1. Ubicación geográfica del municipio Pamplona, Norte de Santander.

Fuente: <https://www.google.com.co/maps/search/google+maps/@7.3730793,-72.656141,15z>

2.2.1 División político- administrativa

Administrativamente Pamplona está compuesta por 2 corregimientos y 30 veredas. Cuenta con dos ríos: Pamplonita y Sulasquilla, y sus respectivos afluentes: El Alisal, La Ramada, Quelpa, San Agustín, Monteadentro y La Lejía (Alcaldía de Pamplona, 2014).

Está conformada por las siguientes veredas: Cariongo, Alto Grande, Caima, Alizal, Santa Ana, El Rosal, Ulagá, Fontibón, Monteadentro, El Zarzal, Navarro, San Agustín, Chínchipa, Chilagaula, Peñas, Cúnuba, Tampaqueba, Iscaligua, Cimitarigua, García, Chíchira, Jurado, Escorial, Sabaneta, el Palchal, Llano Castro, Tencalá, San Francisco, Sabagúa, Alcaparral (Alcaldía de Pamplona, 2014).

2.2.2 Topografía

El municipio está situado sobre la cordillera Oriental, en la bifurcación del gran Nudo de Santurbán donde se divide en dos ramales: uno que toma la dirección nororiental hacia

territorio venezolano y otro que se dirige al noroeste a formar la serranía de los Motilones (Alcaldía de Pamplona, 2014).

2.2.3 Economía rural

La principal fuente de la economía en el sector rural del municipio de Pamplona es la agricultura (64,32%), seguida de la ganadería (0,41%) y en menor proporción el suministro de mano de obra para actividad agropecuaria (17,43%) (Figura 2). (Censo rural, Pamplona, 2013)

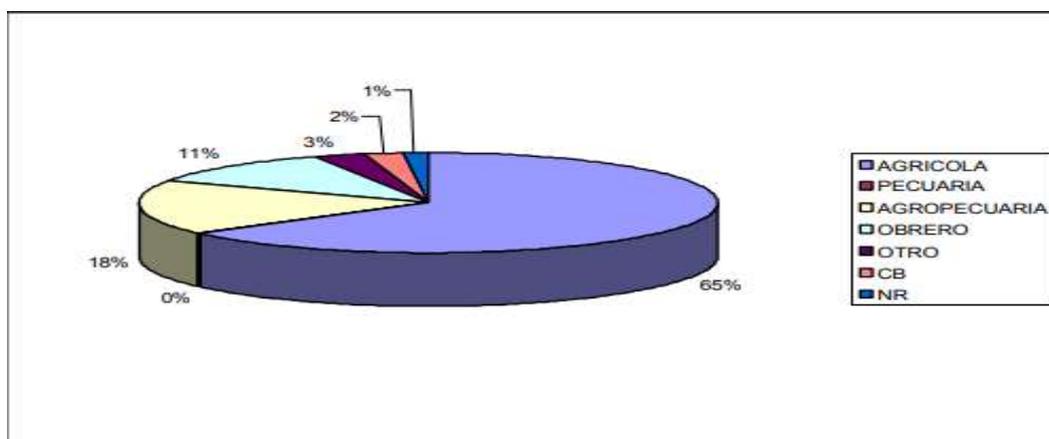


Figura 2. Distribución de las actividades productivas del sector rural en el municipio Pamplona.

Fuente: (Censo rural, Pamplona, 2013)

2.2.4. Actividad agrícola

En la actualidad, la principal actividad económica en el municipio de Pamplona es la agricultura, dedicada especialmente a los cultivos de papa, morón, maíz, hortalizas, arracacha, curuba, arveja, frijol y fresa. En menor escala se encuentran cultivos como café, caña, tomate de árbol, cebolla junca y breve (Censo rural, Pamplona, 2013).

El cultivo de papa con (293 ha), es el de mayor extensión en el municipio, seguido por el de hortalizas (76,9 ha), maíz (75,2 ha), arracacha (62,7 ha) y arveja (42,2 ha). El morón ocupa el primer renglón de la actividad frutícola con (140,5 ha), seguido por la curuba con (52,8 ha), fresa con (21,3 ha) y tomate de árbol con (14 ha) (Censo rural, Pamplona, 2013).

La explotación de estos productos es casi en su totalidad de tipo tradicional, los sistemas de producción son manuales como el chorrillo (papa, maíz, fríjol, arveja) y trasplante (frutas y hortalizas). Se utiliza semilla reservada (cosecha anterior), sin criterios técnicos de selección, desinfección y almacenamiento, lo que incrementa la incidencia de plagas y enfermedades, pérdida de calidad genética y disminución de rendimiento (FAO, 2015).

2.3. Marco teórico

2.3.1. Fresa (*Fragaria L.*)

El origen del género *Fragaria* no está bien definido. No obstante, este género agrupa unos 400 taxones descritos de los cuales 20 están reconocidos. En la actualidad, las variedades comerciales son híbridos de *F. chiloensis*, de origen chileno y *F. virginiana* del Este de Norteamérica (*fragaria x ananassa*). Se trata de una planta herbácea, perenne y de porte rastrero (Infoagro, 2015).

El rango óptimo de temperatura durante la fructificación debe oscilar en torno a los 15-20°C de media anual. Temperaturas por debajo de 12°C durante el cuajado dan lugar a frutos deformados por el frío. Un periodo prolongado de tiempo muy caluroso (>25°C), puede originar una maduración y coloración del fruto demasiado rápida, lo cual le impide adquirir un tamaño adecuado para su comercialización. No obstante, el fresón necesita acumular una serie de horas-frío, con temperaturas por debajo de 7°C, para que su vegetación y fructificación sea abundante (Infoagro, 2015).

El rango óptimo de humedad relativa oscila entre el 65 y 70%. Si la presencia de humedad es excesiva, favorece la presencia de enfermedades, mientras que, si es deficiente, provoca daños en la producción (Infoagro, 2015).

2.3.2. Cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.)

La arveja (*Pisum sativum*, L.) es una planta leguminosa de la familia *Fabaceae*, domesticada por el hombre desde tiempos muy antiguos, según hallazgos arqueológicos realizados en Tailandia, Irak y Suiza que datan entre 10.000 y 3.000 años antes de Cristo (Dane, 2015).

El cultivo de arveja (*Pisum sativum*, L.) se desarrolla bien en los pisos térmicos fríos y medios con alturas sobre el nivel del mar entre 1.800 2.800 metros, temperatura promedio entre 13°C y 18°C. Para el adecuado establecimiento del cultivo se recomienda terrenos con buen drenaje para evitar encharcamientos donde solo se desarrollan plantas raquílicas con amarillamiento prematuro y poca capacidad de carga. El requerimiento hídrico es de 250 a 380 milímetros de agua con mayor demanda en las etapas de crecimiento y floración. Se requiere preferiblemente suelos sueltos, profundos, con buen contenido de materia orgánica y pH entre 5,5 y 6,8 (Barrero et al., 2018).

2.3.3 Cultivo de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.)

El tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.), también conocido como tomate de palo, tomate cimarrón, y contragallinazo, pertenece a la familia de las solanáceas. Es una planta originaria de los Andes Peruanos, dispersa en otros países de la región andina como Chile, Ecuador, Bolivia, Brasil y Colombia. También se cultiva en las zonas montañosas de África, India y Australia. Los frutos del tomate de árbol se han hecho tan populares que en Nueva

Zelanda han desplazado al kiwi fruit, lo que demuestra el potencial internacional de esta fruta (Villegas, 2009).

Es una planta de climas templados y fríos. Su temperatura está entre los 14° y 20°C, siendo la óptima entre 16° y 19°C. No necesita gran humedad relativa (zonas altas de clima seco). Esta planta se desarrolla en altitudes que varían de 1000 a 3000 msnm. En altitudes inferiores a los 1000 m la fructificación es menor, ya que durante la noche la temperatura no es lo suficientemente baja. No tolera vientos fuertes porque produce la caída de las flores, rotura de las ramas y destrucción de las hojas (Villegas, 2009).

El cultivo de tomate de árbol se desarrolla óptimamente en suelos con textura media franca a franco arenosa, permeables, profundos y con buen contenido de materia orgánica y que no presenten altos contenidos de arcilla o arena. Se adapta bien a suelos ligeramente ácidos, con un pH entre 5,5 y 6,5 (Gobernacion de Huila, 2006). El cultivo no tolera suelos compactados y sin oxigenación. El drenaje debe ser adecuado considerando que la presencia de encharcamientos puede matar la planta en pocos días (Bonnet et al., 2012).

2.3.4 Explotación pecuaria en Pamplona

La explotación pecuaria en el municipio de Pamplona se realiza en forma tradicional, utilizando praderas naturales, con predominio de especies como kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), falsa poa, (*Holcus lanatus*) yaragua, (*Hyparrhenia rufa*) existe mejoramiento genético. La mayoría de las explotaciones son de doble propósito (Censo rural, Pamplona, 2013).

Para mejorar la producción ganadera se hace necesario implementar programas de mejoramiento de praderas con implementación de mezclas adecuadas de gramíneas y leguminosas, para luego pasar a un programa de inseminación artificial logrando así un

mejoramiento genético incrementando las producciones y por ende haciendo más productivo el sector pecuario (Alcaldía municipal de Pamplona, 2001).

Según Cuesta et al, (2017) en los suelos tropicales con ganadería el pisoteo produce una presión aproximada de 9 kg/cm^2 (según origen del suelo y la localización en el perfil); el parámetro más utilizado para cuantificarla es la densidad aparente, es de utilidad en términos porcentuales a partir de mediciones estandarizadas, igualmente está relacionada con el contenido de humedad y correlaciona inversamente con porosidad y propiedades hidráulicas del suelo.

Esta evaluación concreto el problema de como el pisoteo del ganado afecta las condiciones de vida de los demás animales. En este sentido, se halla la posibilidad de que la ganadería puede jugar un papel importante en el mantenimiento de la fertilidad del suelo, sobre terrenos pequeños o cerrados, más en grande extensión lo que se tiene es un efecto perjudicial tanto para el suelo como para los mismos animales del hato. De lo mencionado, los efectos adversos sobre el suelo los dividiremos de acuerdo a su origen directo del animal por pisoteo y excreciones) e indirecto (del hombre sobre el terreno para el establecimiento de la ganadería, así como de lo que le aporta al animal (Chaparro, 2005).

2.3.5 Carbono orgánico del suelo

El carbono orgánico del suelo (COS) es un componente importante del ciclo global del C, ocupando un 69,8 % del C orgánico de la biosfera (FAO, 2001). El suelo puede actuar como fuente o reservorio de C dependiendo de su uso y manejo. Se estima que desde que se incorporan nuevos suelos a la agricultura hasta establecer sistemas intensivos de cultivo se producen pérdidas de COS que fluctúan entre 30 y 50% del nivel inicial (Martínez et al., 2008).

El C orgánico del suelo se encuentra en forma de residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos, en forma de humus y en formas muy condensadas de composición próxima al C elemental (Jackson M. , 1964). En condiciones naturales, el C orgánico del suelo resulta del balance entre la incorporación al suelo del material orgánico fresco y la salida de C del suelo en forma de CO_2 a la atmósfera, erosión y lixiviación (Aguilera, 2000).

2.3.6. Importancia de la materia orgánica

La materia orgánica es un indicador clave de la calidad del suelo, ya que en ella ocurren procesos microbiológicos que pueden aportar nutrientes para las plantas. Gracias al contenido de materia orgánica, los suelos presentan estabilidad en su estructura y se incrementa su capacidad de infiltración y la disponibilidad de agua para las plantas (Hernández et al, 2000).

El contenido de carbono y la capacidad para fijar CO_2 en los suelos áridos son muy bajos, pero gracias a las grandes extensiones que ocupan estos suelos, se puede llegar a tener una gran contribución en la captura de carbono y al mismo tiempo evitar la desertificación. Los suelos tropicales también requieren atención y medidas de conservación, ya que por ser abundantes en biomasa suelen deforestarse para explotar sus recursos maderables o emplearse para la agricultura intensiva, lo que ha provocado su infertilidad (Hernández et al, 2000).

2.3.7. Actividad microbiana de los suelos

La actividad microbiana es determinante de la ganancia o pérdida de fertilidad de los suelos y también de la velocidad con que se puede restaurar un suelo deteriorado, y si es que en efecto, puede restaurarse.

La población microbiana juega un papel muy importante dentro del suelo con relación a la nutrición de la planta, al respecto Garza et al., (2000) mencionan que los hongos micorrícicos son responsables del aumento en la capacidad de exploración del suelo por la raíz e incluso sirven como órgano de absorción de la planta, ya que se presenta una protección física contra la entrada de patógenos a la raíz y por ende, a la planta; otro ejemplo de estas interacciones planta-microorganismos, lo constituye la fijación biológica de nitrógeno, en la cual bacterias del género *Rhizobium*, en las leguminosas, contribuyen a la conversión del nitrógeno atmosférico a compuestos nitrogenados que son asimilables por las plantas y que se refleja en la ganancia de biomasa de éstas (Cano, 2011).

La biomasa microbiana ha sido considerada como un indicador de cambios en la materia orgánica del suelo por lo que resulta muy útil para estudiar la respuesta del suelo con cultivo ecológico ante aportes orgánicos de distinta naturaleza. El contenido en Carbono de Biomasa Microbiana refleja el tamaño de la población microbiana total del suelo. Este índice ha sido frecuentemente estudiado porque responde de forma muy rápida y sensible a los cambios que se producen en el suelo y a la vez está influenciada por diversos factores tales como humedad, temperatura, luz, contenido en materia orgánica y tratamiento agrícola. Con respecto a otros parámetros microbiológicos de calidad, que nos dan información sobre el tamaño y actividad de la población microbiana, podemos citar el ATP que nos informa sobre que parte de la biomasa microbiana está activa (Hernández y González, 2009).

Los microorganismos del suelo respiran continuamente, por lo que la tasa de respiración de éstos es utilizada como un indicador fiable de su tasa de crecimiento. En este sentido, todos aquellos factores que afectan el crecimiento de la población microbiana también influyen en su respiración. Las tasas de descomposición y liberación de nutrimentos están determinadas por la calidad de la materia orgánica (Hernández y González, 2009).

2.3.8. Respiración del suelo

La respiración de un suelo da la medida de las emisiones de Carbono ($C - CO_2$), procedentes principalmente de la descomposición de la materia orgánica a través de la vía aerobia (respiración microbiana), la procedente de raíces del césped y fauna del suelo, e incluso de la disolución de los carbonatos. Es una medida de la salud del suelo pues nos da el nivel de actividad microbiana, contenido de materia orgánica y su mineralización. La medida de liberación de $C - CO_2$ se da en kg/ha/d. En este proceso, fósforo orgánico, nitrógeno y Azufre pasan a formas inorgánicas. Este proceso también se conoce como mineralización carbónica (Guerrero-Ortíz et al., 2012).

Las tasas de respiración del suelo han sido medidas en gran variedad de ecosistemas con el fin de evaluar la actividad microbial, el reciclaje de nutrientes, los flujos de carbono y energía, la dinámica de las raíces, y otros procesos que tienen lugar allí. La respiración del suelo representa uno de los flujos más grandes dentro del ciclo global, del carbono: 55 Petagr C año⁻¹ (1 Pg = 10¹⁵g), lo cual equivale a 9-10 veces la cantidad que se emite por la quema de combustibles fósiles. Lo anterior sugiere que pequeños cambios en la magnitud de la respiración del suelo a nivel global, podrían tener un enorme efecto sobre la concentración de CO_2 en la atmósfera (Palacio et al., 2008).

CAPÍTULO 3

3.1. MARCO LEGAL

3.1.1 Reglamento Estudiantil, Universidad de Pamplona. Acuerdo No. 186.

Por el cual compila y actualiza el Reglamento Académico Estudiantil de Pregrado de la Universidad de Pamplona. **CAPÍTULO VI. TRABAJO DE GRADO.**

3.1.2 Artículo 35

Definición de Trabajo de Grado: En el Plan de Estudios de los programas, la Universidad establece como requisito para la obtención del título profesional, la realización por parte del estudiante, de un trabajo especial que se denomina “TRABAJO DE GRADO”, por medio del cual se consolida en el estudiante su formación integral, que le permite: a. Diagnosticar problemas y necesidades, utilizando los conocimientos adquiridos en la Universidad. B. Acopiar y analizar la información para plantear soluciones a problemas y necesidades específicas. C. Desarrollar planes y ejecutar proyectos, que le permitan demostrar su capacidad en la toma de decisiones. D. Formular y evaluar proyectos. E. Aplicar el Método Científico a todos los procesos de estudio y decisión.

3.1.3 Artículo 36.

Modalidades de Trabajo de Grado: El Trabajo de Grado, puede desarrollarse en las siguientes modalidades: Investigación: comprende diseños y ejecución de proyectos que busquen aportar soluciones nuevas a problemas teóricos o prácticos, adecuar y apropiar tecnologías y validar conocimientos producidos en otros contextos. Para los estudiantes que se acojan a esta modalidad, deberá presentar al Director de

Departamento el anteproyecto que debe contener: propuesta para la participación en una línea de investigación reconocida por la Universidad, tutor responsable del Trabajo de Grado y cronograma, previo estudio y aprobación de la misma, del respectivo Grupo de Investigación.

CAPÍTULO 4

4.1. METODOLOGIA

4.1.1 Descripción del área de estudio

El estudio se llevó a cabo en diferentes parcelas con suelos cultivados con fresa, tomate de árbol, arveja, pastos y bosque natural de algunas zonas productoras en el municipio de Pamplona, Norte de Santander.

4.1.2 Diseño del experimento

Se realizó una toma de muestras empleando el método sistemático, en donde cada parcela de cultivo se delimitó un área de 1000 m² (20 m x 50 m) y se tomaron de forma aleatoria 5 muestras de suelos de los primeros 10 cm superficiales que es donde se concentra el mayor volumen de raíces y ocurre la mayor actividad microbiana.

4.1.3 Tipo de cultivos a evaluar

Se seleccionaron cinco tipos de cultivos: fresa, tomate de árbol, arveja, pastos y bosque natural con el fin de evaluar el impacto de cada uno de estos sistemas sobre el carbono orgánico total y la respiración del suelo aunado a algunas variables físicas y químicas como son la textura, la humedad, la densidad aparente y el pH.

4.1.4 Toma de muestras de suelos

En cada parcela se tomaron cinco muestras simples de suelo a la profundidad de 0-10 cm con la ayuda de un barreno. Estas muestras se colocaron en una bolsa plástica de 2 kg con cierre hermético, se identificaron y se llevaron inmediatamente al laboratorio de suelos

agrícolas de la Universidad de Pamplona donde se procedió a realizar los análisis físicos, químicos y biológicos. Para determinar la densidad aparente aparte del muestreo descrito arriba, se tomaron muestras de suelos no perturbadas con la ayuda de unos cilindros de 5 cm altura y 5 cm de diámetro (Anexo 1-2).

4.1.5. Variables de estudio

Las variables de estudio evaluadas fueron:

4.1.5.1. Propiedades físicas

4.1.5.1.1. Textura

Se determinó mediante el método del hidrómetro, descrito por Gee y Bauder (1986). Los suelos se tamizaron por el tamiz de malla >2mm y se pesó un volumen de 40 gramos de suelos al que se le adicionó 100 ml de agua destilada y 100 ml de una solución dispersante de hexametáfosfato de sodio (50 g de hexametáfosfato en 1000 ml de agua destilada), se agitó durante 5 minutos en una batidora mecanizada. La mezcla fue transferida a un cilindro graduado de 1 litro, para hacer las determinaciones de las fracciones de suelo arena, limo y arcilla con el uso del hidrómetro. La primera lectura se realizó a los 40 segundos para determinar las arenas. La una segunda medición a las cinco horas con el fin de cuantificar el porcentaje de arcilla del suelo. Por diferencia entre ambas medidas se obtuvo el porcentaje de limo (Anexos 3-6).

4.1.5.1.2. Porcentaje de humedad (%H)

Se determinó siguiendo el método gravimétrico propuesto por Gardner (1986). Este método consistió en pesar una muestra de suelo a humedad de campo, se secó en la estufa a 105 °C durante 48 horas y luego fue pesada nuevamente. El %H se obtuvo dividiendo la diferencia entre la masa de suelo seco y húmedo entre la masa de suelo seco. Al multiplicar

este valor por 100, se obtuvo el porcentaje de agua en la muestra de suelo seco. Durante el muestreo de campo, las muestras de suelo se pesaron inmediatamente después de ser colectadas, y luego se llevaron al laboratorio para cumplir con el procedimiento antes descrito (Anexos 7-8).

4.1.5.1.3. Densidad aparente (Da)

Se siguió el método del cilindro (Uhland) (Blake y Hartge, 1986), el cual consiste en la obtención de muestras de suelo no perturbadas mediante el uso de cilindros de diámetro y altura conocido. A las muestras se les determinó el porcentaje de humedad en el horno a 105°C donde se obtuvo el valor de peso seco. Los datos fueron expresados en g cm^{-3} (Anexos 9-10).

4.1.5.2 Propiedades químicas

4.1.5.2.1 pH

Se determinó usando el método electrométrico (Mclean 1982). Este método comprendió el uso de un par de electrodos de vidrio, uno de estos era sensible a los iones hidrógeno (H^+) y el otro electrodo fue usado como referencia. Se preparó una solución acuosa con 10 g de suelo y 20 ml de agua desmineralizada (relación 1:2 de suelo y agua), esta solución se agitó manualmente, se dejó en reposo por 30 minutos y se midió el pH en el sobrenadante (Anexo 11).

4.1.5.2.2 Carbono orgánico total

La determinación del carbono orgánico total se realizó por el método de pérdidas de peso por ignición o calcinación. El método de calcinación o pérdida de peso por ignición (PMOI), cuantifica el contenido de MO a partir de diferencias gravimétricas, luego de ser sometida la

muestra a temperaturas elevadas durante un determinado tiempo (David, 1988). Las muestras de suelo previamente secadas a la estufa a 105°C se introdujeron en una mufla a 450 °C por 6 horas (Anexos 12-13). El cálculo del porcentaje de materia orgánica se hizo mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{PMOI} = \frac{(\text{Peso a } 105^\circ \text{C}) - (\text{Peso a } 450^\circ \text{C})}{(\text{Peso a } 105^\circ \text{C})} * 100$$

4.1.5.3. Propiedades biológicas

4.1.5.3.1 Respiración del suelo

La determinación de la respiración basal se realizó siguiendo el método colorimétrico de incubaciones estáticas de Alef (1995), con el que se mide el desprendimiento de CO₂ por la actividad microbiana del suelo durante un tiempo determinado y bajo condiciones controladas en el laboratorio. Para ello se pesaron 20 g de suelo sin tamizar, a la humedad de campo, y se colocaron en frascos de vidrio con tapa hermética de 500 ml. Dentro de cada frasco se colocó un frasco con 15 ml de una solución de hidróxido de sodio (NaOH) 0,1 N, con el fin de atrapar el CO₂ liberado. Los frascos ya sellados se colocaron en la oscuridad a la temperatura del laboratorio (22±2 °C) durante 24 horas. Posteriormente, se tituló con la solución de hidróxido de sodio (NaOH) 0,1 N con ácido clorhídrico estandarizado (HCl) 0,1 N, previa precipitación de los carbonatos con una solución de cloruro de bario (BaCl₂) 0,5 N (Anexos 14-16).

4.1.6. Análisis estadístico

Se aplicó un análisis de varianza de un factor para evaluar la influencia de cinco diferentes sistemas de cultivo o tipo de vegetación sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos. Cuando éste fue significativo (p<0,05) se aplicó una prueba de Tukey para

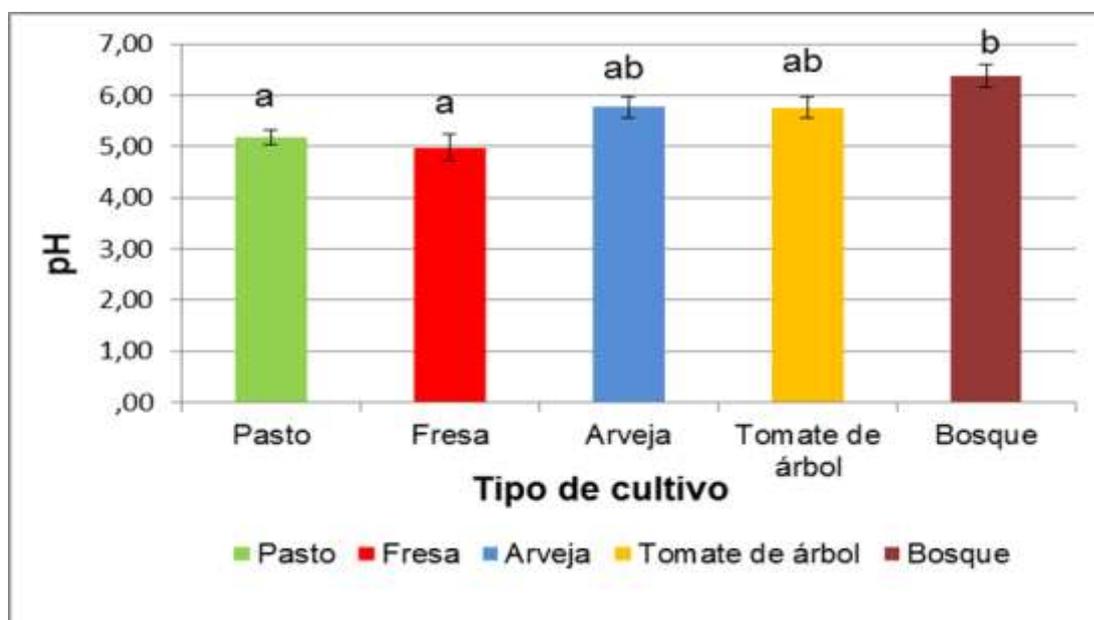
comparaciones múltiples de medias entre los sistemas de cultivo, con el fin de observar las diferencias significativas entre pares individuales de medias. Se utilizó el paquete estadístico SPSS versión 21.

CAPÍTULO 5

5.1. Análisis y resultados

5.1.1 pH de los suelos

De acuerdo con los resultados presentados en la figura 3, se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los cultivos de pasto y fresa con el bosque natural, siendo este último el que presentó el pH más alto. En cuanto a los cultivos no se encontraron diferencias significativas entre ellos ($p > 0,05$). Las diferentes muestras de suelo presentaron valores de pH que oscilaron entre los 4,98 y 6,38 a una profundidad de 0-10 cm. Estos valores permiten caracterizar el pH de estos suelos como ácidos y moderadamente ácidos.



Columnas con valores promedios y barras con error típico acompañado de letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tipos de cultivos. Fuente: Elaboración propia.

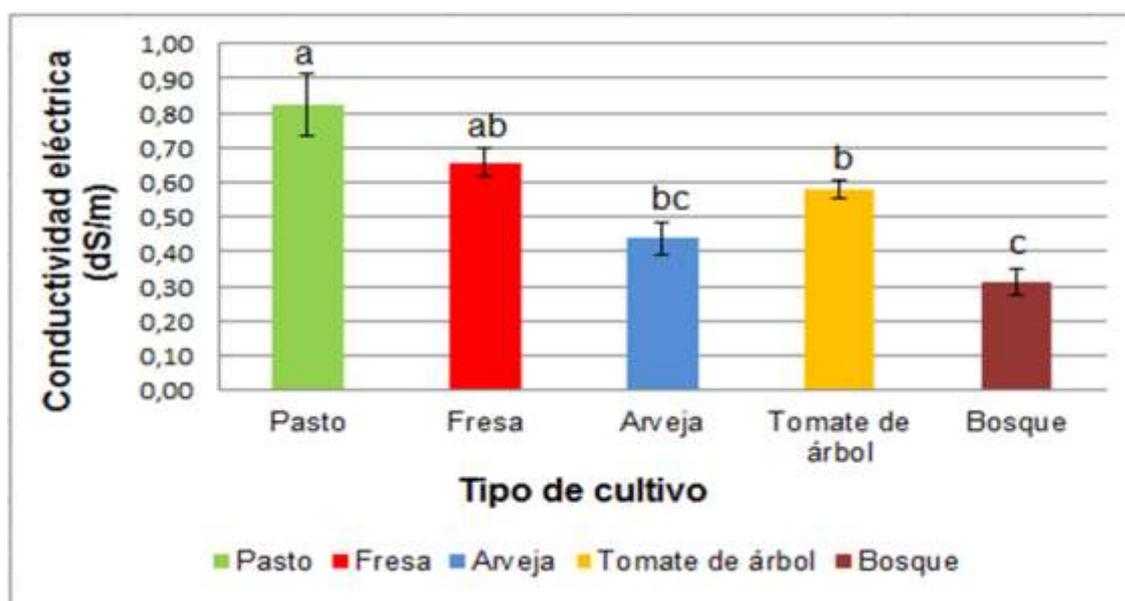
Figura 3. Comparación del pH de los suelos entre los diferentes cultivos evaluados en el municipio de Pamplona, Norte de Santander.

El pH es considerado como una de las principales variables en los suelos, ya que controla muchos procesos químicos que en este tienen lugar. Afecta específicamente la disponibilidad de los nutrientes de las plantas, mediante el control de las formas químicas de los nutrientes. El rango de pH óptimo para la mayoría de las plantas oscila entre 5,5 y 7,0 sin embargo muchas plantas se han adaptado para crecer a valores de pH fuera de este rango.

Las plantas que crecen en suelos ácidos pueden experimentar una variedad de síntomas que incluyen la toxicidad por el aluminio (Al), hidrógeno (H), y/o manganeso (Mn), así como las deficiencias de nutrientes potenciales de calcio (Ca) y magnesio (Mg) (Intagri, 2001).

5.1.2 Conductividad eléctrica

En la figura 4 se muestran los datos de la conductividad eléctrica del suelo de los diferentes cultivos estudiados. Se puede observar que la conductividad eléctrica en el cultivo de pasto fue significativamente más alta ($p < 0,05$) que en los demás cultivos, con excepción del cultivo de fresa los cuales no presentaron gran diferencia entre sí, El menor valor de conductividad eléctrica se encontró en los suelos del bosque y solamente fue igual a la encontrada en el cultivo de arveja.



Columnas con valores promedios y barras con error típico acompañado de letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tipos de cultivos. Fuente: Elaboración propia

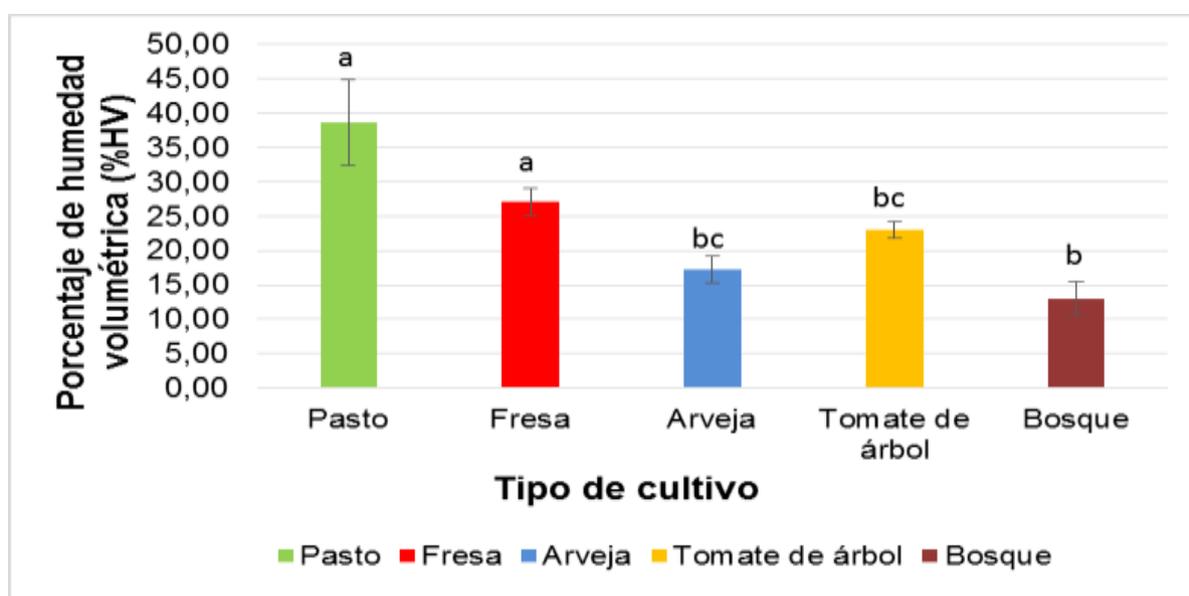
Figura 4. Comparación de la conductividad eléctrica de los suelos entre los diferentes cultivos evaluados en el municipio de Pamplona, Norte de Santander

La CE mide la capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica al aprovechar la propiedad de las sales en la conducción de esta; por lo tanto, la CE mide la concentración de sales solubles presentes en la solución del suelo.

5.1.3 Porcentaje de humedad (%H)

5.1.3.1 Humedad volumétrica

Como se puede observar en la figura 4, hubo diferencias altamente significativas entre los cultivos para la variable de humedad volumétrica, los valores más altos ($p < 0,05$) se encontraron en los cultivos de pasto y fresa con respecto a los demás cultivos estudiados, en los cultivos de arveja y tomate de árbol no hubo diferencias ($p > 0,05$) y el valor más bajo se encontró en bosque natural. Estos valores oscilaron entre 13,02 y 38,64% para una profundidad de 0-10cm.



Columnas con valores promedios y barras con error típico acompañado de letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tipos de cultivos. Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Comparación del porcentaje de humedad volumétrica de los suelos entre los diferentes cultivos evaluados en el municipio de Pamplona, Norte de Santander

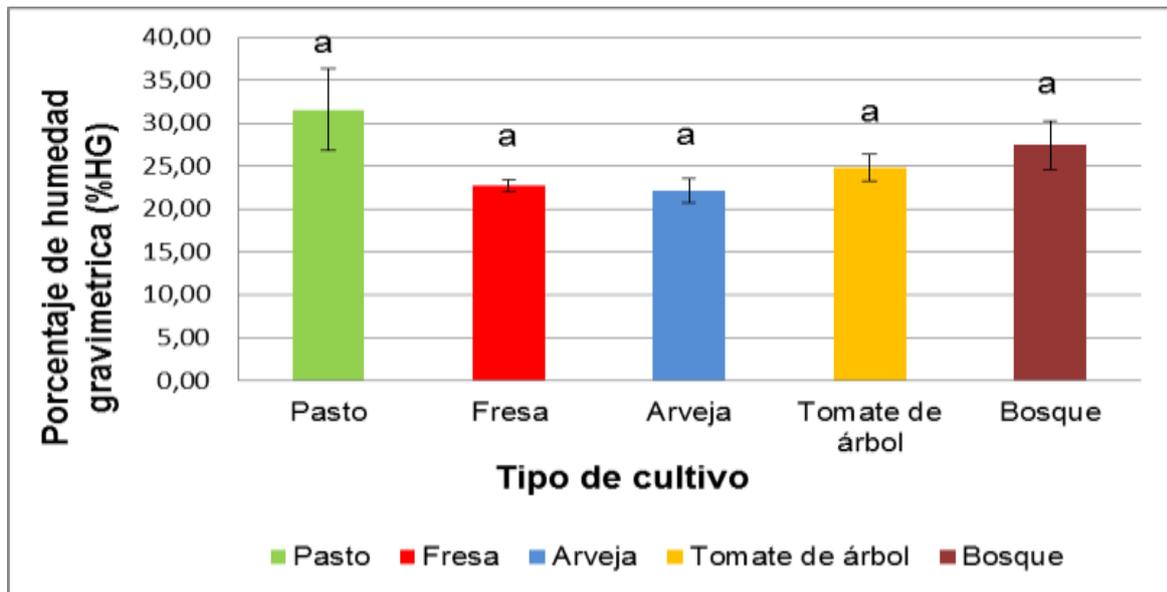
El contenido de humedad del suelo influye significativamente en todos los procesos microbiológicos y químicos que en él ocurren, debido al efecto que tiene sobre la disolución y difusión de solutos y sobre el crecimiento y actividad microbiana (Tate, 2000). Ese contenido de humedad está determinado por factores como textura, estructura, densidad aparente y contenido de materia orgánica (Brady y Weil 1999).

Es preciso recordar que la humedad volumétrica se refiere al volumen total de agua del suelo, es la propiedad que prácticamente determina las demás propiedades de éste, es decir, establece condiciones favorables o desfavorables en la medida que aumente o disminuya.

Es posible que el menor porcentaje de humedad encontrado en el bosque esté más relacionado con el mayor porcentaje de arena de esos suelos. Para el caso del pastizal, este cultivo presenta una mayor cobertura vegetal y una masa de raíces más densas que le permite retener más agua.

5.1.3.2 Humedad gravimétrica

En la humedad gravimétrica no se obtuvieron diferencias significativas entre los cultivos estudiados ($p > 0,05$), en ésta se obtuvieron valores que oscilan entre 22,20 y 31,56 %, como se puede observar en la figura 5, los valores determinados para esta variable fueron altos en todos los cultivos, lo cual indica que las muestras que fueron analizadas contenían fracciones de arcilla, lo que contribuye al aumento de la humedad en la capa superior del suelo.



Columnas con valores promedios y barras con error típico acompañado de letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tipos de cultivos. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6. Comparación del porcentaje de humedad gravimétrica de los suelos entre los diferentes cultivos evaluados en el municipio de Pamplona, Norte de Santander.

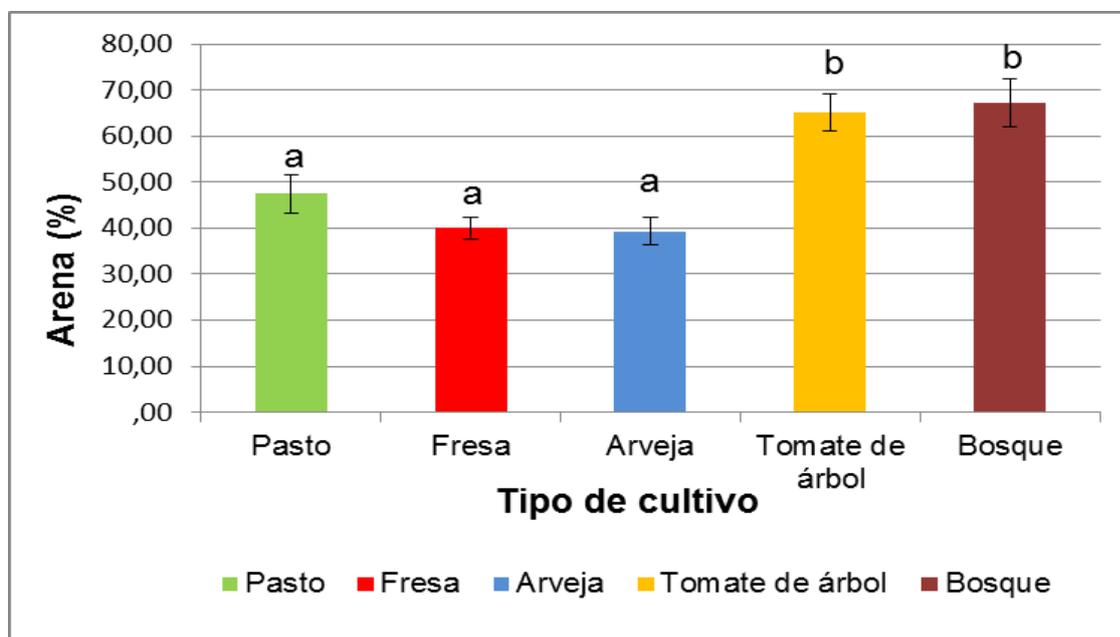
La humedad del suelo se puede expresar gravimétricamente con base en la masa o volumétricamente con base en el volumen. La humedad gravimétrica es la forma más básica de expresar la humedad del suelo calculando los porcentajes de volumen total de humedad del suelo.

En el suelo influyen muchas propiedades físicas como la densidad aparente y espacios porosos, la humedad del suelo es muy dinámica y depende del clima y la vegetación como también de las profundidades del suelo.

5.1.4 Textura

El porcentaje de arena, limo y arcilla del suelo de los diferentes cultivos estudiados se muestran en las figuras (7, 8 y 9). En la gráfica 7 se puede apreciar que los valores de arena se encuentran entre el 39,30 y 67,18 %, para una profundidad de 0-10cm, de los cuales se

encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en los cultivos de pasto, fresa y arveja con respecto a los otros dos cultivos, en tomate de árbol y bosque no se observaron diferencias significativas entre sí ($p > 0,05$).

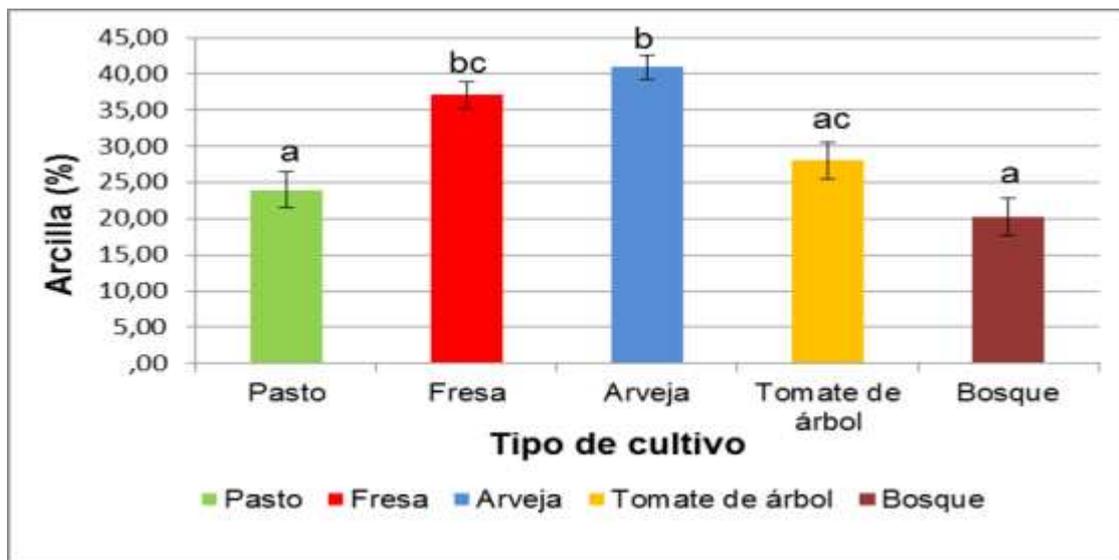


Columnas con valores promedios y barras con error típico acompañado de letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tipos de cultivos.

Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Comparación del porcentaje de arena de los suelos entre los diferentes cultivos evaluados en el municipio de Pamplona, Norte de Santander.

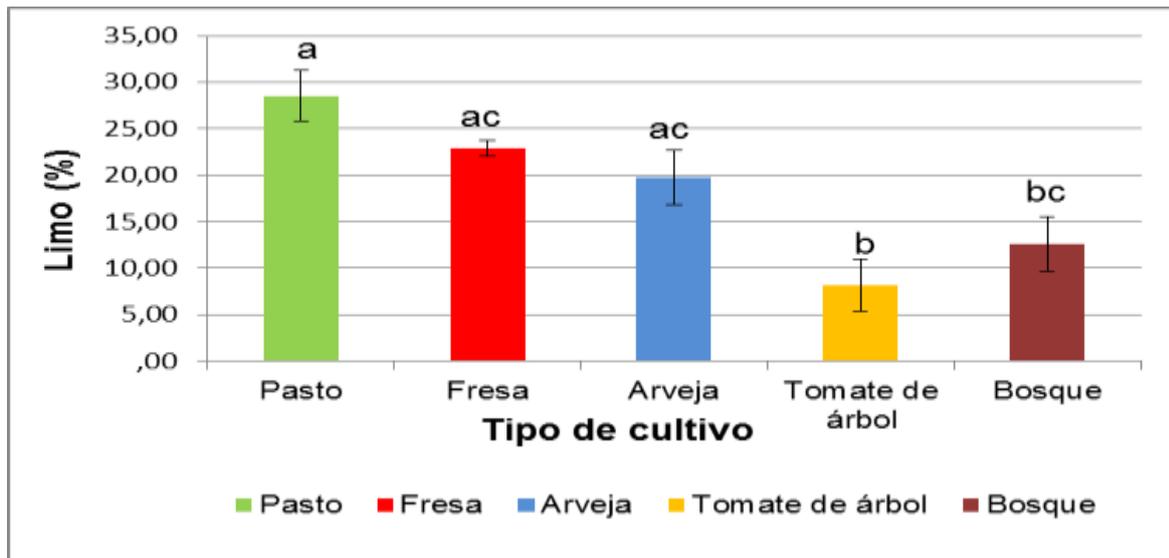
En la figura 8 se muestran los porcentajes de arcilla que se obtuvieron en los análisis, en estos resultados se puede apreciar que hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) en el cultivo de arveja con respecto a los demás, a excepción del cultivo de fresa, los cuales no mostraron mucha diferencia entre sí, en los cultivos de bosque y pasto no hubo diferencia significativa ($p > 0,05$), mientras que en el cultivo de tomate de árbol hubo una diferencia altamente significativa ($p < 0,05$) con respecto al valor que se obtuvo en el cultivo de arveja. Los valores de arcilla oscilaron entre 20,24 y 40,98% a una profundidad de 0-10cm.



Columnas con valores promedios y barras con error típico acompañado de letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tipos de cultivos. Fuente: Elaboración propia.

Figura 8. Comparación del porcentaje de arcilla de los suelos entre los diferentes cultivos evaluados en el municipio de Pamplona, Norte de Santander.

En la figura 9 se muestran los valores del porcentaje de limo que se obtuvieron en los análisis realizados, en dichos valores puede observar que el porcentaje de limo en el cultivo de pasto fue significativamente alto ($p < 0,05$) con respecto al resto de cultivos, en tomate de árbol fue estadísticamente el porcentaje más bajo ($p < 0,05$) en relación con los demás cultivos, en los cultivos de fresa y arveja no hubo diferencia significativa entre ellos ($p > 0,05$), mientras que en bosque natural y tomate de árbol si se pueden apreciar diferencias, siendo un poco mayor el porcentaje de limo en bosque natural. Los porcentajes de limo estuvieron entre 8,16 y 28,46%.



Columnas con valores promedios y barras con error típico acompañado de letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tipos de cultivos.

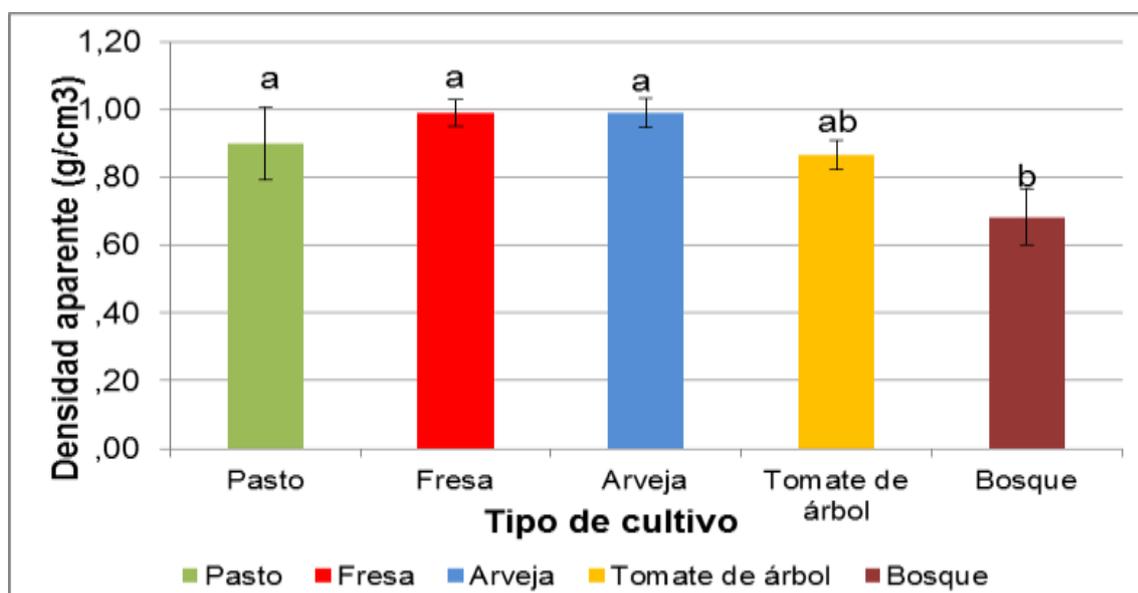
Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Comparación del porcentaje de limo de los suelos entre los diferentes cultivos evaluados en el municipio de Pamplona, Norte de Santander.

De acuerdo con la clasificación textural y los resultados obtenidos en las muestras de estudio, estos suelos presentan en su mayoría texturas franco arcillo arenoso. La textura indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño, como la arena, el limo y la arcilla, en el suelo. La textura tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa. La textura es una propiedad que afecta significativamente el comportamiento de los suelos, especialmente la dinámica de los nutrientes. Suelos con altos contenidos de arcilla presentan una mayor capacidad de retener agua y nutrientes y tienden a ser más fértiles. Esta propiedad anudada a los altos porcentajes de materia orgánica le confiere al suelo una mayor capacidad de amortiguamiento ante posibles perturbaciones (FAO, 2016).

5.1.5 Densidad aparente D_a (g/cm^3)

Con respecto a la densidad aparente (figura 10), podemos observar que el valor más bajo se obtuvo en bosque natural con respecto a los demás cultivos estudiados, a excepción del tomate de árbol los cuales no tienen diferencias significativas entre sí ($p > 0,05$). Entre el resto de cultivos no se observaron diferencias ($p > 0,05$). Lo cual indica que las raíces de las plantas tendrán un buen crecimiento, teniendo en cuenta que para suelos con textura franco arcillo arenoso la densidad aparente ideal es $< 1,4 \text{ g}/\text{cm}^3$. Los valores de la densidad aparente en las muestras estudiadas oscilaron entre $0,68$ y $0,99 \text{ g}/\text{cm}^3$.



Columnas con valores promedios y barras con error típico acompañado de letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tipos de cultivos. Fuente: Elaboración propia.

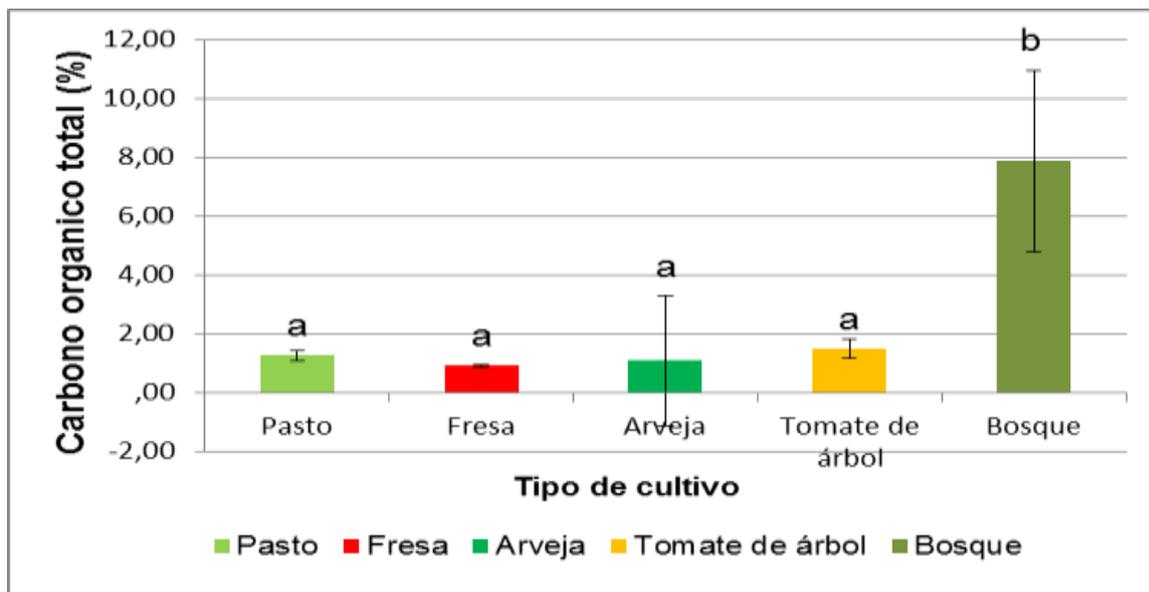
Figura 10. Comparación de la densidad aparente de los suelos entre los diferentes cultivos evaluados en el municipio de Pamplona, Norte de Santander.

Mediante la determinación de la densidad se puede obtener la porosidad total del suelo. Se refiere al peso por volumen del suelo. La densidad aparente es un parámetro muy

importante para describir la calidad del suelo y la función del ecosistema. Los valores de densidad aparente altos expresan un ambiente pobre para el crecimiento de raíces, aireación reducida y cambios indeseables en la función hidrológica como reducción de la velocidad de infiltración del agua. La densidad aparente depende de la materia orgánica, la textura del suelo, la densidad de las partículas minerales del suelo (arena, limo y arcilla) y su disposición (FAO, 2018).

5.1.6 Carbono orgánico total

En la figura 10, se puede observar que el carbono orgánico total fue significativamente más alto su valor ($p > 0,05$) en el suelo cultivado con bosque con un valor promedio de 7,86%, con respecto al resto de los demás cultivos estudiados. En los cultivos de pasto, fresa arveja y tomate de árbol el carbono orgánico total que se obtuvo fue bajo, con valores que oscilan entre 0,91 y 1,49 %. Estos valores obtenidos indican que la cantidad de carbono en estas muestras estudiadas es bajo, con lo cual se puede asumir que la mayoría de residuos que se encuentran en estas zonas no pueden ser degradados por los microorganismos que se encuentran en el suelo.



Columnas con valores promedios y barras con error típico acompañado de letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tipos de cultivos.

Fuente: Elaboración propia Figura 11. Comparación del carbono orgánico total de los suelos entre los diferentes cultivos evaluados en el municipio de Pamplona, Norte de Santander.

El carbono está presente en el suelo de diferentes formas, pero la más importante es la orgánica, la cual se considera como un indicador de calidad de suelo debido a su efecto benéfico sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo que son importante para el desarrollo de la vida. El desarrollo de los cultivos se sustenta en la capacidad que tiene el suelo de proporcionarle las cantidades necesarias de nutrientes para su correcto desarrollo. La disponibilidad de dichos nutrientes depende de varios factores, siendo el contenido y calidad de la materia orgánica presente uno de los más determinantes (Jackson, 1958).

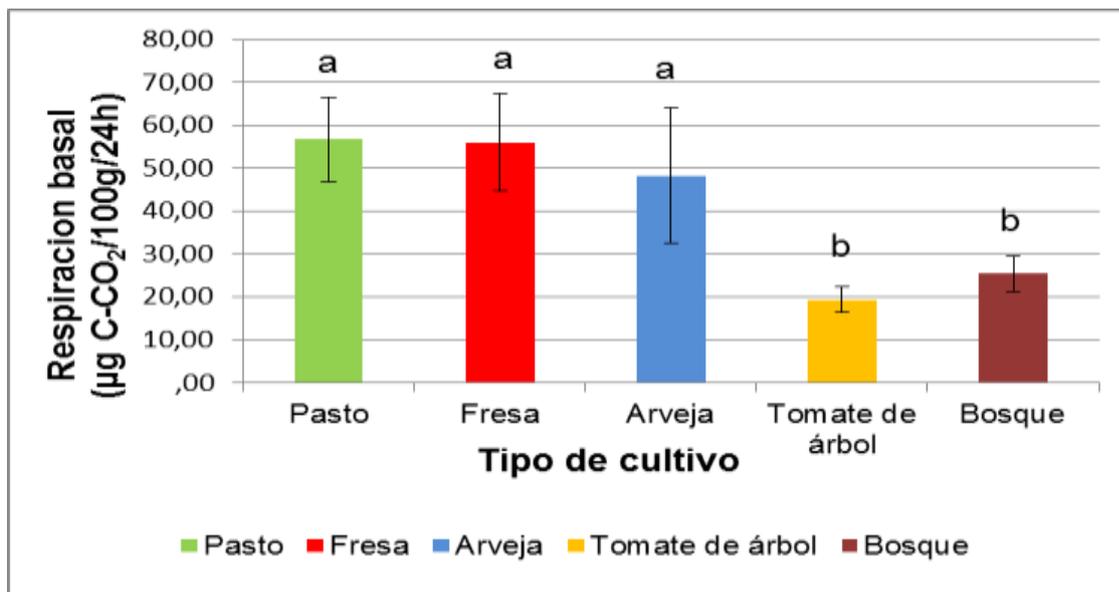
Después de la tala de los bosques, las pérdidas del carbono orgánico del suelo pueden variar desde valores cercanos a 20% (Detwiler 1986, Detwiler y Hall 1988, Davidson y Akerman 1993, Powers et al. 2004), hasta valores superiores a 45% (Fujisaka et al. 1998, Tiessen et al. 1998). Tales pérdidas de C han sido asociadas con una disminución en la

fertilidad de los suelos y con el deterioro de sus condiciones físicas, químicas y biológicas, lo cual reduce su capacidad para suministrar nutrientes en cantidades adecuadas para el crecimiento normal de las plantas (Bonde et al. 1992, Davidson y Akerman 1993).

Posterior a la deforestación y al establecimiento de pastizales, ocurre un aumento en la temperatura del suelo, particularmente en su parte superficial, que causa un desequilibrio en la producción y oxidación de compuestos orgánicos (Fearnside y Barbosa 1998). La materia orgánica superficial es rápidamente descompuesta, y una parte de los nutrientes liberados son absorbidos por las gramíneas introducidas, mientras que la otra parte se pierde por lixiviación (Ohta 1990). Ese proceso parece ocurrir durante las etapas iniciales del establecimiento de los pastos, e implica una disminución en los contenidos de C y N en los suelos (Detwiler y Hall 1988, Johnson y Wedin 1997).

5.1.7 Respiración basal

En la figura 11, se observa que para las muestras de suelo estudiadas la respiración basal oscilo entre $19,40 \pm 56,72$ ug C-CO₂/100gr*24h, no se encontraron diferencias significativas en los cultivos de tomate de árbol, fresa y arveja ($p > 0,05$) entre ellos, en tomate de árbol y bosque natural no se obtuvieron diferencias significativas entre sí ($p > 0,05$).



Columnas con valores promedios y barras con error típico acompañado de letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tipos de cultivos. Fuente: Elaboración propia

Figura 12. Comparación de la respiración basal de los suelos entre los diferentes cultivos evaluados en el municipio de Pamplona, Norte de Santander.

Las tasas más bajas de actividad microbiana se encontraron en los suelos cultivados con tomate de árbol y bosque natural, en los cultivos de pasto, fresa y arveja se obtuvieron las tasas más altas de respiración basal, lo cual indica una mayor actividad microbiana del suelo en este sistema debido a la adición permanente y continua de fuentes exógenas de materia orgánica lábil al suelo y la subsecuente estimulación de los microorganismos heterotróficos.

Los altos valores de la respiración basal en los suelos bajo manejo de pastizales pudieran estar relacionados con la presencia de un carbono orgánico más lábil, de fácil descomposición y de mayor asimilación por parte de los microorganismos del suelo (Marumoto et al., 1982).

La respiración basal es el mejor indicador de la actividad metabólica global de las comunidades microbiana del suelo. La respiración de los microorganismos es el eslabón fundamental que cierra el ciclo del carbono en los ecosistemas terrestres, retornándolo a la

atmósfera en forma de CO₂, Los microorganismos respiran continuamente y la tasa de respiración es un índice confiable de la tasa de crecimiento (Gómez, 2017).

La respiración del suelo es un parámetro comúnmente utilizado para medir la calidad biológica del suelo (Insam et al. 1989). Igualmente, el flujo de CO₂ del suelo es un buen indicador de la distribución del carbono en el suelo subsuperficial y de la productividad del ecosistema (Raich y Nadelhoffer 1989). Cuando el bosque se tala y se quema para establecer pastos cambian las condiciones de humedad, temperatura y las entradas de materia orgánica al suelo (Fearnside y Barbosa 1998), afectando la actividad biológica y su tasa de respiración.

En un análisis global, Raich y Tufekcioglu (2000) encontraron que la tasa de respiración del suelo bajo pasto fue 20% mayor que bajo bosque, y sugirieron que la conversión de bosques a pastizales puede estimular las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Las diferencias estructurales y fisiológicas en cada ecosistema juegan un papel fundamental, especialmente porque las gramíneas pueden tener más fotoasimilados disponibles en la biomasa subterránea que los árboles del bosque, como mecanismo de adaptación a la defoliación constante durante el pastoreo o las quemadas. Asimismo, Raich y Tufekcioglu (2000) concluyen que la tasa de respiración del suelo está controlada principalmente por factores climáticos, particularmente por la interacción entre la disponibilidad de humedad y la temperatura del suelo, y sugieren que la interacción entre las condiciones climáticas y la disponibilidad de sustrato generan limitaciones fundamentales en la tasa potencial de respiración del suelo, del mismo modo en que estos factores limitan la productividad de las plantas.

Sparling et al. (1994) encontraron que pastizales con una alta proporción de carbono microbiano presentaron mayor respiración del suelo que el bosque nativo, lo cual fue atribuido a las grandes diferencias existentes entre los tipos de materia orgánica aportados a los suelos del bosque y del pastizal. La materia orgánica aportada por el bosque se caracterizó

por presentar alto contenido de lignina, alta relación C/N, resinas y compuestos fenólicos, mientras que la materia orgánica proveniente del pasto presentaba alto contenido de celulosa y baja relación C/N, la cual proporciona un sustrato más adecuado para mantener una gran población microbiana persistente y más activa.

6. CONCLUSIONES

En los sistemas de cultivos estudiados se presentaron valores de conductividad eléctrica bajos, lo cual indica que estos suelos no son salinos, debido a que el pH fue ácido y moderadamente ácido.

Se obtuvo un porcentaje de carbono orgánico total considerablemente bajos en los sistemas de cultivos estudiados, mientras que el bosque presentó el valor más alto.

La respiración basal fue mayor en el pastizal, la fresa y arveja, debido a que la fracción de la materia orgánica es más lábil en estos cultivos lo cual aporta una mayor asimilación por parte de los microorganismos del suelo, mientras que, en bosque a pesar de presentar contenidos altos de carbono orgánico, éste es menos lábil y conlleva a que los microorganismos presentes en él sean menos activos. La respiración basal fue un buen indicador para evaluar la calidad del suelo.

7. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un plan de nutrición para poder tener un equilibrio en el uso de los nutrientes de las plantas e implementar rotación en los cultivos que no sean de la misma familia para evitar enfermedades en el suelo, lograr mejores rendimientos en las cosechas y mantener una estabilidad en el pH.

Mejorar el sistema de riego establecido en las fincas, ya que en las muestras de suelo estudiadas se presentaron diferencias significativas en el porcentaje de humedad. Lo cual conlleva a que las plantas se vean sometidas a un estrés hídrico e inestabilidad en los suelos.

Por último, se recomienda aumentar el uso de fertilizantes orgánicos compostados, para aumentar los microorganismos del suelo, lo cual conlleva a mejorar la calidad de los suelos evitando su compactación.

Bibliografía

- Aguilera, S. (2000). Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. Simposio Proyecto Ley Protección de Suelo(14). Valdivia, Chile.
- Alcaldía de Pamplona . (2016, Julio 21). Alcaldía de Pamplona. Retrieved julio 12, 05, from Economía de Pamplona: <http://pamplona-nortedesantander.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Economia.aspx>
- Alcaldía de Pamplona. (2014, marzo 18). Sitio oficial de Pamplona en Norte Santander, Colombia. Retrieved from https://archive.is/20140318160821/http://www.pamplona-nortedesantander.gov.co/informacion_general.shtml
- Ambrecht, I., Montoya L, J., Ascuntar, N., y Peña, I. (2011). Influencia de dos acondicionadores orgánicos del suelo el crecimiento de un policultivo de maíz y frijol.
- Arriche, R., y Ponce, N. (2012). Evaluacion de la calidad del suelo, en el sistema productico organico la estancia, Madrid, Cundinamarca. Bogota.
- Barrero, H. H., y Ramirez, J. O. (2018, diciembre 13). Las 5 Claves de éxito en el cultivo de arveja. Retrieved from Crop Science: <https://www.cropscience.bayer.co/es-CO/Centro-de-Noticias/Noticias/2018/12/5-claves-arveja.aspx>
- Bedoya, G., Ortiz, M., y Ortíz, L. (2013). Efecto de la aplicación de agroquímicos en un cultivo de arroz sobre los microorganismos del suelo. Llanos orientales, Colombia.
- Bonnet, J. G., y Cardenas, J. F. (2012). Tomate de árbol (*Cyphomandra Betacea sendt*). In G. Fischer, Manual para el cultivo de frutales en el trópico. Bogota: Produmedios.

- Cáceres, G., y Gelvez, D. (2011). La producción de arveja (*pisum sativum*) en la vereda monte dentro, provincia de Pamplona, Norte de Santander. Pamplona, Norte de Santander.
- Campbell, C., Biederbeck, V., Mcconkey, B., y Zentner, D. (1999). Calidad del suelo - Efecto de labranza y frecuencia de barbecho.
- Cano, M. (2011). Interacción de microorganismos benéficos en plantas: Micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas*. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica.
- Castaño, D. (2006). La biodiversidad microbiana del suelo, un mundo por descubrir. Manizales: Lunazul.
- Censo rural, Pamplona. (2013). Plan básico de ordenamiento territorial. Pamplona, Norte de Santander.
- Chaparro, O. (2005). Medición de las propiedades mecánicas de un suelo agrícola. Retrieved mayo 27, 2017, from Documento preliminar elaborado como material de apoyo para la asignatura de Física de suelo.:
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28122009000200004
- Cuesta, y O, C. (2017). Procesos tecnológicos para la renovación de praderas degradadas en las regiones caribe y valles interandinos. Palmira: Corpoica.
- Dane. (2015). Boletín mensual: Insumos y factores asociados a la producción agropecuaria. Retrieved Mayo 5, 2019, from Departamento Administrativo Nacional de Estadística:

https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuaria/sipsa/Bol_Insumos31_mar_2015.pdf

Delgado, J. (2006). La actividad microbiana: un indicador integral de la calidad del suelo.

Palmira, Colombia: Lunazul.

FAO. (2001). Captación de carbono del suelo para mejorar la gestión de la tierra. Roma:

Informes mundiales del suelo 96.

FAO. (2015). Agricultura y medio ambiente. Bogotá.

FAO. (2016, Noviembre 28). Textura del suelo. Retrieved Septiembre 06, 2019, from

FAO.org:

http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm

FAO. (2018, Agosto 25). Portal de suelos de la FAO. Retrieved from

<http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>

Garza, y Valdez. (2000). Tamaño de la Población Microbiana del Suelo y Desarrollo Inicial

de *Desmanthus virgatus* (L.) Willd. México, D. F.: Unidad Académica

Multidisciplinaria Agronomía y Ciencias.

Gobernacion de Huila. (2006). Cadena Productiva Frutícola Secretaria Técnica del Huila. In

Produccion limpia cultivo del tomate de arbol. Huila.

Gomez, J. E. (2017). Actividad microbiológica y biomasa microbiana en suelos cafetaleros de

los Andes venezolanos. Caracas, Venezuela: Terra Latinoamericana.

- Guerreo, P., Quintero, R., Espinoza, V., Benito, G., y Sanchez, M. (2012). Respiración de CO_2 como indicador de la actividad microbiana en abonos orgánicos de lupinus. 30(4). Mexico: Terra latinoamericana.
- Henriquez, C., y Calbaceta, A. (1999). Guía Práctica para el Estudio Introductorio de los Suelos con un Enfoque Agrícola. San José. C.R.: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- Hernández, y González. (2009). La actividad microbiana como indicador de calidad del suelo en cultivos de ciruelo ecológico. Colombia: Agroecologia.net.
- Hernández, A. F., y Daza, Y. (2012). Evaluación de la actividad microbiana en un suelo bajo cobertura de chocho (*Lupinus mutabilis* L) en un Andisol, Pasto, Nariño. Pasto, Colombia.
- Hernandez, J., Torres, D., y Hernández, R. I. (2000). Captura de carbono en los suelos. Mexico.
- Infoagro. (2015, Agosto 12). El cultivo de la fresa. (AGRI-NOVA Science) Retrieved Junio 24, 2019, from InfoAgro: http://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_fresa.asp
- Intagri. (2001). Disponibilidad de Nutrientes y el pH del Suelo. INTAGRI, 11.
- Jackson. (1958). Soil Chemical Analysis. New Jersey: Prentice-Hall: Englewood.
- Jackson, M. (1964). Análisis químico de suelos. Barcelona, España: Ediciones Omega, S. A.
- Lal, R. (1997). Manejo de residuos, labranza de conservación y restauración de suelos para mitigar el efecto invernadero mediante el enriquecimiento con CO_2 . LAL.

- Madriñan, R. (1997, enero). La actividad microbiana -CO₂ en suelos cultivados con caña de azúcar con y sin quema. Valle del Cauca, Colombia.
- Martínez, E., Fuentes, J., y Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. Temuco, Chile: Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal.
- Marumoto, T., Anderson, J. P., y Domsch, K. H. (1982). Mineralization of nutrients from soil microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.*
- Palacio, Á., y Hurtado, F. (2008). Respiración microbial y de raíces en suelos de bosques tropicales primarios y secundarios (Porce, Colombia). Medellín, Colombia.
- Pedraza, A. G., Calixtro, E. P., y Pulgar, J. A. (2011). Actividad microbiana en suelos cultivados con palma aceitera, cacao, pasto y bosque natural. Zulia, Venezuela.
- Pinochet, A. R. (2006, Diciembre 13). La Agricultura y Microorganismos. Retrieved from <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/la-agricultura-y-microorganismos-t26746.htm>
- Realpe, I. d., Pardo, C. a., y Peinado, F. J. (2014). Efecto de la calidad de la materia orgánica asociada con el uso y manejo de suelos en la retención de cadmio. Cauca, Colombia.
- Salazar, J. C., Flores, J., y Realpe, I. d. (2013). Fraccionamiento y cuantificación de la materia orgánica en Andisoles bajo diferentes sistemas de producción. Valle del Cauca, Colombia: Ciencias del suelo.
- Silva, J. V. (2001). Manual de pastos y forrajes . San Juan de Pasto : Instituto Colombiano Agropecuario .

- SQI. (1996). Indicadores para la evaluación de la calidad del suelo. USDA, Servicio de Conservación de Recursos Naturales. Instituto de Calidad del Suelo. ESTADOS UNIDOS: Servicio de Investigaciones Agropecuarias.
- Tilman, D. (1999). Impactos evolutivos globales de la expansión agrícola: la necesidad de prácticas sostenibles y eficientes. 96(11). Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos de América.
- Villegas, I. C. (2009). Manejo integrado de cultivos / frutales de altura. San Jose, Costa Rica.
- Zuluaga, M., y Rondon, J. (2012). Caracterización socioeconómica de los productores de tomate de árbol en la región de Sumapaz. Fusagasuga: Corpoica.
- Brady, N. C. y Weil, R. R. 1999. The nature and properties of soils. Twelfth Edition. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey. 881 pp.
- Bonde, T. A., Christensen, B. T. y Cerri, C. 1992. Dynamics of soil organic matter as reflected by natural ^{13}C abundance in particle size fractions of forested and cultivated Oxisols. *Soil Biology and Biochemistry* 24(3): 275-277.
- Davidson, E. A. y Ackerman, I. L. 1993. Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. *Biogeochemistry* 20: 161-193.
- Detwiler, R. P. 1986. Land use change and the global carbon cycle: the role of tropical soils. *Biogeochemistry* 2: 67-93.
- Detwiler, R. y Hall, C. 1988. Tropical forest and the global carbon cycle. *Science*, 239: 42-47.
- Fearnside, P. y Barbosa, R. 1998. Soil carbon changes from conversion of forest to pastures in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 80: 35-46.

- Ohta, S. 1990. Influence of deforestation on the soils of the Pantabangan area, Central Luzon, the Philippines. *Soil Sci. Plant Nutr.* 36(4): 561-573.
- Johnson, N. C. y Wedin, D. A. 1997. Soil carbon, nutrients and mycorrhizae during conversion of dry tropical forest to grassland. *Ecological Applications* 71 (1): 171-182.
- Insam, H., Parkinson, D. y Domsch, K. H. 1989. Influence of macroclimate on soil microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry* 21: 211-221.
- Sparling, G. P., Hart, P. B. S., August, J. A. y Leslie, D. M. 1994. A comparison of soil and microbial carbon, nitrogen, and phosphorus contents, and macro-aggregate stability of a soil under native forest and after clearance for pastures and plantation forest. *Biol. Fertil Soils* 17: 91-100.
- Fujisaka, S., Castilla, C., Escobar, G., Rodrigues, V., Veneklaas, E. J., Thomas, R. y Fisher, M. 1998. The effects of forest conversion on annual crops and pastures: Estimates of carbon emissions and plant species loss in a Brazilian Amazon colony. *Agric. Ecosyst. Environ.* 69: 17-26.
- Tiessen, H., Feller, C., Sampaio, E. V. S. B. y Garin, P. 1998. Carbon sequestration and turnover in semiarid savannas and dry forest. *Climatic Change* 40: 105-117.
- Raich, J. W. y Nadelhoffer, K. J. 1989. Belowground carbon allocation in forest ecosystems: Global trends. *Ecology* 70: 1346-1354.
- Raich, J. W. y Tufekcioglu, A. 2000. Vegetation and soil respiration: Correlations and controls. *Biogeochemistry* 48: 71-90.

Lista de Anexos

Anexos 1-2 Toma de muestras de suelo



Anexo 1 Toma de muestras con barreno (1)

Fuente: fotografía propia



Anexo 2 Toma de muestras con barreno (2)

Fuente: fotografía propia

Anexos 3-6 Determinación de textura



Anexo 3 Secado de muestras de suelo

Fuente: fotografía propia



Anexo 4 Tamizado de muestras de suelo

Fuente: fotografía propia



Anexo 5 Análisis de textura en laboratorio (1)

Fuente: fotografía propia



Anexo 6 Análisis de textura en laboratorio (2)

Fuente: fotografía propia

Anexos 7-8 Determinación del % Humedad y conductividad eléctrica



Anexo 7 Toma del % humedad y CE en campo (1)

Fuente: fotografía propia



Anexo 8 Toma de % humedad y CE en campo (2)

Fuente: fotografía propia

Anexos 9-10 Determinación de la densidad aparente (D_a)



Anexo 9 Peso de cilindro sin suelo

Fuente: fotografía propia



Anexo 10 Cilindros con muestras de suelo

Fuente: fotografía propia

Anexo 11. Determinación de pH



Anexo 11 Determinación de pH de las muestras de suelo en el laboratorio

Fuente: fotografía propia

Anexos 12-13 Determinación de Carbono orgánico



Anexo 12 Peso de crisol más la muestra de suelo

Fuente: fotografía propia



Anexo 13 Peso de crisol sin muestra de suelo

Fuente: fotografía propia

Anexos 14-16 Determinación de respiración basal



Anexo 14 Titulación para respiración basal

Fuente: fotografía propia



Anexos 15 Montaje para captación de CO₂

Fuente: Fotografía propia



Anexo 16 Frascos sellados puestos a la oscuridad

Fuente: fotografía propia

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
HumVol	Inter- grupos	1956,918	4	489,229	9,030	,000
	Intra- grupos	1083,586	20	54,179		
	Total	3040,504	24			
HumGrav	Inter- grupos	299,700	4	74,925	2,088	,120
	Intra- grupos	717,622	20	35,881		
	Total	1017,322	24			
CEMv	Inter- grupos	768957,200	4	192239,300	13,715	,000
	Intra- grupos	280326,800	20	14016,340		
	Total	1049284,000	24			
Dagcm3	Inter- grupos	,319	4	,080	3,390	,028
	Intra- grupos	,470	20	,024		
	Total	,789	24			
Arcilla	Inter- grupos	1528,926	4	382,231	14,844	,000
	Intra- grupos	514,998	20	25,750		
	Total	2043,924	24			
Arena	Inter- grupos	3646,486	4	911,622	12,132	,000
	Intra- grupos	1502,800	20	75,140		
	Total	5149,286	24			
Limo	Inter- grupos	1468,582	4	367,146	10,942	,000
	Intra- grupos	671,058	20	33,553		
	Total	2139,640	24			
pH	Inter- grupos	6,160	4	1,540	6,968	,001
	Intra- grupos	4,420	20	,221		
	Total	10,580	24			
CO	Inter- grupos	228,096	4	57,024	3,894	,017
	Intra- grupos	292,851	20	14,643		
	Total	520,947	24			
RespbasalugCCO2100g24h	Inter- grupos	6175,970	4	1543,992	3,085	,039
	Intra- grupos	10010,268	20	500,513		
	Total	16186,238	24			

Anexos 17 Tabla Anova de factor

Fuente: Elaboración propia

Anexo 18. Datos estadísticos descriptivos para las variables de estudio

		Descriptivos							
		N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
HumVol	Pasto	5	38,64	13,97	6,25	21,29	55,99	23,60	53,90
	Fresa	5	27,06	4,45	1,99	21,53	32,60	22,40	34,12
	Aveja	5	17,20	4,42	1,98	11,71	22,69	13,20	23,80
	Tomate de árt	5	22,94	2,69	1,20	19,60	26,28	18,70	25,50
	Bosque	5	13,02	5,39	2,41	6,33	19,71	4,50	19,20
	Total	25	23,77	11,26	2,25	19,13	28,42	4,50	53,90
HumGrav	Pasto	5	31,56	10,69	4,78	18,30	44,83	18,65	46,86
	Fresa	5	22,74	1,44	0,64	20,95	24,52	20,66	24,68
	Aveja	5	22,10	3,11	1,39	18,24	25,97	16,73	24,30
	Tomate de árt	5	24,84	3,51	1,57	20,47	29,20	21,68	30,18
	Bosque	5	27,46	6,41	2,87	19,50	35,42	20,85	38,11
	Total	25	25,74	6,51	1,30	23,05	28,43	16,73	46,86
CEdS/m	Pasto	5	0,82	202,30	0,09	572,21	1074,59	596,00	1015,00
	Fresa	5	0,66	85,86	0,04	551,59	764,81	564,00	791,00
	Aveja	5	0,44	104,34	0,05	310,64	569,76	345,00	594,00
	Tomate de árt	5	0,58	59,70	0,03	504,28	652,52	480,00	629,00
	Bosque	5	0,31	85,64	0,04	208,46	421,14	171,00	389,00
	Total	25	0,56	209,09	0,04	476,69	649,31	171,00	1015,00
Dagcm3	Pasto	5	,90	,24	,11	,60	1,20	,57	1,19
	Fresa	5	,99	,09	,04	,88	1,10	,87	1,11
	Aveja	5	,99	,10	,04	,87	1,11	,91	1,16
	Tomate de árt	5	,87	,10	,04	,75	,99	,73	,99
	Bosque	5	,68	,18	,08	,45	,91	,39	,86
	Total	25	,89	,18	,04	,81	,96	,39	1,19
Arcilla	Pasto	5	23,98	5,59	2,50	17,04	30,92	16,50	30,10
	Fresa	5	37,07	4,00	1,79	32,10	42,04	33,50	43,70
	Aveja	5	40,98	3,72	1,67	36,36	45,60	36,90	47,10
	Tomate de árt	5	28,06	5,69	2,54	21,00	35,12	23,30	36,90
	Bosque	5	20,24	5,94	2,66	12,87	27,61	13,10	28,40
	Total	25	30,07	9,23	1,85	26,26	33,88	13,10	47,10
Arena	Pasto	5	47,46	9,19	4,11	36,05	58,87	35,90	56,30
	Fresa	5	39,98	5,04	2,26	33,72	46,24	32,50	46,10
	Aveja	5	39,30	6,80	3,04	30,86	47,74	32,50	49,50
	Tomate de árt	5	65,14	9,19	4,11	53,73	76,55	56,30	80,10
	Bosque	5	67,18	11,63	5,20	52,74	81,62	52,90	76,70
	Total	25	51,81	14,65	2,93	45,77	57,86	32,50	80,10
Limo	Pasto	5	28,56	6,18	2,76	20,89	36,23	20,40	37,40
	Fresa	5	22,95	1,90	,85	20,59	25,31	19,55	23,80
	Aveja	5	19,72	6,54	2,92	11,60	27,84	10,20	27,20
	Tomate de árt	5	8,16	6,36	2,84	-1,10	14,70	-3,40	13,60
	Bosque	5	12,58	6,54	2,92	4,46	20,70	6,80	20,40
	Total	25	18,12	9,44	1,89	14,22	22,02	-3,40	37,40
pH	Pasto	5	5,18	,29	,13	4,81	5,55	4,84	5,48
	Fresa	5	4,98	,59	,26	4,25	5,70	4,20	5,80
	Aveja	5	5,77	,45	,20	5,21	6,33	5,28	6,25
	Tomate de árt	5	5,76	,46	,21	5,19	6,34	5,34	6,33
	Bosque	5	6,38	,51	,23	5,75	7,02	5,80	7,02
	Total	25	5,61	,66	,13	5,34	5,89	4,20	7,02
CO	Pasto	5	1,26	,37	,16	,81	1,72	,74	1,71
	Fresa	5	,91	,07	,03	,83	1,00	,87	1,03
	Aveja	5	1,10	4,95	2,21	-7,20	5,09	-9,90	1,49
	Tomate de árt	5	1,49	,72	,32	,59	2,39	,78	2,48
	Bosque	5	7,86	6,93	3,10	-7,4	16,47	2,15	15,95
	Total	25	2,09	4,66	,93	,17	4,02	-9,90	15,95
Respbasalug CCO2100g2 4h	Pasto	5	56,72	21,99	9,83	29,42	84,02	35,00	90,00
	Fresa	5	56,00	25,35	11,34	24,53	87,47	15,00	80,00
	Aveja	5	48,30	35,18	15,73	4,62	91,98	25,00	110,00
	Tomate de árt	5	19,40	6,84	3,06	10,91	27,89	12,00	30,00
	Bosque	5	25,40	9,61	4,30	13,47	37,33	14,00	35,00
	Total	25	41,16	25,97	5,19	30,44	51,88	12,00	110,00

Anexo 18 Datos estadísticos descriptivos

Fuente: elaboración propia

Anexo 19. Prueba de comparación de medias de Tukey realizada con el programa estadístico SPSS.

Comparaciones múltiples							
HSD de Tukey							
Variable dependiente			Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HumVol	1,0	2,0	11,58	4,66	0,13	-2,35	25,51
		3,0	21,44000*	4,66	0,00	7,51	35,37
		4,0	15,70000*	4,66	0,02	1,77	29,63
		5,0	25,62000*	4,66	0,00	11,69	39,55
	2,0	1,0	-11,58	4,66	0,13	-25,51	2,35
		3,0	9,86	4,66	0,25	-4,07	23,79
		4,0	4,12	4,66	0,90	-9,81	18,05
		5,0	14,04400*	4,66	0,05	0,11	27,97
	3,0	1,0	-21,44000*	4,66	0,00	-35,37	-7,51
		2,0	-9,86	4,66	0,25	-23,79	4,07
		4,0	-5,74	4,66	0,73	-19,67	8,19
		5,0	4,18	4,66	0,89	-9,75	18,11
	4,0	1,0	-15,70000*	4,66	0,02	-29,63	-1,77
		2,0	-4,12	4,66	0,90	-18,05	9,81
		3,0	5,74	4,66	0,73	-8,19	19,67
		5,0	9,92	4,66	0,25	-4,01	23,85
	5,0	1,0	-25,62000*	4,66	0,00	-39,55	-11,69
		2,0	-14,04400*	4,66	0,05	-27,97	-0,11
		3,0	-4,18	4,66	0,89	-18,11	9,75
		4,0	-9,92	4,66	0,25	-23,85	4,01
HumGrav	1,0	2,0	8,83	3,79	0,18	-2,51	20,16
		3,0	9,46	3,79	0,13	-1,88	20,80
		4,0	6,73	3,79	0,41	-4,61	18,06
		5,0	4,10	3,79	0,81	-7,23	15,44
	2,0	1,0	-8,83	3,79	0,18	-20,16	2,51
		3,0	0,63	3,79	1,00	-10,70	11,97
		4,0	-2,10	3,79	0,98	-13,44	9,24
		5,0	-4,72	3,79	0,73	-16,06	6,61
	3,0	1,0	-9,46	3,79	0,13	-20,80	1,88
		2,0	-0,63	3,79	1,00	-11,97	10,70
		4,0	-2,73	3,79	0,95	-14,07	8,60
		5,0	-5,36	3,79	0,63	-16,69	5,98

	4,0	1,0	-6,73	3,79	0,41	-18,06	4,61		
		2,0	2,10	3,79	0,98	-9,24	13,44		
		3,0	2,73	3,79	0,95	-8,60	14,07		
		5,0	-2,62	3,79	0,96	-13,96	8,71		
	5,0	1,0	-4,10	3,79	0,81	-15,44	7,23		
		2,0	4,72	3,79	0,73	-6,61	16,06		
		3,0	5,36	3,79	0,63	-5,98	16,69		
		4,0	2,62	3,79	0,96	-8,71	13,96		
CEMv	1,0	2,0	165,20	74,88	0,22	-58,86	389,26		
		3,0	383,2000*	74,88	0,00	159,14	607,26		
		4,0	245,0000*	74,88	0,03	20,94	469,06		
		5,0	508,6000*	74,88	0,00	284,54	732,66		
	2,0	1,0	-165,20	74,88	0,22	-	389,26	58,86	
		3,0	218,00	74,88	0,06	-6,06	442,06		
		4,0	79,80	74,88	0,82	-	144,26	303,86	
		5,0	343,4000*	74,88	0,00	119,34	567,46		
	3,0	1,0	-383,2000*	74,88	0,00	-	607,26	-	159,14
		2,0	-218,00	74,88	0,06	-	442,06	6,06	
		4,0	-138,20	74,88	0,38	-	362,26	85,86	
		5,0	125,40	74,88	0,47	-98,66	349,46		
	4,0	1,0	-245,0000*	74,88	0,03	-	469,06	-20,94	
		2,0	-79,80	74,88	0,82	-	303,86	144,26	
		3,0	138,20	74,88	0,38	-85,86	362,26		
		5,0	263,6000*	74,88	0,02	39,54	487,66		
	5,0	1,0	-508,6000*	74,88	0,00	-	732,66	-	284,54
		2,0	-343,4000*	74,88	0,00	-	567,46	-	119,34
		3,0	-125,40	74,88	0,47	-	349,46	98,66	
		4,0	-263,6000*	74,88	0,02	-	487,66	-39,54	
Dagcm3	1,0	2,0	-0,09	0,10	0,88	-0,38	0,20		
		3,0	-0,09	0,10	0,89	-0,38	0,20		
		4,0	0,03	0,10	1,00	-0,26	0,32		
		5,0	0,22	0,10	0,20	-0,07	0,51		
	2,0	1,0	0,09	0,10	0,88	-0,20	0,38		
		3,0	0,00	0,10	1,00	-0,29	0,29		
		4,0	0,13	0,10	0,70	-0,16	0,42		

		5,0	,30890913628294 3*	0,10	0,03	0,02	0,60	
	3,0	1,0	0,09	0,10	0,89	-0,20	0,38	
		2,0	0,00	0,10	1,00	-0,29	0,29	
		4,0	0,12		0,10	0,71	-0,17	0,41
		5,0	,30679045984456 1*		0,10	0,04	0,02	0,60
	4,0	1,0	-0,03	0,10	1,00	-0,32	0,26	
		2,0	-0,13		0,10	0,70	-0,42	0,16
		3,0	-0,12		0,10	0,71	-0,41	0,17
		5,0	0,18		0,10	0,35	-0,11	0,47
	5,0	1,0	-0,22	0,10	0,20	-0,51	0,07	
		2,0	- ,30890913628294 3*		0,10	0,03	-0,60	-0,02
		3,0	- ,30679045984456 1*		0,10	0,04	-0,60	-0,02
		4,0	-0,18		0,10	0,35	-0,47	0,11
Arcilla	1,0	2,0	- 13,090000000000 100*	3,21	0,00	-22,69	-3,49	
		3,0	- 17,000000000000 103*	3,21	0,00	-26,60	-7,40	
		4,0	-4,08	3,21	0,71	-13,68	5,52	
		5,0	3,74	3,21	0,77	-5,86	13,34	
	2,0	1,0	13,090000000000 100*	3,21	0,00	3,49	22,69	
		3,0	-3,91	3,21	0,74	-13,51	5,69	
		4,0	9,01	3,21	0,07	-0,59	18,61	
		5,0	16,830000000000 098*	3,21	0,00	7,23	26,43	
	3,0	1,0	17,000000000000 103*	3,21	0,00	7,40	26,60	
		2,0	3,91	3,21	0,74	-5,69	13,51	
		4,0	12,920000000000 101*	3,21	0,01	3,32	22,52	
		5,0	20,740000000000 100*	3,21	0,00	11,14	30,34	
	4,0	1,0	4,08	3,21	0,71	-5,52	13,68	
		2,0	-9,01	3,21	0,07	-18,61	0,59	
		3,0	- 12,920000000000 101*	3,21	0,01	-22,52	-3,32	
		5,0	7,82	3,21	0,15	-1,78	17,42	
	5,0	1,0	-3,74	3,21	0,77	-13,34	5,86	

		2,0	- 16,830000000000 098*	3,21	0,00	-26,43	-7,23	
		3,0	- 20,740000000000 100*	3,21	0,00	-30,34	-11,14	
		4,0	-7,82	3,21	0,15	-17,42	1,78	
Arena	1,0	2,0	7,48	5,48	0,66	-8,93	23,89	
		3,0	8,16	5,48	0,58	-8,25	24,57	
		4,0	- 17,680000000000 100*	5,48	0,03	-34,09	-1,27	
		5,0	- 19,720000000000 090*	5,48	0,01	-36,13	-3,31	
	2,0	1,0	-7,48	5,48	0,66	-23,89	8,93	
		3,0	0,68	5,48	1,00	-15,73	17,09	
		4,0	- 25,160000000000 096*	5,48	0,00	-41,57	-8,75	
		5,0	- 27,200000000000 088*	5,48	0,00	-43,61	-10,79	
	3,0	1,0	-8,16	5,48	0,58	-24,57	8,25	
		2,0	-0,68	5,48	1,00	-17,09	15,73	
		4,0	- 25,840000000000 103*	5,48	0,00	-42,25	-9,43	
		5,0	- 27,880000000000 095*	5,48	0,00	-44,29	-11,47	
	4,0	1,0	17,680000000000 100*	5,48	0,03	1,27	34,09	
		2,0	25,160000000000 096*	5,48	0,00	8,75	41,57	
		3,0	25,840000000000 103*	5,48	0,00	9,43	42,25	
		5,0	-2,04	5,48	1,00	-18,45	14,37	
	5,0	1,0	19,720000000000 090*	5,48	0,01	3,31	36,13	
		2,0	27,200000000000 088*	5,48	0,00	10,79	43,61	
		3,0	27,880000000000 095*	5,48	0,00	11,47	44,29	
		4,0	2,04	5,48	1,00	-14,37	18,45	
	Limo	1,0	2,0	5,61	3,66	0,56	-5,35	16,57
			3,0	8,84	3,66	0,15	-2,12	19,80

		4,0	21,760000000000 094*	3,66	0,00	10,80	32,72
		5,0	15,980000000000 095*	3,66	0,00	5,02	26,94
	2,0	1,0	-5,61	3,66	0,56	-16,57	5,35
		3,0	3,23	3,66	0,90	-7,73	14,19
		4,0	16,150000000000 095*	3,66	0,00	5,19	27,11
		5,0	10,37	3,66	0,07	-0,59	21,33
	3,0	1,0	-8,84	3,66	0,15	-19,80	2,12
		2,0	-3,23	3,66	0,90	-14,19	7,73
		4,0	12,920000000000 098*	3,66	0,02	1,96	23,88
		5,0	7,14	3,66	0,33	-3,82	18,10
	4,0	1,0	- 21,760000000000 094*	3,66	0,00	-32,72	-10,80
		2,0	- 16,150000000000 095*	3,66	0,00	-27,11	-5,19
		3,0	- 12,920000000000 098*	3,66	0,02	-23,88	-1,96
		5,0	-5,78	3,66	0,53	-16,74	5,18
	5,0	1,0	- 15,980000000000 095*	3,66	0,00	-26,94	-5,02
		2,0	-10,37	3,66	0,07	-21,33	0,59
		3,0	-7,14	3,66	0,33	-18,10	3,82
		4,0	5,78	3,66	0,53	-5,18	16,74
pH	1,0	2,0	0,20	0,30	0,96	-0,69	1,09
		3,0	-0,59	0,30	0,31	-1,48	0,30
		4,0	-0,58	0,30	0,32	-1,47	0,31
		5,0	-1,20400*	0,30	0,01	-2,09	-0,31
	2,0	1,0	-0,20	0,30	0,96	-1,09	0,69
		3,0	-0,79	0,30	0,10	-1,68	0,10
		4,0	-0,78	0,30	0,10	-1,67	0,11
		5,0	-1,40600*	0,30	0,00	-2,30	-0,52
	3,0	1,0	0,59	0,30	0,31	-0,30	1,48
		2,0	0,79	0,30	0,10	-0,10	1,68
		4,0	0,01	0,30	1,00	-0,88	0,90
		5,0	-0,61	0,30	0,27	-1,50	0,28
	4,0	1,0	0,58	0,30	0,32	-0,31	1,47
		2,0	0,78	0,30	0,10	-0,11	1,67
		3,0	-0,01	0,30	1,00	-0,90	0,88
		5,0	-0,62	0,30	0,26	-1,51	0,27

	5,0	1,0	1,20400*	0,30	0,01	0,31	2,09	
		2,0	1,40600*	0,30	0,00	0,52	2,30	
		3,0	0,61	0,30	0,27	-0,28	1,50	
		4,0	0,62	0,30	0,26	-0,27	1,51	
CO	1,0	2,0	0,35	2,42	1,00	-6,89	7,59	
		3,0	2,32	2,42	0,87	-4,92	9,56	
		4,0	-0,23	2,42	1,00	-7,47	7,02	
		5,0	-6,60	2,42	0,09	-13,84	0,64	
	2,0	1,0	-0,35	2,42	1,00	-7,59	6,89	
		3,0	1,97	2,42	0,92	-5,27	9,21	
		4,0	-0,58	2,42	1,00	-7,82	6,67	
		5,0	-6,95	2,42	0,06	-14,19	0,29	
	3,0	1,0	-2,32	2,42	0,87	-9,56	4,92	
		2,0	-1,97	2,42	0,92	-9,21	5,27	
		4,0	-2,54	2,42	0,83	-9,79	4,70	
		5,0	- 8,9153846302706 09*	2,42	0,01	-16,16	-1,67	
	4,0	1,0	0,23	2,42	1,00	-7,02	7,47	
		2,0	0,58	2,42	1,00	-6,67	7,82	
		3,0	2,54	2,42	0,83	-4,70	9,79	
		5,0	-6,37	2,42	0,10	-13,61	0,87	
	5,0	1,0	6,60	2,42	0,09	-0,64	13,84	
		2,0	6,95	2,42	0,06	-0,29	14,19	
		3,0	8,9153846302706 09*	2,42	0,01	1,67	16,16	
		4,0	6,37	2,42	0,10	-0,87	13,61	
	RespbasalugCCO2100 g24h	1,0	2,0	0,72	14,15	1,00	-41,62	43,06
			3,0	8,42	14,15	0,97	-33,92	50,76
			4,0	37,32	14,15	0,10	-5,02	79,66
			5,0	31,32	14,15	0,22	-11,02	73,66
		2,0	1,0	-0,72	14,15	1,00	-43,06	41,62
			3,0	7,70	14,15	0,98	-34,64	50,04
			4,0	36,60	14,15	0,11	-5,74	78,94
			5,0	30,60	14,15	0,23	-11,74	72,94
3,0		1,0	-8,42	14,15	0,97	-50,76	33,92	
		2,0	-7,70	14,15	0,98	-50,04	34,64	
		4,0	28,90	14,15	0,28	-13,44	71,24	
		5,0	22,90	14,15	0,50	-19,44	65,24	
4,0		1,0	-37,32	14,15	0,10	-79,66	5,02	
		2,0	-36,60	14,15	0,11	-78,94	5,74	
		3,0	-28,90	14,15	0,28	-71,24	13,44	
		5,0	-6,00	14,15	0,99	-48,34	36,34	
5,0		1,0	-31,32	14,15	0,22	-73,66	11,02	

		2,0	-30,60	14,15	0,23	-72,94	11,74
		3,0	-22,90	14,15	0,50	-65,24	19,44
		4,0	6,00	14,15	0,99	-36,34	48,34
*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.							

Anexo 19 Tabla de comparaciones múltiples

Fuente: elaboración propia