



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA**

**E.T.S. DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

---

**EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD, SOSTENIBILIDAD DEL  
SUELO Y SECUESTRO DE CARBONO EN CULTIVOS EN  
ROTACIÓN CON *VIGNA UNGUICULATA L.* Y *VICIA FABA L.***

**Autor: FRANCISCA GARCÍA SOLANO**

**Director: ÁNGEL FAZ CANO**

---

## ÍNDICE

1. Resumen
2. Abstract
3. Glosario de Abreviaturas
4. Introducción
  - 4.1. Sistemas de cultivo
  - 4.2. Fijación biológica del nitrógeno
  - 4.3. Gases de efecto invernadero
  - 4.4. Estado nutricional del suelo
  - 4.5. Secuestro de carbono
5. Objetivos
6. Material y métodos
  - 6.1. Zona de estudio
    - 6.1.1. Descripción de la zona de estudio
      - 6.1.1.1. Situación geográfica
      - 6.1.1.2. Geología
      - 6.1.1.3. Topografía
      - 6.1.1.4. Climatología
      - 6.1.1.5. Vegetación
      - 6.1.1.6. Edafología
  - 6.2. Diseño experimental
    - 6.2.1. Monocultivo
    - 6.2.2. Rotación
  - 6.3. Ciclo de las leguminosas
    - 6.3.1. Monocultivo
    - 6.3.2. Rotación
    - 6.3.3. Preparación del terreno
    - 6.3.4. Siembra
    - 6.3.5. Muestreo
  - 6.4. Métodos analíticos de laboratorio
  - 6.5. Análisis estadístico
7. Resultados y discusión
8. Conclusiones
9. Referencias

## 1. RESUMEN

El objetivo de este proyecto ha sido determinar qué efectos pueden ocasionar en el uso agrícola el **cultivo de las leguminosas** de grano en rotación como una opción para reducir el uso de **fertilizantes nitrogenados sintéticos** dados los problemas que ocasiona la fertilización nitrogenada, ya que el aporte de excesivas cantidades de nitrógeno a los suelos y a las aguas tiene muchas consecuencias nocivas para el medio ambiente.

Para ello, se han seleccionado dos especies de leguminosas, ***Vicia faba* L.** y ***Vigna unguiculata* L. Walp.**, y se pretende con ello compararla capacidad de suministrar nutrientes al suelo en rotación con especies no leguminosas. Las **prácticas de manejo** se han realizado tanto en forma convencional como orgánica. Se han seleccionado dos genotipos de cada especie para el estudio de la influencia de la **variabilidad genética** en la **fertilidad y calidad del suelo**. Se determinaron parámetros en los suelos como carbono secuestrado en la **materia orgánica** y en forma de **carbonatos y nitrógeno total**. Se estimó la productividad de los suelos cultivados para cultivo convencional y orgánico y su capacidad de mineralizar nitrógeno durante el ciclo de este cultivo. No se detectaron efectos significativos del cultivo sobre el pH ni problemas de acidificación. El **nitrógeno total** mostró tendencias semejantes al carbono orgánico, no siendo la relación **C/N** afectada por el uso del suelo como cabría esperar.

La concepción del término **fertilidad** ha ido modificándose con el tiempo y en la actualidad más se acerca al concepto de **productividad** que a otra cosa. O sea, lo que ofrece potencialidad nutricional a un suelo no es sólo su contenido de nutrientes, sino todos aquellos factores tanto químicos como físicos y biológicos que influyen sobre la **disponibilidad y accesibilidad** de los nutrientes por la planta.

## 2. ABSTRACT

The objective of this project was to determine the effects of **rotational grain legume crops** on agricultural use as an option to reduce the use of synthetic nitrogen fertilizers, given the problems caused by **nitrogen fertilization**, since the contribution of Excessive amounts of nitrogen to soil and water has many harmful consequences for the environment.

Two legume species, *Vicia faba L.* and *Vigna unguiculata L. Walp.*, were selected and the aim is to compare the capacity of nutrients to the soil in rotation with non-leguminous species. **Management practices** have been performed in both conventional and organic forms. Two genotypes of each species have been selected for the study of the influence of **genetic variability** on **soil fertility** and **quality**. Parameters were determined in soils as carbon sequestered both in **organic matter** and in the form of **carbonates**, and **total nitrogen**. The productivity of soils cultivated for conventional and organic cultivation and their capacity to mineralize nitrogen during the cycle of this crop was estimated. No significant effects of the culture on pH or acidification problems were detected. **Total nitrogen** showed trends similar to organic carbon, with the **C/N** ratio did not affect by land use as might be expected.

The conception of the term **fertility** has been changing over time and nowadays it is closer to the concept of **productivity** than something else. That is, what offers nutritional potential to a soil is not only its nutrient content, but all those chemical, physical and biological factors that influence the **availability** and **accessibility** of nutrients by the plant.

### 3. GLOSARIO DE ABREVIATURAS

**C:** Carbono

**N:** Nitrógeno

**P:** Fósforo

**S:** Azufre

**MO:** Materia orgánica

**C/N:** Relación carbono nitrógeno

**BNF:** Fijación biológica de nitrógeno

**N<sub>ATMOSFÉRICO</sub>:** Nitrógeno atmosférico

**SMB:** Biomasa Microbiana del Suelo

**N<sub>LÁBIL</sub>:** Nitrógeno lábil

**C<sub>LÁBIL</sub>:** Carbono lábil

**C<sub>org</sub>:** Carbono total del suelo

**N<sub>tot</sub>:** Nitrógeno total del suelo

**C<sub>orgánico</sub>:** Carbono orgánico

**HI:** Índice de cosecha

**N:** Consumo elevado total de fertilizantes nitrogenados

**SNF:** Fijación simbiótica de Nitrógeno

**NdfA:** Nitrógeno obtenido de la atmósfera

**MOS:** Materia orgánica del suelo

**C/P:** Relación carbono/Fósforo

**SOC:** Carbono orgánico del suelo

**[CO<sub>2</sub>]:** Concentración atmosférica

**PNB:** Producción neta de la biosfera

**WUE:** Eficiencia en el uso del agua

**WUE<sub>i</sub>:** Eficiencia inicial en el uso del agua

**CO<sub>2</sub>:** Dióxido de carbono

**N<sub>2</sub>O:** Óxido de Nitrógeno

**NH<sub>4</sub>:** Metano

## 4. INTRODUCCIÓN

La **sostenibilidad** en el contexto de la **producción agrícola**, implica preservar y/o mejorar la capacidad productiva del sistema desde el punto de vista agronómico, económico y ambiental, así como preservar la calidad de los recursos renovables y no renovables incluidos en el sistema productivo (**suelo, agua, aire, biodiversidad**) (García, 2012). Entre estos recursos, se destaca el suelo como recurso finito no renovable. El suelo debe proveer un medio para el crecimiento de las plantas, regular y direccionar el flujo del agua y servir como un amortiguador ambiental que atenúe el efecto o degrade los compuestos ambientales peligrosos (García, 2012).

La **calidad del suelo** se define en términos de sus propiedades químicas, físicas y biológicas (Robinson et al., 1994). Entre estas propiedades, la **materia orgánica (MO)** es considerada como uno de los más importantes indicadores de la calidad del suelo y de la sostenibilidad de los sistemas agrícolas (Robinson et al., 1994). La **MO** es la fracción orgánica del suelo en la cual se incluyen los residuos vegetales y animales en descomposición (10-20%), la biomasa microbiana (1-5%) y el humus (50-85%) (García, 2012). Se excluyen los residuos vegetales y animales sin descomponer. La determinación analítica de la **MO** involucra la determinación del carbono (**C**) orgánico del suelo que constituye aproximadamente el 58% de la **MO** (García, 2012).

La importancia de la **MO** radica en su relación con numerosas propiedades del suelo, propiedades físicas (densidad, capacidad de retención de agua, agregación y estabilidad de agregados, color y temperatura), propiedades químicas (reserva de **nutrientes** como (**N**), **fósforo (P)**, **azufre (S)** y otras como **pH**, capacidad de intercambio catiónico, capacidad tampón, formación de quelatos), propiedades biológicas (biomasa microbiana, actividad microbiana (respiración), fracciones lábiles de nutrientes) (Gómez et al., 2001).

El contenido de **MO** está determinado por los factores de formación del suelo (tiempo, clima, vegetación, material parental, topografía, manejo) (García, 2012). El manejo del suelo afecta el contenido de **MO** y los principales factores de cambio son el número de años de agricultura, cultivos, labranza, rotaciones, manejo del cultivo, fertilización y periodos de barbecho (García, 2012).

La **demanda global de alimentos**, forrajes, fibras y biocombustibles en los últimos años ha impulsado un fuerte aumento de la producción de granos a nivel mundial (García, 2012). Los costes crecientes de la tierra y de otros recursos e insumos, en muchos casos no son

compensados por los precios de los granos, condición a la que se le suma la incertidumbre de las condiciones económicas y climáticas para el futuro cercano (García, 2012). En este marco, la intensificación productiva sostenible, definida como la mayor y más eficiente producción por unidad de recurso y/o insumo utilizado, se presenta como una alternativa válida (García, 2012). Esta intensificación busca mejorar la eficiencia en términos **agronómicos, económicos y ambientales** e involucra sistemas de producción y no solamente cultivos (García, 2012).

Los **principales aspectos** que deben considerarse en la implementación de sistemas intensificados sostenibles son (García, 2012):

- Rotaciones
- Siembra directa
- Balance de nutrientes y nutrición adecuada de cultivos y suelos
- Genética
- Manejo integrado de plagas, enfermedades y malezas

Las tendencias actuales en la política agraria de la **Unión Europea** van encaminadas hacia una producción sostenible y más respetuosa con el medio ambiente, así como a conseguir una producción agrícola más competitiva en el mercado mundial (Confanole et al., 2006). Un manejo racional de los cultivos implica el empleo de todas aquellas estrategias que permitan sacar el máximo partido a los cultivos sin comprometer el futuro de los sistemas agrícolas (Confanole et al., 2006). En este contexto, y en el marco del precio de la energía en continuo ascenso, el papel de las leguminosas en su conjunto está siendo reivindicado y comienza a tener cierta importancia en sistemas de agricultura sostenible, ya que constituyen la familia botánica que ha mantenido la producción y la fertilidad de los sistemas agrarios mediterráneos desde la antigüedad, produciendo nitrógeno fijado de forma biológica, y ayudando a combatir enfermedades, plagas y malas hierbas, al romper la continuidad de los cultivos de cereales (Confanole et al., 2006). Los aportes de nitrógeno a través de la fijación en los nódulos de las leguminosas se consideran fundamentales para una producción sostenible, tanto económica como ambientalmente, en la agricultura comunitaria actual (Howiesonet al., 2000).

Los **cultivos de leguminosas** enriquecen el suelo con nitrógeno y se descomponen rápidamente debido a su baja relación **C/N** ([www.fao.org/ag](http://www.fao.org/ag)). Más adelante, cuando el sistema está estabilizado es posible incluir cultivos de cobertura con una función económica, como por ejemplo forraje para el ganado ([www.fao.org/ag](http://www.fao.org/ag)).

Una manera de minimizar las aplicaciones de **N** en el sistema agrícola, es incluir leguminosas en las rotaciones de cultivos que puedan incrementar el nitrógeno a partir de la fijación biológica de **N atmosférico** (Ovalle, 2011).

La **acumulación de nitratos** en el subsuelo que, por lixiviación, pueden incorporarse a las aguas subterráneas o bien ser arrastrados hacia los cauces y reservorios superficiales, provocan un elevado consumo de oxígeno y su reducción en el medio acuático, dificultando la incidencia de la radiación solar por debajo de la superficie a consecuencia de la eutrofización del medio (Sprent y Sprent, 1990). La **contaminación por nitratos** de las **aguas subterráneas** puede provocar también graves afecciones a la salud humana ya que pueden ser reducidos a nitritos en el interior del organismo humano que pueden reaccionar con las aminas, sustancias ampliamente presentes en nuestro organismo, originando las nitrosaminas, un tipo de compuesto sobre cuya acción cancerígena no existen dudas (Sprent y Sprent, 1990).

La persistencia en el **suelo** de productos nitrogenados provoca también problemas, pues contribuye a la **acidificación** de muchos **suelos cultivables**, junto con los compuestos azufrados que se forman durante los procesos de combustión y después precipitan desde la atmósfera (Bertsch, 2001). Los **óxidos de nitrógeno** reducen la capa de ozono de la atmósfera y varios de ellos son importantes gases de efecto invernadero (Bertsch, 2001). Además de esto, el componente animal también influye en la medida que los animales en pastoreo consumen altas cantidades de nitrógeno (Bertsch, 2001).

La idea básica de que el **suelo**, como componente del **sistema de producción suelo-planta-clima-manejo** es a su vez un sistema por sí mismo, y que por lo tanto funciona como una unidad, en respuesta a la interacción directa de todos sus **componentes**, se desdeña con demasiada facilidad (Bertsch, 2001). Dicho de otra manera, con relativa frecuencia se olvida que el secreto para lograr la expresión concreta de toda la potencialidad de un suelo radica en contribuir a la acción articulada de cada una de sus fracciones particulares (Bertsch, 2001). O sea, hay que conocer cada uno de esos componentes del suelo y sobretodo, la forma en que están interactuando con el resto para poder, mediante manejo, lograr su mejor expresión (Bertsch, 2001).

La cantidad de **fertilizante** que se debe aplicar a un cultivo es una de las principales decisiones que tiene que tomar un productor antes de establecer un cultivo en el campo o aplicar la fertilización de mantención a un cultivo establecido (Bertsch, 2001). La decisión que se tome debe asegurar que el cultivo tenga un resultado exitoso y económicamente rentable (Bertsch, 2001).



El **uso agrícola** de los suelos lleva comúnmente a procesos de degradación como la erosión (Follet y Stewart, 1985), la compactación (Hamza y Anderson, 2005), la acidificación (Bünemann et al., 2006), la salinización (Huffman et al., 2000), la pérdida de materia orgánica (Davidson y Ackerman, 1993; Houghton et al. 1983) y la de nutrientes (McLauchlan, 2006). Estos procesos de degradación pueden afectar la productividad de los suelos (Follet y Stewart, 1985; Pan et al., 2009) y la sustentabilidad de los sistemas productivos (Doran et al., 1994).

A su vez, en un contexto de **cambio climático**, el foco de los estudios recientes sobre la materia orgánica de los suelos apunta a determinar no solo su impacto sobre la productividad sino su función como posible destino del carbono de la atmósfera y mitigar el cambio climático (Mishra et al., 2009, Meersmans et al., 2009). Actualmente el **secuestro de carbono** es uno de los servicios ecosistémicos de mayor interés en suelos cultivados y no cultivados (Álvarez et al, 2012).

Muchos estudios en el Mundo tratan de estimar la **capacidad de secuestro de carbono** de los suelos según las condiciones climáticas, edáficas y de manejo (Schulp et al., 2008, Liang et al., 2005). También los contenidos de **carbono inorgánico** pueden ser afectados por el cultivo del suelo, especialmente en zonas áridas y semiáridas. Incrementos del contenido de carbono inorgánico se pueden producir por riego con aguas carbonatadas (Wu et al., 2009), y pérdidas tras la labranza pueden ocurrir por exposición de suelo previamente enterrado a la atmósfera (Moreno et al., 2006) o acidificación por fertilización (Wu et al., 2009).

Este **proyecto** realiza un estudio de **la fertilidad del suelo y secuestro de carbono**, así como los efectos beneficiosos de las rotaciones de cultivos con leguminosas constituyendo un factor importante en el aumento de la fertilidad del suelo, y pretende hacer la recomendación de aumentar el **cultivo de leguminosas** con el fin de disponer de un adecuado suministro de alimentos, en detrimento del consumo de fertilizantes nitrogenados con el fin de preservar el medio ambiente que nos rodea.

## 4. 1. Sistema de cultivo

Normalmente, en los **agrosistemas** los procesos de **liberalización y absorción** de nutrientes ocurren separadamente en el tiempo resultando una baja eficiencia en su uso (Sepúlveda et al., 2010). En los **sistemas de agricultura de conservación** se crea un nuevo equilibrio entre las propiedades del suelo (químicas, físicas y biológicas) y el ecosistema en su conjunto (suelo, agua y planta) y, por ende, se promueve un mejor equilibrio entre la mineralización, la inmovilización, la disponibilidad y las pérdidas, resultando en una mayor estabilidad biológica del suelo (Sepúlveda et al., 2010). La rotación de cultivos es la sucesión recurrente y regular de diferentes cultivos en el mismo terreno a lo largo del tiempo (Sepúlveda et al., 2010). Esta práctica ha sido ampliamente utilizada en sistemas de conservación de suelos (Sepúlveda et al., 2010). Así, se ha demostrado que aumenta la disponibilidad de los nutrientes, mejora la **estructura del suelo** y su **actividad biológica**, incrementa los rendimientos de los cultivos, adiciona materia orgánica al suelo y mejora su fertilidad (Sepúlveda et al., 2010). Sin embargo, el éxito de la **rotación de cultivos** depende de la selección y secuencia de los cultivos que van a rotarse (Sepúlveda et al., 2010).

Por lo tanto, para **diseñar** la **rotación**, se debe considerar los siguientes criterios técnicos (Sepúlveda et al., 2010):

- ◆ Elegir cultivos en forma equilibrada, los que aportan nutrientes y extractivos.
- ◆ Incluir leguminosas por su aporte de nitrógeno.
- ◆ Incluir abonos verdes.
- ◆ Incluir cultivos con diferentes sistemas radiculares.
- ◆ Separar en espacio y tiempo los cultivos que presentan susceptibilidad a similares enfermedades, plagas o malezas.

Es importante que los cultivos considerados en la **rotación** tengan exigencias nutricionales diferentes, pero con similares requerimientos de pH; que mantengan el suelo cubierto; que incrementen el contenido de materia orgánica y la estructura del suelo (Sepúlveda et al., 2010).

Sin embargo, es preferible en algunos casos establecer un cultivo recuperador, como es el caso de abonos verdes, aunque no se obtenga cosecha, ya que a pesar de no ser económicamente rentable, aumenta la producción del cultivo siguiente (Sepúlveda et al., 2010).

Los cultivos difieren por la **cantidad y calidad de los residuos** que producen y, por lo tanto, por sus efectos sobre las propiedades del suelo. Por ejemplo, los cultivos de leguminosas y de oleaginosas producen menos residuos que se descomponen más rápidamente, tienen una razón **C/N** más baja y son más fáciles de manejar durante la siembra directa, comparados con los cereales ([www.fao.org/ag](http://www.fao.org/ag)).

Las **rotaciones de cultivos** pueden incluir cultivos comerciales y de cobertura. La rotación ideal en la **Agricultura de Conservación** es aquella en la cual los cereales y los pastos son diversificados con leguminosas, crucíferas, malváceas y otras ([www.fao.org/ag](http://www.fao.org/ag)). Este tipo de rotación ([www.fao.org/ag](http://www.fao.org/ag)):

- causa la interrupción de ciclos de plagas, enfermedades y malezas.
- produce diferentes cantidades y tipos de residuos
- facilita el manejo de los residuos
- mejora los ciclos nutrientes
- varía las épocas de siembra

Durante la **planificación** de una **rotación de cultivo** para la **Agricultura de Conservación** es necesario: alternar un cultivo de granos con uno de leguminosas u oleaginosas, alternar un cultivo que produce gran cantidad de residuos con uno que produce pocos residuos y determinar si el cultivo es rentable y si es coste/efectivo ([www.fao.org/ag](http://www.fao.org/ag)).

Los efectos positivos de la **rotación de leguminosas** en posteriores cosechas de cereales han sido comprobados por muchos científicos (Kaleem, 1993; Carsky et al., 1997). Estos efectos beneficiosos han sido atribuidos a la disponibilidad de nitrógeno extra a través de la **fijación biológica (BNF)** y los efectos de otras rotaciones (Sanginga et al., 2002). Donde los nutrientes por encima del suelo de los componentes de la **biomasa de las leguminosas** son movidos desde el sistema, la red de la contribución de nitrógeno al suelo puede ser negativa y los otros efectos de la rotación serán únicamente responsables para el incremento de la cosecha en el cultivo posterior (Sanginga et al., 2002).

Estos otros efectos de la rotación incluyen el aumento de las **actividades microbianas y químicas** del suelo las cuales han sido comprobadas por varios autores en distintos suelos temporadas y secuencias de cultivos (Baldock et al., 1981; Reeves and Wood, 1994; Bagayako et al., 2000; Giller, 2001).

El **aumento de carbono** y la diversidad de residuos de plantas que regresan al suelo y contribuyen a los efectos físicos, químicos y biológicos de la rotación (Varvel, 1994; Friedelett al., 1996).

Los efectos del cultivo de leguminosas en las propiedades físicas y químicas se empiezan a manifestar sólo después de un largo periodo (Yusuf, Abaidoo, Iwuafor, Olufajo, Sanginga, 2009).

Las **propiedades biológicas** como son la **Biomasa Microbiana del Suelo (SMB)** son frecuentemente usadas como un indicador temprano de cambios en propiedades físicas y químicas resultando de la dirección del suelo en los ecosistemas de la agricultura (Brookes, 1995; Trasar-Cepeda et al., 1998; Suman et al., 2006). El carbono microbiano del suelo y el nitrógeno microbiano son importantes componentes de la **biomasa microbiana** y constituyen **1-7%** del carbono total del suelo ( $C_{org}$ ) y hasta un **5%** del Nitrógeno total del suelo ( $N_{tot}$ ) respectivamente (McGill et al., 1986; Sørensen, 1987; Anderson y Domsch, 1989; Insam et al., 1989; Sparling, 1992).

En la mitad se obtienen las más altas **cantidades de N y C lábil** (Jenkinson y Ladd, 1981) (Jensen, Peoples, Hauggaar-Nielsen, 2009).

Por lo tanto, la **disponibilidad y productividad de nutrientes** de los agroecosistemas pueden ser influenciadas por la talla y actividad de los SMB (Jensen et al., 2009). Hay escasez de información en los efectos de las rotaciones de SMB (Jensen et al., 2009).

En un estudio (Adeboye et al., 2006) demostraron los efectos de un ciclo de rotación con un solo genotipo de grano y cultivos herbáceos en suelos con propiedades químicas y microbianas (Jensen et al., 2009). El estudio mostró que sin tomar en consideración la secuencia de cultivos, la comunidad de hongos dominó la **SMB** y el **flujo** fue determinado para el **pH del suelo y C orgánico** (Jensen et al., 2009).

Sin embargo, algunos estudios mostraron que la **introducción de leguminosas** con un cereal basados en sistemas de cultivo pueden crear un cambio en la población microbiana (Suman et al., 2006), pueden informar de la alta actividad bacteriana en cultivo de caña de azúcar con leguminosas mientras la colonización por población de hongos fue excluida con cereales y cultivo de mostaza (Jensen et al., 2009).

Irvine et al (2004) concluyeron que el desarrollo aumentó los agentes de plantas no leguminosas después de la rotación con leguminosas en naturaleza bacteriana más que fúngica.

La incorporación de **leguminosas** en los **ciclos de cultivo** está siendo cada vez más fomentada como un camino para mejorar la sostenibilidad de la producción de cereales, especialmente en el contexto de detener el perjuicio del medio ambiente causado por el excesivo uso de fertilizante inorgánico nitrogenado (Giunta et al., 2009). La **rotación leguminosa/trigo** reduce la inversión de fertilizante y el aumento de patógenos en el suelo (Loomis and Connor, 1992). Sin embargo, el rendimiento económico del cultivo de leguminosas es más bajo y menos estable que el de otros cereales (King, 1984; Reeves et al., 1984; Giunta et al., 2003). Tras compararse varias leguminosas grano y especies cereales (Giunta et al, 2003) mostraron que el **rendimiento más alto** potencial de los cereales sobre las leguminosas está relacionado con su gran capacidad de acumular biomasa, mientras que el índice de cosecha (HI) como parámetro era solo capaz de explicar las diferencias entre los cereales o las especies de leguminosas (Giunta, Pruneddu, Motzo, 2009).

El **rendimiento comparativo** de esos dos grupos de especies botánicas puede ser analizado con más detalle teniendo en cuenta como recurso la formulación de datos, esto supone que la captura de radiación juega un papel clave en ambos materia seca y la acumulación de nitrógeno (Hay y Porter, 2006). La utilidad de este acercamiento en especies analizadas con muy diferentes crecimientos se ha demostrado por (Scott et al, 1994) en una comparación entre el trigo y remolacha de azúcar (Giunta, Pruneddu, Motzo, 2009).

Cuando el agua no está limitada, ambos **Carbono y Nitrógeno** están estrechamente conectados a través del desarrollo del área de la hoja y el patrón de radiación interceptada (Lemaire et al., 2007).

La **rotación de cultivos** tiene varias ventajas si se compara con los sistemas de monocultivo (García, 2012). Las principales ventajas son:

- Posibilidad de acumular mayor cantidad de residuos de diferentes características lo que produce significativos aportes de **C** para el suelo.
- Mayor intensidad de uso del suelo.
- Mayor eficiencia de uso del agua.

Existen numerosos ejemplos a nivel mundial de las **ventajas** de intensificación del manejo de las **rotaciones** en el incremento de los niveles de **MO** y en el mejoramiento de otros

índices de calidad del suelo y/o en la eficiencia de uso de los recursos (Gregory y Drury, 1996; Peterson et al., 1998; Amado et al., 2006; Andriulo et al., 2008; Galantini et al., 2008). La mayor acumulación de **MO** se produce, entre otras razones, por la mayor producción de residuos provenientes de rendimientos más altos, por la reducción de los períodos bajo barbecho y por el uso más eficiente del agua (García, 2012).

En general, **la inclusión de gramíneas** en la rotación mejora el **balance de C** del suelo, tanto por la cantidad como por la calidad de los residuos a la vez que se logra una mayor cobertura del suelo (Havlin et al., 1990; Studdert y Echevarría, 2000). En estudios realizados se muestra el **balance de C del suelo** de dos rotaciones (Havlin et al., 1990; Studdert y Echevarría, 2000). En la rotación que tiene una mayor frecuencia de gramíneas (trigo y maíz), el balance de **C** es positivo, pero el balance es negativo en la rotación con mayor frecuencia de soja (Havlin et al., 1990; Studdert y Echevarría, 2000). El impacto negativo en el contenido de MO que se presenta cuando existe una mayor frecuencia de soja en las rotaciones, con respecto a cultivos como maíz o sorgo, ha sido descrito por varios autores en diversas regiones del mundo (Havlin et al., 1990; Studdert y Echevarría, 2000).

Una alternativa para mejorar el **balance de C en el suelo** es la utilización de **cultivos de cobertura** (García, 2012). Esta práctica está muy difundida en numerosas zonas, donde se utiliza avena negra entre la rotación entre dos cultivos de grano en verano (Fiorín, 1999). En estos dos sistemas, la inclusión de leguminosas como cobertura (lablab, mucuna, caupí, vicia o guandú) mejora la acumulación de MO (Amado et al., 2006; Vieira et al., 2009). En climas templados, la inclusión como cultivos de cobertura de gramíneas como centeno o avena, o de leguminosas como vicia o trébol encarnado, es también una buena alternativa para fijar una mayor cantidad de C atmosférico en el suelo (Ruffo, 2003).

Un resumen presentado por (Bayer et al., 2010) muestra que las **tasas de secuestro de C** en sistemas bajo siembra directa están directamente relacionadas con el aporte anual de C de los cultivos (García, 2012). Las estimaciones regionales de Amado y Bayer (datos no publicados) indican que los sistemas de **rotaciones intensivas** de cultivos permiten alcanzar retenciones de C significativas, comparadas con secuencias de baja intensidad de cultivos (García, 2012).

El **sistema de cultivo** que tiene como objetivo producir en equilibrio con la naturaleza respetando el medio ambiente es el cultivo ecológico (Martínez, 2008). Su finalidad es obtener productos saludables sin desestabilizar los ecosistemas agrarios (Martínez, 2008). Es el sistema que utiliza al máximo los recursos y mecanismos de producción naturales, asegurando a largo

plazo una agricultura sostenible, siendo una de sus principales características la exclusión del uso de compuestos químicos de síntesis tanto para la fertilización como para el control de plagas y enfermedades (Martínez, 2008). Las técnicas utilizadas se basan fundamentalmente en aumentar la diversidad de los cultivos y el uso de cubiertas vegetales para la conservación del suelo (Martínez, 2008).

Entre sus **ventajas** se pueden mencionar que respeta los ciclos naturales, aportando con ello condiciones de vida adecuadas, que constituye una reserva genética de las variedades autóctonas de cada zona, que potencia la fertilidad del suelo y garantiza la continuidad de la producción agraria (Martínez, 2008).

## 4.2. Fijación biológica del nitrógeno

La **familia de las leguminosas** es la única capaz de formar una relación simbiótica con ciertas bacterias, principalmente *Rhizobium* spp. (Brehmer et al., 2008). La **bacteria inoculada** es la estructura arraigada y allí crece bien mientras en el intercambio los sacáridos fluyen en la corriente del xilema y dan componentes nitrogenados a la planta, o directamente (exceso de nitrato) o indirectamente (después de la descomposición de la bacteria muerta o del material de la planta) (Brehmer et al., 2008). Este extraordinario rasgo permite a las leguminosas fijar nitrógeno atmosférico naturalmente, llamado fijación biológica de nitrógeno (**BNF**) (Brehmer et al., 2008). La habilidad para formar esta simbiosis reduce el ratio de la aplicación de fertilizante nitrogenado en las prácticas agrícolas (Brehmer et al., 2008). El **potencial BNF** para la mayoría de especies está en el rango de 200-300 kg N/ha al año, con un máximo sobre 540 kg/ha. Tras la problemática de aplicación excesiva de fertilizantes sintéticos, una práctica recomendable sería la de incorporar un cultivo de leguminosa para mantener la fertilidad del suelo (Brehmer et al., 2008).

A nivel mundial, las **leguminosas** son cultivadas aproximadamente en **250 M/ha** y aseguran acerca de **90 Tg de N** por año (Kinzig y Socolow, 1994). La **fijación biológica de Nitrógeno (BNF)**, ofrece una serie de ventajas sobre el fertilizante nitrogenado (N), incluyendo la alta eficiencia en la utilización de N por la planta, la minimización del nitrógeno en suelos y la contaminación de aguas (Peoples et al., 1995). Además, **BNF** tiene efectos beneficiosos para el cultivo posterior en rotaciones y para no leguminosas en parcelas mezcladas, por lo tanto es importante para mantener la productividad en muchos sistemas agrícolas (Graham y Vance, 2000). Sin embargo, **BNF** es particularmente sensible al estrés medioambiental como la

deficiencia de nutrientes fósforo (**P**) es después **N**, los más limitados nutrientes para cultivos (Vance et al., 2000).

El **consumo elevado total de fertilizantes nitrogenados (N)** (Stoate et al., 2001) y pesticidas de los países de la UE y el uso intensivo de fertilizantes es revelado por diversos impactos en el entorno como son la polución de agua, reducción y biodiversidad o emisión de gases de efecto invernadero (Stoate et al., 2001). La **rotación de cultivos** bien diseñada son elementos clave de buenas prácticas agrícolas pero esto muestra cómo ha sido parcialmente perdida en el curso de la especialización y la intensificación de la producción agrícola. (Nemecek et al., 2015). La **regla de la rotación** de cultivos de reducir el impacto medioambiental ha sido también reconocida en la corriente reforma CAP de la European Commission (2011) (Nemecek et al., 2015).

En particular, la **introducción de leguminosas** tiene el potencial de reducir el impacto medioambiental, a través de la habilidad para fijar nitrógeno desde el aire en simbiosis con la bacteria *Rhizobium*, y en consecuencia reducir el uso de **fertilizante nitrogenado mineral N** por un lado y la diversificación de la rotación de cultivos por otro lado (Köpke y Nemecek, 2010; Nemecek et al., 2008).

Las **leguminosas**, de este modo, proporcionan nitrógeno en la rotación de cultivos y hacen efecto como un control de cultivos en la rotación de cultivos con una alta porción de cereales, ambos con potenciales para reducir los impactos medioambientales (Nemecek et al., 2015). Este beneficio potencial, sin embargo, depende fuertemente del diseño de la rotación de cultivos (Carrouéet et al., 2012a; Carrouéet et al., 2012b; Schneider et al., 2010).

Las **leguminosas grano** son un importante factor para la **fijación simbiótica de Nitrógeno (SNF)** en sistemas de cultivos sostenibles para producción de comida, alimento y biomasa para uso industrial (Crews y Peoples, 2004; Jensen et al., 2012; Peoples et al., 2009). Además, la función de las leguminosas grano es un factor importante para obtener rotaciones fértiles en cereales (Hauggaard-Nielsen et al., 2012).

Sin embargo, las **leguminosas grano** tienen la reputación de baja estabilidad de cosecha y los intercultivos leguminosas grano-cereales son sugeridos como una estrategia de cultivo para obtener una más resistente producción de leguminosa grano (Corre-Hellou et al., 2011; Gooding et al., 2007; Jensen, 1996). La **gran estabilidad de la cosecha** es obtenida por medio de la regulación interespecífica por sí misma en el cultivo (Jensen, 1996; Liebman y Dyck, 1993) dando el mejor seguro contra fracaso del cultivo (Hauggaard-Nielsen et al., 2012).



Simbióticamente el **Nitrógeno** fijado por las **leguminosas grano** representa una importante fuente renovable de **N** que puede ayudar a mantener o aumentar la fertilidad de los suelos agrícolas para el beneficio de los cultivos posteriores y reducir el uso de fertilizante nitrogenado (Hauggaard-Nielsen et al., 2012).

Diversos estudios han mostrado como las **leguminosas** pueden tener un efecto beneficioso en el cultivo posterior, causado por la mejora de la fertilización de **N** (e.g. Jensen et al., 2012; Peoples et al., 2009) (Bedoussac y Justes, 2010; Crews y Peoples, 2004; Evans et al., 2001).

La **inoculación de leguminosas** con **Rhizobium spp.** es una práctica común en la agricultura mundial, práctica usada para incrementar el cultivo y para mejorar la fertilidad del suelo sin adición de fertilizantes nitrogenados (Díaz-Ambrona y Minguez, 2001; Lupwayi y Kennedy, 2007). Sin embargo, las especies **Rhizobium** o **leguminosas Rhizobium** en simbiosis pueden también producir **N<sub>2</sub>O**, un mayor gas atmosférico de efecto invernadero. Esto ha sugerido que **Rhizobium** o la simbiosis **leguminosa Rhizobium** contribuye a la **emisión de N<sub>2</sub>O** en diversos **1) N** biológicamente fijado **N** puede ser nitrificado y desnitrificado, de este modo proporcionando una **fuentes de N<sub>2</sub>O** (Galloway, 1998); **2) proporcionando N-residuos fértiles** por descomposición (Baggs et al., 2000; Huang et al., 2004); y **3) directamente por algún rhizobia** que es capaz de desnitrificar produciendo **N<sub>2</sub>O** (O'Hara y Daniel, 1985).

El **aumento de emisiones de N<sub>2</sub>O** desde la agricultura y los ecosistemas naturales se cree que eran causados por un incremento en el suelo de la disponibilidad de **N** conducida por el incremento del uso de fertilizantes, la **fijación biológica de (N<sub>2</sub>)** y el **N sedimentado** (IPCC, 2001). Aunque inicialmente se consideró más importante la fijación de **N<sub>2</sub>** como una fuente de emisiones de **N<sub>2</sub>O** ha sido excluida de los cálculos del inventario nacional por la falta de evidencia (IPCC, 2006). La contribución activamente del **N<sub>2</sub> fijado** por las plantas a emisiones de **N<sub>2</sub>O** ha sido raramente reportado (Zhong et al., 2009). El **uso de leguminosas grano** en rotaciones con cereales y el cultivo de semillas de aceite es una práctica bien establecida para incrementar la fertilidad de los suelos y de los cultivos en el norte de la región pampa del occidente de Canadá (Lupwayi y Kennedy, 2007). Desde los cultivos en la época de los indígenas **Rhizobia** no es capaz de, o es ineficaz para, soportar un adecuado nivel de fijación de **N<sub>2</sub>** si las leguminosas grano no han sido cultivadas previamente (Catroux et al., 2001), por lo que se recomienda que las leguminosas sean inoculadas con **Rhizobia**, particularmente cuando introducen esas leguminosas grano para el primer tiempo dentro de la rotación (Catroux et al., 2001; Hynes et al., 2001).

Así se produce la **simbiosis de leguminosas** con las **bacterias** del género **Rhizobia**; las bacterias del género **Rhizobia** infectan las raíces de las leguminosas y producen tumefacciones parecidas a los tumores que se denominan nódulos (Danso y Eskew, 1985). El centro de cada nódulo maduro está lleno de miles de millones de bacterias que fijan el nitrógeno molecular (Danso y Eskew, 1985). La **planta leguminosa huésped** proporciona la energía necesaria para que se produzca la fijación del nitrógeno molecular, capturando energía de la luz solar por fotosíntesis (Danso y Eskew, 1985). Por lo tanto, la eficacia global de esta simbiosis compleja depende de las eficacias de la leguminosa y de las bacterias (Danso y Eskew, 1985). Por consiguiente, la **genética** de la **leguminosa huésped** y la de las bacterias son sumamente importantes, al igual que la modalidad de su interacción (Danso y Eskew, 1985). Asimismo, todo factor nutritivo o ambiental que afecte a una de las partes influye en la eficacia global de simbiosis (Danso y Eskew, 1985). Dada la complejidad de la simbiosis, es absolutamente esencial que las investigaciones se efectúen en condiciones naturales en que puedan tenerse en cuenta todos los factores (Danso y Eskew, 1985).

Especial consideración sería dada para la variedad **Rizhobium** seleccionada por inoculación, dado que la neta contribución de la **leguminosa-Rhizobium** en simbiosis para la **fijación de N<sub>2</sub>** puede ser afectada por su habilidad de **desnitrificación**, tan buena como su habilidad para fijar **N<sub>2</sub>** (Zhong et al., 2009). Algunos experimentos de campo mostraron el **N fijado** de los suelos por desnitrificación llevado a cabo por **Rhizobia** en ratios comparables a aquellos en los cuales **Rhizobia** fija **N<sub>2</sub>** (O'Hara et al., 1984). Generalmente, la desnitrificación está muy distribuida entre el cultivo lento de **Rhizobia**, pero es raro entre el rápido crecimiento **Rhizobia** en otros como **Rhizobium meliloti** (Monza et al., 2006).

Desde entonces el producto final de muchos de los más activos **desnitrificadores** de **Rhizobium** es **N<sub>2</sub>O**, mucho más que **N<sub>2</sub>** (Bedmar et al., 2005; Okada et al., 2005) y la simbiosis leguminosa-Rhizobium tiene el potencial de incrementar las concentraciones de **N<sub>2</sub>O atmosférico**, y así contribuir al calentamiento global y reducirlos niveles de ozono estratosféricos (IPCC, 2001; Crutzen et al., 2007).

La principal ventaja agronómica del haba es su habilidad para fijar nitrógeno en simbiosis con la **bacteria Rhizobium**, y de este modo sustancialmente contribuir al suministro de proteína para comida humana y pienso animal y reducir mucho la dependencia en energía mineral consumida de **fertilizantes de N** (Köpke y Nemecek, 2010). Es una ventaja que en contraste con otras leguminosas, el haba puede mantener altos ratios de **BNF** en la presencia de altas cantidades de **N** disponible en el suelo (Hardarson et al., 1991; Schwenke et al., 1998;

Turpin et al., 2002), un efecto que puede ser atribuido a su lenta arraigada densidad y arraigada profundidad comparada con otras legumbres y más notablemente leguminosas forrajeras (Köpke, Nemecek, 2010). Hasta el **96%** del **N absorbido** por el cultivo ha sido medido como nitrógeno obtenido de la atmósfera (**Ndfa**) (López-Bellido et al., 2006). Para suelos fértiles, el **Ndfa** supone entre **60%** y **80%**, registrado para regiones templadas o con riego (Carranca et al., 1999; Peoples et al., 2009). Esta porción es principalmente determinada por la **cantidad de nitrógeno del suelo** disponible y accesible tomada por el haba (Köpke y Nemecek, 2010).

Adicionalmente el caupí se considera una de las especies más “promiscuas” al compararse con otras leguminosas (Vasconcelos et al., 1998), debido a que la mayoría de las bacterias fijadoras de nitrógeno (*Rhizobium* spp.) nodulan en él (Méndez-Natera et al., 2007). En experimentos sobre suelos se encontró que existe nodulación natural en las variedades evaluadas y que las estirpes de *Rhizobium* presentes en los suelos varían en su capacidad de infectividad y eficiencia, ya que no siempre las variedades que presentaron un buen resultado en los parámetros de la nodulación fijaron las mayores cantidades de nitrógeno (Gómez-Padilla et al., 2004).

### 4.3. Gases de efecto invernadero

El **cambio climático** y el **calentamiento global** continúan siendo temas de considerable debate científico y de gran inquietud pública (Snyder et al., 2010). Se ha incrementado la percepción pública de que la agricultura es una de las principales actividades que contribuye a las **emisiones de gases de efecto invernadero** que controlan el potencial de calentamiento global y se ha identificado el uso de **fertilizantes nitrogenados** como un factor importante en el proceso (Snyder et al., 2010).

La **agricultura** juega un importante papel en el balance de los tres gases de efecto invernadero más significativos, cuyas emisiones son producto de la actividad humana (Snyder et al., 2010). Estos gases son: dióxido de carbono (**CO<sub>2</sub>**), óxido de nitrógeno (**N<sub>2</sub>O**) y metano (**CH<sub>4</sub>**) (Snyder et al., 2010). El potencial de **calentamiento global** de cada uno de estos gases se puede expresar en equivalentes de **CO<sub>2</sub>**. El potencial de calentamiento global del **N<sub>2</sub>O** y del **CH<sub>4</sub>** es 296 y 23 veces el valor de una unidad de **CO<sub>2</sub>**, respectivamente. De los tres gases, el **N<sub>2</sub>O** puede ser el más importante en relación al uso de fertilizantes (Snyder et al., 2010).

El **CO<sub>2</sub>** explica aproximadamente el **80%** de las emisiones totales de **gases de efecto invernadero** (Picone, 2010). El **CH<sub>4</sub>**, principalmente proveniente de la agricultura, es la categoría de gases siguiente más alta (IPCC, 2007).

Aun cuando se la considera a menudo como una fuente de **gases de efecto invernadero**, en algunas condiciones la agricultura también puede ser un sumidero neto de **CO<sub>2</sub>** y promover una reducción neta en el potencial de calentamiento global (Bouwman, 1990).

Los factores que regulan las **emisiones de CO<sub>2</sub>** en los distintos ecosistemas dependen del nivel de **(O<sub>2</sub>)** y **materia orgánica del suelo** (Picone, 2010). Se considera que los suelos pueden secuestrar **CO<sub>2</sub>** en la materia orgánica, reduciendo de este modo los niveles de **CO<sub>2</sub> atmosférico** (Lal, 2007), mientras se mejora la calidad y productividad del suelo (Picone, 2010). Los procesos de degradación en el suelo como erosión, compactación, pérdida de estructura, mineralización u oxidación de sustancias húmicas conducen a las **emisiones de CO<sub>2</sub>** a la atmósfera (Bruce et al., 1999).

Las pérdidas del **C orgánico del suelo** se acentúan por bajos **niveles de producción, laboreos intensivos, inadecuado uso de fertilizantes y enmiendas orgánicas**, remoción de residuos de cosecha, quema de biomasa y falta de proyección del suelo en contra de la erosión (Cole et al., 1993; Lal, 1995). Una adecuada fertilización puede contribuir al incremento de la **materia orgánica del suelo** o a reducir la tasa de pérdida de ella (Snyder et al., 2010). Una fertilización inadecuada limita la producción de biomasa por el cultivo y puede conducir a un menor **retorno de C al suelo**, menos materia orgánica del suelo y potencialmente una menor productividad del suelo a largo plazo (Snyder et al., 2010).

El **CH<sub>4</sub>** es un gran contribuidor al **efecto invernadero** ya que absorbe la radiación infrarroja y también otra longitud de onda no captada por otros gases (Picone, 2010).

El **N<sub>2</sub>O** proveniente del suelo es producido debido a la **acción de microorganismos**, fundamentalmente bacterias aunque en algunas situaciones como en los ecosistemas áridos o semiáridos pueden participar los hongos (Crenshaw et al., 2008).

Específicamente, **N<sub>2</sub>O** es el producto colateral de dos transformaciones importantes del **N** en el **suelo: nitrificación y desnitrificación** (Picone, 2010). La **nitrificación** es realizada por un grupo específico de **bacterias nitrificadoras** que ganan energía a partir de la oxidación del amonio (**NH<sub>4</sub><sup>+</sup>**) a **nitrito** (Picone, 2010). **Desnitrificación** es la reducción biológica de compuestos oxidados de N a productos gaseosos (Picone, 2010).

La proporción de **N<sub>2</sub>O** con relación a **N molecular (N<sub>2</sub>O/N<sub>2</sub>)** varían en función del **pH**, la relación **C/N** del sustrato y el contenido de humedad del suelo (Picone, 2010). Bajas temperaturas, acidez, baja relación **C/N** y mayor aireación resultan en una mayor relación **N<sub>2</sub>O/N<sub>2</sub>** (Picone, 2010). La humedad del suelo determinará qué proceso se manifestará, no obstante cualquiera de los dos procesos podría resultar en emisiones de **N<sub>2</sub>O** (Picone, 2010). Ambos procesos pueden ocurrir simultáneamente en el suelo debido a la existencia de **micrositios** con diferente tensión de **O<sub>2</sub>** (Renault y Stengel, 1994).

Los **suelos agrícolas** emiten aproximadamente **65-70% del N<sub>2</sub>O** total producido en los ecosistemas terrestres (Wrage et al., 2004), y se debe principalmente al agregado de fertilizantes nitrogenados con lo cual se incrementa la cantidad de **N disponible** para **desnitrificación** y **nitrificación** (Picone, 2010). Sin embargo esta **pérdida gaseosa de N** puede reducirse desarrollando estrategias que permitan un uso eficiente de este nutriente (Picone, 2010). La forma del fertilizante aplicado es importante, el abono animal aplicado en forma líquida genera mayores pérdidas de **N<sub>2</sub>O** comparado con el **fertilizante inorgánico o abono sólido** (Picone, 2010).

Otra práctica que afecta las **emisiones de N** es el momento de aplicación de **fertilizante inorgánico u orgánico**, y lo ideal sería sincronizar con el momento de mayor absorción por parte del cultivo (Picone, 2010). Algunos productores han adoptado la labranza cero o mínima y en algunas áreas estas prácticas reducen la tasa de descomposición de los residuos vegetales, siendo por lo tanto un destino del **C** (Picone, 2010). Sin embargo, el mayor contenido de humedad puede causar más **pérdidas de N<sub>2</sub>O** en suelos pobremente drenados que están bajo estos sistemas de labranza en comparación con la labranza convencional (Picone, 2010).

Las **prácticas de manejo intensivo** de los cultivos que incrementen la **absorción de nutrientes** y eleven los **rendimientos** pueden ser una opción importante para conseguir reducir las **emisiones de gases de efecto invernadero** en la **producción agrícola** (Snyder et al., 2007). Los cultivos de **altos rendimientos** pueden incrementar el **C** almacenado en el suelo (Snyder et al., 2007).

Los siguientes factores del manejo de cultivos, suelo y fertilizantes ayudan a minimizar el potencial de calentamiento global neto (Snyder et al., 2007): **1) elección** de la **combinación correcta de variedades o híbridos** adaptados al sitio y fecha y densidad de siembra correctas para maximizar la producción de biomasa del cultivo; **2) uso táctico de agua y manejo de N**, incluyendo el fraccionamiento frecuente de las aplicaciones de **N** para lograr una alta eficiencia

de uso y mínimas posibilidades de **emisiones de N<sub>2</sub>O**; y **3)** estrategias de **manejo** de los **residuos del cultivo** que favorezcan la acumulación de **materia orgánica del suelo (MOS)** como resultado de grandes cantidades de residuos que vuelven al suelo.

Recientes mediciones (Snyder et al., 2007) demuestran que los factores más importantes que contribuyen a las **diferencias** entre los **sistemas de cultivo** con respecto a su **potencial de calentamiento** muestran que el incremento en el uso global neto están relacionados con el cambio de **C** en el **suelo** y con las **emisiones de N<sub>2</sub>O**. El incremento en el uso de **fertilizantes nitrogenados** no siempre incrementa el potencial de **calentamiento global neto** y que los **sistemas de producción intensivos** que utilizan dosis más altas de **N**, pueden tener menos potencial de calentamiento global neto por unidad de producción de alimentos que los sistemas de producción de **bajos insumos** y los **sistemas orgánicos** (Snyder et al., 2007).

El buen manejo de los **fertilizantes** se basa en la utilización de la fuente correcta, en la cantidad, época y localización correctas (Roberts, 2007)). La mayoría de estudios han mostrado que ciertas condiciones de **suelo, temperatura y disponibilidad de carbono (C)** soluble, tienen una influencia dominante en las **emisiones de N<sub>2</sub>O** (Snyder et al., 2007). El mal manejo de la dosis, fuente, época de aplicación y localización del fertilizante y la falta de un adecuado balance con otros nutrientes esenciales, pueden incrementar las pérdidas generales de **N** y las **emisiones de N<sub>2</sub>O** (Snyder et al., 2007). Cuando se aplica **N** en cantidades superiores a la dosis óptima económica, o cuando el **N disponible** en el suelo (especialmente en formas de **NO<sub>3</sub><sup>-</sup>**) excede a las cantidades absorbidas por los cultivos, el riesgo de **emisiones de N<sub>2</sub>O** se incrementa.

Las **leguminosas** y otros cultivos que fijan **N** incluidas en la **rotación**, también pueden contribuir a las **emisiones de N<sub>2</sub>O** después de su **ciclo de crecimiento** a medida que se descomponen sus residuos (Snyder et al., 2007). Sin embargo en **regiones áridas y semiáridas**, las cuales representan más de una tercera parte de la **agricultura global** son extensamente usadas para **cultivos de grano** (Harrison y Pearce, 2000). En estas áreas, la adopción de sistemas de **agricultura de conservación** incluye **rotaciones de cereales leguminosas** está siendo promovida y sigue para ser incrementada cada año (Kassam et al., 2010).

La reducida cantidad de **fertilizantes de N** añadida a los cultivos en la **agricultura orgánica** en comparación con el cultivo convencional podría ser responsable de la inferior emisión de **N<sub>2</sub>O** observada por debajo en la gestión orgánica (Flessa et al., 2002; Burger et al., 2005; Petersen et al., 2006; Phillips, 2007). Por otra parte, los **fertilizantes orgánicos** usados en

sistemas de cultivo orgánico son asociados con un incremento de los índices de materia orgánica en descomposición, los cuales pueden aumentar las **emisiones de N<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub>** en comparación con los sistemas de cultivo convencionales (Kontopoulou et al., 2015). Con respecto a las **emisiones de CH<sub>4</sub>**, los suelos usados para la producción de plantas son una fuente menor de **CH<sub>4</sub>** sólo después de la **aplicación de estiércol** y otros **materiales orgánicos** (Johnson et al., 2007; Dendooven et al., 2012).

La reintroducción de **leguminosas en rotación** de cultivos es una posible estrategia para reducir las entradas de N sintético mientras se realiza la cosecha de grano (Crews y Peoples, 2004; Jensen et al., 2012). Debido a su habilidad para fijar N<sub>2</sub> atmosférico en simbiosis con la bacteria rhizobia, las leguminosas pueden reducir la demanda de N en el siguiente cultivo y por consiguiente decrecen las emisiones de N<sub>2</sub>O asociadas con fertilizantes de N sintéticos (Migliorati et al., 2015). En un repaso extenso en el uso de leguminosas para aliviar el cambio climático, (Jensen et al., 2012) concluyó que las emisiones de N<sub>2</sub>O durante la estación de cultivo de leguminosas no difería sustancialmente de los suelos implantados o infertilizados (Migliorati et al., 2015).

Sin embargo, después de un **cultivo de leguminosa** hay elevadas **cantidades de N<sub>2</sub>O perdidas**, cuando los residuos de las plantas regresan al suelo (Gomes et al., 2009; Pappa et al., 2011). El bajo índice **C/N** de residuos de **leguminosa** puede en realidad dirigir la rápida mineralización de sus tejidos una vez incorporada dentro del suelo (Migliorati et al., 2015).

Como un resultado, la **acumulación de N mineral** puede suceder en el suelo, incrementando el potencial para cantidades importantes de **N** para ser **perdidas** como **N<sub>2</sub>O** por medio de **nitrificación y desnitrificación** (Jensen et al., 2012).

La **magnitud de N<sub>2</sub>O** perdido en respuesta a la incorporación de **residuos de leguminosas**, es, sin embargo, altamente dependiente del clima local y de las condiciones del suelo (Rochette et al., 2004).

El calor y las condiciones de humedad del suelo durante esos periodos pueden acelerar la mineralización de los tejidos de las **leguminosas** comparada a la temperatura del entorno, principio de las ideales condiciones para la bacteria de **nitrificación y desnitrificación** y por lo tanto aumentando el riesgo de altas **emisiones de N<sub>2</sub>O** (Granli y Bøckman, 1995; Skiba et al., 1997).

Sin embargo, se han investigado las **emisiones de N<sub>2</sub>O** después del cultivo de leguminosa (Wagner-Riddle y Thurtell, 1998; Baggs et al., 2000; Robertson et al., 2000;

Rochette et al., 2004; Schwenke et al., 2010) con pequeños datos que están corrientemente disponibles para esos agrosistemas (Mosier et al., 2004)

Los propósitos totales de este estudio fueron por lo tanto calcular si en condiciones subtropicales (Jensen et al., 2009): **(i) el nitrógeno mineralizado** de residuos de **leguminosas** puede sustancialmente reducir la entrada de **N requerida** por el siguiente cultivo cereal; **(ii) el N<sub>2</sub>O perdido** ocurrido después de la **incorporación de residuos de leguminosas** puede ser minimizado por medio sincronización de la liberación de N derivado de los residuos con el N exigido del siguiente cultivo; **(iii) reduciendo la entrada de N sintético** aplicada a un cereal en rotación con un cultivo de leguminosa puede significativamente disminuir el estacional total **N<sub>2</sub>O** durante la **fase de cereal** (Jensen, Peoples, Hauggaar-Nielsen, 2009).

#### 4.4. Estado nutricional del suelo

El **suelo** es un **subsistema fundamental** de los **ecosistemas** que contiene características **físicas, químicas y biológicas** decisivas en su fertilidad, que a su vez determinan sus propiedades y los cambios que ocurren a través del tiempo, así como la influencia por efecto del cambio de uso del suelo (López, 2012). El **uso intensivo** de los suelos provoca cambios en sus propiedades llegando a afectar la **capacidad productiva** a través de su influencia sobre la vegetación y tipos de usos posibles en la agricultura (Murray et al., 2004).

El cambio de **uso del suelo** es la transformación constante que sufre la **superficie terrestre** debido a la apertura de nuevas tierras agrícolas, desmontes, asentamientos humanos e industriales (Ramos et al., 2004). También señala este trabajo que en la actualidad los estudios de procesos dinámicos de los cambios en la cobertura de suelo y la deforestación son importantes y necesarios, porque proporcionan la base para conocer las tendencias de los procesos de degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad de una región determinada (Ramos et al., 2004).

El **manejo de la fertilidad** del suelo gobierna la **nutrición** de la planta y esto a su vez tiene efecto directo sobre el **crecimiento y rendimiento** así como en otros factores como la susceptibilidad a las enfermedades (Cassman, 1990).

Es difícil distinguir entre **fertilidad** y **productividad del suelo** (Espinosa, 1996). La **fertilidad del suelo** es el resultado de la compleja interacción entre propiedades **físicas, químicas y biológicas**, entonces, un **suelo fértil** es aquel que tiene la combinación precisa de estas **propiedades** y que puede sostener diferentes niveles de productividad de acuerdo a las condiciones específicas de un sitio en particular (Espinosa, 1996).



El definir **productividad** del suelo es difícil, debido a que la **productividad** está controlada por diversos factores (Espinosa, 1996). Entre los **factores externos** se encuentran la **lluvia**, **temperatura** y la **duración del ciclo de producción** y entre los factores internos se encuentra el suelo (Espinosa, 1996). Las condiciones de suelo que influyen en la **productividad** incluyen la profundidad, que controla la exploración de las raíces, las características físicas, que controlan las relaciones suelo-agua-aire, la actividad biológica, que controla la **descomposición** de los residuos vegetales y animales y el **reciclamiento de nutrientes** y, finalmente, las **propiedades químicas** que afectan la **acidez** y la **disponibilidad de nutrientes** (Espinosa, 1996). Además de toda esta variedad de factores, aún en suelos con idénticas características, la destreza del manejo juega un papel muy importante en la determinación de la **productividad del suelo** (Johnston, 1994).

Las **propiedades biológicas** están controladas en gran parte por la **población de microorganismos** vivos en el **suelo**, conocida también como masa microbiana (Espinosa, 1996). En general el contenido de carbono (**C**) de los microorganismos vivientes comprende solamente alrededor de **1 al 8%** del **C** total de la **materia orgánica (MO)** del suelo, pero la supervivencia y funcionalidad (actividad) de muchos de estos microorganismos es vital para mantener la **fertilidad del suelo** (Espinosa, 1996).

La **MO** es la **fracción orgánica del suelo** en la cual se incluyen los **residuos vegetales y animales en descomposición (10-20%)**, la **biomasa microbiana (1-5%)** y el **humus (50-85%)** (García, 2010). Se excluyen los residuos vegetales y animales sin descomponer. La determinación analítica de la **MO** involucra la determinación del **carbono (C) orgánico** del suelo que constituye aproximadamente el **58 %** de la **MO**, por lo que suelen usarse indistintamente los términos **MO** ó **C orgánico** (García, 2010).

La **materia orgánica (MO)** está constituida por los compuestos de origen biológico que se presentan en el suelo (López, 2012). El **edafón** consiste en los organismos vivientes de suelo como son la flora y la fauna. En el horizonte  $A_p$  de suelos cultivados el **edafón** constituye entre el **10-15%** de la **materia orgánica** (Fassbender, 1978).

La **materia orgánica (MO)** del suelo es un **factor estabilizador** de la **estructura del suelo**, ya que ayuda a mantener las partículas minerales unidas frente a las **fuerzas desestabilizadoras** como el humedecimiento e impacto de las **gotas de lluvia** (Pulido et al., 2009).

La **actividad microbiana** depende de la humedad y temperatura del suelo, pero mucho más de la **disponibilidad** de **C** fácilmente accesible que es utilizado como **fuentes de energía** (Espinosa, 1996). De esta manera la **biomasa del suelo** interviene en la descomposición de **residuos de plantas y animales** y en el **reciclaje de nutrientes**, contribuyendo de esta forma a la acumulación de **humus** en el **suelo** (Espinosa, 1996). En cualquier suelo, la acumulación de humus tiende a equilibrarse con el tiempo y la cantidad final de humus depende de la cantidad y calidad del **materias orgánicas añadidas** (Espinosa, 1996). Todo esto a su vez depende de las prácticas de manejo del suelo (Espinosa, 1996).

Las condiciones de manejo de **agricultura de producción** utilizan apreciables cantidades de **fertilizantes** para sostener rendimientos altos (Espinosa, 1996). Sin embargo, es interesante indicar que el uso de **fertilizantes minerales** tiene un efecto significativamente positivo, no solamente en el rendimiento, sino también en la **actividad** de los **microorganismos** y en la **acumulación total** de **MO** en el **suelo** (Espinosa, 1996).

Los resultados de **investigaciones científicas** han demostrado que la **fertilización** afecta positivamente la **biomasa del suelo** al promover una cantidad mayor de raíces, exudadas y residuos proveyendo así de una mayor cantidad de **substrato** que sirve de sustento al **crecimiento microbiano** (Martyniuk y Wagner, 1978; Sarathchandra et al., 1988; Kirchner, et al., 1993). Cualquier práctica de manejo que incremente la acumulación total de **C** incrementa el tamaño y la actividad de la masa microbiana (Buchanam, 1990).

El **aumento** de la **fertilización** provoca que se incremente la población y actividad de los **microorganismos** en las **parcelas fertilizadas** en comparación con las que no reciben **fertilizante nitrogenado** (Espinosa, 1996). Este incremento se debe en parte al mayor crecimiento del cultivo como resultado de la **fertilización** (Espinosa, 1996). Este aumento en **crecimiento** promueve la **acumulación** de mayor cantidad de residuos lo que permite que exista una fuente mayor de substratos para el **crecimiento** de los **microorganismos** (Kirchner et al., 1993).

Se ha demostrado que la **masa microbiana** se incrementa a medida que se incrementa el **crecimiento** de las **raíces** (Lynch y Panting, 1980). La **rotación de cultivos** y la inclusión de **leguminosas** en la rotación permiten un **incremento** aún mayor en la **cantidad** y la **actividad** de la **biomasa del suelo** (Espinosa, 1996).

El **carbono** se incorpora a la biomasa de las plantas a partir del **CO<sub>2</sub> atmosférico**, por medio de la fotosíntesis, mientras que el **N** puede ser absorbido del suelo o bien en algunas plantas, ser fijado biológicamente a partir del **N<sub>2</sub> atmosférico** (Porta et al., 2003).

La relación **C/N** es una indicación útil del grado de descomposición de la **materia orgánica** de los suelos (Buol et al., 2004). La **relación C/N** entre el contenido de **carbono orgánico (C)** y el de **nitrógeno (N)**, determina la tasa a la cual el **nitrógeno** está disponible para las plantas, por lo que se puede utilizar como indicador de calidad de la **Materia Orgánica de medios aerobios**, si sólo se atiende a la facilidad de descomposición (Porta et al., 2003).

Fuentes (1999) explica que la transformación de los **compuestos carbonados** suministra energía para que proliferen los propios **microorganismos** encargados de transformarla, de modo que cuando la proporción de carbono con relación al **nitrógeno** es grande, una gran parte del nitrógeno transformado es utilizado por los **microorganismos** para sintetizar su propia proteína con lo cual hay poca producción de **nitrógeno amoniacal** que pasa al suelo. Para que se libere el **nitrógeno amoniacal** es preciso que la relación **C/N** de la **materia orgánica** sea inferior a **20** (López, 2012). Cuando dicha relación es mayor a 30 no se libera **nitrógeno amoniacal** o se libera muy poca cantidad (López, 2012).

López y López (1990) que la **relación C/N** es un índice de la salud del suelo, y para conocerla se tiene que precisar las determinaciones separadas del **nitrógeno** y del **carbono orgánico**; las concentraciones de ellos nos indicarán la **riqueza del terreno** (López, 2012).

Navarro y Navarro (2003) dan a conocer que los residuos orgánicos con una **relación C/N** bajo por lo general contienen bastante nitrógeno para poder satisfacer necesidades de **microorganismos degradantes** (López, 2012). Por lo tanto a medida que los residuos se descomponen habrá nitrógeno en exceso con relación al que necesitan, el cual se liberará como amoníaco (López, 2012).

Las **plantas superiores** podrán utilizar el **nitrógeno** a medida que transcurre la descomposición (Navarro y Navarro, 2003). Estos mismos autores nos mencionan que por el contrario, si se incorporan restos con una **relación C/N** alto los nitrógenos desaparecerán prácticamente del suelo al ser utilizados exclusivamente por los **microorganismos**; y las **plantas en suelos** en estas condiciones, serán deficientes en **nitrógeno** (López, 2012).

Fuentes (1994) nos menciona que la **MO** con una **relación C/N** muy alta suministra mucha energía y poco nitrógeno, mientras que con una **relación C/N** muy baja suministra poca energía y mucho nitrógeno (López, 2012). En ambos casos los **microorganismos**

**desintegradores** se multiplican poco activamente y la **MO** se descompone con lentitud (López, 2012). En cambio los residuos vegetales con una **relación C/N equilibrada** favorecen la proliferación de los microorganismos y la descomposición rápida de la **MO** (López, 2012).

Los **compuestos fosfatados (P)** más importantes de la **materia orgánica** son **núcleoproteínas, fosfolípidos y fosfoazúcares** (López, 2012). La mineralización de la materia orgánica es lenta y por vía microbiana, requiriendo temperaturas de aproximadamente **25 a 30 °C, pH neutro y humedad** cercana a capacidad de campo (Sanzano, 2012). Este mismo autor nos menciona que el proceso de mineralización está regido por la relación **C/P** de la materia orgánica, cuyo valor crítico es aproximadamente 200 (López, 2012). Por encima de este valor se produce depresión del fosfato inorgánico (López, 2012).

En la **Agricultura de Conservación** la reducción de la **labranza** y la **adición de nitrógeno** por medio de las **leguminosas** conduce a un aumento del nitrógeno total en las capas superiores del suelo (**0 - 7,5 cm**) (Amado et al., 1998).

El uso de ciertos **fertilizantes nitrogenados** tiene efecto sobre la **acidez del suelo** (Haynes, 1983). Generalmente, los cultivos prefieren un **pH** entre **6 y 7**, debido a que este valor permite la máxima disponibilidad de nutrientes (Haynes, 1983). Las **aplicaciones superficiales del nitrógeno** reducen el pH y como resultado reducen el efecto de ciertos herbicidas (Haynes, 1983). En particular, los **fertilizantes amoniacales** como la urea y los **fosfatos mono- y biamónico**, son rápidamente convertidos en nitratos a través del proceso de nitrificación, liberando ácidos y, por lo tanto, incrementando la acidez de la parte superior del suelo (Haynes, 1983).

Muchos estudios informan de un **aumento** de la **acidificación del suelo** en los sistemas basados en leguminosas causado por una **intensa nitrificación**, seguido por la **lixiviación del  $\text{NO}_3^-$**  y la **excreción del  $\text{H}_3\text{O}^+$**  por las **raíces** de las **leguminosas** y la exportación de los productos vegetales y animales (Haynes, 1983). En general, los **sistemas** basados en leguminosas no incrementan la **acidificación del suelo** en su **capa superficial**, donde ocurren las acumulaciones mayores de **materia orgánica** (Haynes, 1983).

Las **leguminosas** tropicales son tolerantes a los **suelos ácidos** y tienen una **menor excreción de  $\text{H}_3\text{O}^+$**  (Haynes, 1983), en contraste con las leguminosas de zonas templadas. Una menor excreción conlleva a una menor acidez del suelo (Burle et al., 1997).

Como consecuencia, el **materia vegetal** de las **leguminosas** es alcalino ( $\text{pH} > 7$ ); si el residuo de la planta es retornado al mismo lugar donde ocurre la excreción de las raíces no

habrá una acidificación neta del suelo (Burle et al., 1997). Las diferencias en la **acidificación** del suelo entre los sistemas basados en leguminosas pueden obtenerse de las diferencias en la lixiviación de los nitratos: un mayor desarrollo de las raíces resulta en un mayor reciclaje del **nitrato** (Burle et al., 1997).

El **intercultivo de cereales con leguminosas** ha sido considerado como uno de los más eficientes **sistemas de cultivo** que incrementan el uso de nutrientes como son **nitrogeno (N), P** y **micronutrientes** (Lambers et al., 2006; Hauggaard-Nielsen et al., 2007; Betencourt et al., 2012). Efectivamente, el **intercultivo** es definido como el crecimiento de más de una especie de **cultivo** o **cultivar** simultáneamente en la misma parcela durante la misma estación de cultivo (OforiyStern, 1987; Hauggaard-Nielsen et al., 2007).

Diversos estudios concluyeron que el doble **sistema de intercultivo cereal-leguminosa**, comparado a un único sistema de cultivo, resulta ser una fuente medioambiental de uso eficiente para **plantas en crecimiento** y de esta manera cosechas estables debido a complementariamente interespecificación, facilitación y competición (Jensen, 1996; Hauggaard-Nielsen et al., 2001; CorreHellou y Crozat, 2005).

Además, la asociación de **cereales y leguminosas** en el mismo espacio y tiempo produjo elevadas cosechas y mejoró **N** (vía fijación biológica de  $N_2$  para leguminosas) y la **nutrición de P** (Li et al., 2005; Betencourt et al., 2012; Latati et al., 2013, 2014). El **intercultivo** de las **leguminosas-forrajeras** es conocido por sobrecosechas porque la **estimulación de fijación biológica de  $N_2$**  de las leguminosas (Latati et al., 2016). Sin embargo, muchos **suelos agrícolas** son deficientes en **P** (Latati et al., 2016).

Mientras, un nuevo mecanismo de sobrecosechas, en el cual el **P** es **movilizado** por una especie de cultivo **mejora** el crecimiento del cultivo asociado cultivado en hileras alternas, obtuvo altos incrementos de cosechas en suelos deficientes en **P** (Li et al., 2014). Recientes estudios han observado un aumento en la disponibilidad en **P** en la **rizosfera** para **cereales y leguminosas** en **intercultivos** con bajo nivel de **P** en suelos (Devau et al., 2011; Betencourt et al., 2012; Latati et al., 2014).

La **sostenibilidad** en el contexto de la **producción agrícola**, implica preservar y/o mejorar la capacidad productiva del sistema desde el punto de vista **agronómico, económico y ambiental**, así como preservar la calidad de los recursos renovables y no renovables incluidos en el sistema productivo (suelo, agua, aire, biodiversidad) (García, 2012). Entre estos recursos, se destaca el suelo como recurso finito no renovable. El **suelo** debe proveer un medio para el

crecimiento de las plantas, regular y direccionar el flujo del agua y servir como un amortiguador ambiental que atenúe el efecto o degrade los **compuestos ambientalmente peligrosos** (García, 2012).

La **calidad del suelo** se define en términos de sus propiedades **químicas, físicas y biológicas**. Entre estas **propiedades**, la **materia orgánica (MO)** es considerada como uno de los más importantes indicadores de la **calidad de suelo** y de la sostenibilidad de los **sistemas agrícolas** (Robinson et al., 1994).

El suelo es la principal fuente de nutrientes para las plantas y su oferta se estima usualmente a través del análisis de suelos de las formas **“disponibles”** o **“extractables”** de los **nutrientes** (Correndo y García, 2014). Los **análisis de suelos** con fines de diagnóstico de **fertilidad**, son extracciones **químicas** y/o **bioquímicas** rápidas que intentan estimar la **disponibilidad de nutrientes** (Sims, 2000; Havlin et al., 2005).

La **cantidad de nutriente** que se extrae es solo una proporción de la cantidad total de nutriente en el suelo (Correndo y García, 2014). La cantidad de nutriente extraída tampoco es igual a la cantidad de nutriente absorbida por el cultivo pero se relaciona estrechamente con esta (Correndo y García, 2014). Por lo tanto, el análisis de suelo es solo un **“índice de disponibilidad”** de nutrientes para el cultivo (Correndo y García, 2014). Frecuentemente se utiliza el término **“disponible”**, pero se debe entender que la fracción determinada usualmente representa sólo una fracción que está en rápido equilibrio con la solución del suelo, y puede ser absorbida por las plantas (Correndo y García, 2014). El **análisis de suelos** continúa siendo probablemente el enfoque más utilizado a nivel mundial, pero otras metodologías o enfoques tales como otros **indicadores de suelo**, muestreos **geo-referenciados**, **análisis de planta**, **requerimientos de nutrientes**, **sensores remotos** y **modelos de simulación** aportan alternativas complementarias y/o superadoras para mejorar los **diagnósticos de fertilidad** (Janssen et al., 1990; Satorre et al., 2005; Melchiori, 2012; Shanahan et al., 2008, Correndo y García, 2012).

#### 4.5. Secuestro de carbono

El **secuestro de carbono** en el suelo es el proceso de transformación del carbono del aire al carbono orgánico, almacenado en el suelo (Espinoza 2005). A través del **secuestro de carbono**, los niveles de **CO<sub>2</sub> atmosférico** pueden reducirse en la medida que los niveles de carbono orgánico del suelo aumentan (Espinoza 2005). Actualmente el **secuestro de carbono** del suelo ha sido aceptado en muchos países del mundo con el **objetivo** de contribuir a la

reducción de la contaminación ambiental, creando conciencia en las personas para lograr la **estabilidad** de sus **terrenos** y además mejorando su **producción** creando así un ambiente de bienestar de una manera sostenible (Espinoza 2005). En general, las prácticas de manejo que incrementan el **carbono orgánico** del suelo también reducen la erosión del suelo, incrementan la producción y mejoran los recursos naturales (Espinoza 2005).

El movimiento de las **moléculas** de **carbono** de la atmósfera hacia las plantas y el suelo se conoce como el ciclo del carbono (McVay y Rice 2002). Las **plantas** obtienen carbono de la atmósfera a través de la fotosíntesis. Al utilizar el **dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)** de la atmósfera y la energía del sol, las plantas convierten el **CO<sub>2</sub>** en carbono orgánico mientras producen tallos, hojas, y raíces (McVay y Rice 2002). El ciclo de vida y muerte de las plantas tiene como resultado la acumulación de tejido vegetal en descomposición, tanto superficial como subterránea (raíces vegetales), produciendo una importante cantidad de carbono orgánico en el suelo (McVay y Rice 2002).

Uno de los retos más importantes del protocolo de Kyoto es lograr que los suelos **agrícolas** de todo el mundo sean un sumidero de carbono y que esta captura sea cuantificable (Hernández et al., 2000). Los principales factores que influyen sobre la evolución de la materia orgánica en los suelos son: la vegetación, el clima y las propiedades del mismo suelo (Lal et al., 1998).

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 (Hernández et al., 2000). 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). En los **suelos agrícolas**, las pérdidas de carbono se deben a los procesos de erosión y de mineralización de la materia orgánica (Lal et al., 1998).

La **labranza de conservación** incluye la protección del suelo con los residuos del cultivo anterior, o con un cultivo de cobertura, para en ambos casos asegurar el ingreso de materia orgánica (Estrada et al., 2003). Posteriormente se realiza la siembra directa a través de la capa de residuos (Hernández et al., 2000).

La **Agricultura de Conservación** juega un papel importante en el **sostenimiento** de los pilares según los resultados experimentales obtenidos en diferentes trabajos de investigación (Muñoz y Sacristán, 2010). Es necesario desarrollar nuevas prácticas de manejo del suelo,

como la siembra directa, para almacenar más **CO<sub>2</sub>** en el **suelo**, y optimizar la fotosíntesis de las plantas para aumentar las producciones de los cultivos (Reicosky, 2007).

Uno de los sumideros terrestres más importantes del almacenamiento de carbono y del intercambio con el **CO<sub>2</sub> atmosférico** es el **carbono orgánico del suelo, SOC**, y la **Agricultura de Conservación** puede desempeñar un papel importante en su aumento, mejorando al mismo tiempo la calidad ambiental en los sistemas de producción (Reicosky, 2007).

El aumento del carbono orgánico del suelo (**COS**) está en función de la tasa de descomposición de los residuos de las cosechas, como raíces de las plantas y otros materiales orgánicos que retornan al suelo, de la cantidad y composición de los mismos (Follett, 2001).

Sin embargo, en el incremento del **COS** también intervienen el manejo de éstos y las propiedades del suelo (Estrada et al., 2003). Según algunos autores, el aumento de los residuos genera una respuesta lineal en el incremento de **COS** (Rasmussen et al., 1980). Sin embargo, nuevos antecedentes aportados indican que la tasa neta de acumulación de **COS** depende de la cantidad de **COS** con que el suelo se encuentra (Hassink y Whitmore, 1997).

El **carbono del suelo** tiende a incrementarse con las **prácticas** de labranza de conservación, porque menos **materia orgánica** es oxidada desde el suelo, y la **temperatura** del suelo tiende a bajar por efecto de la menor descomposición (Tate, 1987). La **labranza** de conservación puede **incrementar** la **cantidad de COS**, mediante la promoción de un ambiente que favorezca la descomposición **fungosa** sobre la **bacterial** (Estrada et al., 2003).

En relación al aumento en la complejidad de las rotaciones, los autores Tristram y Wilfred (2002) encontraron que al ampliar el manejo de las rotaciones se puede secuestrar un promedio de 20 a 12 g C m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup>, estos valores resultan semejantes (10 a 30 g C m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup>) a los estimados por (Lal et al., 1998; Lal et al., 1999).

Las **rotaciones de cultivos** producen más materia seca y de mejor calidad que los monocultivos (Copeland y Crookston, 1992). Algunos análisis de experimentos de larga duración en Canadá (Dumanski et al., 1998) indican que **COS** puede ser secuestrado por 25 a 30 años a una tasa de 50 a 75 g C m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup> dependiendo del tipo de suelo.

Históricamente, el **laboreo intensivo** de las tierras agrícolas ha causado pérdidas sustanciales (desde un 30 a un 50%) del carbono del suelo (Davison y Ackerman, 1993). Estas pérdidas de carbono se deben a la fragmentación del suelo que ocasiona el laboreo y que facilita la **actividad biológica** produciéndose el intercambio de **CO<sub>2</sub>** y **O<sub>2</sub>** del **suelo** con la



**atmósfera** y viceversa (Ordoñez-Fernández et al., 2008). Las labores de la agricultura tradicional entierran los restos vegetales y dejan el suelo en condiciones óptimas para que se produzcan **pérdidas de CO<sub>2</sub>**, a la vez que se reduce el efecto sumidero del suelo (Ordoñez-Fernández et al., 2008).

De forma similar, la **intensificación de la agricultura** favorece las emisiones de **gases** que contribuyen al **efecto invernadero** (Ordoñez-Fernández et al., 2008). Los **restos de cosecha** sobre la superficie y el no mover el suelo, trae como consecuencia directa una reducción en la **tasa de descomposición** de los **rastrojos**; una disminución de la mineralización de la materia orgánica del suelo, debido a una menor aireación y menor accesibilidad de los microorganismos a la misma; y un incremento del carbono del suelo (Ordoñez-Fernández, et al., 2008).

Con la **Agricultura de Conservación** también se consigue mejorar la conservación del aire, disminuyendo la contaminación atmosférica al **eliminar** la quema de rastrojos y restos de poda, y al reducir las **emisiones de CO<sub>2</sub>** (Ordoñez-Fernández et al., 2008).

Para determinar el **C secuestrado** en los ecosistemas, hay que tener en cuenta el C estable incorporado al suelo. Si la acumulación de C en el suelo es un proceso más lento que la acumulación de la biomasa, la estabilidad del C en el suelo es mayor (De Benito y Sombrero, 2006). Por lo tanto, la capacidad del suelo para almacenar C es importante debido al material vegetal acumulado en descomposición, pasando a denominarse C del humus (Lal, 1997). De hecho, un año después de agregar los residuos vegetales al suelo, la mayor parte del carbono vuelve a la atmósfera en forma de CO<sub>2</sub>, sin embargo, de una quinta a una tercera parte del mismo permanece en el suelo, ya sea como biomasa viva o como el humus del suelo (Brady y Weil, 2004).

La concentración atmosférica [**CO<sub>2</sub>**] está actualmente incrementándose a razón de 1,8 partes por millón por volumen (ppmv) por año (Wu y Wang, 2000). Las plantas tienen la capacidad de captar el **CO<sub>2</sub>** atmosférico y mediante procesos fotosintéticos metabolizarlo para la obtención de azúcares y otros compuestos que requieren para el normal desarrollo de su ciclo vital (Wu y Wang, 2000). Las plantas, a través de la fotosíntesis, extraen el carbono de la atmósfera (en forma de CO<sub>2</sub>) y lo convierten en biomasa. La biomasa al descomponerse se convierte en parte del suelo (en forma de humus) o en **CO<sub>2</sub>** (a través de la respiración de los microorganismos que procesan la biomasa) (Houghton et al., 1990).

En la actualidad, el **exceso de CO<sub>2</sub>** modifica el balance final del **ciclo de carbono** descrito anteriormente, influyendo de manera decisiva sobre las condiciones climáticas (De Benito y Sombrero, 2006). Por una parte se produciría una **captación del CO<sub>2</sub>** de la atmósfera por parte de las plantas a través de la fotosíntesis (De Benito y Sombrero, 2006). Por otra parte, la **respiración de las plantas**, las **quemadas** y las **talas para usos agrícolas** incrementan en la atmósfera la concentración de emisiones de **CO<sub>2</sub>** (De Benito y Sombrero, 2006). De esa manera la **concentración de CO<sub>2</sub>** en la atmósfera va aumentando (De Benito y Sombrero, 2006).

La **captación de CO<sub>2</sub>** por los ecosistemas vegetales terrestres constituye un componente importante en el balance global de Carbono (C). A escala mundial se considera que la biosfera terrestre fija cerca de 2.000.000 toneladas/año (UNESA, 2005). Este valor es el resultante de la pequeña diferencia entre la absorción **fotosintética de CO<sub>2</sub>** y las pérdidas por **respiración**, por **descomposición** de la **materia orgánica** y por perturbaciones de diferente naturaleza (De Benito y Sombrero, 2006).

A este valor se le denomina **producción neta** de la **biosfera (PNB)**, y es la cantidad que a largo plazo queda almacenada en el sumidero (De Benito y Sombrero, 2006). El **CO<sub>2</sub>** secuestrado por las plantas es el resultado de las diferencias entre el **CO<sub>2</sub> atmosférico** absorbido durante el proceso de la fotosíntesis y el **CO<sub>2</sub>** emitido por la atmósfera durante la respiración (De Benito y Sombrero, 2006). Esta diferencia es convertida en biomasa y suele oscilar entre el **45-50 %** del peso seco de la planta (De Benito y Sombrero, 2006). Por lo tanto, mientras el crecimiento sea alto, la vegetación natural y los cultivos agrícolas se convierten en los sumideros de carbono (De Benito y Sombrero, 2006). Teniendo esto en cuenta, la agricultura se puede convertir en un mecanismo efectivo para mitigar el incremento del **CO<sub>2</sub> atmosférico** (De Benito y Sombrero, 2006).

Unas **buenas prácticas agrícolas** o una **gestión sostenible** de las fincas (no dejar el suelo descubierto, utilizar cantidades exactas de abono en el momento y en el lugar exacto, no quemar cosechas y reducir el arado) supondrían dejar de emitir millones de toneladas de gases de efecto invernadero, constituyendo un cambio en el **modelo agronómico** que podría suponer un balance positivo de **CO<sub>2</sub>** en las superficies agrícolas (De Benito y Sombrero, 2006). Con un conocimiento y gestión adecuados, este sector puede contribuir a la mitigación de estos **gases** mediante la adecuación del laboreo del suelo, la promoción de la producción ecológica y el uso más eficiente de recursos en la maquinaria agrícola, convirtiéndose finalmente en eficiente (De Benito y Sombrero, 2006).

Además, de la frecuencia de los **eventos climáticos** extremos tal como son calor y estreses de sequía se incrementarán (Mearns et al., 1984). El enriquecimiento de **CO<sub>2</sub>** y el cambio climático podrían afectar a la **productividad agrícola** (Wu y Wang, 2000). Las **precipitaciones** son limitadas en muchas partes y el agua sería un factor limitante de la productividad en muchas regiones (Wu y Wang, 2000).

Así, es importante considerar ambas elevadas concentraciones de **CO<sub>2</sub>** y diferencias en el agua de los suelos para hacer que se valoren las posibilidades del **cambio climático** en cultivos (Wu y Wang, 2000).

Numerosos experimentos han demostrado que en muchas especies **C<sub>3</sub>** altas concentraciones de [**CO<sub>2</sub>**] van a la cabeza de incrementar el nivel fotosintético, mientras en la planta cultivada, la eficiencia en el uso del agua (**WUE**), la disminución en la conductancia estomacal, transpiración y fotosíntesis son el mayor proceso susceptible para el enriquecimiento de **CO<sub>2</sub>** (Kimball, 1983; Drake y Leadley, 1991; Bowes, 1993; Poorter, 1993; Idso y Idso, 1994; Jiang, 1995; Wang et al., 1998).

Mientras en los resultados de estudios en el dosel de las plantas los requerimientos del uso del agua chocan (Allen, 1990) con el déficit de agua, por otro lado, es bueno establecer por obligación la fotosíntesis de las hojas, el desarrollo de las plantas y requerimientos en el uso del agua con el más susceptible proceso siendo el desarrollo de células (Hsiao, 1973; Turner, 1987).

El crecimiento de las plantas y la respuesta de la cosecha al **CO<sub>2</sub>** pueden depender de la disponibilidad del agua del suelo (Stronach et al., 1994).

Sin embargo, considerando el dato disponible de la interacción entre **CO<sub>2</sub>** y otros factores medioambientales, estrés hídrico, el cual es probablemente el más importante de las interacciones con elevadas concentraciones de **CO<sub>2</sub>** (Bowes, 1993; Picon et al., 1997).

En el estudio de este Wu y Wang (2000) las habas crecieron en diferentes combinaciones de concentraciones de **CO<sub>2</sub>** y niveles de agua en suelos bajo los efectos de largos periodos de exposición de las plantas a elevadas concentraciones de **CO<sub>2</sub>** y sequía en fotosíntesis. Los autores consideraron las siguientes hipótesis: **(1)** con interacción entre **CO<sub>2</sub>** y sequía en crecimiento de la cosecha, los efectos del enriquecimiento de **CO<sub>2</sub>** en plantas dependen del estado de agua del suelo; **(2)** el enriquecimiento en **CO<sub>2</sub>** promovería el requerimiento de agua de la planta debido a la disminución en transpiración siendo sobre-

contrarrestado por un incremento en el área de la hoja; **(3) WUE<sub>i</sub>** y **WUE** podría ser incrementado por el enriquecimiento de **CO<sub>2</sub>**.

## 5. OBJETIVOS

El **objetivo general** de este proyecto es estudiar la **adición de nitrógeno** al **suelo** por medio del **cultivo de leguminosas** que son utilizadas en **rotación de cultivos**, a la vez de aportar **nitrógeno, reducir enfermedades y plagas**, minimizar la presencia de **malezas y gramíneas** e incrementar la retención de **humedad del suelo**. Las especies empleadas son: haba y caupí (*Vicia faba L.* y *Vigna unguiculata L. Walp* respectivamente). El **haba** tiene un importante rol en la **fijación de nitrógeno atmosférico**, mientras que el **caupí** es una **leguminosa** de gran adaptación y resistencia a enfermedades y plagas, altamente tolerante al stress.

Igualmente se contempla como **objetivo** de este trabajo el analizar las **estrategias** para mejorar el **secuestro de carbono** en la **materia orgánica** del suelo con el fin de establecer las posibles estrategias que ralenticen la emisión de carbono a la atmósfera. Ello conlleva la **reducción** de las **emisiones de gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y NO<sub>2</sub>)**, por medio de la retención en las **plantas involucradas**, analizando de esta manera el efecto medioambiental en el **cultivo de leguminosas** y de las **diferentes rotaciones** llevadas a cabo con diferentes prácticas de manejo y su evaluación con distintos tratamientos, especies y genotipos para reducir las emisiones de estos gases.

También de modo colateral se ha llevado a cabo la evaluación de la **fertilidad del suelo** para hacer un diagnóstico de la **nutrición de las plantas** a través de la comparativa en el empleo de **fertilizante sintético y orgánico**. Esto se ha realizado mediante determinación del contenido de los elementos esenciales que se encuentran presentes, para poder tener la información necesaria acerca de la **disponibilidad de nutrientes del suelo**.

A modo de resumen, y teniendo en cuenta todo lo comentado, se podrían resumir, objetivos general y específicos, como sigue:

### **Objetivo general:**

- Evaluar las **alternativas agronómicas** de manejo, mejora y conservación de suelos encaminadas a lograr un desarrollo más sostenible en la agricultura.

### **Objetivos específicos:**

- Determinar los **cambios químicos** del suelo en un sistema de **rotación de cultivos** con dos especies leguminosas *Vicia faba* L. y *Vigna unguiculata* L. Walp.
- Comparar los **cambios nutricionales** de cultivos en rotación durante el periodo de asociación con leguminosas en comparación con monocultivos.
- Determinar el **aporte potencial** al suelo de nitrógeno de las especies leguminosas evaluadas.
- Diferenciar las **especies leguminosas** que aportan mejores beneficios al suelo.
- Evaluar la **fijación biológica de nitrógeno** por parte de diferentes especies de leguminosas y genotipos.
- Evaluar si se favorece el **secuestro de carbono** en suelos en monocultivo o en rotación tras un cultivo de leguminosas.

## 6. MATERIAL Y MÉTODOS

### 6.1. Zona de estudio

#### 6.1.1. Descripción de la zona de estudio

##### 6.1.1.1. Situación geográfica

Los experimentos se han llevado a cabo en la estación experimental agroalimentaria **Tomás Ferro** perteneciente a la Universidad Politécnica de Cartagena, ubicada en la pedanía de **La Palma de Cartagena**.

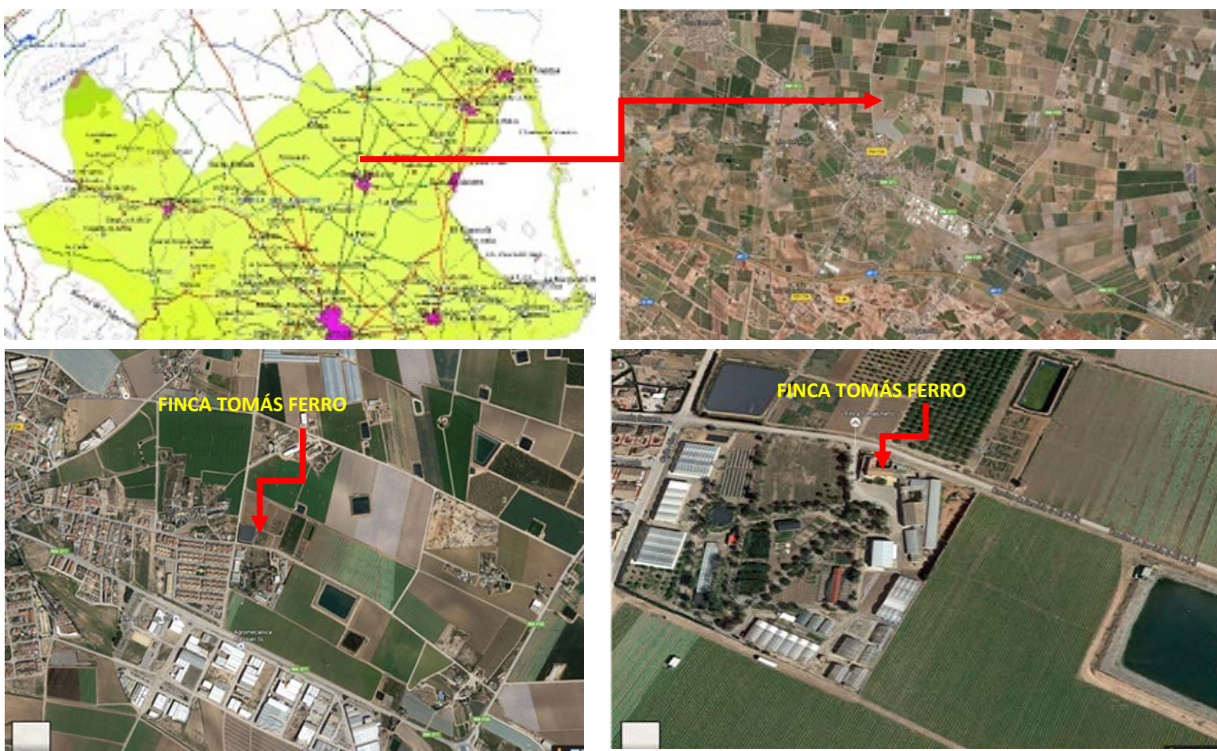


Figura 6.1.1.1.1. Ubicación geográfica de la zona de estudio

**La Palma** es una diputación de Cartagena, situada en el **Campo de Cartagena**, en la Región de Murcia. Con 4612 habitantes, es una de las diputaciones más importantes de la zona rural de Cartagena (junto a Pozo Estrecho) (INE, 2008).

La diputación de **La Palma** comprende, además del pueblo en sí, numerosas aldeas y caseríos: La Aparecida, Los Ingleses, Los Balanzas, Lo Campero, Los Carriones, Los Conesas, Fuente Amarga, Palma de Arriba y Los Salazares (INE, 2008).

La diputación de **La Palma** se encuentra en el corazón del **Campo de Cartagena**, concretamente en una amplia llanura que bascula ligeramente hacia el sureste, caracterizada por un clima mediterráneo árido y por la tradicional vinculación de sus gentes a la agricultura (INE, 2008).

### 6.1.1.2 Geología

El área estudiada se sitúa, dentro de las Cordilleras Béticas, en la Zona Bética en lo que se conoce con el nombre de Bético sensu stricto (Gutiérrez, 1986). Se considera la zona Bética dividida en cuatro grandes complejos litostatigráficos-estructurales denominados **Complejo Maláguide** (más alto), **Complejo Alpujárride**, **Complejo Ballabona-Cucharón**, **Complejo Névado-Filábride** (más bajo) (Gutiérrez, 1986). La **litostratigrafía** de detalle es variada, comprendiendo desde materiales **devono-carboníferos** (grauwacas y esquistos), **permotriásicos** (cuarcitas versicolores y arcillas con yesos), **triásicos** (calizas, mármoles y dolomías), **jurásicos** (dolomías y calizas), **cretáceo calizo** hasta **eocenos** (calizas y margas arenosas), **esquistos grises** muy grafitosos, **secuencia detrítica** de base con **filitas**, **cuarcitas e intercalaciones** de **rocas carbonatadas** y **yeso**, de edad per-motriásica, y una formación carbonatada, a techo (calizas recristalizadas y dolomías), de edad triásica, esquistos negros **grafitosos**, muy monótonos, y **cuarcitas grises** de edad paleozoica, o más antigua, y un tramo superior (denominado Mischungzone) heterogéneo, formado por micaesquistos variados, predominantemente de tonos claros, mármoles de edad atribuida al Trías, que pueden contener diversos tipos de **rocas anfibólicas** (en la Sierra de Cartagena, anfibolitas y metabasitas), posiblemente intratriásicas, y neises (Gutiérrez, 1986). Existe discusión del tipo de contacto entre el **Nevado-Filábride** inferior, o zócalo, y el Nevado-Filábride superior (Gutiérrez, 1986).

La **estructura general** se puede comparar con un " horst" tectónico, interrumpido al **Norte** por fallas normales de gran salto (Sierra de La Muela, Puntal del Moco, Atalaya, La Unión), que se extendería de **Este a Oeste** y que desaparece entre los Cabezos de Galeras y

San Julián a causa del hundimiento de una zona fuertemente fallada, probablemente perteneciente al Complejo Alpujarride Inferior (Gutiérrez, 1986).

En el gran sinclinorio neógeno del **Campo de Cartagena** el rasgo morfológico quizás más destacado es el fuerte buzamiento que presentan las estructuras del flanco Norte (40-50°), hecho que justifica, junto con la inclinación del plano axial, la enorme potencia que alcanzan los depósitos post-manto en el centro del Campo (3.500 m) (Gutiérrez, 1986).

#### 6.1.1.3. Topografía

El **conjunto orográfico** del área meridional del **Campo de Cartagena** es parte del **Sistema Penibético**, pertenece este a una **cadena litoral volcánica**, extendida desde el **Cabo de Gata** al de **Palos** (Gutiérrez, 1986). El conjunto desciende con brusco declive hacia el Mediterráneo, sin conseguir alcanzar grandes alturas (Gutiérrez, 1986).

El **complejo orográfico litoral** se inicia, al oeste, con los relieves orientales de la **Sierra de Algarrobo** (Gutiérrez, 1986). Hacia el este se extienden algunas elevaciones que culminan en las **Peñas Blancas** (620 m).

Al noroeste de **Peñas Blancas** se prolongan las estribaciones de **Los Puertos**, desarrollados en una longitud de 14 kilómetros (Gutiérrez, 1986). Estas van degradándose en altura a medida que se internan en la porción occidental del **Campo de Cartagena**, donde se desvanecen, cerca ya del límite septentrional de la comarca (Gutiérrez, 1986).

A partir de **Cabo Tiñoso** y hasta la **Ciudad de Cartagena**, se alza, en la misma costa, la Sierra de la Muela, con alturas superiores a los 200 metros (Gutiérrez, 1986).

El área de Cartagena está formada por una serie de pliegues con orientación este - oeste, cortados en dos núcleos por la **Rambla de Escombreras** (Gutiérrez, 1986).

La **Sierra de Cartagena** se prolonga hacia el este por el territorio de **El Llano y Rincón de San Ginés** (Gutiérrez, 1986). Constituye esta loma una arista de 12 km de longitud por tres de anchura media, que da lugar a dos ramales diferentes, con orientación general W-E.

Más al norte destaca, en la uniformidad de la llanura, el cerro volcánico del Carmolí, próximo a la costa de Punta Brava; su altitud es de 111 metros (Gutiérrez, 1986). La mencionada llanura forma parte de la amplia comarca del **Campo de Cartagena**, constituida por **formaciones cuaternarias terregosas**, que ocultan el subsuelo e imprimen al paisaje un carácter dominante (Gutiérrez, 1986). Se trata de la parte septentrional del **Término Municipal**

**de Cartagena.** Va desde el Mar Menor hasta el límite con **Fuente Álamo**, por el oeste; y desde dicho municipio y al de **Torre Pacheco**, por el Norte.

El **litoral** queda configurado como una costa irregular de múltiples escotaduras, calas y puntas que se adentran en el **Mediterráneo** (Gutiérrez, 1986).

#### **6.1.1.4. Climatología**

El clima de la **zona de estudio** ubicada en el **Campo de Cartagena** hay que entenderlo dentro de una área más amplia al que pertenece -Sureste de España- y a su vez dentro de una extensa zona de la Tierra, del que es parte integrante: el área de clima subtropical. Su climatología está condicionada por su latitud, acotada aproximadamente entre **38° y 37° 40' N**, o sea, ubicado en el ámbito de los **países subtropicales**. Hay una serie de **factores geográficos** que condicionan el clima (Molina, 1986).

Su **posición** en el flanco sur mediterráneo de Europa le hace partícipe de las **características térmicas y dinámicas** de las **masas de aire tropical marítimo y continental**, polar marítimo y polar marítimo de retorno (recalentado o tropicalizado) mediterráneo y, excepcionalmente, de **aire polar** continental y ártico, puesto que su latitud tan meridional y su posición longitudinal en el oeste del continente constituye su límite de avance meridional (Molina, 1986).

La localización del **Campo de Cartagena** en la zona templada o subtropical motiva la existencia de dos zonas bien marcadas (verano e invierno) separadas por otras dos de transición (primavera y otoño), lo que le conoce una animada variedad estacional. La temperatura media anual en esta zona es de 17,1 °C, con una amplitud térmica elevada, de 15,2°C (Molina, 1986).

Las **precipitaciones torrenciales** se producen en todos los observatorios de la comarca con vientos de componente este (**noroeste, este y sureste**), y especialmente del segundo cuadrante (**sureste**) (Molina, 1986).

En la **carta pluviométrica anual** del País Murciano, el **Campo de Cartagena** se sitúa en el límite de la isoyeta de 300 mm de precipitación media anual, e incluso inferior (231 mm en Cartagena, 200 mm en Cabo Tiñoso) (Molina, 1986).

Las precipitaciones del **Campo de Cartagena** “son fundamentalmente de otoño y primavera, aunque la diferencia de éstas con el invierno no es muy acusada”. La **precipitación**



en época fría (octubre a abril) y la sequía estival, son características del **Campo de Cartagena** (Molina, 1986).

Las bajas temperaturas se obtienen como consecuencia de **heladas de advección**, por la llegada al **Campo de Cartagena** de masas de aire polar continental procedente de los parajes septentrionales de Europa (Molina, 1986). Las **heladas** aunque débiles, suelen aparecer todos los años, siendo un riesgo potencial para los **cultivos intratempranos al aire libre**.

El **viento** constituye uno de los **factores climáticos** más importantes de la comarca debiendo su existencia al trasiego de los centros de acción atmosféricos que rigen el tiempo y clima a lo largo del año el espacio ibérico (Molina, 1986).

#### 6.1.1.5. Vegetación

Biogeográficamente, la zona de Cartagena pertenece al reino Holártico, Región Mediterránea (territorios que circundan el Mar Mediterráneo en Europa y África), y a la provincia Murciano-Almeriense (zonas áridas del Sureste de España) (Nuñez y Ariza, 1986).

De los numerosos endemismos murciano - almerienses están presentes en la zona de Cartagena, entre otros, los siguientes: *Anthyllis terniflora* (albaida fina), *Avenula murcica*, *Caralluma europaea* (chumberillo de lobo), *Limonium caesium* (siempreviva), *Limonium insigne* (siempreviva), *Salsola genistoides* (escobilla), *Sideritis flavovirens* (rabogato), *Sideritis leucantha* (rabogato), *Sideritis pusilla* (rabogato), rabogato alicantino (*Sideritis leucantha*), correspondiendo a una asociación particular a (*Siderito leucanthae Thymetum hyemalis*) *Teucrium carolipai*, *Teucrium cartaginense* (zamarrilla), *Teucrium lanigerum* (zamarrilla), *Thymus hyemalis* (tomillo), *Thymus murcicus* (mejorana), etc. Matorral espinoso con cornicales (*Periploca angustifolia*), palmitos (*Chamaerops humilis*), lentiscos (*Pistacia lentiscus*) y artos (*Maytenus uropaeus*). Pinos (*Pinus halepensis*), el azofaifo (*Ziziphus lotus*), rico en esparragueras (*Asparagus albus*). Por degradación se instalan espartales (*Stipa tenacissima*) o, en zonas afectadas por el hálito marino (maresía), por albardinales (*Lygeum spartum*) pastizales (*Brachypodium retusum*) (Nuñez y Ariza, 1986).

En los **cultivos** el número de malas hierbas es muy elevado, pero las dominantes suelen ser la floreta (*Cardaria draba*) y el vinagrillo (*Oxalis pes-caprae*) (Nuñez y Ariza, 1986).

El lentisco (*Bupleuro gibraltari-Pistacietolentisci* S.), que penetra en el **Campo de Cartagena** y lleva un retamar (*Genista valentina*) como orla. La serie mesomediterránea

murciano aragonesa, semiárida, de la chaparra o *Quercus coccifera* (*Rhamnolycoidis-Querceto cocciferae* S.), cuya cabeza de serie es un chaparral (Nuñez y Ariza, 1986).

Entre las plantas más extendidas en los márgenes de caminos y cunetas destaca la triguera (*Orzopsis miliacea*), las tobas o cardos borriqueros (*Onopordum macracantum*) (Nuñez y Ariza, 1986). En primavera hay toda una serie de plantas anuales que puebla los márgenes de caminos y cunetas, destacando la cebadilla (*Hordeum leporinum*) entre las más comunes, y los jaramagos (*Sisymbrium irio*) (Nuñez y Ariza, 1986).

#### 6.1.1.6. Edafología

El suelo en la finca donde se desarrolla el estudio se clasifica como **Calcisol háplico** (WRB, 2014), con una textura **franco-arcillosa** (porcentaje de arcilla de  $34,5 \pm 0,16\%$ , limo de  $21,3 \pm 1,06\%$  y arena de  $44,2 \pm 0,92\%$ ), pH de 8,37 y un porcentaje de materia orgánica de 2,3 % (Silla, 1986).

Aunque bajo vegetación climática natural la mayor parte de los suelos del **Campo de Cartagena** poseerían un horizonte **mólico**, en gran parte ha desaparecido como consecuencia del cultivo intensivo y tradicional a que están sometidos estos suelos, por lo que en la actualidad el más extendido es el horizonte superficial **ócrico**, **es decir los Kastanozems cálcicos han sido sustituidos por Calcisoles haplicos como los presentes en la finca de estudio** (Silla, 1986).

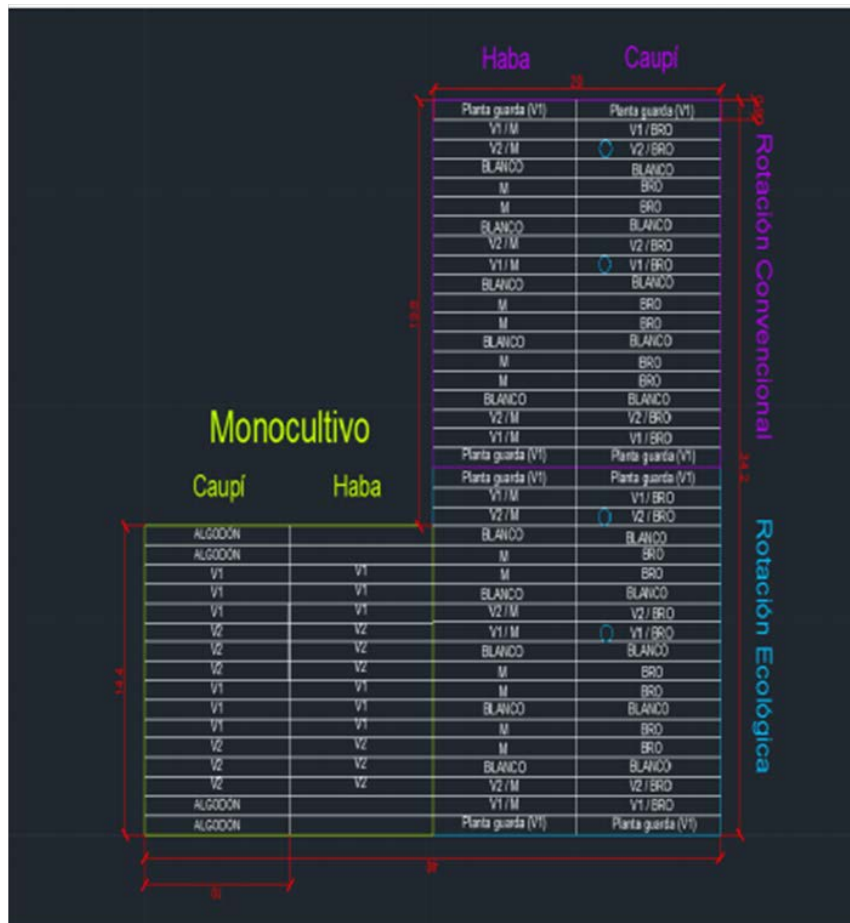
Las **variaciones topográficas** definen las zonas erosivas, las acumulativas y las superficies relativamente estables, a la vez que influyen indirectamente en algunas propiedades o características de los suelos, como pueden ser la **presencia de horizontes petrocálcicos**, formados fundamentalmente por fenómenos de lavado lateral, y en ese caso dan lugar a Calcisoles petricos (Silla, 1986). Además, en las partes más altas de las laderas hay un constante rejuvenecimiento del suelo que impide el desarrollo del perfil debido a los procesos erosivos, sobre todo en las áreas con una cobertura vegetal poco densa formando los Leptosoles haplicos (Silla, 1986).

## 6.2. Diseño experimental

Se han seleccionado **dos** especies de **leguminosas**, haba (*Vicia faba* L.) y caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) y dos genotipos de cada una de éstas, nombrados como **V1 (variedad 1)** y **V2 (variedad 2)** establecidos en caballones de **10 m** de largo por **0,9 m** de ancho, siguiendo una distribución en bloques al azar con tres réplicas. Estas **leguminosas** son cultivadas

teniendo en cuenta dos sistemas de **cultivo** (monocultivo y rotación) y dos prácticas de manejo (convencional y orgánico).

A continuación, se muestra la distribución de las **especies no leguminosas** y **leguminosas** según el sistema de cultivo y las prácticas de manejo, diferenciando; V1 (**variedad 1** de la leguminosa), V2 (**variedad 2** de la leguminosa), M (melón), BRO (brócoli), **plantas guarda (variedad 1** de la leguminosa), algodón, blanco (**terreno sin cultivo**) y sondas de **humedad** y temperatura (representadas como un círculo azul).



**Figura 6.2.1:** Distribución de los dos genotipos de leguminosas y especies no leguminosas en los distintos sistemas de cultivo y práctica de manejo.

A este **diseño** hay que añadir la parcela correspondiente al **cultivo de haba inoculado**.



**Figura 6.2.2:** Distribución de los dos genotipos de leguminosas y especies no leguminosas en los distintos sistemas de cultivo y prácticas de manejo.

### 6.2.1. Monocultivo

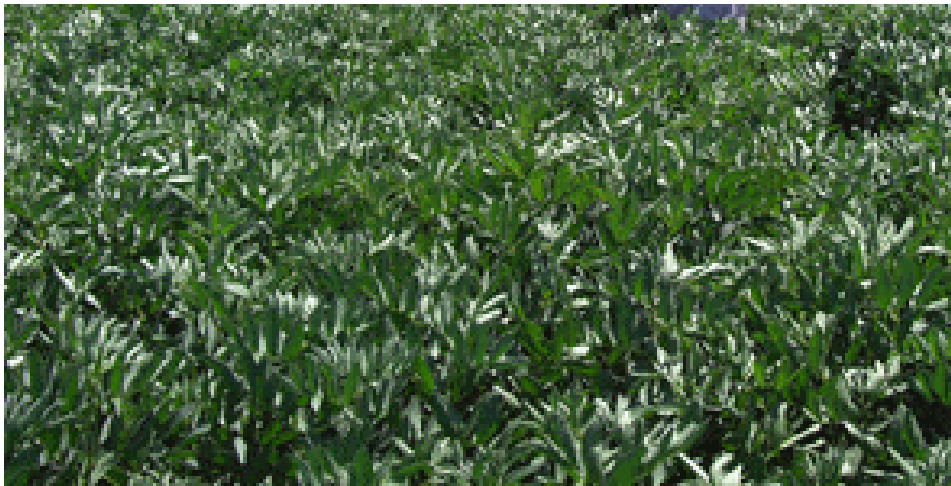
En este **sistema de cultivo**, la práctica de manejo es la convencional. Las parcelas establecidas son las siguientes:

- En la parcela correspondiente al **cultivo de caupí**, se sembró en monocultivo el **caupí** con un monocultivo de **algodón** (*Gossypium herbaceum L.*) como testigo de especies no leguminosas.
- En la parcela correspondiente al **cultivo de haba**, se sembraron en monocultivo el **haba** con un monocultivo de **brócoli** (*Brassica oleracea L.*) como testigo de especies no leguminosas.

Con este sistema de cultivo, se cuantificó el contenido en nitrógeno de especies leguminosas y no leguminosas para el estudio de la fijación biológica de nitrógeno.



**Foto 6.2.1.1.** Monocultivo del ciclo de **caupí**, con dos variedades Hilo Negro y Hilo Claro y algodón como planta testigo no leguminosa.



**Foto 6.2.1.2.** Monocultivo del ciclo de **haba**, con dos variedades Muchamiel y Palencia y brócoli como planta testigo no leguminosa.

## 6.2.2. Rotación

En este **sistema de cultivo**, las prácticas de manejo, son **orgánica y convencional**. Las parcelas establecidas son las siguientes:

- En la parcela correspondiente al **cultivo de caupí**, se sembró el **caupí** en rotación con **brócoli**, así como un monocultivo de brócoli como testigo de especies no leguminosas.
- En la parcela correspondiente al **cultivo de haba**, se sembró el **haba** en rotación con **melón** (*Cucumis melo* L.), así como un monocultivo de melón como testigo de especies no leguminosas.

Con este sistema de cultivo, se estudiaron los efectos de la rotación de leguminosas en subsecuentes cultivos de especies no leguminosas en términos de calidad y fertilidad del suelo.



**Foto 6.2.2.1:** Parte de la rotación ecológica (a la izquierda de la fotografía) y parte de la rotación convencional (a la derecha) del primer ciclo de caupí, con dos variedades de caupí.

## 6.3. Ciclo de las leguminosas

### 6.3.1. Monocultivo

En una parcela de dimensiones **14,4 x 10 m**, se estableció el monocultivo de la leguminosa con **16** caballones de los cuales **14** se destinaron a la **siembra de la leguminosa** y **4** a la **siembra del cultivo testigo**.

### 6.3.2. Rotación

En la **rotación de las leguminosas**, se distingue la **rotación convencional** y la **rotación orgánica** en función de la práctica de manejo. Ambas, con una dimensión de **17,1 x 10 m**, están distribuidas en 19 caballones, de los cuales, seis caballones fueron **sembrados con la leguminosa**, el cuál fue rotado con **planta testigo**, seis **caballones** se sembraron con **planta testigo en monocultivo**, cinco **caballones** sin cultivo separando los caballones destinados a la **rotación leguminosa-planta testigo** de los destinados al monocultivo brócoli y algodón y finalmente los **dos** restantes caballones que se encuentran en los extremos de la parcela fueron **sembrados con leguminosa** como plantas guarda para evitar la variabilidad de los resultados causada por el efecto borde; estos últimos se sembraron con **planta testigo** en el siguiente ciclo.

### 6.3.3. Preparación del terreno

Antes de la **preparación** del terreno propiamente dicha, se realizó el análisis del estiércol de origen ovino y caprino, determinándose los siguientes parámetros:

- **pH y conductividad eléctrica**
- **Carbono orgánico**
- **Nitrógeno Total**
- **Fósforo asimilable**

Una vez terminado este análisis preliminar, se procedió a la aplicación de **16000 kg/ha** de estiércol ovino y caprino en el suelo hasta una profundidad de **20 cm**.

Esta dosis se estableció según el **Real Decreto 261/1996** que regula la producción orgánica en zonas vulnerables y limita esta adición en **170 kg/ha/año**.

Posteriormente tuvo lugar el arado del terreno y la realización de los caballones de las distintas parcelas y finalmente fue colocado el sistema de riego en las parcelas correspondientes al monocultivo y rotación del primer ciclo de la leguminosa, así como las sondas de humedad y temperatura necesarias para medir estos parámetros en la toma de muestras de gases de efecto invernadero, a **30 cm** de profundidad en la parcela correspondiente a la rotación de la leguminosa.

#### **6.3.4. Siembra**

Las variedades usadas se sembraron a una profundidad de **2-4 cm** y una distancia de **20 cm**. La siembra se realizó con una densidad de **5 plantas/m**. La planta testigo en rotación con la leguminosa se sembró con una densidad de **2,5 plantas/m**.

Una vez realizada la siembra, se regó en abundancia durante las dos primeras semanas (16 horas de riego), iniciándose en régimen de fertirrigación.

Como en el caso del estiércol, el fertilizante ecológico Bombardier fue caracterizado físico-químicamente mediante el análisis del pH, conductividad eléctrica, carbono orgánico total y nitrógeno total.

La fertirrigación en los cultivos con práctica de manejo convencional, se realizó con fosfato monoamónico (61% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 12% N) y nitrato amónico (33,5% N) y en el orgánico con el fertilizante ecológico Bombardier (0,35 % p/v P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 8,17 % p/v N).

#### **6.3.5. Muestreo**

##### Muestreo de suelo

Antes de la siembra, se tomaron muestras de suelo al azar de la superficie de terreno destinada al cultivo de caupí y haba, a una profundidad de **0-30 cm**.

El siguiente muestreo de suelo, tuvo lugar cuando las semillas de la leguminosa estaban secas, lo que indicó el final del ciclo de cultivo. En este muestreo se diferencian muestras de suelo según el genotipo de la leguminosa, la planta testigo, sistema de cultivo (monocultivo y rotación) y práctica de cultivo (convencional y orgánico).

#### Muestreo de plantas

Se llevó a cabo un muestreo intermedio de leguminosas y no leguminosas, cuando las vainas estaban frescas y al final del ciclo, cuando las semillas estaban secas. Este se realizó teniendo en cuenta el genotipo de la leguminosa, la planta testigo, el sistema de cultivo (monocultivo y rotación) y la práctica de manejo (convencional y orgánica). Se tomaron muestras de plantas, concretamente **4** plantas por caballón, al azar, que fueron homogeneizadas en una única muestra compuesta, para a continuación ser separadas en distintas partes: parte aérea y raíz para la determinación de **15N** por análisis de isótopos de compuestos específicos usando IRMS (espectrometría de masas de relaciones isotópicas) y nitrógeno total por el método Kjeldahl (Duchaufour, 1970) y tallo con hojas, raíz, vaina y semillas para la determinación de nitrógeno total por el método Kjeldahl (Duchaufour, 1970), carbono orgánico por combustión en horno mufla Obersal modelo HD 230 a 480°C, nitrato en un cromatógrafo iónico de Metrohm con 4 canales de separación y nutrientes ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , P y B) por espectrofotómetro de masas de plasma acoplado inductivamente Agilent 7500 CE.

## 6.4. Métodos analíticos de laboratorio

### ◆ DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DEL SUELO

#### pH

Se ha realizado la determinación del **pH real** (usando  $\text{H}_2\text{O}$ ) y **potencial** (usando **KCl 1N**), según el método de Cobertera (1993), a partir de una relación suelo:líquido **1:2,5**, diferente de la establecida en el método descrito por Peech (1965), en el que se señala una relación **suelo:líquido 1:1**. Para las medidas de **pH** se utilizan pH-metros que contienen un potenciómetro provisto de un electrodo de pH combinado y otro electrodo de temperatura con el que se realizan las mediciones. El **pH-metro** establece el pH midiendo el potencial generado (en mV) por el electrodo de vidrio que es sensible a la actividad del ión  $\text{H}^+$ ; el potencial es comparado con un electrodo de referencia, que produce un potencial constante e independiente del pH. El electrodo de referencia empleado es el de calomel saturado con **KCl**,



que permite el paso del potencial generado hacia el circuito de medición, haciendo las funciones de puente salino.

El **valor del pH** permite conocer, en una primera aproximación, las características químicas del suelo, específicamente la saturación de bases y, como consecuencia, la disponibilidad y movilidad de ciertos elementos nutritivos y oligoelementos.

### **CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA**

La **conductividad eléctrica** hace referencia a la capacidad que tiene una solución para conducir la corriente eléctrica. Esta determinación indica la **concentración total** de componentes ionizados en las distintas soluciones. La **conductividad eléctrica** es proporcional al contenido de **sales disueltas** y por tanto, está directamente relacionada con la suma de cationes o aniones que se determinen químicamente y en general, presenta una estrecha correlación con los sólidos totales disueltos. Las medidas varían dependiendo de la temperatura, por lo que se estandariza a **25°C**. El método consiste en medir la mayor o menor facilidad que presenta una solución para conducir la corriente eléctrica, lo que guarda una relación directa con la mayor o menor cantidad de sales disueltas que contenga.

### **CARBONO ORGÁNICO**

El **método analítico utilizado** es el propuesto por Walkley y Black (1934), basado en la oxidación del carbono orgánico con una cantidad conocida de un oxidante ( $K_2Cr_2O_7$ ), que reaccionará con el carbono del suelo y lo oxidará transformándolo en  $CO_2$ . Después se determinará la cantidad de oxidante que no ha reaccionado mediante un valorador **Metrohm 702 SM** y se podrá estimar así la cantidad que ha reaccionado con el carbono.

El término "**carbono orgánico total**" contiene todas las sustancias resultantes de la humificación del **C** en el suelo (**residuos microbianos, sustancias húmicas**) bajo la influencia de reacciones químicas y bioquímicas. Adicionalmente representa materia orgánica que no ha sido descompuesta completamente y que no ha podido separarse de la muestra tras el tamizado (Pansuet al., 2006).

### **NITRÓGENO TOTAL**

Para la determinación del nitrógeno total se propone el **método Kjeldalh** (Duchaufour, 1970), que valora conjuntamente el **nitrógeno orgánico** y el **amoniacoal**. El método está basado en la hidrólisis y transformación de las formas orgánicas de nitrógeno (**N** en forma de **amidas, imidas, nitro** y **nitroso compuestos** y otras formas) en sales de amonio ( $NH_4^+$ ) a través de una

digestión con ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) con digestor J.P Selecta. La adición de una adecuada mezcla catalizadora aumenta el punto de ebullición y favorece que se complete cuantitativamente la reacción. A continuación se añade una base en exceso y como consecuencia, se libera amoníaco de las sales de amonio formadas inicialmente. Se destila la muestra con **destilador KjelFlex K-360 Buchi**, y el amoníaco que se condensa es recogido en una **disolución de ácido bórico** el cuál será determinado por una valoración ácido-base con **valorador Metrohm 702 SM Tritino**. El **nitrógeno** en el suelo puede aparecer en forma orgánica, amoniacal o nítrica, siendo la primera de ellas la que se encuentra en mayor proporción en el suelo.

### **AMONIO**

Para extraer el amonio se utilizó el método de **Keeney y Nelson (1982)**, utilizando una disolución de **KCl2 M** con el fin de hacerlo soluble en el suelo. Después se determinó colorimétricamente según el método descrito por **Kandeler y Gerber (1988)**.

### **FÓSFORO ASIMILABLE**

El método colorimétrico empleado está basado en el descrito por **Murphy y Riley (1962)**, modificado por **Watabe y Olsen (1965)**.

Se prepara una **solución** de la **muestra de suelo** con la **disolución extractora Burriel-Hernando (Díez 1982)** como **extractante**, y **cuantificación** con un equipo de espectrofotometría de masas de plasma acoplado inductivamente **Agilent 7500 CE**.

El **método de Burriel-Hernando** para la determinación de **fósforo asimilable o disponible** es uno de los más utilizados en la actualidad. Se basa en la extracción del **fósforo asimilable** con una **solución de carbonato cálcico y carbonato magnésico** solubilizados con **ácido sulfúrico y ácido acético**, según la metodología propuesta por Díez (1982). Se recomienda la limitación de su uso a suelos con **pH > 6.5**. La determinación del **fósforo** se realiza por **espectrofotometría** gracias a la proporcionalidad existente entre la concentración de **ion fosfato** y la coloración azul del complejo formado por la reducción del **fosfomolibdato** (Porta, 1986).

### **BORO ASIMILABLE**

El **método usado** para colorimetría está basado en el **descrito** por **Murphy y Riley (1962)**, modificado por **Watabe y Olsen (1965)**. Se prepara una solución de suelo con agua desionizada como extractante, que posteriormente se agitará y filtrará, para finalmente

cuantificar por **espectrofotometría** de masas de **plasma acoplado** inductivamente con un equipo **Agilent 7500 CE**.

### **CARBONO RECALCITRANTE**

El **método empleado** es el desarrollado por Rovira y Vallejo (2007) y se obtienen **carbono recalcitrante** y **fracciones lábiles** mediante doble **hidrólisis ácida** con **ácido sulfúrico** (Rovira y Vallejo, 2007), para finalmente cuantificar el **carbono recalcitrante** por el método de Walkley y Black, (1934) basado en una **oxidación crómica** en **medio ácido**, en un **valorador Metrohm 702SM**. El interés del conocimiento de las distintas fracciones de carbono (C), en función de su resistencia o facilidad para la **degradación**, radica en su importancia respecto a la caracterización del ciclo del **C** y al suelo como sumidero de **C** (Forbes et al., 2006; Kuzyakov et al., 2009). El **carbono recalcitrante** sufre transformaciones **microbiológicas** y **químicas** muy lentas, siendo uno de los *pools* más estables de la **materia orgánica** del **suelo** (Haumaier y Zech, 1995), contribuyendo a la **estabilidad del humus** en el **suelo** (Brodowskiet al., 2007).

### **NITRATOS**

Los **nitratos** del suelo se determinan mediante el **método de Sempere** (1993), tras su **extracción del suelo** con una solución saturada de **cloruro potásico (KCl)** y posterior lectura mediante espectrofotometría ultravioleta (UV). Se determina en un **cromatógrafo iónico Metrohm**.

La **concentración de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** se obtiene, tras haber preparado una solución de la muestra de suelo con **KCl 2M** (relación 1:10), agitado y filtrado, y se cuantificará con el **cromatógrafo iónico de Metrohm** con 4 canales de separación.

### **ESTABILIDAD DE AGREGADOS**

Se mide la **proporción** de **suelo** en agregados de un tamaño superior al establecido, que queda estable después de una lluvia cuyas características en cuanto a cantidad, intensidad y energía sea conocida. Se parte de agregados del suelo tras su tamizado entre **0,2 y 4 mm** y se consideran estables aquellos que quedan mayores de **0,2 mm** después de sufrir los impactos de una lluvia con energía conocida de **270 J m<sup>-2</sup>** (Roldán et al, 1994).

### **MACRONUTRIENTES (Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> y K<sup>+</sup>)**

Los **cationes de cambio** se obtienen tras preparar una solución de suelo con **BaCl<sub>2</sub>** 0,12 M (relación 1:10), agitar y filtrar, cuantificados por espectrofotometría de masas de plasma acoplado inductivamente en un equipo Agilent 7500 CE.

#### **ACTIVIDAD $\beta$ -GLUCOSIDASA**

El método está basado en la determinación del **p-nitrofenol** liberado después de la incubación del suelo con **p-nitrofenil- $\beta$ -D-glucopiranosido** a 37°C durante 60 min, según los criterios de Tabatabai (1982) y posterior medida en un espectrofotómetro **UV-Mini-1240 Shimadzu**.

#### **ACTIVIDAD $\beta$ -GLUCOSAMINIDASA**

Actividad  **$\beta$ -glucosaminidasa** basada en la determinación de **p-nitrofenol** realizada tras la incubación de con **p-nitrofenil- $\beta$ -D-glucopiranosido** a 37°C durante 1 hora según el método propuesto por Parham y Deng (2000), y finalmente su cuantificado gracias al uso de un equipo de espectrofotometría **UV-Mini-1240 Shimadzu**.

#### **ACTIVIDAD ARILESTERASA**

El método está basado en la determinación del **p-nitrofenol** liberado después de la incubación del suelo con **p-nitrofenil acetato** a 37 °C durante 60 min., según el método propuesto por Zornoza et al. (2009).

#### **ACTIVIDAD DESHIDROGENASA**

La actividad deshidrogenasa es un indicador del sistema **redox microbiano**, por lo que se suele considerar como un buen exponente de las actividades oxidativas del suelo y un indicador general de la actividad microbiana (Skujings, 1973).

La determinación de la **actividad deshidrogenasa** del suelo se basa en el uso de sales solubles de tetrazolio como aceptores artificiales de electrones. El método (von Mersi y Schinner, 1991) está basado en la medida espectrofotométrica del iodonitrotetrazolioformazán (INTF) producido por la reducción del 2-p-iodofenil-3-p-nitrofenil-5-feniltetrazolio (INT) en un **espectrofotómetro UV-Mini-1240 Shimadzu** donde el suelo es incubado en un medio tamponado en oscuridad durante una hora a 40°C.

#### **ACTIVIDAD CELULASA**

Se calcula por el **método** basado en la determinación de azúcares reductores generados por la **intervención de las endoglucanasas**, utilizando la **celulosa amorfa** como **sustrato**, según el método de Pancholy y Rice (1973), modificado por García-Álvarez e Ibáñez (1994). La determinación de los **azúcares reductores** se realiza mediante el método de Somogyi-Nelson (Nelson, 1944), que finalmente es cuantificado en un equipo de **espectrofotometría UV-Mini-1240 Shimadzu**.

#### ◆ DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE PLANTAS

##### NITRÓGENO TOTAL

Para la determinación del nitrógeno total se utiliza el **método Kjeldalh** (Duchaufour, 1970), que valora conjuntamente el **nitrógeno orgánico** y el **amoniaco**. Este método fue desarrollado en 1883 por **Johan Kjeldahl**. Está basado en la hidrólisis y transformación de las formas orgánicas de nitrógeno (**N** en forma de **amidas, imidas, nitro y nitroso compuestos** y otras formas) en sales de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) a través de una digestión con ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) con digestor J.P Selecta. La adición de una adecuada mezcla catalizadora aumenta el punto de ebullición y favorece que se complete cuantitativamente la reacción. A continuación se añade una base en exceso y como consecuencia, se libera amoniaco de las sales de amonio formadas inicialmente. Se destila la muestra con **destilador KjelFlex K-360 Buchi** y el amoniaco que se condensa es recogido en una **disolución de ácido bórico** el cuál será determinado por una valoración ácido-base con **valorador Metrohm 702 SM Tritino**. El **nitrógeno** en el suelo puede aparecer en forma orgánica, amoniaco o nítrico, siendo la primera de ellas la que se encuentra en mayor proporción en el suelo.

##### CONCENTRACIÓN DE $\text{NO}_3^-$

La **concentración de  $\text{NO}_3^-$** , se obtiene tras preparar una disolución de la muestra molida con **agua desionizada** como **extractante, agitado y filtrado** y se cuantificará con un **cromatógrafo iónico Metrohm** con 4 canales de separación.

##### MACRONUTRIENTES ( $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Na}^+$ , $\text{Mg}^{2+}$ y $\text{K}^+$ )

Los **macronutrientes ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{K}^+$ )** se obtienen tras preparar una solución de planta molida calcinada con **ácido nítrico 0,6 N** y filtrado y se cuantificará por **espectrofotometría de masas de plasma** acoplado inductivamente con un equipo **Agilent 7500 CE**.

##### FÓSFORO

El **fósforo** se obtiene tras preparar una **solución de planta molida calcinada** con ácido nítrico 0,6 N y filtrado, se cuantificará por espectrofotometría de masas de plasma acoplado inductivamente con un equipo Agilent 7500 CE.

## **BORO**

Se obtiene tras preparar una **solución de planta molida calcinada** con **ácido nítrico 0,6N** y filtrado, y se cuantificará por **espectrofotometría de masas de plasma acoplado** inductivamente con un equipo Agilent 7500 CE.

## **CARBONO ORGÁNICO**

El **carbono orgánico** se determina por diferencia de peso tras la combustión en **horno mufla Obersal modelo HD 230**, a 480 ° C.

### **◆ DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE ESTIÉRCOL DE OVINO Y CAPRINO**

En el análisis del estiércol de origen ovino y caprino se determinaron los siguientes parámetros:

#### **pH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA**

Se han calculado tras una **suspensión del suelo en agua desionizada** en una **relación 1:2,5**, utilizando un pHmetro GLP 21 Crison, y un **conductímetro** GLP 31 Crison.

## **CARBONO ORGÁNICO**

Se ha calculado por **oxidación húmeda** con **K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>** (Walked y Black, 1934) transformando el **carbono en CO<sub>2</sub>**, para finalmente determinar la cantidad de oxidante que no ha reaccionado mediante un valorador **Metrohm 702 SM**.

## **NITRÓGENO TOTAL**

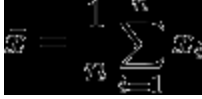
Se ha calculado por el **método Kjeldahl** (Duchaufour, 1970), basado en una **digestión** con **ácido sulfúrico** con digestor J.P Selecta, **destilación** con **destilador KjelFlexK-360 Buchi** y finalmente una valoración ácido-base con valorador **Metrohm 702 SM Tritino**.

## **FÓSFORO ASIMILABLE**

Se ha obtenido tras preparar una solución de la **muestra de suelo** con la disolución extractora Burriel Hernando (Díez, 1982) como **extractante** y cuantificación con un espectrómetro de masas de plasma acoplado inductivamente Agilent 7500 CE.

## 6.5. Análisis estadístico

La **media aritmética**, es un promedio estándar que a menudo se denomina “promedio”.



La **desviación típica**, es una medida de dispersión que representa la raíz cuadrada de la varianza.

$$\sigma^2 = \frac{(X_1 - \bar{\mu})^2 + (X_2 - \bar{\mu})^2 + (X_3 - \bar{\mu})^2 + \dots + (X_n - \bar{\mu})^2}{N} = \frac{\sum (X_i - \bar{\mu})^2}{N}$$

Para analizar los datos obtenidos se ha utilizado el **programa estadístico IBM SPSS Statistics 20 para Windows**. Se trata de un paquete estadístico cuyo funcionamiento es similar al de todo programa que lleva a cabo análisis estadísticos: pasados los datos a analizar a un fichero con las características del programa, éste es analizado con una serie de órdenes, dando lugar a unos resultados de tipo estadístico que el investigador debe interpretar.

Los **análisis realizados** han sido los siguientes:

- ◆ **ANÁLISIS DE VARIANZA FACTORIAL UNIVARIANTE:** para contrastar los efectos de los distintos factores utilizados en cada uno de los muestreos realizados. La denominación de análisis univariante resulta de la descomposición de la variabilidad total de los datos en sus componentes: variabilidad debida a los distintos factores que intervienen en el estudio realizado y variabilidad no explicada debida al azar.

- ◆ **Comparaciones Múltiples Post-Hoc:** es una comparación de las medias de efectos principales, de manera que cualquier diferencia existente entre cualquier factor que interviene en el diseño experimental realizado se verá reflejado en este análisis. Permite averiguar qué medias en concreto difieren de qué otras; usando el **test Tukey**. Permiten controlar la tasa de error al efectuar varias comparaciones utilizando las mismas medias

El **nivel de significación** utilizado fue  $\alpha \leq 0,05$  en ambos casos.

Para la realización de los **gráficos estadísticos** que representan los análisis estadísticos realizados se ha utilizado como variable cuantitativa en el eje de ordenadas la variable denominada **TRATAMIENTOS**, esta variable indica las diferentes combinaciones realizadas entre variedades, sistemas de cultivo y prácticas de manejo que se han llevado a cabo en el cultivo de haba y en el cultivo de caupí (**Tablas 40,41, 42, 43** del anexo).

## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1. Acidez

Expresa la concentración de iones hidrógeno ( $H^+$ ) presentes en la solución del suelo. Para caracterizarla se utiliza, como unidad de medida, el **pH**. La mayor parte de las plantas cultivadas tienen su óptimo de crecimiento en las proximidades de la neutralidad aunque soportan, en general, más fácilmente la acidez que la basicidad (Urbano, 1998). La acidez y la basicidad afectan a la nodulación en leguminosas (Evans et al., 1988)

El **pH** en la mayoría de muestras está en torno a **8**, obteniéndose los valores más altos de **pH** para las muestras de haba, que alcanzaron un valor máximo de 8,46 y un valor mínimo de 8,22 en el muestreo final de suelo, lo que le confiere un **pH alcalino** (Cobertera, 1993). Los muestreos de suelo de caupí indican igualmente valores de pH alcalinos con un valor mínimo de 8,2 y un valor máximo de 8,33 en el muestreo final de caupí. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los muestreos realizados de suelo para las variedades de haba y caupí.

### 7.2. Salinidad

La medida de la conductividad eléctrica (**CE**) de los extractos obtenidos de los suelos permite establecer una estimación cuantitativa de la cantidad de sales solubles que contienen. La **conductividad eléctrica** presenta valores comprendidos entre **0 a 2 ms/cm** y de acuerdo con (Cobertera, 1993) el suelo se considera sin salinidad. Sin mostrar diferencias significativas en ninguno de los muestreos realizados en haba y caupí, los valores más altos de conductividad eléctrica se presentaron en las muestras de suelo del muestreo final de haba, obteniéndose valores más bajos en muestreo final de caupí, no llegando a superar en ningún caso el valor comprendido de **0 a 2 ms/cm** lo que indica suelo sin salinidad.

### 7.3. Nitrógeno total

La calidad de la materia orgánica total del suelo y las condiciones de humificación del mismo están definidas, en gran parte, por la capacidad del suelo para unir **nitrógeno** a la molécula de los ácidos húmicos. Esta síntesis queda reflejada por el contenido de nitrógeno total que, en su mayor parte, se encuentra en los suelos en forma orgánica (Urbano, 1998). La principal interpretación de esta analítica la constituye el parámetro **C/N**.

El **nitrógeno** es un valor con doble significado en la valoración del suelo, su condición de elemento nutritivo lo hace un elemento imprescindible para la evaluación de la fertilidad



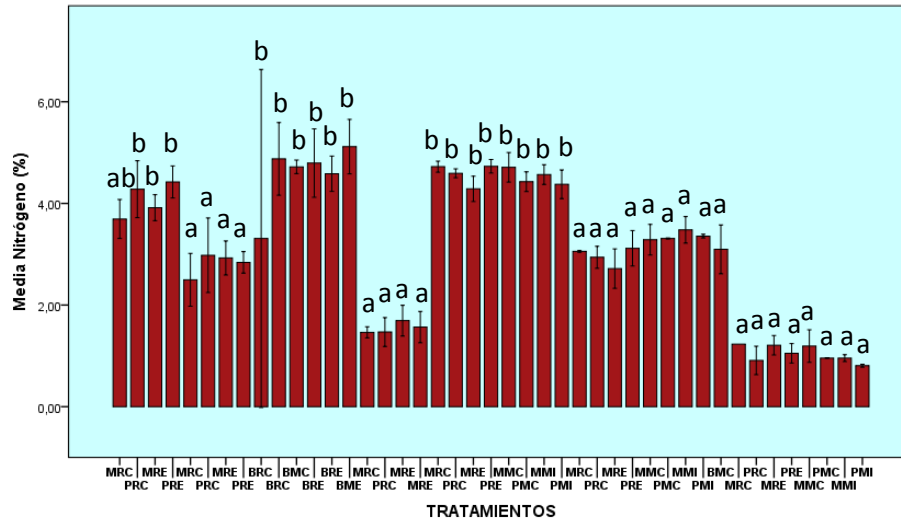
del mismo; y de otro lado su contenido total relacionado con el del carbono (relación **C/N**) (Cobertera, 1993).

Por otro lado, el cociente **C/N** en el horizonte antrópico guarda una estrecha relación con el contenido orgánico total, de tal forma que cuando los valores de este último son superiores a la media territorial, la **C/N** se suele encontrar en torno a valores de **10**, descendiendo a medida que aumenta el contenido de nitrógeno. Cuando el porcentaje de materia orgánica total es inferior en un **50%** al del contenido promedio, lo que indica una excesiva mineralización, la **C/N** suele estar en torno a **5** (Cobertera, 1993). En nuestro caso se han obtenido valores de la relación **C/N** superiores a **12** lo que indica predominio de la humificación (Cobertera, 1993).

En los muestreos de suelo realizados en el cultivo de haba no se han obtenido diferencias estadísticamente significativas, con un valor mínimo obtenido de  $0,84 \text{ g kg}^{-1}$  y un valor máximo de  $1,03 \text{ g kg}^{-1}$  de nitrógeno total en suelo. Estos valores se consideran altos según (Cobertera, 1993), sin que existan diferencias estadísticamente significativas.

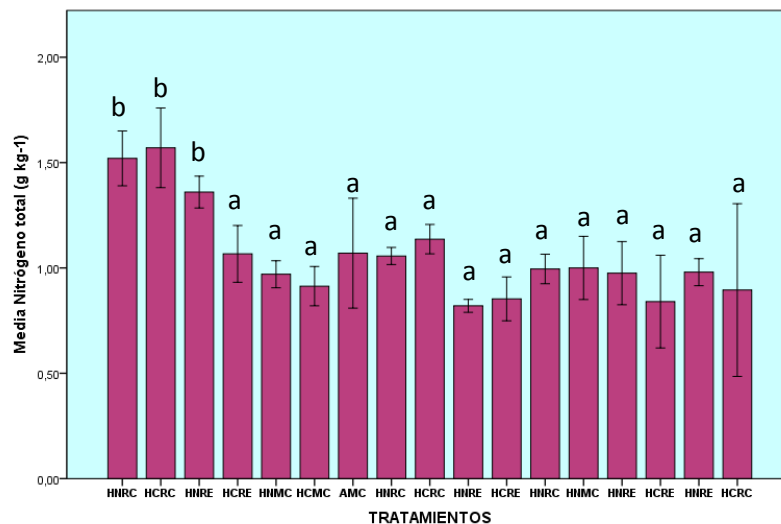
Si observamos otros estudios realizados, las leguminosas además poseen la propiedad de mejorar el contenido de nitrógeno del suelo a través de la fijación de este desde la atmósfera. Estas pueden fijar hasta  $500 \text{ kg de N/Ha/año}$  (Ara et al., 1990; Thomas, 1995) pueden acrecentar un rápido recambio del fósforo (Oberson et al., 1995) y potenciar un incremento en la actividad biológica del suelo (Decaens et al., 1994), controlando así la erosión de los suelos.

Los muestreos realizados en plantas de haba en general han dado valores considerados dentro del rango bajo-normal (Cobertera, 1993) con un valor mínimo de  $0,76 \%$  obtenido en el muestreo final y un valor máximo de  $1,16 \%$  en el muestreo intermedio, donde el contenido de **Nitrógeno Total** varió de forma significativa en las muestras analizadas en las plantas de haba obteniéndose los mayores resultados en las muestras analizadas de semillas en los cultivos intercalados de leguminosas de las variedades de haba Muchamiel y Palenca en rotación y monocultivo, en cultivo convencional, inoculado convencional y ecológico. El resto de muestras analizadas no tuvieron resultados estadísticamente significativos (Figura 7.3.1.).



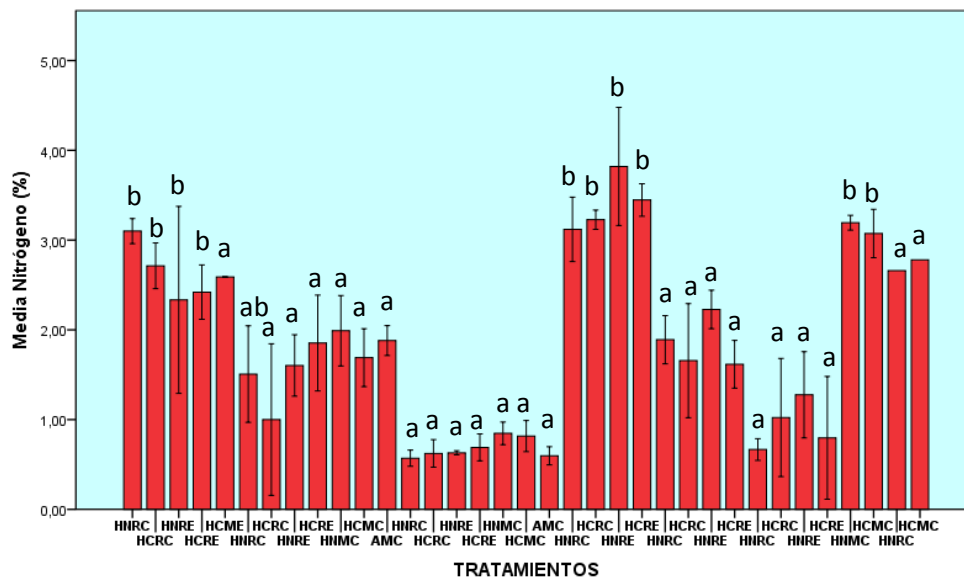
**Figura 7.3.1** Concentraciones medias y error típico de Nitrógeno (%) en muestras de plantas para las variedades Muchamiel, Palenca y brócoli en sistemas de cultivo en rotación y no rotación y prácticas de manejo convencional y ecológica en cultivo de haba. Las Barras de error representan el error típico: letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo con el Test de Tukey. Las barras con la misma letra son estadísticamente iguales. Las barras con letra distinta son estadísticamente diferentes para  $P < 0,05$ .

En los muestreos de suelo realizados en el cultivo de caupí se ha obtenido un valor mínimo de  $0,82 \text{ g kg}^{-1}$  y un valor máximo de  $1,57 \text{ g kg}^{-1}$  de Nitrógeno Total en suelo. Estos valores se consideran altos (Cobertera, 1993), donde el contenido en **Nitrógeno Total** para algunas de las muestras analizadas de las variedades de caupí Hilo Negro e Hilo Claro en rotación convencional y ecológica fue estadísticamente diferente en comparación con el monocultivo convencional de leguminosas para esas mismas variedades de caupí y para el cultivo testigo de algodón (Figura 7.3.2.).



**Figura 7.3.2.** Concentraciones medias y error típico de Nitrógeno Total ( $\text{g kg}^{-1}$ ) en muestras de suelo para las variedades Hilo Claro, Hilo Negro y algodón en sistemas de cultivo en rotación y no rotación y prácticas de manejo convencional y ecológica en cultivo de caupí. Las Barras de error representan el error típico: letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo con el Test de Tukey. Las barras con la misma letra son estadísticamente iguales. Las barras con letra distinta son estadísticamente diferentes para  $P < 0,05$ .

Las muestras de plantas de caupí obtuvieron también valores muy bajos-normales de nitrógeno según estudios realizados por Cobertera, (1993), presentando el valor mínimo de 0,57% en el muestreo intermedio y el valor máximo de 3,82% en el muestreo final de caupí, donde los análisis de **nitrógeno total** indicaron unos efectos estadísticamente significativos en los cultivos intercalados de leguminosas en las variedades de caupí Hilo Negro e Hilo Claro en las muestras analizadas de semillas y raíz, en rotación convencional y orgánica y monocultivo ecológico, que fueron estadísticamente diferentes presentando mayores valores que los observados en el monocultivo convencional para esas mismas variedades de leguminosas; también fueron estadísticamente significativos alcanzando valores mayores que los obtenidos en el monocultivo testigo de algodón y en rotación en cada una de las prácticas de manejo convencional y orgánica realizadas (Figura 7.3.3.).



**Figura 7.3.3. Concentraciones medias y error típico de Nitrógeno (%) en muestras de plantas para las variedades Hilo Claro, Hilo Negro y algodón en sistemas de cultivo en rotación y no rotación y prácticas de manejo convencional y ecológica en cultivo de caupí.** Las Barras de error representan el error típico: letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo con el Test de Tukey. Las barras con la misma letra son estadísticamente iguales. Las barras con letra distinta son estadísticamente diferentes para  $P < 0,05$ .

Para la variable nitrógeno (N) se ha encontrado un comportamiento altamente significativo ( $P < 0,05$ ) entre las diferentes variedades, prácticas de manejo y sistemas de cultivo. Esto coincide con lo obtenido por otros autores (UNAL, 2005; Kwesiga y Coe, 1994; Abreu, 1996), donde se observaron cambios significativos en los elementos analizados específicamente en relación **C/N**, **CO** y **nitrógeno** al estudiar el efecto de diferentes leguminosas.

Se sabe que la eficiencia de uso del N fijado por leguminosas es normalmente un 10 a 20% menor que la del N adicionado como fertilizante químico (Barrios et al., 1996; Chikowo et al., 2006).

En otros estudios también se ha encontrado una menor eficiencia en uso de N a medida que se aumenta la dosis sobre 125 - 150 kg N ha<sup>-1</sup> (Barbieri et al., 2010; Soto et al., 2004; Valero et al., 2005).

La mineralización del N en el suelo depende en gran medida de la relación C:N del material incorporado. Un material vegetal incorporado al suelo con una relación C:N alta se descompone más lentamente en el suelo que un material con una relación C:N baja (Martín et al., 2002; Nziguheba et al., 2005). Se ha reportado que plantas con relaciones C:N mayores a 27 inmovilizan N, mientras que plantas con una relación C:N menor a 27 mineralizan N, siendo 25 el valor crítico de equilibrio entre inmovilización y mineralización (Martín et al., 2002; Myers et al., 1994; Seneviratne et al., 1999; Seneviratne, 2000).

Las leguminosas se degradan en el suelo en forma rápida cuando su relación de C:N es del orden de 9,0 (Barrios et al., 1997; Palm y Sánchez 1991; Sakala et al., 2000).

Sin embargo, se ha comprobado que la cantidad de nitrógeno fijado por las leguminosas durante su período vegetativo está en función de la capacidad del rizobio para fijar nitrógeno, de la especie de leguminosa y de las condiciones de suelo y clima (Brockwell et al., 1995). Por lo tanto, para una inoculación exitosa, hay que realizar una identificación y selección de cepas específicas, eficientes y de una alta competitividad con rizobios nativos para que sirvan como inoculantes en sitios donde se encuentren condiciones ambientales adversas (Brockwell et al., 1995).

Algunos experimentos han mostrado que la aplicación excesiva de fertilizantes nitrogenados en cultivos de leguminosas reduce la infección de pelos radicales, número de nódulos, masa de nódulos y fijación de nitrógeno (Dazzo y Brill, 1978).

El costo energético que invierten las plantas para formar estructuras simbióticas y fijar nitrógeno atmosférico supera al gasto de energía de éstas en la asimilación de nitrógeno mineral disponible (Kretovich, 1994).

Como el nitrógeno fijado por la leguminosa puede reemplazar parte o todo el N del fertilizante en un sistema de rotación, la cantidad de nitrógeno percolado generalmente disminuye (Power, 1990). Sin embargo, puede haber excepciones, ya que la baja relación C/N en el rastrojo de leguminosas promueve una rápida mineralización del nitrógeno y consecuentemente una acumulación transitoria de nitrato en el suelo (Damas et al., 1985).

#### 7.4. Carbono Orgánico

Los análisis obtenidos suelen dar una cifra única para indicar el contenido en materia orgánica del suelo. Teniendo en cuenta que en las fases previas del análisis se separan las materias no descompuestas, esta cifra expresa, normalmente, materias en estado más o menos avanzado de humificación (Cobertera, 1993).

Para caracterizar este estado se interpretará el valor de la relación **C/N (carbono orgánico/nitrógeno total)** y como ya se ha dicho en el apartado anterior, los valores de la relación **C/N** son muy altos indicando este dato predominio de humificación (Cobertera, 1993).

Las leguminosas se degradan en el suelo en forma rápida cuando su relación de **C:N** es del orden de 9,0. En nuestro caso, como se ha dicho anteriormente la relación **C:N** es de 12 o más, lo cual determina su degradación media en el suelo (Barrios et al., 1997; Palm y Sánchez 1991; Sakala et al., 2000).

Se debe tener en cuenta que para lograr aumentos en el C del suelo, como materia orgánica, pueden pasar años (Seneviratne, 2000).

Los valores obtenidos en algunos casos superan el **2%** de materia orgánica alcanzando la materia orgánica en las muestras de suelo en el cultivo de haba un valor mínimo de 9,55 g kg<sup>-1</sup> y un valor máximo de 12,86 g kg<sup>-1</sup>, ambos valores obtenidos en el muestreo final de suelo. En el cultivo de caupí, los valores obtenidos en la materia orgánica en las muestras de suelo ha alcanzado un valor mínimo de 11,60 g kg<sup>-1</sup> y un valor máximo de 18,12 g kg<sup>-1</sup> en los muestreos finales de suelo, mientras que los resultados estadísticos indican que no ha habido diferencias estadísticamente significativas.

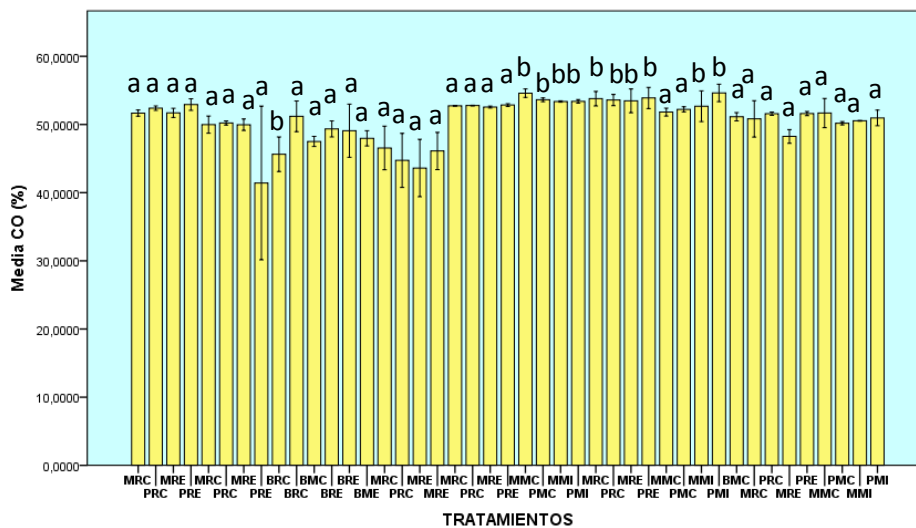
Estos valores próximos al **4%** indican que los suelos son orgánicos, de muy buena calidad en seco y de calidad buena a muy buena (según porcentajes en aumento) en regadío (Cobertera, 1993). Los incrementos del **CO** detectados coinciden con lo encontrado por otros autores, (Christensen, 1986, Mukherjee et al., 1990; Ando et al., 1992; Rivero y Paolini 1995, Rivero, 1996). De manera similar pero con otras especies leguminosas, en un estudio realizado en condiciones de invernadero, Rivero, (1997) obtuvo como resultado diferencias significativas con un incremento del **CO** en diferentes prácticas de manejo.

En nuestro caso, la ausencia de cambios en los contenidos de materia orgánica del suelo concuerda con lo reportado por (Quiroga et al., 2000); él trabajó con *Vigna unguiculata* L.; (Coultas et al., 1996) también durante tres años. No obstante estos mismos autores

muestran que en un ambiente de mayor precipitación pluvial, se incrementó la materia orgánica del suelo con *Vigna unguiculata L.*

El marcado incremento de la mineralización de la materia orgánica se atribuye a una relación baja de **C/N** (Jensen y Castellanos, 1994, Armendariz, 1998, Quiroga-Madrigal, 2000), que en nuestro caso no existiría ya que la relación **C/N** es de 12.

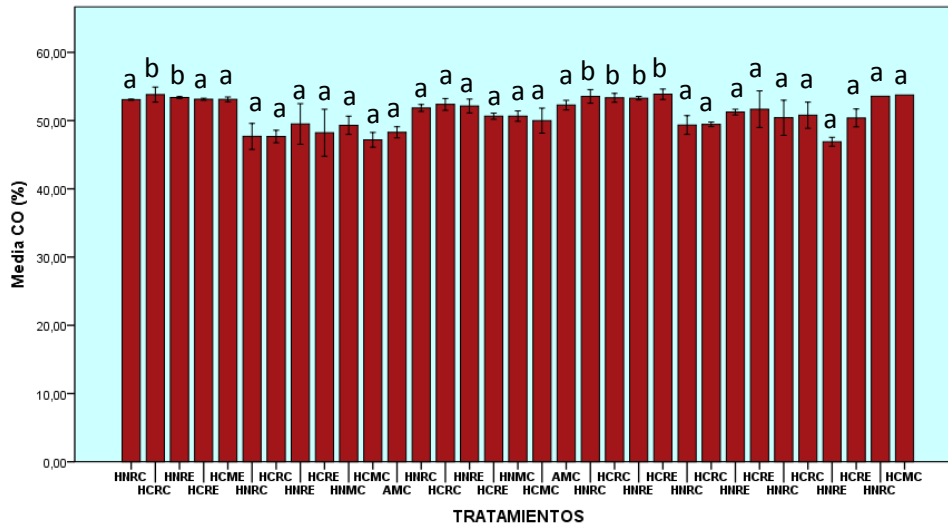
Las muestras de plantas de haba registraron un valor mínimo de 41,42% en el muestreo intermedio y un valor máximo de 54,64% en el muestreo final, valores altos según Cobertera(1993), donde se observaron diferencias estadísticamente significativas en las rotaciones en cultivo ecológico intercaladas de haba para las variedades Muchamiel y Palencia en raíz y parte aérea y el monocultivo en cultivo convencional testigo de brócoli en las muestras analizadas de pella de brócoli, que tuvieron un efecto estadísticamente significativo más bajo para el contenido de **Carbono Orgánico** sobre el resto de muestras analizadas en rotación y monocultivo convencional de haba para esas mismas variedades (Figura 7.4.1.).



**Figura 7.4.1. Concentraciones medias y error típico de Carbono orgánico (%) en muestras de plantas para las variedades Muchamiel, Palencia y brócoli en sistemas de cultivo en rotación y no rotación y prácticas de manejo convencional y ecológica en cultivo de haba. Las Barras de error representan el error típico: letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo con el Test de Tukey. Las barras con la misma letra son estadísticamente iguales. Las barras con letra distinta son estadísticamente diferentes para  $P < 0,05$ .**

En los muestreos realizados en plantas de caupí se obtuvo un valor mínimo de 46,89% y un valor máximo de 53,87%, ambos valores fueron obtenidos en el muestreo final e indican un contenido en materia orgánica alto (Cobertera,1993), donde los cultivos intercalados de plantas de caupí de las variedades Hilo Negro e Hilo Claro en rotación convencional y ecológica tuvieron un efecto estadísticamente significativo mayor en el contenido de **Carbono Orgánico** en las muestras analizadas de semillas, que el resto de muestras en monocultivo de leguminosa y monocultivo testigo algodón. Estos datos contrastan con los ensayos realizados

por Borja (1998), donde las leguminosas presentaron diferencias estadísticamente significativas en los contenidos analizados de Nitrógeno y Carbono Orgánico para las diversas variedades estudiadas (Figura 7.4.2.).



**Figura 7.4.2. Concentraciones medias y error típico de Carbono orgánico (%) en muestras de plantas para las variedades Hilo Claro, Hilo Negro y algodón en sistemas de cultivo en rotación y no rotación y prácticas de manejo convencional y ecológica en cultivo de caupí.** Las Barras de error representan el error típico: letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo con el Test de Tukey. Las barras con la misma letra son estadísticamente iguales. Las barras con letra distinta son estadísticamente diferentes para  $P < 0,05$ .

Analizando los resultados obtenidos en la relación **C/N**, **CO** y **N**, Rivero y Paolini, (1995) citan que el alto efecto logrado por las leguminosas ha sido señalado por muchos investigadores como (Wade et al.,1983; Heng y Goh, 1984, Clay y Clapp, 1990; Costa et al., 1990; Duxbury et al.,1991; Prasad et al., 1991) y se debe, en el caso del **nitrógeno**, al contenido de este elemento en los tejidos incorporados y su subsiguiente mineralización. Respecto a la relación **C/N** debido a los valores que presentan las leguminosas en estudio, *Vicia faba L.* se presenta como una buena opción para mejorar suelos a corto plazo (Rivero y Paolini, 1995).

### 7.5. Amonio

El amonio producido puede ser utilizado directamente por los vegetales y microorganismos del suelo, oxidado en la nitrificación, fijado por las arcillas como catión de cambio y por la materia orgánica en formas muy estables (Urbano, 1998).

Las cantidades obtenidas oscilaron entre **2,5** y **20 ppm** lo que indica unos valores normales-altos de amonio (Cobertera, 1993). Los valores obtenidos en el muestreo de suelo de haba son de 4,15 mg kg<sup>-1</sup> como valor mínimo y un valor máximo de 9,36 mg kg<sup>-1</sup>, ambos valores obtenidos en el muestreo final de haba; los valores obtenidos para el cultivo de caupí presentan un valor mínimo de 5,73 mg kg<sup>-1</sup> y un valor máximo de 12,12 mg kg<sup>-1</sup>, también

obtenidos en el muestreo final de caupí. La estadística realizada en los muestreos de suelo de haba y de caupí indica que no hubo diferencias estadísticamente significativas en las muestras de suelo analizadas.

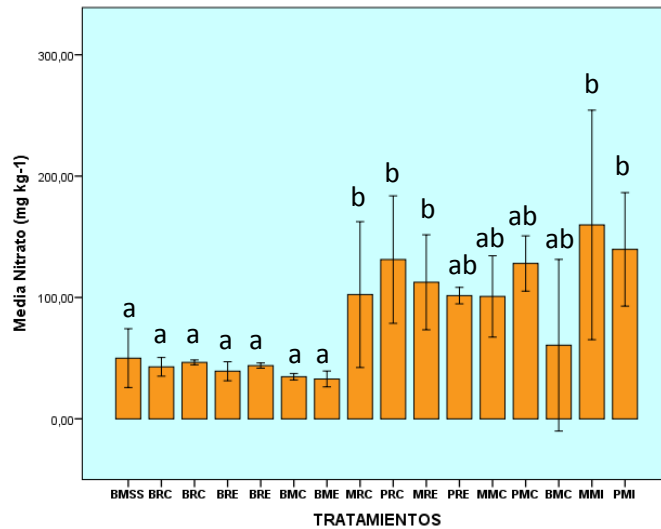
En todo caso, el amonio de los suelos debe reaccionar rápidamente, pues es una forma tóxica para la planta y no debe existir libre en los jugos celulares (Urbano, 1998). Algunas especies parecen preferir las formas nitrato; otras la mayor parte parecen indiferentes (Urbano, 1998). Las plantas jóvenes prefieren las formas Amonio y en estado adulto tendrían preferencia por Nitrato (Baeyens, 1970).

### **7.6. Nitrato**

La forma nítrica  $\text{NO}_3^-$  se encuentra libre en las soluciones del suelo, no experimentando ningún fenómeno de fijación. La cantidad de nitratos arrastrados depende, a la vez, de su concentración en la solución del suelo a lo largo del perfil y de la capacidad de los sistemas radiculares de las plantas para absorberlos antes de que escapen de su zona de influencia (Urbano, 1998).

En los análisis de suelo realizados en muestreo final de haba se obtuvo un valor mínimo de  $32,86 \text{ mg kg}^{-1}$  y un valor máximo de  $159,79 \text{ mg kg}^{-1}$  en ambos casos superan las **10 ppm** de nitrato en el suelo con lo cual se consideran valores altos según (Urbano, 1998), donde los datos estadísticos indicaron que las variedades Muchamiel y Palenca tuvieron un efecto estadísticamente significativo sobre los de rotación y monocultivo testigo de brócoli, siendo la respuesta mayor para la variedad de haba Muchamiel en monocultivo, en práctica de manejo convencional frente al cultivo testigo de brócoli en monocultivo y en rotación con las dos variedades seleccionadas de haba Muchamiel y Palenca (Figura 7.6.1.).





**Figura 7.6.1. Concentraciones medias y error típico de Nitrato ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en muestras desuelo para las variedades Muchamiel, Palencia y brócoli, en sistemas de cultivo en rotación y no rotación y prácticas de manejo convencional y ecológica en cultivo de haba. Las Barras de error representan el error típico: letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo con el Test de Tukey. Las barras con la misma letra son estadísticamente iguales. Las barras con letra distinta son estadísticamente diferentes para  $P < 0,05$ .**

En los análisis de suelo de caupí en los muestreos inicial y final se obtuvo un valor mínimo de  $25 \text{ mg kg}^{-1}$  y un valor máximo de  $160 \text{ mg kg}^{-1}$  se han obtenido valores de Nitrato que superan los **10 ppm**, considerándose estos valores en ambos casos altos según (Urbano, 1998), sin que se hayan observado diferencias estadísticamente significativas.

En los análisis de plantas de haba se obtuvo un valor mínimo de  $16,3 \text{ mg kg}^{-1}$  y un valor máximo de  $2237,19 \text{ mg kg}^{-1}$ , ambos obtenidos en el muestreo intermedio de haba, sin que se hayan observado diferencias estadísticamente significativas. En los análisis de plantas de caupí se obtuvo un valor mínimo de  $163,92 \text{ mg kg}^{-1}$  y un valor máximo de  $993 \text{ mg kg}^{-1}$  en el muestreo intermedio realizado en plantas de caupí, sin que se hayan observado diferencias estadísticamente significativas. En ambos casos, se han obtenido valores de Nitrato que superan los **10 ppm**, considerándose estos valores en ambos casos altos según (Urbano, 1998).

En suelos ácidos (vegetación acidófila) y encharcados (cultivo de arroz), donde la nitrificación es siempre difícil, las plantas parecen estar adaptadas a asimilar mejor las formas de amonio (Urbano, 1998). En suelos neutros o básicos como el nuestro, con alto potencial redox, la vegetación tiende a asimilar mejor las formas nitrato (Urbano, 1998). Es normal que el pH aumente en soluciones ricas en Nitratos y disminuya en las que contienen iones amoniacales (Urbano, 1998). La nutrición nitrogenada de la planta está garantizada cuando el contenido de Nitratos en el suelo es, al menos, de 10 ppm, estableciéndose las necesidades de N para obtener las cosechas en las leguminosas en 50-52 ‰ (Urbano, 1998).

Para interpretar los valores obtenidos de  $\text{NO}_3^-$  observados en el suelo en el presente estudio hay que tener cuenta que al fertilizar con fertilizantes convencionales el N químico genera un proceso de mineralización en el suelo mediante el cual parte del N aplicado se perdería por volatilización (15-20%) y otra parte se convierte por acción de bacterias (nitrosomas - nitrobacter) en  $\text{NO}_2$ - $\text{NO}_3^-$  (Urbano, 1998). El N que la planta no absorbe se pierde por lixiviación o desnitrificación (25-30%) (Urbano, 1998). Las plantas de parcelas fertilizadas con N químico toman más N del suelo que las no fertilizadas (efecto priming), por un efecto del fertilizante sobre la mineralización, a través de los procesos físico-químicos y microbiológicos del suelo (Kuzyakov et al., 2000; Ma et al., 1999; Martín, 2002).

En otros estudios se ha reportado que valores por encima de  $46 \text{ mg kg}^{-1}$  de  $\text{NO}_3^-$  se consideran altos, implicando riesgo de lixiviación y contaminación de acuíferos (Anken et al., 2004). En este estudio, se encontraron niveles de  $\text{NO}_3^-$  que variaron entre 32,86 y  $159,79 \text{ mg kg}^{-1}$  de  $\text{NO}_3^-$  en el suelo. Esto se podría considerar una limitación si no se degradara a consecuencia de la lixiviación de  $\text{NO}_3^-$  en el suelo (García, 1997; Mureithi et al., 2003; Seneviratne, 2000).

### 7.7. Fósforo

De acuerdo con la evolución del fósforo del suelo, debe tenerse en cuenta que el de las soluciones representa solamente un valor puntual en equilibrio con el fósforo fijado con débil energía de retención o fósforo lábil (Urbano, 1998).

Se ha comprobado que el uso de diferentes fuentes de fósforo afecta a su disponibilidad; Urrutia e Igue, (1972) encontraron que el fosfato monocálcico monohidratado y el superfosfato simple se disolvieron más rápidamente que el fosfato dicálcico anhidro.

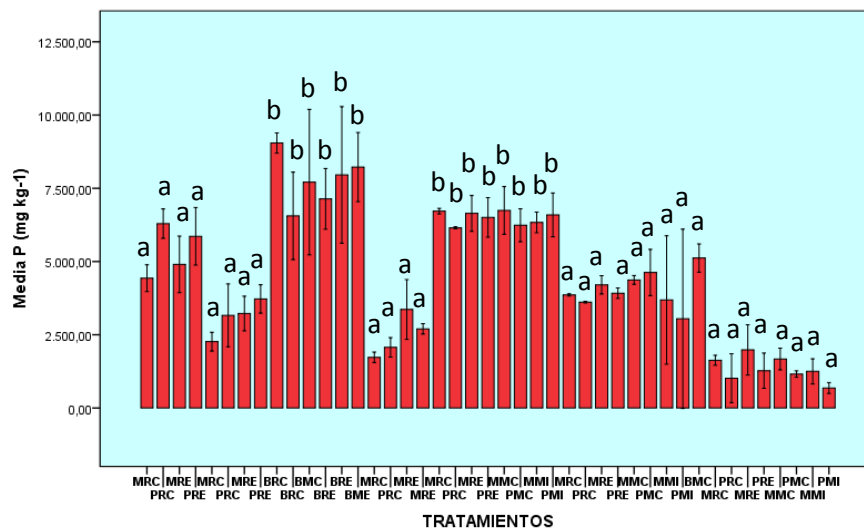
De esta forma, el suministro de fósforo en hortalizas y plantas herbáceas generalmente es alto, en tanto que en cultivos perennes tiende a ser de moderado a bajo (Molina et al., 1993).

El contenido de fósforo está correlacionado con su grado de evolución y el contenido de materia orgánica, en general el contenido de fósforo total en los suelos es bajo y varía ampliamente de 0,02-0,15% promedio (García, 1999).

En el muestreo de suelo en el cultivo de haba se obtuvieron valores medios comprendidos entre  $24,01 \text{ mg kg}^{-1}$  de fósforo como valor mínimo y el valor máximo de  $41,01 \text{ mg kg}^{-1}$ , ambos valores obtenidos en el muestreo final de suelo; lo que indica contenidos muy

altos de fósforo, sin que se hayan encontrado diferencias estadísticamente significativas en las muestras de suelo analizadas en el cultivo de haba.

Los análisis de fósforo realizados en plantas de haba registran unos resultados de 682 mg kg<sup>-1</sup> como valor mínimo obtenido en el muestreo final de haba y un valor máximo de 9046,03mg kg<sup>-1</sup> obtenido en el muestreo intermedio, ambos resultados obtenidos en los muestreos de plantas de haba indican unos contenidos muy altos de fósforo, donde el monocultivo testigo convencional y en rotación de brócoli en cultivo convencional y ecológico tuvieron un efecto estadísticamente significativo mayor para los niveles de **Fósforo** obtenidos sobre el resto de muestras analizadas, obteniéndose los mayores resultados de **Fósforo** en la pella de brócoli. Los cultivos intercalados de haba de las variedades Muchamiel y Palenca en monocultivo y rotación en las prácticas de manejo convencional y ecológico tuvieron un efecto estadísticamente significativo sobre el resto de muestras analizadas tendiendo a ser más altos los resultados obtenidos de **Fósforo** en las semillas analizadas de haba (Figura 7.7.1.).



**Figura 7.7.1** Concentraciones medias y error típico de Fósforo (mg kg<sup>-1</sup>) en muestras de plantas para las variedades Muchamiel, Palenca y brócoli en sistemas de cultivo en rotación y no rotación y prácticas de manejo convencional y ecológica en cultivo de haba. Las Barras de error representan el error típico: letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo con el Test de Tukey. Las barras con la misma letra son estadísticamente iguales. Las barras con letra distinta son estadísticamente diferentes para P< 0,05.

En los muestreos finales de suelo de caupí se obtuvieron valores comprendidos entre 15,83 mg kg<sup>-1</sup> como valor mínimo y 28,13 mg kg<sup>-1</sup> como valor máximo, valores altos (Cobertera, 1993), donde ninguno de los cultivos intercalados tuvo un efecto estadísticamente significativo para los resultados obtenidos salvo en el caso de la variedad de caupí Hilo Claro en cultivo rotacional ecológico que presentó en algunas muestras resultados estadísticamente significativos más bajos para el parámetro **Fósforo** en comparación con el monocultivo convencional de caupí Hilo Negro (Figura 7.7.2.).



Para las muestras de suelo analizadas en los cultivos de melón y brócoli en rotación con cultivo de haba, los valores obtenidos rondan los 21-28 mg kg<sup>-1</sup>, considerándose según Cobertera (1993) como un contenido medio de fósforo, donde no hubo resultados estadísticamente significativos.

Datos de investigación documentan la influencia del Fósforo en el desarrollo de los nódulos y en el proceso de fijación de **N** en leguminosas (Informaciones Agronómicas, nº 56). El Fósforo influencia el desarrollo de los nódulos a través de una de sus funciones básicas en las plantas que es servir como fuente de energía. La deficiencia de Fósforo restringe el crecimiento radicular, el proceso de fotosíntesis, el transporte de azúcares y otras importantes funciones que influyen directa o indirectamente la fijación de **N** en las leguminosas (Informaciones Agronómicas, nº 56).

Los valores de fósforo más bajos obtenidos en el suelo, a diferencia de los obtenidos en las plantas, se deberían a que el fósforo tiene baja solubilidad en la mayoría de los compuestos, provocando bajas concentraciones en la solución del suelo (García, 1999).

La mayor concentración de Fósforo en las leguminosas puede deberse a su mayor disponibilidad, explicada por la disminución del pH de suelo (Benzing, 2001). En suelos alcalinos la absorción del Fósforo por las plantas, es inhibido por complejos de apatita (Benzing, 2001). En suelos calcáreos la acidificación de estos puede favorecer la asimilación del Fósforo contenido en complejos de apatita (Benzing, 2001).

### **7.8. Boro**

El Boro en el suelo se presenta en forma de combinaciones minerales, adsorbido sobre las arcillas y sobre los oxhidróxidos de Hierro y Aluminio, adsorbido sobre la materia orgánica, en las soluciones del suelo (formas ionizadas o ácidas de BO<sub>3</sub>H<sub>3</sub>). La disponibilidad de **Boro** en el suelo depende de factores como la textura, el pH, el contenido de materia orgánica y la humedad (Urbano Terrón, 1998).

El encalado, como complemento de los programas de fertilización, también se relaciona con la disponibilidad de Boro, pues reduce la mayor adsorción del elemento conforme el pH aumenta (Rímolo, 1970).

En suelos con elevado contenido de cal disminuye la disponibilidad de Boro (Urbano Terrón, 1998). No se ha llegado a un acuerdo sobre si ello se debe solamente a la elevación del

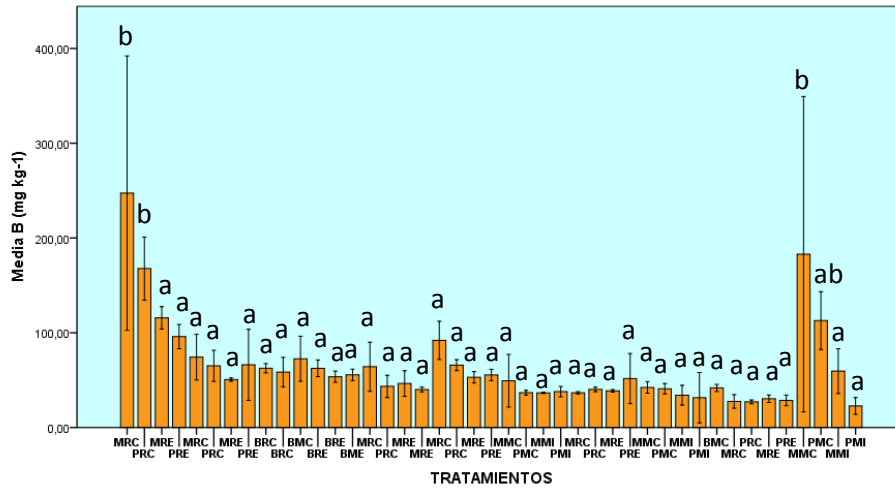
pH, a un efecto antagonista del  $\text{Ca}^{+2}$  sobre los aniones borato o a ambas causas combinadas (FAO, 1976).

Ramírez (1998) encontró respuesta significativa a la aplicación de varios niveles de Boro al suelo, obteniendo la mayor producción con  $40 \text{ kg B}_2\text{O}_3 \text{ ha}^{-1}$  fraccionado en tres épocas; las aplicaciones del elemento al final de la época lluviosa dieron mejor rendimiento y sobre niveles de  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  los rendimientos disminuyeron al desplazarse la relación Ca/B hacia niveles de toxicidad.

Los valores de **Boro** asimilable aceptables se pueden estimar en torno a **0,5-1 ppm**, debiendo considerar la relación con el calcio, ya que, como se ha comprobado la deficiencia en Boro puede provocar un deficiencia cálcica, aún en suelos calcáreos (Cobertera, 1993).

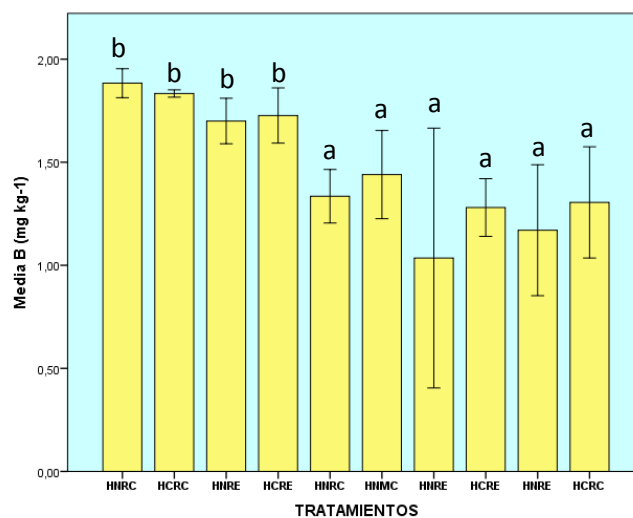
Los valores de **Boro** para los análisis finales de muestras de suelo en cultivo de haba registraron un valor mínimo de  $0,74 \text{ mg kg}^{-1}$  y un valor máximo de  $2,003 \text{ mg kg}^{-1}$ , valores dentro del rango aceptable de **0,5-1 ppm**, según Cobertera(1993), sin que se hayan encontrado diferencias estadísticamente significativas.

Los análisis realizados en muestras de plantas de haba registran un resultado mínimo de  $22,78 \text{ mg kg}^{-1}$  obtenido en el muestreo final y uno máximo de  $247,31 \text{ mg kg}^{-1}$  obtenido en el muestreo intermedio, considerándose estos valores en muestras de plantas como normales -altos, donde las variedades de haba Muchamiel y Palenca en rotación convencional tuvieron un efecto estadísticamente significativo mayor en las muestras analizadas de raíz y semillas en los análisis de **Boro** realizados sobre el resto de muestras analizadas que obtuvieron valores significativamente inferiores en el sistema de monocultivo y rotación testigo de brócoli y en los análisis realizados para los cultivos intercalados de haba en rotación convencional y ecológica y monocultivo (Figura 7.8.1.).



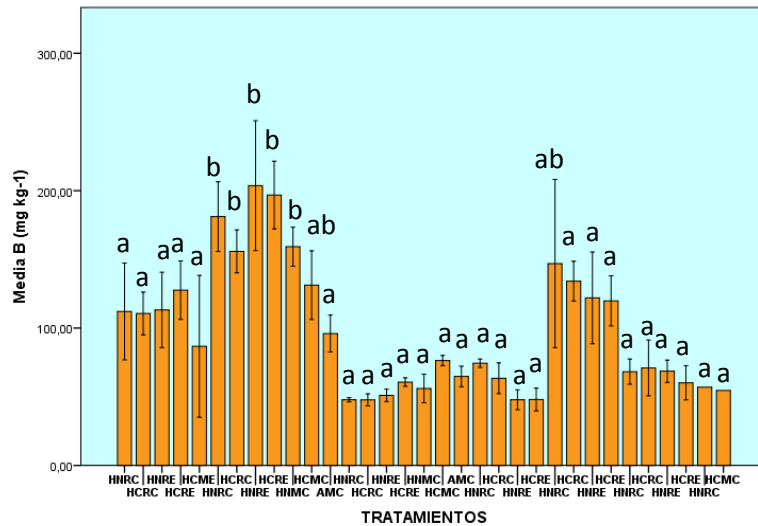
**Figura 7.8.1.** Concentraciones medias y error típico de Boro ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en muestras de plantas para las variedades Muchamiel, Palencia y brócoli en sistemas de cultivo en rotación y no rotación y prácticas de manejo convencional y ecológica en cultivo de haba. Las Barras de error representan el error típico: letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo con el Test de Tukey. Las barras con la misma letra son estadísticamente iguales. Las barras con letra distinta son estadísticamente diferentes para  $P < 0,05$ .

Para los muestreos realizados en suelo en cultivo de caupí los resultados han sido muy parecidos presentando valores en los muestreos finales de  $1,035 \text{ mg kg}^{-1}$  como valor mínimo y de  $1,88 \text{ mg kg}^{-1}$  como valor máximo, estos valores se encuentran en torno al rango de **0,5-1 ppm**, presentado como valor normal por Cobertera (1993), donde el contenido en **Boro** en el suelo no fue estadísticamente diferente en los análisis realizados obteniéndose los mayores resultados para **Boro** en la rotación convencional y ecológica intercalada en las variedades Hilo Claro e Hilo Negro frente al monocultivo donde los resultados obtenidos fueron más bajos (Figura 7.8.2.).



**Figura 7.8.2.** Concentraciones medias y error típico de Boro ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en muestras de suelo para las variedades Hilo Claro, Hilo Negro y algodón en sistemas de cultivo en rotación y no rotación y prácticas de manejo convencional y ecológica en cultivo de caupí. Las Barras de error representan el error típico: letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo con el Test de Tukey. Las barras con la misma letra son estadísticamente iguales. Las barras con letra distinta son estadísticamente diferentes para  $P < 0,05$ .

Las muestras de plantas analizadas en el cultivo de caupí muestran unos resultados normales-altos (Cobertera, 1993), con un valor mínimo obtenido de 47,71 mg kg<sup>-1</sup> y un valor máximo de 203,66 mg kg<sup>-1</sup>, ambos valores obtenidos en el muestreo intermedio, donde los análisis realizados de **Boro** tuvieron un efecto estadísticamente significativo mayor en las muestras analizadas de semillas y parte aérea de las variedades de caupí Hilo Negro e Hilo Claro en rotación convencional y ecológica en comparación con las muestras analizadas en monocultivo de leguminosas y planta testigo (Figura 7.8.3.).



**Figura 7.8.3. Concentraciones medias y error típico de Boro (mg kg<sup>-1</sup>) en muestras de plantas para las variedades Hilo Claro, Hilo Negro y algodón en sistemas de cultivo en rotación y no rotación y prácticas de manejo convencional y ecológica en cultivo de caupí.** Las Barras de error representan el error típico: letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo con el Test de Tukey. Las barras con la misma letra son estadísticamente iguales. Las barras con letra distinta son estadísticamente diferentes para P < 0,05.

En los muestreos de suelo del cultivo de melón y brócoli en rotación con cultivo de haba los valores son muy similares a los anteriormente mencionados presentando valores en torno a **1 ppm**, considerándose igual que ocurría en el cultivo de caupí dentro del rango propuesto por Cobertera (1993), donde no hubo resultados estadísticamente significativos.

Tal y como informó Mulder (1968) el Boro es un elemento esencial para el desarrollo de las raíces de las plantas y también para la formación de nódulos en las leguminosas. En ausencia de Boro solamente se formaron nódulos rudimentarios, incapaces de fijar nitrógeno. Brenchey y Thorton (1990), encontraron que los requerimientos de Boro para la fijación de Nitrógeno son mayores para el crecimiento de la planta huésped. Johnston (1947) reportó que en ausencia de Boro había carbohidratos.



## 7.9. Calcio

El **Calcio** en el suelo aparece en formas combinadas y libres. Se encuentra combinado en compuestos minerales y orgánicos (Urbano, 1998). Esta determinación es muy importante para clasificar y evaluar correctamente los suelos básicos con elevados contenidos de **Calcio** (Cobertera, 1993).

La metodología analítica es bastante uniforme, lo que facilita la interpretación de los resultados, ya que, no en vano, la cantidad de calcio activo de cada muestra depende, en buena parte, del método de extracción empleado (Cobertera, 1993).

Las necesidades de **Calcio** oscilan entre **10 y 120 kg** por ha y año y en todos los suelos, excepto en los muy ácidos, las cantidades de **Calcio** entre niveles de **200 a 500 ppm** son suficientes para asegurar una buena nutrición cálcica incluso en suelos ácidos muy lavados (Cobertera, 1986).

Las muestras de suelo en el cultivo de haba registraron unos niveles de Calcio de 2317,89 mg kg<sup>-1</sup> como valor mínimo y de 2709,71 mg kg<sup>-1</sup> como valor máximo, ambos resultados obtenidos en el muestreo final realizado en el suelo señalan unos valores según Cobertera (1986) normales-altos. Igualmente las muestras analizadas en el suelo en el cultivo de caupí señalan unos valores altos (Cobertera, 1986) donde se obtuvieron unos valores de 5308,66 mg kg<sup>-1</sup> como valor mínimo y de 6471,66 mg kg<sup>-1</sup>, ambos obtenidos en el muestreo final realizado en el suelo, donde los resultados estadísticos obtenidos para el cultivo de haba y caupí no fueron estadísticamente significativos.

Las muestras de plantas de haba muestran unos valores que oscilan entre 179,42 mg kg<sup>-1</sup> como valor mínimo obtenido en el muestreo intermedio y 19702,73 mg kg<sup>-1</sup> como valor máximo obtenido en el muestreo final de plantas de haba; según la bibliografía consultada (Cobertera, 1986) estos valores deben ser considerados en el intervalo bajo-muy alto donde la estadística muestra que el contenido de **Calcio** tuvo efectos estadísticamente significativos mayores en las variedades de haba Muchamiel y Palenca que alcanzaron los resultados más altos en las muestras analizadas de raíz en sistema de rotación convencional y ecológico, seguidos de la rotación convencional testigo de brócoli, que alcanzó sus mayores resultados en la pella frente al sistema en monocultivo para esas mismas variedades (Figura 7.9.1.).



En los análisis de suelo realizados para cultivo de melón y brócoli en rotación con cultivo de haba el **Calcio** se encuentra entre niveles que son suficientes para asegurar una buena nutrición cálcica incluso en suelos ácidos lavados, obteniéndose valores en torno a  $5500\text{mg kg}^{-1}$  (Cobertera, 1986), donde los resultados no fueron estadísticamente significativos.

Según (Feagley et al., 1999), la mejor cantidad de calcio para aplicar es de media a una libra de cloruro cálcico por una libra de urea. Esta proporción aumenta los rendimientos del 14 al 50%. Este mismo autor dice que sin embargo, es difícil calcular la cantidad precisa de calcio que se necesita porque cuando la planta absorbe el amonio, despiden una cantidad equivalente de hidrógeno. Este hidrógeno, a su vez solubiliza el carbonato cálcico precipitado si está presente. La urea incorporada al suelo precipita el calcio aun en tierra ácida (Feagley et al., 1999). Así que según estos autores hay cierta cantidad de este calcio que ocurre naturalmente y se combina con el calcio suplementario para estimular el crecimiento de las plantas. Lo más apropiado sería a partir del dato de calcio en el suelo tras realizar un análisis previo de suelos, para ver si realmente es necesario un aporte.

#### 7.10. Magnesio

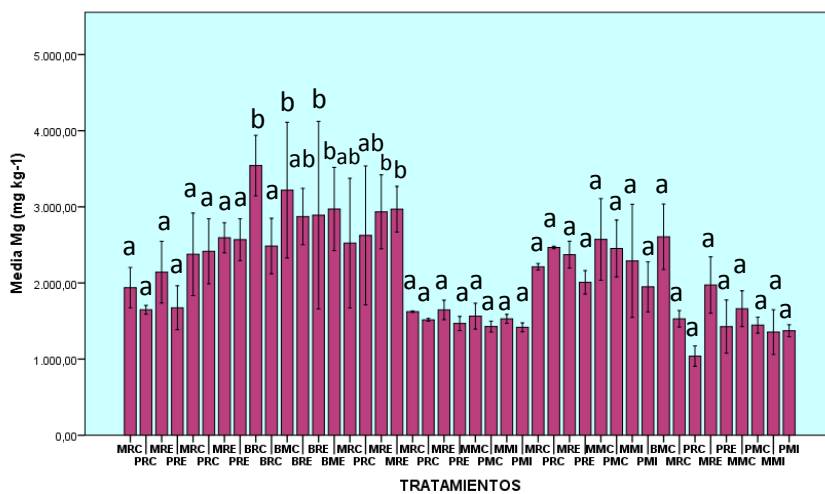
El magnesio (**Mg**) se encuentra en el suelo combinado en formas orgánicas y minerales. La materia orgánica contiene algo de magnesio, pero su importancia cuantitativa es pequeña frente a formas minerales (Urbano, 1998). Se trata de un elemento de comportamiento bastante similar al del **Calcio** al que suele acompañar casi siempre, aunque en menor proporción (Cobertera, 1993).

En los análisis obtenidos las cantidades de **Magnesio** se encuentran equilibradas con el resto de iones.

En los análisis de suelo realizados en el cultivo de haba, se obtuvo un valor mínimo de  $532,35\text{ mg kg}^{-1}$  y un valor máximo de  $625,04\text{ mg kg}^{-1}$ , ambos se alcanzaron en el muestreo final de suelo, datos indican un contenido medio en el suelo para el magnesio. Sin embargo, los análisis realizados en las muestras de suelo de caupí muestran un valor mínimo de  $1140,66\text{ mg kg}^{-1}$  y un valor máximo de  $1513,66\text{ mg kg}^{-1}$ , obtenidos también en el muestreo final de suelo, datos que indican unos valores muy altos para el contenido de magnesio del suelo. En los análisis estadísticos realizados para haba y caupí, se observa que no hubo efectos estadísticamente significativos para las muestras de suelo.

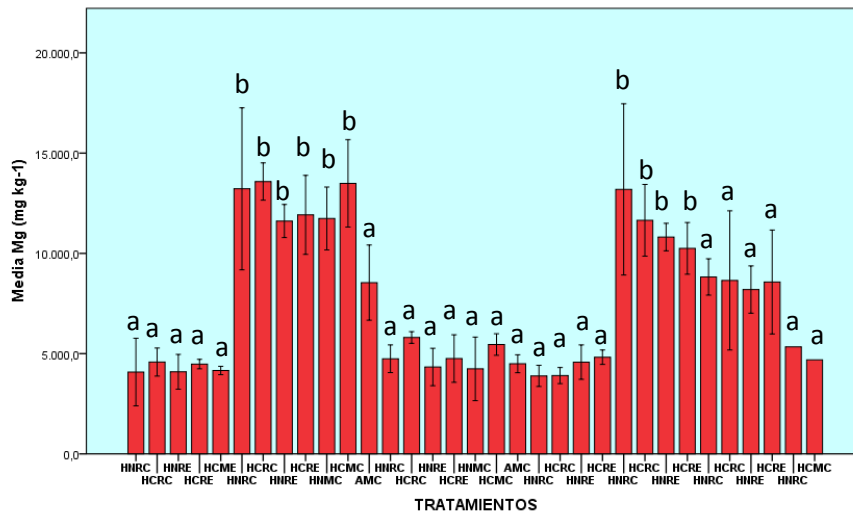
En las muestras de plantas para el cultivo de haba se obtuvo un valor mínimo de  $1039,06\text{ mg kg}^{-1}$  en el muestreo final y un valor máximo de  $3541,80\text{ mg kg}^{-1}$  en el muestreo

intermedio, valores que según Cobertera (1993) se considerarían dentro del rango bajo-normal para el contenido de Magnesio donde la rotación convencional testigo de brócoli tuvo efectos estadísticamente significativos mayores en los análisis realizados de **Magnesio**, alcanzándose los mayores resultados en las muestras analizadas en la pella de brócoli donde se obtuvieron resultados estadísticamente significativos mayores que en el resto de muestras analizadas. En la rotación ecológica de brócoli también se obtuvieron resultados significativamente mayores que para el resto de las muestras analizadas en la pella de brócoli. En el cultivo de haba en la variedad Muchamiel se alcanzaron los mayores resultados en rotación ecológica donde se obtuvieron para las muestras de raíz resultados estadísticamente significativos mayores que para el resto de muestras analizadas (Figura 7.10.1.).



**Figura 7.10.1. Concentraciones medias y error típico de Magnesio ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en muestras de plantas para las variedades Muchamiel, Palencia y brócoli en sistemas de cultivo en rotación y no rotación y práctica de manejo convencional y ecológica en cultivo de haba. Las Barras de error representan el error típico: letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo con el Test de Tukey. Las barras con la misma letra son estadísticamente iguales. Las barras con letra distinta son estadísticamente diferentes para  $P < 0,05$ .**

Las muestras obtenidas en muestreo intermedio y final de plantas de caupí indican unos valores de  $3889,33 \text{ mg kg}^{-1}$  como valor mínimo y de  $13583,66 \text{ mg kg}^{-1}$  como valor máximo, valores que según Cobertera (1993) son considerados muy altos donde el contenido en **Magnesio** de las muestras de semillas y parte aérea analizadas en las variedades de caupí Hilo Claro e Hilo Negro en rotación y monocultivo convencional y ecológico fue estadísticamente mayor que los valores analizados en la planta testigo de algodón y en el resto de muestras analizadas de leguminosas (Figura 7.10.2.).



**Figura 7.10.2. Concentraciones medias y error típico de Magnesio ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en muestras de plantas para las variedades Hilo Claro, Hilo Negro y algodón en sistemas de cultivo en rotación y no rotación y prácticas de manejo convencional y ecológica en cultivo de caupí. Las Barras de error representan el error típico; letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo con el Test de Tukey. Las barras con la misma letra son estadísticamente iguales. Las barras con letra distinta son estadísticamente diferentes para  $P < 0,05$ .**

Para las muestras de suelo en el cultivo de melón y brócoli en rotación con cultivo de haba las cantidades obtenidas de **Magnesio** fueron muy similares a los resultados anteriormente descritos para el cultivo de suelo de caupí y haba encontrándose el **Magnesio** equilibrado con el resto de iones, sin que se obtuvieran resultados estadísticamente significativos.

Las altas concentraciones de Mg encontradas en los análisis de material vegetal realizados indican que el magnesio fue más disponible para la planta (tal es el caso del cultivo de caupí) que el existente en el suelo y por eso la planta absorbió la mayor cantidad de Mg disponible.

La concentración de K, Ca y Mg en el tejido de la planta es afectada por los niveles de competencia o ión antagonístico que pueden presentarse en el suelo según su relación con otros iones. El K es el ión más activo de los tres cationes, ya que tiende a tener un mayor efecto depresivo sobre el Ca y Mg que estos sobre el contenido de K y Ca aparece como un antagonista menor al Mg que el K. Evidentemente hay un mutuo antagonismo entre K y Ca, pero si existen altas concentraciones de ambos pueden existir simultáneamente (Mengel y Kirkby, 1937).

No obstante, existen antagonismos importantes **Ca/Mg** y **K/Mg**. Sin embargo, también se ha comprobado antagonismos significativos del Mg con Na (problemas de absorción de Mg en suelos sódicos o en los cultivos regados con aguas salinas ricas en sodio), con el nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) e, incluso, con  $\text{H}^+$  (Urbano, 1998). La planta absorbe solamente el Mg, de las

soluciones del suelo por vía radicular o el de las soluciones fertilizantes, a través de las estomas, por vía foliar (Urbano, 1998).

Aunque la importancia del magnesio en las plantas indica en que es el constituyente primordial de la molécula de clorofila, también el Magnesio sirve como un componente estructural de los ribosomas estabilizándolos para la síntesis de proteínas. Como consecuencia de una deficiencia de Mg, las proporciones de N proteico decrecen y las de N no proteico generalmente incrementan en la planta (Tisdale et al., 1993).

### 7.11. Potasio

El potasio en el suelo puede encontrarse en forma iónica ( $K^+$ ) y combinado en diferentes compuestos minerales y orgánicos. De éstos, los minerales son los más importantes (Urbano, 1998).

La valoración de este elemento está encaminada, de forma principal, a conocer la disponibilidad del potasio como nutriente de los vegetales más que a definir las características del complejo adsorbente, ya que las cantidades de potasio influyen muy poco en el grado de saturación (Cobertera, 1993).

La cantidad de potasio en forma intercambiable y en disolución depende no sólo de la reserva total inicial que suele ser muy importante dada la abundancia de los silicatos y micas que lo contienen, pero sobre todo de la cantidad y naturaleza de las arcillas, así como de la presencia o no de otros cationes ( $Ca^{+2}$  y  $Mg^{+2}$ ) (Cobertera, 1993).

Indiferentemente del valor de los rendimientos obtenidos, la adición de fertilización potásica y el fraccionamiento de la aplicación de Potasio no afectaron significativamente el rendimiento en estudios realizados por Henríquez (1996).

De acuerdo con Henríquez y Bertsch (1997) el efecto antagónico entre el Potasio y el Calcio cuando se aplican ambos al suelo ocurre más intensamente si ambos elementos están por debajo de los niveles de suficiencia, considerado el de Potasio como  $0.2 \text{ cmol}_{(+)} L^{-1}$  y estimado por Soto (1988) en  $0.4 \text{ cmol}_{(+)} L^{-1}$ .

Las cantidades óptimas oscilan en torno a **1 meq l<sup>-1</sup>** considerándose el potasio un nutriente a aportar (Cobertera, 1993).

En este caso los muestreos realizados en muestras de suelo de haba registraron un valor mínimo de 229,07 mg kg<sup>-1</sup> y un valor máximo de 350,52 mg kg<sup>-1</sup>, ambos valores de





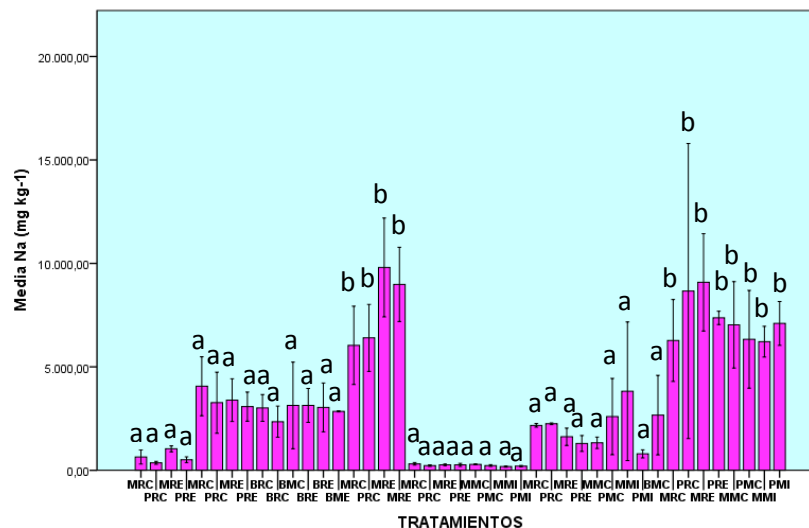


### 7.12. Sodio

El catión  $\text{Na}^+$  es rápidamente intercambiable en el suelo. Cuando las cantidades sódicas alcanzan un valor significativo los suelos se consideran salino-alcálinos (Urbano, 1998). La presencia de sodio en el complejo de cambio sirve, conjuntamente con otros análisis previos, para diagnosticar los suelos salino-alcálinos (Cobertera, 1993). Luego la concentración de **Sodio** debe ser lo más bajo posible menor de **40 meq L<sup>-1</sup>** (Cobertera, 1993).

Los análisis de suelo realizados en plantas de haba obtuvieron un valor mínimo de 286,89 mg kg<sup>-1</sup> y un valor máximo de 398,22 mg kg<sup>-1</sup> en los muestreos finales realizados en el suelo. El análisis de muestras de suelo del cultivo caupí registró valores aún mayores, con un valor mínimo de 439,75 mg kg<sup>-1</sup> y un valor máximo de 662,63 mg kg<sup>-1</sup>, valores que se obtuvieron en el muestreo final de suelo. Los valores obtenidos indican unas cantidades de **Sodio** muy altas que superan en el caso del cultivo de haba y caupí los valores establecidos por Cobertera (1993), sin que se obtuvieran datos estadísticamente significativos.

En las muestras de plantas obtenidas para cultivo de haba se obtuvieron unos valores de 179,42 mg kg<sup>-1</sup> como valor mínimo obtenido en muestreo final y un valor máximo de 9805,41 mg kg<sup>-1</sup> obtenido en el muestreo intermedio. Estos valores se consideran según Cobertera (1993) valores altos, donde las muestras de raíz de los cultivos intercalados en rotación convencional y ecológica de la leguminosa haba en sus variedades Muchamiel y Palenca tuvieron un efecto estadísticamente significativo sobre el monocultivo y rotación testigo de brócoli (Figura 7.12.1.).



**Figura 7.12.1. Concentraciones medias y error típico de Sodio (mg kg<sup>-1</sup>) en muestras de plantas para las variedades Muchamiel, Palenca y brócoli en sistemas de cultivo en rotación y no rotación y prácticas de manejo convencional y ecológica en cultivo de haba. Las Barras de error representan el error típico: letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo con el Test de Tukey. Las barras con la misma letra son estadísticamente iguales. Las barras con letra distinta son estadísticamente diferentes para P < 0,05.**



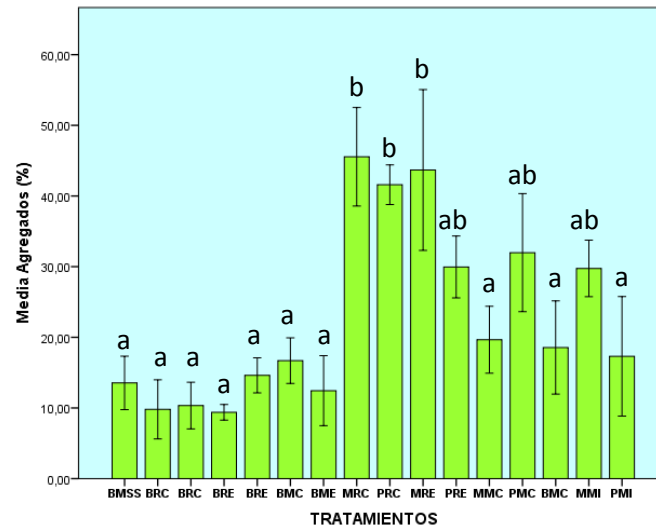
Teniendo en cuenta la concentración en  $\text{mg kg}^{-1}$  de estos cationes, se cumple la relación  $\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^{+} > \text{K}^{+}$  en suelos calizos de regiones semiáridas y áridas (Porta et al., 1999).

### 7.13. Estabilidad de agregados

Hopgood (1999) estimó que la materia orgánica del suelo asociada a la vegetación natural en el horizonte A aumentó la estabilidad de los agregados. En el horizonte subyacente (u horizonte C), con menos de 1% de materia orgánica, no se encontró ninguna estabilidad. La estabilidad de los agregados hace referencia a la capacidad de éstos para mantener su forma al estar sometidos a fuerzas inducidas artificialmente, en concreto las derivadas de la humectación, impacto de las gotas de lluvia o el paso de agua o a un determinado proceso dispersivo (Porta et al, 1999).

Los resultados obtenidos se expresan como porcentaje de agregados estables a la lluvia, respecto a los agregados totales del suelo, entre **0,25 y 4 mm**. En los análisis realizados para el muestreo final de caupí, los resultados obtenidos oscilan entre el valor mínimo de 10,60% y el valor máximo de 35,61% sin que se hayan obtenido resultados estadísticamente significativos en el cultivo de caupí.

Para las muestras iniciales y finales de suelo de haba los valores obtenidos son muy similares oscilando entre 9,39% como valor mínimo y 45,55% como valor máximo. Presentan los porcentajes más altos de agregados estables los análisis realizados en el cultivo final de haba, donde el **porcentaje de agregados** para los cultivos intercalados de haba de las variedades Muchamiel y Palenca en monocultivo y rotación en cultivo convencional y ecológico tuvieron un efecto estadísticamente significativo mayor sobre el monocultivo testigo y en rotación de brócoli para las prácticas de manejo convencional y ecológica que resultaron ser significativamente menores (Figura 7.13.1.).



**Figura 7.13.1. Porcentaje medio y error típico de Agregados (%) en muestras de suelo para las variedades Muchamiel, Palencia y brócoli, en sistemas de cultivo en rotación y no rotación y prácticas de manejo convencional y ecológica en cultivo de haba.** Las Barras de error representan el error típico: letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo con el Test de Tukey. Las barras con la misma letra son estadísticamente iguales. Las barras con letra distinta son estadísticamente diferentes para  $P < 0,05$ .

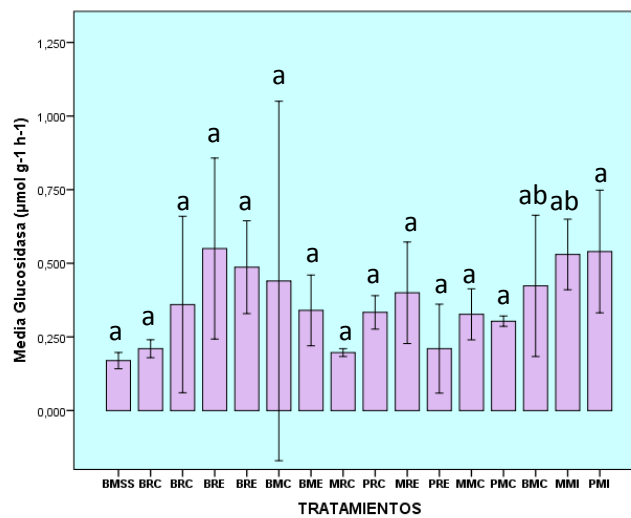
Las propiedades enzimáticas están íntimamente ligadas a la fertilidad y salud del suelo. Ellas son más sensibles a los cambios del ambiente que los componentes físicos y químicos del suelo (Tscherko y kandeler, 1999). Estos bioindicadores han sido empleados para establecer diferencias entre suelos o bien cuantificar cambios entre los tratamientos en un mismo suelo (Nanniperi et al., 1999).

#### 7. 14. Glucosidasa

La intervención de la  **$\beta$ -Glucosidasa** resulta decisiva para que se produzca la degradación completa de la celulosa (García et al., 2003). La actividad de la  **$\beta$ -Glucosidasa** está relacionada con el estado de descomposición de la materia orgánica del suelo la cual es de vital importancia en el funcionamiento de los ecosistemas, por ser ésta la única vía de reposición de los nutrientes que han sido tomados por las plantas durante su proceso de crecimiento y sirve como mecanismo regulador de los procesos químicos, biológicos y físicos que en ellos ocurren.

Según la bibliografía consultada (García et al., 2003) presenta unos valores de  **$1,439 \pm 0,14 \mu\text{mol de } p\text{-nitrofenol } g^{-1}h^{-1}$**  la  **$\beta$ -Glucosidasa** muestra una baja actividad en el suelo según los datos obtenidos para el muestreo final de caupí con un valor mínimo de  $0,18 \mu\text{mol } g^{-1}h^{-1}$  y un valor máximo de  $0,51 \mu\text{mol } g^{-1}h^{-1}$  obtenidos en el muestreo final de suelo, donde no se han obtenido diferencias estadísticamente significativas.

En los muestreos iniciales y finales de haba los valores que se obtuvieron también fueron muy bajos, lo cual indica que en el cultivo de haba la  **$\beta$ -Glucosidasa** con un valor mínimo de  $0,09 \mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$  y un valor máximo de  $0,54 \mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$  obtenidos en el muestreo final presentaron también una baja actividad, con valores que fueron estadísticamente significativos, para las variedades de haba Muchamiel y Palenca en sistema de cultivo inoculado convencional, que obtuvieron unos valores de **Glucosidasa** significativamente más altos que en el monocultivo de brócoli y en rotación en las prácticas de manejo convencional y ecológico y que la variedad Muchamiel en rotación ecológica (Figura 7.14.1.).



**Figura 7.14.1. Concentraciones medias y error típico de Glucosidasa ( $\mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$ ) en muestras de suelo** para las variedades Muchamiel, Palenca y brócoli, en sistemas de cultivo en rotación y no rotación y prácticas de manejo convencional y ecológica en cultivo de haba. Las Barras de error representan el error típico: letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo con el Test de Tukey. Las barras con la misma letra son estadísticamente iguales. Las barras con letra distinta son estadísticamente diferentes para  $P < 0,05$ .

## 7. 15. Glucosaminidasa

La importancia de esta enzima en los sistemas biológicos ha sido muy reconocida. Las actividades de  **$\beta$ -Glucosaminidasa** pueden ser encontradas en actividades de N adquirido de microorganismos (Sinsabaugh y Moorhead, 1995). La  **$\beta$ -Glucosaminidasa** juega un importante papel en los ciclos de **C** y **N** en el suelo (Parham y Deng, 2000). Las actividades de  **$\beta$ -Glucosaminidasa** pudieron ser también encontradas en el control biológico de patógenos de plantas. La  **$\beta$ -Glucosaminidasa** en el suelo puede suprimir patógenos fúngicos en las plantas (Parham y Deng, 2000).

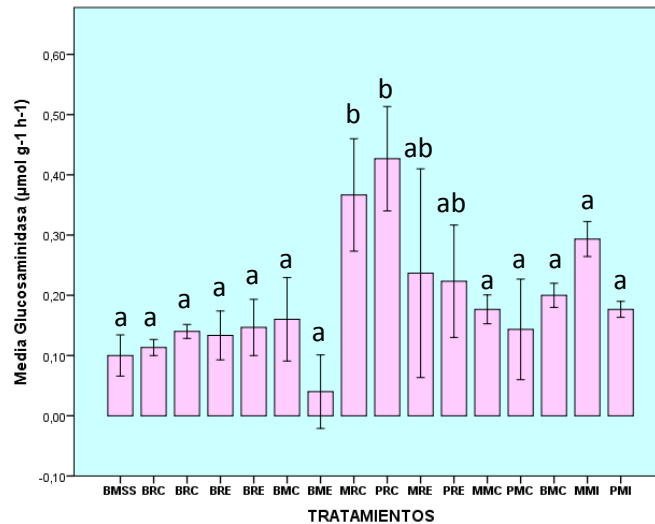
La actividad en suelos de  **$\beta$ -Glucosaminidasa**, la cual produce aminoazúcares, ha sido también asociada con la adquisición de N en procesos de microorganismos (Parham y Deng, 2000; Sinsabaugh y Moorhead, 1995). En realidad, un juego de indicadores de Carbono y

Nitrógeno biológico puede ser mucho más preciso en valores de la mineralización de **N** en suelos (Dick et al., 2013).

La actividad  **$\beta$ -Glucosaminidasa** fue determinada por Parham y Deng (2000) obteniéndose resultados comprendidos entre **29 a 40 mg *p*-nitrophenol kg<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>** presentando la  **$\beta$ -Glucosaminidasa** una baja actividad en el suelo según los datos obtenidos para el muestreo de caupí, con un valor mínimo de 0,0033  $\mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$  y un valor máximo de 0,2467  $\mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$  ambos obtenidos en el muestreo final, donde no se obtuvieron resultados estadísticamente significativos.

En los datos obtenidos en los muestreos iniciales y finales de haba los valores que se obtuvieron también fueron muy bajos lo cual indica que en el cultivo de haba la  **$\beta$ -Glucosaminidasa** presentó una baja actividad, con un valor mínimo de 0,0400  $\mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$  y un valor máximo de 0,4267  $\mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$ , ambos obtenidos en el muestreo final, donde los cultivos intercalados de leguminosas para la variedades de haba Muchamiel y Palenca en rotación convencional y ecológica tuvieron un efecto estadísticamente significativo mayor sobre el resto de los ensayos realizados en monocultivo y rotación de leguminosas y cultivo testigo de brócoli en rotación convencional y ecológica, cosechadas en forma secuencial y en las mismas fechas que las leguminosas intercaladas. Exceptuando la rotación convencional testigo de brócoli en la que se obtuvieron mayores resultados que para el monocultivo convencional testigo de brócoli y para la rotación convencional de haba para la variedad Muchamiel. También se obtuvieron efectos estadísticamente significativos mayores para la actividad enzimática **Glucosaminidasa** en la rotación ecológica de la variedad de haba Muchamiel y en la rotación convencional de la variedad de haba Palenca frente a la rotación convencional de la variedad de haba Muchamiel (Figura 7.15.1.).

La baja actividad de las glicodasas ( **$\beta$ -Glucosidasa y  $\beta$ -Glucosaminidasa**) en los suelos puede ser debida a la falta de incorporación de estiércol en el suelo.



**Figura 7.15.1.** Concentraciones medias y error típico de Glucosaminidasa ( $\mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$ ) en muestras deplantas para las variedades Muchamiel, Palenca y brócoli en sistemas de cultivo en rotación y no rotación y prácticas de manejo convencional y ecológica en cultivo de haba. Las Barras de error representan el error típico: letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo con el Test de Tukey. Las barras con la misma letra son estadísticamente iguales. Las barras con letra distinta son estadísticamente diferentes para  $P < 0,05$ .

### 7.16. Arilesterasa

Esta enzima es una **hidrolasa** que se encuentra ampliamente distribuida en la naturaleza, estando presente en microorganismos (Toshimitsu et al., 1986; Chang et al., 1995; Sakai et al., 1998), plantas (Lourmina et al., 1968; Antoun y Roberts, 1975) y otros organismos vivos incluyendo humanos (Metcalf et al., 1972; Yawetz et al., 1979; Reid y Dunnill, 1969; Stephen y Cheldelin, 1970).

Esta enzima cataliza la hidrólisis de metabolitos tóxicos (e.j. paraoxon) y también toma parte en la degradación de plásticos y en la hidrólisis de organofosfatos (Emmelot et al., 1964; Wilde y Kekwick, 1964; Primo-Parmoet al., 1996).

(Nakamura et al.1990) obtuvieron valores de **43  $\mu\text{mol p-NP g}^{-1}\text{h}^{-1}$** . En nuestro caso en los análisis obtenidos en el muestreo final de caupí y en los muestreos inicial y final de haba los valores suben considerablemente estando comprendidos para las muestras analizadas de caupí en  $368,5 \mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$  como valor mínimo y en  $920,2 \mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$  como valor máximo y para los muestreos inicial y final de haba alcanzando el valor máximo de  $1956,70 \mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$  y el valor mínimo de  $958,90 \mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$ , presentando el suelo una alta actividad Arilesterasa, ya que los valores obtenidos han sido mucho más altos que los valores obtenidos por Nakamura et al, (1990), posiblemente porque el suelo solía tener un contenido de materia orgánica más bajo que los suelos usados en nuestro estudio; considerando este dato como una hipótesis porque la caracterización de suelos no ha sido aportada por Nakamura et al (1990). Cabe

destacar que los resultados estadísticos indican que ninguno de los muestreos realizados en haba y caupí obtuvo resultados estadísticamente significativos.

### 7.17. Deshidrogenasa

La determinación de la **actividad deshidrogenasa** se considera un parámetro clave para determinar la fertilidad del suelo. La **actividad deshidrogenasa** es un indicador del sistema redox microbiano, por lo que se suele considerar como un buen exponente de las actividades oxidativas del suelo y un indicador general de la actividad microbiana del mismo (Skujins, 1973; Casida, 1977; Tabatabai, 1982; Trevors, 1984a; Nannipieri et al., 1990; Chander y Brookes, 1991).

La **actividad deshidrogenasa** de los suelos está determinada por diferentes sistemas de deshidrogenasas, las cuales se caracterizan por presentar una alta especificidad a sustratos (Barajas, 1990). Según la bibliografía consultada (García et al., 2003) presenta unos valores de **0,093-0,239  $\mu\text{mol de } p\text{-nitrofenol } \text{g}^{-1}\text{h}^{-1}$** , luego las muestras analizadas presentan una alta **actividad deshidrogenasa** en muestreo final de caupí con un valor mínimo de  $0,32\mu\text{mol } \text{g}^{-1}\text{h}^{-1}$  y un valor máximo de  $1,86 \mu\text{mol } \text{g}^{-1}\text{h}^{-1}$ , ambos obtenidos en el muestreo final.

Los valores en el muestreo inicial y final de haba se encuentran dentro del rango propuesto por García et al (2003), presentando valores altos para el cultivo final de haba, con un valor mínimo de  $0,54 \mu\text{mol } \text{g}^{-1}\text{h}^{-1}$  y un valor máximo de  $1,34 \mu\text{mol } \text{g}^{-1}\text{h}^{-1}$ , ambos obtenidos en el muestreo final sin que existan diferencias estadísticamente significativas.

En ninguno de los muestreos realizados en haba y caupí se han obtenido resultados estadísticamente significativos para esta actividad.

### 7. 18. Celulasa

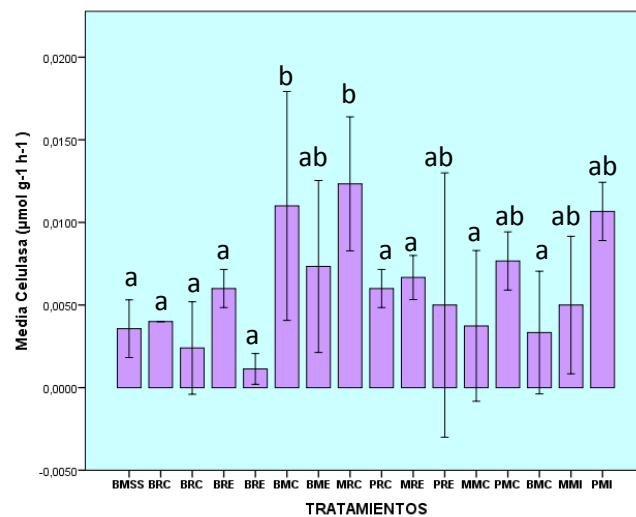
La **celulasa** es uno de los carbohidratos más abundantes. El complejo **celulasa**, tan importante en todos los procesos edafogénicos (Pal y BroadBent, 1975), está construido por un conjunto de enzimas que van activar de forma sinérgica sobre los residuos lignocelulósicos del suelo y cuya estructura molecular es de gran complejidad (Aragón, 2001).

Los suelos del muestreo final de caupí mostraron actividades enzimáticas de **celulasa** comprendidas entre  $3,45 \mu\text{mol } \text{g}^{-1}\text{h}^{-1}$  como valor mínimo y  $30,23 \mu\text{mol } \text{g}^{-1}\text{h}^{-1}$  como valor máximo, ambos obtenidos en el muestreo final, sin que existan efectos estadísticamente significativos. En estos parámetros se observa una baja **actividad celulasa** según García et al.



(2003), ya que presenta valores de **7,5 y 175  $\mu\text{g}$  de glucosa equivalente (GE)  $\text{g}^{-1}$  de suelo seco  $\text{hora}^{-1}$**  (Pancholy y Rice, 1973).

Los suelos del muestreo inicial y final de haba mostraron unos niveles de actividad celulasa comprendidos entre  $0,00117 \mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$  como valor mínimo y  $0,012 \mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$  como valor máximo. Presentándose resultados que fueron significativamente diferentes para el cultivo testigo ecológico de brócoli intercalado con leguminosa de la variedad Palencia, que obtuvo unos valores de **celulasa** significativamente más bajos que el monocultivo convencional de brócoli y el cultivo en rotación convencional de la variedad de haba Muchamiel. Si tenemos en cuenta el dato anterior de **7,5 y 175  $\mu\text{g}$  de glucosa equivalente (GE)  $\text{g}^{-1}$  de suelo seco  $\text{hora}^{-1}$**  (Pancholy y Rice, 1973), presentarían también baja actividad celulasa (Figura 7.18.1.).



**Figura 7.18.1. Concentraciones medias y error típico de Celulasa ( $\mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$ ) en muestras de suelo para las variedades Muchamiel, Palencia y brócoli, en sistemas de cultivo en rotación y no rotación y prácticas de manejo convencional y ecológica en cultivo de haba. Las Barras de error representan el error típico: letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo con el Test de Tukey. Las barras con la misma letra son estadísticamente iguales. Las barras con letra distinta son estadísticamente diferentes para  $P < 0,05$ .**

En experimentos realizados (Latter y Harrison, 1988; Klein, 1989; Najera et al., 2006) observaron que la incorporación de material vegetal aumenta la actividad celulasa en el suelo. Para García et al. (2003) las actividades celulasa de los suelos muestreados es alta y se realiza sin dificultad su medición lo que se correlaciona con suelos con baja degradación y que no han reducido sensiblemente la microflora edáfica celulolítica que es poco cosmopolita en suelos agrícolas (García et al., 2003).

## 10. CONCLUSIONES

El objetivo ha sido determinar qué efectos ha tenido el **cultivo de leguminosas** sobre la **productividad de los suelos**, su **capacidad de suministrar nutrientes al suelo**, el balance de **carbono orgánico** obtenido y hacer estimaciones de futuros cambios en el stock de nitrógeno en función del manejo del suelo.

Para ello, en este proyecto se seleccionaron dos especies de leguminosas, haba (*Vicia faba L.*) y caupí (*Vigna unguiculata L. Walp.*). Estas leguminosas fueron cultivadas teniendo en cuenta dos sistemas de cultivo (**monocultivo** y **rotación**) y dos prácticas de manejo (**convencional** y **orgánico**). Según el sistema de cultivo y las prácticas de manejo se diferenciaron **V1** (variedad 1 de la leguminosa) **V2** (variedad 2 de la leguminosa); **M** (melón), **BRO** (brócoli), plantas guarda (variedad 1 de la leguminosa), **algodón**, y suelo sin cultivo.

En la parcela correspondiente al cultivo de haba, se sembró esta especie con un monocultivo de **brócoli** (*Brassica oleracea L.*) y de **melón** (*Cucumis melo L.*) como testigos de especies no leguminosas. Con este sistema de cultivo se cuantificó el contenido en nitrógeno de especies leguminosas y no leguminosas para la fijación biológica de nitrógeno.

Se determinaron en los suelos, el carbono secuestrado en la materia orgánica y en forma de carbonatos, el nitrógeno total, el pH, la conductividad eléctrica y los niveles de fósforo, boro, calcio, magnesio potasio, sodio y las actividades enzimáticas (glucosidasa, glucosaminidasa, arilesterasa, deshidrogenasa, celulasa) y el porcentaje de agregados.

Se estimó además la productividad de los suelos cultivados con prácticas de manejo convencional y ecológica para especies leguminosas y no leguminosas y su capacidad de mineralizar nitrógeno durante el ciclo de este cultivo.

En los análisis realizados, no se detectaron efectos significativos del cultivo sobre el **pH** ni problemas de acidificación. La **conductividad eléctrica** no presentó diferencias significativas entre el cultivo convencional y ecológico. El **nitrógeno total** mostró tendencias semejantes al carbono orgánico, no siendo la relación **C/N** afectada por el uso y manejo del suelo.

Respecto a la **fertilidad del suelo**, se ha obtenido un aumento en **carbono orgánico** y en el **contenido en nutrientes** (calcio, magnesio, potasio, fósforo, boro y sodio) en el suelo de los sistemas en rotación en relación al monocultivo en las prácticas de manejo empleadas convencional y orgánica en cada uno de los muestreos realizados.

En la **fijación biológica del nitrógeno**, el contenido en nitrógeno de la planta en monocultivo ha sido mayor en las especies leguminosas en relación con las no leguminosas debido al proceso de fijación biológica del nitrógeno. Este contenido ha sido aún mayor en las especies leguminosas del cultivo convencional inoculado como cabría esperar.

Las **leguminosas** fijan el nitrógeno atmosférico y posteriormente se produce el uso por el cultivo. Todo el nitrógeno que necesita el cultivo debe proceder de la reserva que hay en el suelo y del aporte de los fertilizantes. La aplicación de un buen aporte nitrogenado al suelo, puede suplir el efecto de la nodulación.

Además, dentro del **monocultivo** se ha podido ver en los análisis realizados en caupí, la diferencia en el contenido de nitrógeno según genotipo a consecuencia de una mejor absorción del nitrógeno del suelo o por una fijación biológica del nitrógeno más efectiva, observando en los análisis realizados unos resultados mayores en las leguminosas que en el cultivo testigo.

La **calidad del cultivo** ha aumentado por el incremento en la actividad microbiana, el contenido en carbono, la relación carbono/nitrógeno y la estabilidad de agregados, en las especies leguminosas cultivadas con práctica de manejo orgánica, debido a que éste no es fertirrigado con un fertilizante nitrogenado sintético.

Sin embargo, en los **análisis realizados** en muestras de suelo y plantas no se obtuvieron prácticamente diferencias significativas entre los cultivos que han sido tratados con los fertilizantes químicos y orgánicos, a pesar de que los fertilizantes químicos muestran una tendencia a dar mayores rendimientos en el cultivo.

La aplicación de **abono orgánico** al cultivo ha mejorado las propiedades del suelo y los fertilizantes minerales han aportado los nutrientes que las plantas necesitan.

Los datos estadísticos obtenidos para el carbono orgánico revelan que no ha habido efecto patente en el **Secuestro de Carbono** en el suelo a esta escala temporal.

De los resultados obtenidos, se observa que la **fertilización convencional**, ha tenido en general buenos resultados en todos los parámetros estudiados. Ya que, los dos cultivos empleados **convencional** y **orgánico** han dado resultados muy similares. Sin embargo, no hubieron prácticamente diferencias significativas al aplicar fertilizantes químicos.

Al no haber diferencias estadísticamente significativas en este espacio de tiempo, no podemos asegurar que ninguna de las prácticas de manejo **convencional** y **ecológica** sea mejor

que otra. Es probable que el factor decisivo que ha influido en esa mejor tendencia de los **fertilizantes químicos** haya sido su gran disponibilidad para su asimilación por las plantas. Por este motivo, en general, sus resultados resultan mejores, aunque realmente no se puede decir que en general existan diferencias significativas entre ellos en la mayoría de los parámetros analizados en el suelo. No obstante, en los análisis de muestras de plantas realizados en los dos cultivos de haba y caupí, si se han obtenido diferencias estadísticamente significativas.

El **cultivo ecológico**, en general se ha mantenido justo detrás del convencional en algunos de los parámetros estudiados. Esto era de esperar debido a que al aplicarlos no ha habido tiempo suficiente para descomponerse y aportar los nutrientes necesarios al cultivo.

Como **conclusión general** de este proyecto, se puede decir que mejorar y mantener una adecuada fertilidad del suelo a través de una **fertilización equilibrada** es un aspecto crítico y necesario para producir rendimientos elevados y económicamente sostenibles en el tiempo. En suelos productivos con las mismas condiciones ambientales, siempre se obtendrán mayores rendimientos con alta fertilidad que con baja fertilidad.

## 11. REFERENCIAS

- ABDALLA M., HASTINGS A., HELMY M., PRESCHER A., OSBORNE B., LANIGAN G., FORRISTAL D., KILLI D., MARATHA P., WILLIAMS M., RUEANGRITSARAKUL K., SMITH P., NOLAN P., JONES M.B. 2014. Assessing the combined use of reduced tillage and cover crops for mitigating greenhouse gas emissions from arable ecosystem. 223-225. 9.20 p.
- ACUÑA O. URIBE L. 1996. Inoculación del frijol común con tres cepas seleccionadas de *Rhizobium leguminosarum* bv. Phaseoli. *Agronomía Mesoamericana*. (7) (1) 35-40 p.
- ALESANDRI D. ALESANDRI G. 2009. Seminario sobre fertilización nitrogenada en pasturas. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. Pasturas. 25 p.
- ÁLVAREZ R., BERHONGARAY G., DE PAEPE J., MENDOZA M.R., S. STEINBACH H., CARIDE C. Y CANTET R. 2012. Productividad, fertilidad y secuestro de carbono en suelos pampeanos: efecto del uso agrícola. *Anales de la academia nacional de agronomía y veterinaria*. tomo lxxvi. Buenos Aires. Argentina. ISSN 0327-8093. 381-426 p.
- ANDRADES RODRIGUEZ, M. 1.996. "Prácticas de Edafología y Climatología". Ediciones Logroño. Servicio de Publicaciones, Universidad de La Rioja. 79 p.

- APÁEZ BARRIOS P., SALVADOR ESCALANTE ESTRADA J. A., SOSA MONTES E., RODRÍGUEZ GONZÁLEZ M. T., APÁEZ BARRIOS M. 2014. Fenología, producción y calidad nutrimental del grano de frijol en función de la biofertilización foliar. Vol. 39, nº 12 857-862 p.
- APÁEZ BARRIOS P. 2014. Crecimiento y calidad de producción del Frijol Chino (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) en función del manejo y ambiente.
- APÁEZ BARRIOS P., SALVADOR ESCALANTE ESTRADA J.A., SOSA MONTES E., APÁEZ BARRIOS M., RODRÍGUEZ GONZÁLEZ M.T. ATENEA RAYA MONTAÑO Y.2016. Producción y calidad nutrimental de vaina del frijol chino, *Vigna unguiculata* (L.) Walp, en función de arreglo topológico y tipo de fertilización. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias Calidad nutrimental de vainas de frijol chino. Tomo 48. N° 2. 2016.
- APARCANA, S., JANSEN, A. 2008. Estudio sobre el valor fertilizante de los productos del proceso “fermentación anaeróbica” para producción de biogás. German ProfEC GmbH y German ProfEC-Perú SAC (Consultora profesional de energía y medio ambiente).
- APTIL S., REIDSMA P., SHAH P., PURUSHOTHAMAN S., WOLF J. 2014. Comparing conventional and organic agriculture in Karnataka, India: Where and when can organic farming be sustainable?. Land Use Policy 37. 40–51 p.
- ARAGÓN M. 2001. Determinación de la actividad enzimática de Celulasa y Glucosidasa en muestras de suelos de la Región de Soure (Portugal). Universidad de Valladolid E.T.S. de Ingenierías Agrarias. Departamento de Ciencias Agroforestales. Información Tecnológica vol 12 Nº2. 15-17 p.
- BARRIENTOS D.L. 1989. Antecedentes de la fijación biológica de nitrógeno en leguminosas. V Seminario nacional de leguminosas de grano, Temuco.
- BAS BRUNING B., JELTE ROZEMA J.2013. Symbiotic nitrogen fixation in legumes: Perspectives for saline agricultura Environmental and Experimental Botany 92. 134–143 p.
- BEEBE, S. E. Y PASTOR-CORRALES, M. 1991. Breeding for disease resistance. En: Common Beans: research for crop improvement. V. A. Schoonhoven y O, Voysest. Ed. CAB International and CIAT, Wallingford.
- BELLENGER J.P., XU Y., ZHANG X., MOREL F.M.M., KRAEPIELA.M.L.2014. Possible contribution of alternative nitrogenases to nitrogen fixation by asymbiotic N<sub>2</sub> fixing bacteria in soils. Soil Biology & Biochemistry 69. 413-420 p.

- BOUCHAABA Z., PIETRO SANTAMARIA P., CHOUKR-ALLAH R., LAMADDALENA N., MONTESANO F. 2015. Open-cycle drip vs closed-cycle subirrigation: Effects on growth and yield of greenhouse soilless green vean *Scientia Horticulturae* 182. 77–85 p.
- BREHME B., STRUIK P. C., SANDERS J. 2008 Using an energetic and exergetic life cycle analysis to assess the best applications of legumes within a biobased economy. *Biomass and Bioenergy* 32. 1175-11186 p.
- BRETSCHER D. 2005. Proyecto de Investigación: Gases con Efecto Invernadero y Agricultura Orgánica. Corporación Educativa para el Desarrollo Costarricense S.C. (CEDECO). 27 p.
- BRUNING B., ROZEMA J. 2013. Symbiotic nitrogen fixation in legumes: Perspectives for saline agriculture. *Environmental and Experimental Botany* 92. 134–143 p.
- BUBENZER G. D. Y WEIS, G. G. 1974. Effect of wind erosion on production of snapbeans and pears. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 99: 527- 529.
- CARABEO PÉREZ A. 2015. Respuesta de genotipos de *Phaseolus vulgaris L.* en condiciones inducidas de estrés térmico, hídrico y salino.
- CAPEL, J.J. 1.986. "El clima del territorio de Cartagena". Historia de Cartagena Tomo I El medio natural. Ediciones Mediterráneo S.A. Murcia. 243-263 p.
- COBERTERA, E. 1993. Edafología aplicada. Ediciones Cátedra S.A. Madrid.
- CONESA, C. 1.990. "El Campo de Cartagena: clima e hidrología de un medio semiárido". Secretariado de Publicaciones Universidad de Murcia. 450 p.
- CONSEJERÍA DE AGRICULTURA, AGUA Y MEDIO AMBIENTE. Estadística Agraria de Murcia 1.999. 42 p.
- CONSEJERÍA DE ECONOMÍA y HACIENDA. 1.997. "Anuario Estadístico de La Región de Murcia". Tomo I. Datos Regionales de la Región de Murcia. Centro Regional de Estadística de Murcia. CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y HACIENDA.
- CORRENDO A., GARCÍA F. Alternativas e diagnóstico para el manejo nutricional en cultivos extensivos. 19 p. IPNI Latinoamérica Cono Sur. 19 p.
- DANSO S.K.A., ESKEW D.L. Aumento de la capacidad de fijación biológica del nitrógeno. *Agricultura y alimentación. OIE A BOLETÍN*, VOL.26, n° 2. 29-33 p.
- DEBOSZA K., RASMUSSEN P., PEDERSEN A. 1999. Temporal variations in microbial biomass C and cellulolytic enzyme activity in arable soils: effects of organic matter input. *Applied Soil Ecology* 13. 209-218 p.

- DE BENITO A. Y SOMBRERO A. 2006. Fijación de carbono en el suelo en agricultura de conservación. Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León. (ITACyL). 11 p.
- DE LA HORRA A.M., CONTI M. E., PALMA R.M. Influencia de los sistemas de labranza sobre la actividad de  $\beta$ -Glucosidasa del suelo. Universidad de Buenos Aires. Facultad Agraria. Información Tecnológica - vol 12 N°2. 6 p.
- DIEGO A., GONZALO A. 2009. Seminario sobre fertilización nitrogenada en pasturas. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. Pasturas
- DIVITO G.A., SADRAS V.O. 2014. How do phosphorus, potassium and sulphur affect plant growth and biological nitrogen fixation in crop and pasture legumes? A meta-analysis. Field Crops Research. Field Crops Research 156. 161-171 p
- DUC G. 1997. Faba Bean (*Vicia faba* L.) Field Crops Research 53. 99-109 p.
- EHLERS J.D., HALL A.E. 1997. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) Field Crops Research 53 187-204 p.
- ELVIRA CONTI M. Dinámica de la liberación y fijación de Potasio en el suelo. 13 p.
- ESPINOSA J. Relación entre la fertilización mineral, la materia orgánica y los microorganismos del suelo. Instituto de la Potasa y el Fósforo, Oficina para Latino América, Casilla, 17 17-980. X Congreso Nacional Agronómico / II Congreso de Suelos 1996. 119-128 p.
- F.A.O.-I.S.R.I.C. 1.990. Guidelines for soil description<sup>3rd</sup> Edition (Revised). Food and Agriculture Organization of the United Nations Roma. 70 p.
- F.A.O. Conservación de los recursos naturales para una Agricultura sostenible.
- FAEGLEY, S. E. Y FENN, L. B. 1999. El uso del calcio soluble para estimular el crecimiento vegetal. Servicio de extensión agrícola de Texas.
- FERNÁNDEZ, J.C. 1.986. "Síntesis Geológica del Sureste Español". Historia de Cartagena Tomo I El medio natural. Ediciones Mediterráneo S.A. Murcia .47-111 p.
- FLOR, M. C. 1985. Revisión de algunos criterios sobre la recomendación de fertilizantes en frijol. En: Frijol: Investigación y producción. CIAT 1985.
- GALANTINI J. A., IGLESIAS J. O. 2007. Capacidad de secuestro de carbono y efecto de las prácticas agronómicas en suelos de la región pampeana de Argentina. Comisión de Investigaciones Científicas (CIC, Buenos Aires) -CERZOS, UNS. Bahía Blanca. (Argentina). [galanti@criba.edu.ar](mailto:galanti@criba.edu.ar). 15p.
- GARCÍA F. 2012. Siembra directa, rotaciones y fertilidad para una agricultura sostenible con énfasis en las condiciones de Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. 22-29 p.

- GARCÍA A., LAURÍN M., LLOSÁ M. J., GONZÁLVEZ V., SANZ M<sup>a</sup> J., PORCUNA J.L. Contribución de la agricultura ecológica a la mitigación del cambio climático en comparación con la agricultura convencional. Servicio Sanidad Vegetal, Consellería de Agricultura, Pesca y Alimentación, Valencia, Sociedad Española de Agricultura Ecológica, Apdo 397, Catarroja Valencia, Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo.
- GARCÍA, C. et al 2003. Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: medida de actividades enzimáticas y biomasa microbiana. Ediciones Mundi-Prensa Madrid.
- GARCÍA-ÁLVAREZ, A. 2003. Determinación de las actividades celulasa e invertas del suelo. En: García, C., F., Hernández, T., Trasar-Cepeda, C. (Eds.). Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: Medida de actividades enzimáticas y biomasa microbiana. Ediciones Mundi-Prensa, Murcia. pp. 149-167.
- GARCÍA-ÁLVAREZ, A., IBÁÑEZ, J.J. 1994. Seasonal fluctuations and crop influence on microbiota and enzyme activity in fully developed soils of central Spain. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 8, 161-178.
- GEPTS, P. Y DEBOUCK 1991. Origin, domestication and evaluation of the common bean (*Phaseolus vulgaris L.*). En: A. Van Schoonhoven and O. Voysest, (eds) Common bean research for crop improvement. C. A. B. int. Wallingford, UK and CIAT, Cali, Colombia.
- GIUNTA F., PRUNEDDU G., MOTZO R. 2009. Radiation interception and biomass and nitrogen accumulation in different cereal and grain legume species *Field Crops Research* 110. 76–84 p.
- GÓMEZ JORRÍN L. A., MARTINEZ CRUZ A., SANCHEZ GARCÍA T., DUEÑAS VEGAS G. Evaluación de la tolerancia al déficit de fósforo en caupí (*Vigna unguiculata L. Walp*) en Cuba. II. Cultivo en suelo. *Agronomía Mesoamericana* 16(1). 95-103. 2005.
- GÓNZALEZ L.M., ZAMORA A., CÉSPEDES N. 2000. Análisis de la tolerancia a la salinidad en variedades de *Vigna unguiculata (L.)* sobre la base de caracteres agronómicas, la acumulación de iones y el contenido de proteína. *Cultivos tropicales* 21 (1): 47-52 p.
- GRAHAM P.H., VANCE C.P. 2000. Nitrogen fixation in perspective: an overview of research and extension needs. *Field Crops Research* 65. 93-106 p.
- GRAHAM, P. H. Y RANILLI, P. 1997. Common bean (*Phaseolus vulgaris L.*). *Field Crops Research*. 53(1997): 131-146.



- GUARDIA G., TELLEZ-RIO A., GARCÍA-MARCO S., MARTIN-LAMMERDING D., TENORIO J.L., IBÁÑEZ M. A., VALLEJO A. 2016. Effect of tillage and crop (cereal versus legume) on greenhouse gas emissions and Global Warming Potential in a non-irrigated Mediterranean field. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 221. 187–197 p
- KAI-YUN X., XIANG-LIN L., FENG H., YING-JUN Z., LI-QIANG W., HANNAWAY D. B., DONG W., YAN Q., FADUL G. 2015. Effect of nitrogen fertilization on yield, N content, and nitrogen fixation of alfalfa and smooth brome grass grown alone or in mixture in greenhouse pots. *Journal of Integrative Agriculture* 14(9): 1864–1876 p.
- KARLSSON H., AHLGREN S., STRID I., HANSSON P-A. 2015. Faba beans for biorefinery feedstock or feed? Greenhouse gas and energy balances of different applications. *Agricultural Systems*. 141. 138-148 p.
- KHALILI B., NOURBAKHSH F., NILI N., KHADEMI H., SHARIFNABI B. 2011. Diversity of soil cellulase isoenzymes is associated with soil cellulase kinetic and thermodynamic parameters *Soil Biology & Biochemistry*. 43. 1634-1648 p.
- KNOTT, J. E. 1957. *Handbook for vegetable growers. (Guide pour les cultures maraichères)*. Londres.
- KOHASHI, S. J. 1996. Aspectos de la morfología y fisiología *Phaseolus Vulgaris* L. y su relación con el rendimiento. Instituto de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- KONTOPOULOU CH-K., BILALIS D., PAPPAS V., REES R., SAVVAS D. 2015. Effects of organic farming practices and salinity on yield and greenhouse gas emissions from a common bean crop. *Scientia Horticulturae* 183. 48–57 p.
- KÖPKE U., NEMECEK T. 2010. Ecological services of faba vetch. *Field Crops Research*. 115. 217-233 p.
- JENSEN E.S., PEOPLES M.B., HAUGGAARD-NIELSEN H. 2010. Faba bean in cropping system. *Field Crops Research* 115. 203-216 p.
- HAUGGAARD-NIELSEN H., MUNDUS S., JENSEN E. 2012. Grass-clover undersowing affects nitrogen dynamics in a grain legume–cereal arable cropping system. *Field Crops Research* 136. 23-31 p.
- HAUGGAARD-NIELSEN H., GOODING, P. AMBUS M., CORRE-HELLOU G., CROZAT Y., DAHLMANN C., DIBET A., VON FRAGSTEIN P., PRISTERI A., MONTI M., JENSEN E.S. 2009. Pea–barley intercropping for efficient symbiotic N<sub>2</sub>-fixation, soil N acquisition and use of other nutrients in European organic cropping systems. *Field Crops Research* 113. 64-71 p.

- HEMIDA M., ELSADEK EL-ENANY A. E., NAFADY N. A., KHALAF D. M., MORSY F.M. 2014. Synergistic interaction of *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* and arbuscular mycorrhizal fungi as a plant growth promoting biofertilizers for faba bean (*Vicia faba* L.) in alkaline soil. *Microbiological Research* 169. 48-58 p.
- HUTH N.I., THORBURN P.J., RADFORD B.J., THORNTON C.M. 2010. Impacts of fertilisers and legumes on N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> emissions from soils in subtropical agricultural systems: A simulation study. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 136. 351–357 p.
- INFORMACIONES AGRONÓMICAS Nº 56. Efectos del fósforo en la fijación del Nitrógeno. 12-13 p.
- LATATI M., BARGAZ A., BELARBI B., LAZALI M., BENLAHRECH S., TELLAH S., KACI G., DREVON J., OUNANE S. 2016. The intercropping common bean with maize improves the rhizobial efficiency, resource use and grain yield under low phosphorus availability. *Europ. J. Agronomy* 72. 80–90 p.
- LAUNAY M., BRISSON N., SATGER S., HAUGGAARD-NIELSEN H., CORRE-HELLOU G., KASYNOVA E., RUSKE R., JENSEN E.S., GOODING M.J. 2009. Exploring options for managing strategies for pea–barley intercropping using a modeling approach. *European Journal of Agronomy* 31. 85-98 p.
- LI Q., YU P., LI G., ZHOU D. 2016. Grass–legume ratio can change soil carbon and nitrogen storage in a temperate steppe grassland. *Soil & Tillage Research* 157. 23–31 p.
- LÓPEZ M. 2000. Oportunidades para proyectos de secuestro de Carbono en Ecuador. Congreso Ecuatoriano de la ciencia del suelo. 10 p.
- MAROTO, J. V. 2002. Horticultura herbácea especial. Ed. Mundi Prensa. Madrid, España.
- MARTÍNEZ P. Sistemas de cultivo. Factores agronómicos, climático-ambientales, técnicos y socioculturales. Capítulo 5. 141-168 p.
- MATEO, J. 1961. Leguminosas de grano. Ed. Salvat. Barcelona, España.
- MAYZ-FIGUEROA J. 2004. Fijación biológica de nitrógeno. *Revista UDO Agrícola* 4 (1): 1-20 p.
- MAYZ FIGUEROA J. 2011. Efectividad de cepas rizobianas de frijol bajo diferentes regímenes de fósforo.

- MELÉNDEZ G., MOLINA E. 2001. Fertilidad de suelos y manejo de la nutrición de cultivos en Costa Rica. Universidad de Costa Rica. Centro de Investigaciones agronómicas. Laboratorio de suelos y Foliare. 142 p.
- MIGLIORATI M., BELL M., GRACE P., SCHEER CL., ROWLINGS D., LIU S. 2015. Legume pastures can reduce N<sub>2</sub>O emissions intensity in subtropical cereal cropping systems Agriculture, Ecosystems and Environment 204. 27–39 p.
- MINISTRY OF AGRICULTURE, FISHERIES AND FOOD 2000. Fertiliser recommendations for agricultural and horticultural crops. Londres.
- NAUDIN CH., CORRE-HELLOU G., PINEAU S., CROZAT Y., JEUFFROY M-H. 2009. The effect of various dynamics of N availability on winter pea–wheat intercrops: Crop growth, N partitioning and symbiotic N<sub>2</sub> fixation. Field Crops Research 119. 2-11 p.
- NEMECEK T., HAYER F., BONNIN E., CARROUÉE B., SCHNEIDER A., VIVIER CH. 2015. Designing eco-efficient crop rotations using life cycle assessment of crop combinations European Journal of Agronomy 65. 40-41 p.
- NEMECEK T., RICHTHOFEN J-S, DUBOIS G., CASTA P., CHARLES R., PAHL H. 2008. Environmental impacts of introducing grain legumes into European crop rotations Europ. J. Agronomy 28. 380–393 p.
- ORTIZ, R. 1.986. "Suelos". Historia de Cartagena Tomo I El medio natural. Ediciones Mediterráneo. S.A. Murcia. 243-268 p.
- ORDÓÑEZ-FERNÁNDEZ R., CARBONELL R. GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ P., PEREA F. 2008. Influencia de la climatología y el manejo del suelo en las emisiones de CO<sub>2</sub> En un suelo arcilloso de la Vega de Carmona. Año VI. número 6. Enero de 2008 CAREL. 16 p.
- OVALLE C. 2011. Rotación de cultivos para la rehabilitación de la fertilidad del suelo en sistemas de agricultura mediterránea. 21 p.
- PARHAM J.A., DENG S.P. 2000. Detection, quantification and characterization of β-glucosaminidase activity in soil Soil Biology & Biochemistry 32 1183-1190 p.
- POEPLAU CH., DON A. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops – A meta-analysis 2015 Agriculture, Ecosystems and Environment 200. 33–41 p.
- PEOPLES M. B., CHALK P. M., UNKOVICH M. J., BODDEY R. M. 2015. Can differences in 15N natural abundance be used to quantify the transfer of nitrogen from legumes to neighbouring non-legume plant species?. Soil Biology & Biochemistry 87- 97-109 p.
- PÉREZ G. Fijación simbiótica de Nitrógeno: estado actual y perspectivas. 11p.

- PICONE L. 2010. Gases de Efecto Invernadero: el rol del suelo en las emisiones de óxido nitroso. Congreso Ecuatoriano de la ciencia del suelo. 6 p.
- POOL NOVELO L. LEÓN MARTÍNEZ N.S., GONZÁLEZ SANTIAGO C., FIGUEROA FUENTES P. 1998. Frijol terciopelo, cultivo de cobertura en la Agricultura chol del valle del Tulija, Chiapas, México TERRA VOLUMEN 16 NÚMERO 4. 359-369.
- PORTA, J., LÓPEZ-ACEVEDO, M., RODRÍGUEZ, R. 1986. Técnicas y Experimentos en Edafología. Col.legi Oficila d'Enginyers Agrònoms de Catalunya. Barcelona, 282 p.
- PORTA, J., LÓPEZ-ACEVEDO, M., ROQUERO, C. 1999. Edafología. Para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. 2ª edición. Madrid. 849 p.
- PORTA, J., et al 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- PORTA, J., et al 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- REJILI M., MAHDHI M., FTERICH A., DHAOUI S., GUEFRACHI I., ABDEDDAYEM R., MARS M. 2012. Symbiotic nitrogen fixation of wild legumes in Tunisia: Soil fertility dynamics, field nodulation and nodules effectiveness Agriculture, Ecosystems and Environment 157. 60–69 p.
- RIVERO, D. y ALCARAZ, F. 1986. "Aspectos Botánicos". Historia de Cartagena Tomo I El medio natural. Ediciones Mediterráneo S.A. Murcia. 195-239 p.
- ROSS S.M., IZAURRALDE R.C., JANZEN H.H., ROBERTSON J.A., MCGILL. W.B. 2008. The nitrogen balance of three long-term agroecosystems on a boreal soil in western Canada. Agriculture, Ecosystems and Environment. 127. 241-250 p.
- RUÍZ A. 2012. Cambios del uso del suelo y su efecto en el contenido químico de m.o., C/N y C/P, en el Ejido "El conejo", Perote, Veracruz. Facultad de Ciencias agrícolas. Universidad Veracruzana. 43 p
- SANDOVAL M., STOLPE N., ZAGAL E., MARDONES M., JUNOD J. MONTANO. 2003. El secuestro de Carbono en la agricultura y su importancia con el calentamiento global. Departamento de Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción. 65-71 p.
- SÁNCHEZ, M.I. 1992. Métodos de estudio de la evaporación y la evapotranspiración. Sociedad Española de Geomorfología. Geofoma. Ediciones Logroño. 36 p.

- SANCHEZ, P. A. Y COCHRANE, T. T. 1980. Soil constraints in relation to major farming systems of tropical América. En: *Priorities for Alleviating Soil-Related Constraints to Food Production in the Tropics*. IRRI, Los Banos, Filipinas.
- SAÑA, J., MORÉ, J. C. Y COHÍ, A. 1996. *La gestión de la fertilidad de los suelos*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. España.
- SCHMEER M., LOGES R., DITTERT K., SENBAYRAM M., HORN R. TAUBE F. 2014. Legume-based forage production systems reduce nitrous oxide emissions. *Soil & Tillage Research* 143. 17-25 p.
- SEEFELDT L., YANG Z-Y., DUVAL S., DENNIS R. DEAN D. 2013. Nitrogenase reduction of carbon-containing compounds *Biochimica et Biophysica Acta*. 1827. 1102-1111.
- SEPÚLVEDA F., TAPIA F., ARDILES S. 2010. Beneficios de la materia orgánica en los suelos. Informativo INIA-URURI. 4 p.
- SINEGANI A., SINEGANI M. GEODERMA. 2012 The effects of carbonates removal on adsorption, immobilization and activity of cellulase in a calcareous soil 173-174. 145-151 p.
- SNYDER C.S., BRUULSEMA T.W., JENSEN T.L. Mejores Prácticas de manejo para minimizar emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con el uso de fertilizantes. 9 p.
- SOMBRERO, A. et al 2010. Carbon accumulation in soil. Ten-year study of conservation tillage and crop rotation in asemi-arid area of castile-Leon, Spain. *Soil and Tillage Research*, 64-70 p.
- SPRENT J., RICHARD PARSONS R. 2000. Nitrogen fixation in legume and non-legume trees *Field Crops Research* 65. 183-196 p
- STEINER CH., 2010. Las perspectivas de Biocarbón secuestro de carbono, ciclo de nutrientes y generación de energía. *PALMAS* Vol. 31 Nº. Especial, Tomo II. 10 p.
- TABATABAI, M.A., BREMNER, J.M. 1972. Assay of urease activity in soil. *Soil Biology & Biochemistry* 4, 479-487.
- TABATABAI, M.A. 1982. Soil Enzymes. En: Page, A.L., MILLAR, E.M., KEENEY, D.R. (Eds.). *Methods of Soil Analices. Part 2. Chencial and Microbiological Properties*. Soil Science Society of America, Inc, Madison, pp. 903-947.
- TE PAS C. M., REES R. M. 2014. Analysis of Differences in Productivity, Profitability and Soil Fertility Between Organic and Conventional Cropping Systems in the Tropics and Sub-tropics *Journal of Integrative Agriculture*. 13(10): 2299-2310 p
- TIJERINA L., QUEVEDO A., CRESPO G., REYNOSO A. Impacto del cambio climático en la evapotranspiración: caso de estudio valle de México. 15 p.

- TRIBERTI L., NASTRI A., BALDONI G. 2016. Long-term effects of crop rotation, manure and mineral fertilisation on carbon sequestration and soil fertility. *Europ. J. Agronomy* 74. 47–55 p
- TRYDEMAN M., MEYER-AURICH A., OLESEN J., CHIRINDA N., HERMANSEN J. 2014. Carbon footprints of crops from organic and conventional arable crop rotations e using a life cycle assessment approach. *Journal of Cleaner Production* 64. 609-618 p.
- UNKOVICH M. J., JOHN S. PATE J. S. 2000. An appraisal of recent field measurements of symbiotic N<sub>2</sub> fixation by annual legumes. *Field Crops Research* 65. 211-228 p.
- URBANO TERRÓN P., 1995. *Tratado de Fitotecnia General*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- VIEIRA, C. 1970. Periodo crítico de competencia entre ervas daninhas e a cultura do feijão. *Ceres*. 17(94): 354-367.
- WIESLER, F. 1998. Comparative Assessment of the Efficacy of Various Nitrogen Fertilizers. *Nutrient Use in Crop Production*. Ed. Zdenko Rengel.
- WU D.-X., WANG G-X. 2000. Interaction of CO<sub>2</sub> enrichment and drought on growth, water use, and yield of broad bean (*Vicia faba*). *Environmental and Experimental Botany* 43. 131–139 p.
- [www.fao.org/ag](http://www.fao.org/ag). Conservación de los recursos naturales para una Agricultura sostenible. *Fertilidad del suelo*. 19 p.
- YANG H.S. 2006. Resource management, soil fertility and sustainable crop production: Experiences of China Agriculture, *Ecosystems and Environment* 116. 27–33 p.
- YANG J.Y., DRURY C.F., YANG X.M., DE JONG R., HUFFMAN E.C., CAMPBELL C.A., KIRKWOOD V. 2010. Estimating biological N<sub>2</sub> fixation in Canadian agricultural land using legume yields *Agriculture, Ecosystems and Environment* 137. 192–201 p.
- YAUYO LANDEO M.I. 2015. Efecto de la inoculación con microorganismos solubilizadores de fósforo sobre el crecimiento y nutrición de frijol Castilla, maíz, trigo y haba.
- YESENIA BR. Ajuste y validación de un método fotométrico para la determinación de la actividad β- Glucosidasa en suelos. Universidad de los Andes. Facultad de Ciencias. Universidad de los Andes. Facultad de Ciencias. Departamento de Química. Laboratorio de Investigaciones en análisis químico, industrial y agropecuario (LIAQIA). 48 p.

- YUAN Z-Q., KAI-LIANG YU K-L., EPSTEIN H., FANG CH., LI J-T., QIAN-QIAN LIU Q-Q., LIU X-W., GAO W-J., FENG-MIN LI F-M. 2009. Effects of legume species introduction on vegetation and soil nutrient development on abandoned croplands in a semi-arid environment on the Loess Plateau, China. *Science of the Total Environment* 541. 692-700 p.
- YUSUF A.A., ABAIDOO R.C., IWUAFOR E.N.O., OLUFAJO O.O., SANGINGA N. 2009. Rotation effects of grain legumes and fallow on maize yield, microbial biomass and chemical properties of an Alfisol in the Nigerian savanna. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 129. 325-331 p.
- ZACARÍAS P.G. 1999. Determinación del estado nutricional de un suelo, usando el método del elemento faltante. 33 p.
- ZAHRAN H. 2001 Rhizobia from wild legumes: diversity, taxonomy, ecology, nitrogen fixation and biotechnology. *Journal of Biotechnology* 91. 143–153 p.
- ZHONG Z., LEMKE R., NELSON L. 2009. Nitrous oxide emissions associated with nitrogen fixation by grain legumes. *Soil Biology & Biochemistry* 41. 2283–2291 p
- ZORNOZA R., LORETTA LANDI L., NANNIPIERI P., RENELLA G. 2009 A protocol for the assay of arylesterase activity in soil. *Soil Biology & Biochemistry*. 41. 659-662 p.

## ANEXO



**Tabla 1. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL SUELO EN MUESTREO INICIAL DE HABA**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	pH	CE ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	CO ( $\text{g Kg}^{-1}$ )	Nitrógeno total ( $\text{g kg}^{-1}$ )	Amonio ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Nitrato ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	P ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	B ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Ca ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Mg ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	K ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Na ( $\text{mg kg}^{-1}$ )
1 Haba	No rotación	Convencional	8,48	242	12,01	0,94	6,91	101,29	34,5	7,57	2798,89	621,2	371,72	271,15
2 Haba	No rotación	Convencional	8,3	417	11,91	0,85	6,38	181,01	29,62	4,76	2859,71	637	354,18	336,24
3 Haba	No rotación	Convencional	8,5	302	10,59	0,98	6,16	130,2	35,75	4,39	2569,05	591,02	358,89	313,66
4 Haba	No rotación	Convencional	8,38	350	10,2	0,91	4,39	153,63	22,45	3,35	2614,64	605,44	293,19	318,73
6 Haba	No rotación	Convencional	8,31	404	14,79	1,02	4,6	216,57	27,77	2,67	2788,76	576,04	467,33	266,01
Haba	No rotación	Convencional	8,39±0,093	343±72,67	11,90±1,80	0,94±0,06	5,69±1,12	156,54±44,60	30,02±5,37	4,55±1,88	2726±126,65	606,14±24,05	369,09±62,74	301,16±30,94

(Promedio  $\pm$  Desviación estándar); Grado de significancia: diferencias significativas ( $P < 0,05$ ); letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes según Tukey ( $\alpha = 0,05$ ).

**Tabla 2. ACTIVIDADES ENZIMÁTICAS DEL SUELO EN MUESTREO INICIAL DE HABA**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	Glucosidasa ( $\mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$ )	Glucosaminidasa ( $\mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$ )	Arilesterasa ( $\mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$ )	Deshidrogenasa ( $\mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$ )	Celulasa ( $\mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$ )	Agregados (%)
1 Haba	No rotación	Convencional	0,626	0,12	1538,75	0,12	0,006	13,86
2 Haba	No rotación	Convencional	0,204	0,18	1297,89	0,06	0,01	17,88
3 Haba	No rotación	Convencional	0,154	0,09	1027,97	0,04	0,006	10,72
4 Haba	No rotación	Convencional	0,141	0,07	815,42	0,2	0,003	21,3
6 Haba	No rotación	Convencional	0,173	0,08	1220,54	0,21	0,001	22,87
Haba	No rotación	Convencional	0,26±0,206	0,11±0,045	1180,11±273,98	0,13±0,078	0,005±0,0031	17,33±5,06

(Promedio  $\pm$  Desviación estándar); Grado de significancia: diferencias significativas ( $P < 0,05$ ); letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes según Tukey ( $\alpha = 0,05$ ).

**Tabla 3. PRINCIPALES PROPIEDADES DEL SUELO EN MUESTREO FINAL DE HABA**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	pH	CE ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	CO ( $\text{g Kg}^{-1}$ )	Nitrógeno total ( $\text{g Kg}^{-1}$ )	Amonio ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )	Nitrato ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )
Muchamiel	Rotación	Convencional	8,27 ± 0,05a	635,34 ± 38,21a	12,87 ± 2,10a	0,94 ± 0,12a	5,73 ± 1,30a	102,41 ± 52,04a
Palenca	Rotación	Convencional	8,29 ± 0,06a	636 ± 31,43a	12,15 ± 0,87a	1,03 ± 0,02a	5,10 ± 1,42 a	131,23 ± 45,51a
Muchamiel	Rotación	Ecológica	8,42 ± 0,09a	429,67 ± 13,43a	11,54 ± 0,55a	0,96 ± 0,12a	5,59 ± 3,70a	112,55 ± 33,90a
Palenca	Rotación	Ecológico	8,46 ± 0,10a	379,34 ± 44,60a	11,22 ± 1,83a	0,93 ± 0,08a	4,16 ± 1,63a	101,55 ± 5,90a
Muchamiel	No rotación	Convencional	8,37 ± 0,14a	383,67 ± 128,77a	11,38 ± 0,46a	0,91 ± 0,06a	4,23 ± 1,91a	100,86 ± 29,03a
Palenca	No rotación	Convencional	8,33 ± 0,07a	498 ± 153,52a	10,93 ± 2,07a	0,84 ± 0,05a	6,26 ± 2,92a	128,01 ± 19,69a

(Promedio ± Desviación estándar) n=3 ;Grado de significancia:diferencias significativas (P<0,05); letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes según Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

**Tabla 4. PRINCIPALES PROPIEDADES DEL SUELO EN MUESTREO FINAL DE HABA**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	P ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )	B ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )	Ca ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )	Mg ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )	K ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )	Na ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )
Muchamiel	Rotación	Convencional	24,01 ± 6,32a	1,28 ± 0,03a	2693,17 ± 19,36a	595,43 ± 29,67a	341,81 ± 7,70a	372,29 ± 11,56a
Palenca	Rotación	Convencional	27,40 ± 8,56a	1,49 ± 0,37a	2668,90 ± 91,14a	614,35 ± 12,22a	338,16 ± 19,89a	381,19 ± 43,12a
Muchamiel	Rotación	Ecológica	35,16 ± 0,43a	1,02 ± 0,17a	2694,83 ± 263,86a	615,39 ± 44,90a	291,61 ± 19,64a	352,01 ± 53,85a
Palenca	Rotación	Ecológico	33,80 ± 4,31a	1,54 ± 0,82a	2646,55 ± 78,87a	597,71 ± 8,21a	283,81 ± 72,73a	338,90 ± 17,13a
Muchamiel	No rotación	Convencional	36,29 ± 3,96a	0,75 ± 0,13a	2317,89 ± 45,83a	563,24 ± 21,46a	229,07 ± 8,08a	305,04 ± 34,43a
Palenca	No rotación	Convencional	28,08 ± 5,54a	0,86 ± 0,15a	2324,62 ± 39,43a	532,35 ± 25,04a	264,16 ± 35,33a	325,07 ± 48,13a

(Promedio ± Desviación estándar) n=3; Grado de significancia:diferencias significativas (P<0,05); letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes según Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

**Tabla 5. PRINCIPALES PROPIEDADES DEL SUELO EN MUESTREO FINAL DE HABA**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	pH	CE ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	CO ( $\text{g Kg}^{-1}$ )	Nitrógeno total ( $\text{g Kg}^{-1}$ )	Amonio ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )	Nitrato ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )
Brócoli	No rotación	Convencional	8,44 $\pm$ 0,12a	363,66 $\pm$ 77,68a	9,80 $\pm$ 1,15 a	0,85 $\pm$ 0,08a	6,38 $\pm$ 2,84a	60,65 $\pm$ 61,21a
Muchamiel	No rotación	Convencional	8,25 $\pm$ 0,04a	637,66 $\pm$ 56,80a	9,55 $\pm$ 0,21a	0,86 $\pm$ 0,01a	4,76 $\pm$ 1,11a	159,80 $\pm$ 81,87a
Palenca	No rotación	Convencional	8,22 $\pm$ 0,15a	684,66 $\pm$ 354,14a	10,89 $\pm$ 2,35a	0,95 $\pm$ 0,12a	4,70 $\pm$ 0,46a	139,65 $\pm$ 40,48a

(Promedio  $\pm$  Desviación estándar) n=3; Grado de significancia:diferencias significativas ( $P<0,05$ ); letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes según Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

**Tabla 6. PRINCIPALES PROPIEDADES DEL SUELO EN MUESTREO FINAL DE HABA**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	P ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )	B ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )	Ca ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )	Mg ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )	K ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )	Na ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )
Brócoli	No rotación	Convencional	33,72 $\pm$ 2,42a	0,98 $\pm$ 0,39a	2339,97 $\pm$ 247,04a	554,25 $\pm$ 79,86 a	260,13 $\pm$ 14,31a	313,11 $\pm$ 60,42a
Muchamiel	No rotación	Convencional	31,00 $\pm$ 1,87a	1,86 $\pm$ 1,96a	2368,63 $\pm$ 333,92a	568,48 $\pm$ 31,47a	320,33 $\pm$ 70,84a	338,87 $\pm$ 27,64a
Palenca	No rotación	Convencional	37,06 $\pm$ 8,71a	0,83 $\pm$ 0,08a	2467,25 $\pm$ 148,59a	610,64 $\pm$ 14,73a	322,98 $\pm$ 88,18a	350,71 $\pm$ 55,34a

(Promedio  $\pm$  Desviación estándar) n=3; Grado de significancia:diferencias significativas ( $P<0,05$ ); letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes según Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

**Tabla 7. ACTIVIDADES ENZIMÁTICAS EN EL MUESTREO FINAL DE SUELO DE HABA**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	Glucosidasa ( $\mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$ )	Glucosaminidasa ( $\mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$ )	Ariesterasa ( $\mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$ )	Deshidrogenasa ( $\mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$ )	Celulasa ( $\mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$ )	Agregados (%)
<b>Muchamiel</b>	Rotación	Convencional	0,20 ± 0,01a	0,37 ± 0,08b	1232,82 ± 126,88a	0,73 ± 0,52a	0,012 ± 0,004a	45,55 ± 6,04b
<b>Palenca</b>	Rotación	Convencional	0,33 ± 0,05a	0,43 ± 0,08b	814,72 ± 290,72a	1,08 ± 0,56 a	0,006 ± 0,001a	41,59 ± 2,43ab
<b>Muchamiel</b>	Rotación	Ecológica	0,40 ± 0,15a	0,23 ± 0,15ab	824,65 ± 16,09a	1,31 ± 0,25 a	0,006 ± 0,001a	43,67 ± 9,86ab
<b>Palenca</b>	Rotación	Ecológico	0,21 ± 0,13a	0,22 ± 0,08ab	958,90 ± 548,55a	1,15 ± 0,35a	0,005 ± 0,007a	29,96 ± 3,80a
<b>Muchamiel</b>	No rotación	Convencional	0,33 ± 0,08b	0,18 ± 0,02a	795,71 ± 341,21a	1,21 ± 0,06a	0,004 ± 0,004a	19,66 ± 4,10a
<b>Palenca</b>	No rotación	Convencional	0,30 ± 0,01b	0,14 ± 0,07a	1721,54 ± 742,89a	0,63 ± 0,10a	0,008 ± 0,002a	31,98 ± 7,24a
<b>Brócoli</b>	No rotación	Convencional	0,42 ± 0,20b	0,20 ± 0,01a	1778,45 ± 322,68a	0,75 ± 0,35 a	0,003 ± 0,003a	18,55 ± 5,71a
<b>Muchamiel</b>	No rotación	Convencional	0,53 ± 0,10b	0,29 ± 0,02a	1425,98 ± 193,76a	0,93 ± 0,16 a	0,005 ± 0,003a	29,75 ± 3,45a
<b>Palenca</b>	No rotación	Convencional	0,54 ± 0,18b	0,18 ± 0,01a	1070,79 ± 39,35a	0,66 ± 0,19a	0,011 ± 0,001a	17,31 ± 7,32a

(Promedio ± Desviación estándar) n=3; Grado de significancia: diferencias significativas ( $P < 0,05$ ); letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes según Tukey ( $\alpha = 0,05$ ).

**Tabla 8. CARBONO ORGÁNICO Y CONTENIDO EN NUTRIENTES EN SEMILLAS DE DOS VARIEDADES DE HABA EN MUESTREO INTERMEDIO**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	CO (%)	Nitrógeno (%)	B (mg Kg <sup>-1</sup> )	P (mg Kg <sup>-1</sup> )
Muchamiel	Rotación	Convencional	51,67 ± 0,39a	3,69 ± 0,33a	247,32 ± 125,33b	4431,56 ± 397,20a
Palenca	Rotación	Convencional	52,39 ± 0,29a	4,28 ± 0,48b	167,70 ± 28,87b	6293,76 ± 435,22a
Muchamiel	Rotación	Ecológica	51,70 ± 0,58a	3,91 ± 0,22b	115,75 ± 10,20a	4902,87 ± 835,36a
Palenca	Rotación	Ecológica	52,92 ± 0,74a	4,42 ± 0,27b	95,99 ± 11,08a	5861,31 ± 852,71a

(Promedio ± Desviación estándar) n=3; Grado de significancia: diferencias significativas (P<0,05); letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes, según Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

**Tabla 9. CONTENIDO EN NUTRIENTES EN SEMILLAS DE DOS VARIEDADES DE HABA EN MUESTREO INTERMEDIO**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	Ca (mg Kg <sup>-1</sup> )	Mg (mg Kg <sup>-1</sup> )	K (mg Kg <sup>-1</sup> )	Na (mg Kg <sup>-1</sup> )
Muchamiel	Rotación	Convencional	2569,23 ± 637,64a	1938,76 ± 230,25a	28077,58 ± 3306,77a	642,49 ± 293,75a
Palenca	Rotación	Convencional	2107,74 ± 861,31a	1648,05 ± 50,48a	19704,76 ± 194,11a	360,70 ± 61,51a
Muchamiel	Rotación	Ecológica	3326,38 ± 1097,61a	2141,33 ± 351,39a	25922,92 ± 3011,38a	1038,34 ± 125,74a
Palenca	Rotación	Ecológica	1924,91 ± 441,97a	1674,40 ± 250,42a	19749,75 ± 3235,03a	511,29 ± 119,58a

(Promedio ± Desviación estándar) n=3; Grado de significancia: diferencias significativas (P<0,05); letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes, según Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

**Tabla 10. CARBONO ORGÁNICO Y CONTENIDO EN NUTRIENTES EN PARTE AÉREA DE DOS VARIEDADES DE HABA EN MUESTREO INTERMEDIO**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	CO (%)	Nitrógeno (%)	B (mg/Kg)	P (mg/Kg)
Muchamiel	Rotación	Convencional	49,98 ± 1,09b	2,50 ± 0,45a	74,29 ± 20,85a	2264,76 ± 278,98a
Palenca	Rotación	Convencional	50,21 ± 0,26b	2,98 ± 0,64a	65,15 ± 14,22a	3162,51 ± 929,74a
Muchamiel	Rotación	Ecológica	49,97 ± 0,73b	2,92 ± 0,29a	50,58 ± 1,58a	3226,31 ± 512,10a
Palenca	Rotación	Ecológica	41,42 ± 9,76b	2,84 ± 0,18a	66,18 ± 32,55a	3722,98 ± 420,89a

(Promedio ± Desviación estándar) n=3; Grado de significancia: diferencias significativas (P<0,05); letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes según Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

**TABLA 11. CONTENIDO EN NUTRIENTES EN PARTE AÉREA DE DOS VARIEDADES DE HABA EN MUESTREO INTERMEDIO**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	Ca (mg Kg <sup>-1</sup> )	Mg (mg Kg <sup>-1</sup> )	K (mg Kg <sup>-1</sup> )	Na (mg Kg <sup>-1</sup> )
Muchamiel	Rotación	Convencional	10089,76 ± 1569,82a	2376,92 ± 470,31a	32628,30 ± 6933,63a	4061,64 ± 1234,45a
Palenca	Rotación	Convencional	8546,84 ± 1930,57a	2415,58 ± 370,28a	36020,05 ± 4725,04a	3269,27 ± 1279,47a
Muchamiel	Rotación	Ecológica	8585,94 ± 271,55a	2594,10 ± 171,20a	34226,62 ± 3715,44a	3390,35 ± 893,62a
Palenca	Rotación	Ecológica	9264,57 ± 1485,80a	2568,80 ± 238,04a	28293,98 ± 5587,63a	3077,72 ± 612,19a

(Promedio ± Desviación estándar) n=3; Grado de significancia: diferencias significativas (P<0,05); letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes según Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

**Tabla 12. CARBONO ORGÁNICO Y CONTENIDO EN NUTRIENTES EN RAÍZ DE DOS VARIEDADES DE HABA EN MUESTREO INTERMEDIO**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	CO (%)	Nitrógeno (%)	B (mg Kg <sup>-1</sup> )	P (mg Kg <sup>-1</sup> )
Muchamiel	Rotación	Convencional	46,56 ± 2,77a	1,46 ± 0,10a	64,16 ± 22,48 a	1730,95 ± 153,66a
Palenca	Rotación	Convencional	44,74 ± 3,44a	1,47 ± 0,25a	43,48 ± 10,21a	2070,22 ± 287,95a
Muchamiel	Rotación	Ecológica	43,61 ± 3,65a	1,70 ± 0,27a	46,48 ± 11,73a	3363,28 ± 882,56a
Palenca	No rotación	Ecológica	46,11 ± 2,36a	1,57 ± 0,27 a	40,15 ± 2,23a	2700,90 ± 155,82a

(Promedio ± Desviación estándar) n=3 ; Grado de significancia: diferencias significativas (P<0,05); letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes según Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

**Tabla 13. CONTENIDO EN NUTRIENTES EN RAÍZ DE DOS VARIEDADES DE HABA EN MUESTREO INTERMEDIO**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	Ca (mg Kg <sup>-1</sup> )	Mg (mg Kg <sup>-1</sup> )	K (mg Kg <sup>-1</sup> )	Na (mg Kg <sup>-1</sup> )
Muchamiel	Rotación	Convencional	15104,07 ± 4163,95ab	2523,55 ± 738,23a	27377,66 ± 6479,46a	6040,57 ± 1640,55b
Palenca	Rotación	Convencional	19702,74 ± 10734,20ab	2624,39 ± 790,04a	26733,26 ± 9466,52a	6400,66 ± 1399,51 b
Muchamiel	Rotación	Ecológica	19569,82 ± 8905,16ab	2934,10 ± 421,61b	45272,31 ± 9724,27b	9805,42 ± 2070,95b
Palenca	No rotación	Ecológica	15417,81 ± 3661,42ab	2969,60 ± 260,30b	29718,07 ± 1108,18 a	8985,13 ± 1552,29b

(Promedio ± Desviación estándar) n=3; Grado de significancia: diferencias significativas (P<0,05); letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes según Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

**Tabla 14. CARBONO ORGÁNICO Y CONTENIDO EN NUTRIENTES EN SEMILLAS DE DOS VARIEDADES DE HABA EN MUESTREO FINAL**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	CO (%)	Nitrógeno (%)	B (mg Kg <sup>-1</sup> )	P (mg Kg <sup>-1</sup> )
Muchamiel	Rotación	Convencional	52,74 ± 0,0189a	4,72 ± 0,09b	91,97 ± 17,48b	6719,85 ± 81,72b
Palenca	Rotación	Convencional	52,78 ± 0,0469a	4,59 ± 0,08b	65,81 ± 5,08b	6151,52 ± 30,70b
Muchamiel	Rotación	Ecológica	52,55 ± 0,1268a	4,28 ± 0,22b	53,04 ± 5,17a	6642,77 ± 529,01b
Palenca	Rotación	Ecológica	52,85 ± 0,1685a	4,73 ± 0,12b	55,44 ± 5,18a	6505,53 ± 584,72b
Muchamiel	No rotación	Convencional	54,59 ± 0,5379a	4,71 ± 0,25b	49,39 ± 24,09a	6743,16 ± 704,37 b
Palenca	No rotación	Convencional	53,62 ± 0,2374a	4,43 ± 0,17b	36,75 ± 2,14a	6237,55 ± 488,47 b
Muchamiel	No rotación	Convencional	53,36 ± 0,0876 a	4,57 ± 0,17b	36,55 ± 0,58a	6335,77 ± 304,94b
Palenca	No rotación	Convencional	53,39 ± 0,2194a	4,37 ± 0,24b	36,73 ± 4,30a	6592,30 ± 645,41b

(Promedio ± Desviación estándar) n=3; Grado de significancia: diferencias significativas (P<0,05); letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes según Tukey (α=0,05).

**TABLA 15. CONTENIDO EN NUTRIENTES EN SEMILLAS DE DOS VARIEDADES DE HABA EN MUESTREO FINAL**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	Ca (mg/Kg)	Mg (mg Kg <sup>-1</sup> )	K (mg Kg <sup>-1</sup> )	Na (mg Kg <sup>-1</sup> )
Muchamiel	Rotación	Convencional	1368,51 ± 80,49a	1623,59 ± 9,06a	17973,19 ± 247,36a	313,58 ± 51,85a
Palenca	Rotación	Convencional	1384,11 ± 52,34a	1515,87 ± 15,68a	17722,56 ± 113,69 a	229,16 ± 33,50 a
Muchamiel	Rotación	Ecológica	1447,99 ± 154,13a	1645,91 ± 112,63a	19501,05 ± 1229,48a	265,89 ± 35,36a
Palenca	Rotación	Ecológica	1363,54 ± 185,09a	1467,78 ± 81,21 a	17880,06 ± 1322,26a	263,39 ± 64,30a
Muchamiel	No rotación	Convencional	1364,06 ± 102,43a	1564,11 ± 147,27a	17964,17 ± 1680,97a	287,69 ± 19,27a
Palenca	No rotación	Convencional	1354,48 ± 78,91a	1427,08 ± 62,02a	16861,09 ± 859,35a	228,35 ± 35,23a
Muchamiel	No rotación	Convencional	1242,50 ± 150,16a	1529,12 ± 51,19a	16832,60 ± 405,56a	179,42 ± 25,89 a
Palenca	No rotación	Convencional	1383,32 ± 135,49a	1418,12 ± 51,19 a	17189,21 ± 926,09a	203,41 ± 23,55a

(Promedio ± Desviación estándar) n=3; Grado de significancia: diferencias significativas (P<0,05); letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes según Tukey (α=0,05).



**Tabla 16. CARBONO ORGÁNICO Y CONTENIDO EN NUTRIENTES EN PARTE AÉREA DE DOS VARIEDADES DE HABA EN MUESTREO FINAL**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	CO (%)	Nitrógeno (%)	B (mg Kg <sup>-1</sup> )	P (mg Kg <sup>-1</sup> )
Muchamiel	Rotación	Convencional	53,79 ± 0,91a	3,06 ± 0,016a	36,68 ± 1,06a	3860,38 ± 33,99a
Palenca	Rotación	Convencional	53,58 ± 0,70a	2,94 ± 0,18a	40,23 ± 2,14a	3613,58 ± 25,42a
Muchamiel	Rotación	Ecológica	53,46 ± 1,50b	2,71 ± 0,33a	38,76 ± 1,15a	4201,61 ± 272,19a
Palenca	Rotación	Ecológica	53,88 ± 1,34b	3,12 ± 0,30a	51,70 ± 22,90a	3919,62 ± 154,33a
Muchamiel	No rotación	Convencional	51,81 ± 0,49b	3,28 ± 0,26a	42,31 ± 5,27a	4371,85 ± 129,12a
Palenca	No rotación	Convencional	52,21 ± 0,32b	3,31 ± 0,013a	40,91 ± 4,77a	4628,50 ± 684,50a
Muchamiel	No rotación	Convencional	52,67 ± 1,95a	3,48 ± 0,22a	34,08 ± 9,04a	3687,49 ± 1898,24a
Palenca	No rotación	Convencional	54,63 ± 1,10a	3,36 ± 0,03a	31,46 ± 23,03a	4575,75 ± 1769,58a

(Promedio ± Desviación estándar) n=3; Grado de significancia:diferencias significativas (P<0,05); letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes según Tukey (α=0,05).

**Tabla 17. CONTENIDO EN NUTRIENTES EN PARTE AÉREA DE DOS VARIEDADES DE HABA EN MUESTREO FINAL**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	Ca (mg Kg <sup>-1</sup> )	Mg (mg Kg <sup>-1</sup> )	K (mg Kg <sup>-1</sup> )	Na (mg Kg <sup>-1</sup> )
Muchamiel	Rotación	Convencional	4783,52 ± 2980,65b	2212,92 ± 36,95b	27607,90 ± 323,36b	2171,40 ± 77,20a
Palenca	Rotación	Convencional	8585,59 ± 99,18a	2466,41 ± 15,03a	23616,46 ± 141,75 b	2249,26 ± 36,09a
Muchamiel	Rotación	Ecológica	6905,25 ± 245,10 a	2372,52 ± 152,67b	24987,94 ± 1420,11b	1621,24 ± 364,50 a
Palenca	Rotación	Ecológica	5339,51 ± 1329,76a	2008,4 ± 133,83b	22212,37 ± 1420,18 b	1296,55 ± 333,32a
Muchamiel	No rotación	Convencional	7672,16 ± 3170,00a	2572,00 ± 464,00 b	26720,82 ± 2328,20b	1327,34 ± 238,84 a
Palenca	No rotación	Convencional	9057,12 ± 2738,73b	2452,89 ± 324,00b	30189,27 ± 6069,51b	2596,44 ± 1598,34a
Muchamiel	No rotación	Convencional	9299,33 ± 1258,55b	2290,49 ± 643,63a	27674,24 ± 6110,43a	3819,01 ± 2901,00a
Palenca	No rotación	Convencional	4165,24 ± 1659,05b	1948,88 ± 284,67 a	22679,99 ± 2153,52a	794,68 ± 167,50a

(Promedio ± Desviación estándar) n=3; Grado de significancia:diferencias significativas (P<0,05); letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes según Tukey (α=0,05).

**Tabla 18. CARBONO ORGÁNICO Y CONTENIDO EN NUTRIENTES EN RAÍZ DE DOS VARIEDADES DE HABA EN MUESTREO FINAL**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	CO (%)	Nitrógeno (%)	B (mg Kg <sup>-1</sup> )	P (mg Kg <sup>-1</sup> )
Muchamiel	Rotación	Convencional	50,82 ± 1,89a	2,23 ± 1,42a	27,52 ± 5,10a	1628,77 ± 120,30a
Palenca	Rotación	Convencional	51,58 ± 0,17a	0,91 ± 0,20a	27,13 ± 1,42a	1017,05 ± 591,93a
Muchamiel	Rotación	Ecológico	48,24 ± 0,87a	1,21 ± 0,16a	30,42 ± 3,42a	1984,51 ± 744,32a
Palenca	Rotación	Ecológico	51,60 ± 0,26a	1,05 ± 0,17a	28,63 ± 4,79a	1273,26 ± 520,28a
Muchamiel	No rotación	Convencional	51,67 ± 1,85a	1,19 ± 0,28a	182,86 ± 144,07b	1671,32 ± 321,56a
Palenca	No rotación	Convencional	50,17 ± 0,21a	0,96 ± 0,0023a	112,86 ± 26,40a	1158,26 ± 94,44a
Muchamiel	No rotación	Convencional	50,54 ± 0,043a	0,96 ± 0,058a	59,52 ± 20,47a	1251,88 ± 372,96a
Palenca	No rotación	Convencional	50,96 ± 0,99a	0,80 ± 0,026a	22,78 ± 7,61a	682,10 ± 159,04a

(Promedio ± Desviación estándar) n=3; n=2; Grado de significancia:diferencias significativas (P<0,05); letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes según Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

**Tabla 19. CONTENIDO EN NUTRIENTES EN RAÍZ DE DOS VARIEDADES DE HABA EN MUESTREO FINAL**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	Ca (mg Kg <sup>-1</sup> )	Mg (mg Kg <sup>-1</sup> )	K (mg Kg <sup>-1</sup> )	Na (mg Kg <sup>-1</sup> )
Muchamiel	Rotación	Convencional	9388,80 ± 692,89b	1529,23 ± 76,86b	23570,90 ± 2133,64a	6273,98 ± 1400,22b
Palenca	Rotación	Convencional	5630,21 ± 158,85a	1039,07 ± 94,64a	14195,72 ± 6274,58 a	8666,99 ± 5042,26 b
Muchamiel	Rotación	Ecológico	10763,25 ± 1193,42a	1973,22 ± 320,76a	26348,46 ± 4201,37a	9084,28 ± 2037,08 b
Palenca	Rotación	Ecológico	8077,79 ± 2066,23a	1426,98 ± 302,40a	18031,05 ± 3360,42a	7367,82 ± 280,65 b
Muchamiel	No rotación	Convencional	9126,99 ± 49,57a	1661,62 ± 204,28a	21688,73 ± 2219,74a	7030,52 ± 1810,88b
Palenca	No rotación	Convencional	10565,08 ± 534,81a	1445,68 ± 91,72a	15647,55 ± 1605,28a	6331,42 ± 2046,73b
Muchamiel	No rotación	Convencional	8844,80 ± 1668,67a	1355,28 ± 254,23a	21175,52 ± 2266,59a	6215,26 ± 643,12b
Palenca	No rotación	Convencional	8602,74 ± 1215,20a	1371,86 ± 68,45a	15795,41 ± 2416,04a	7100,28 ± 918,33b

(Promedio ± Desviación estándar) n=3; n=2; Grado de significancia:diferencias significativas (P<0,05); letra s diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes según Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

**Tabla 20. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL SUELO EN MUESTREO INICIAL DE CAUPÍ**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	Nitrógeno total (g kg <sup>-1</sup> )	Amonio (mg Kg <sup>-1</sup> )	Nitrato (mg Kg <sup>-1</sup> )
Hilo Negro	Rotación	Convencional	1,52 ± 0,11b	10,26 ± 1,37a	160 ± 239,90 a
Hilo Claro	Rotación	Convencional	1,57 ± 0,16b	9,85 ± 2,04a	148 ± 177,57 a
Hilo Negro	Rotación	Ecológico	1,36 ± 0,065b	8,05 ± 1,53a	49,33 ± 35,39 a
Hilo Claro	Rotación	Ecológico	1,06 ± 0,11a	7,99 ± 0,29a	59,33 ± 17,47 a
Hilo Negro	No Rotación	Convencional	0,97 ± 0,0055a	10,71 ± 0,29a	36,33 ± 17,78 a
Hilo Claro	No Rotación	Convencional	0,92 ± 0,082a	12,13 ± 0,87a	36 ± 19,07a
Algodón	No Rotación	Convencional	1,07 ± 0,22a	8,41 ± 1,47a	30,33 ± 4,16 a

(Promedio ± Desviación estándar) n=3; Grado de significancia: diferencias significativas (P<0,05); letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes según Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

**Tabla 21. ACTIVIDADES ENZIMÁTICAS DEL SUELO EN EL MUESTREO FINAL DE CAUPÍ**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	Glucosidasa ( $\mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$ )	Glucosaminidasa ( $\mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$ )	Arilesterasa ( $\mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$ )	Deshidrogenasa ( $\mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$ )	Celulasa ( $\mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$ )	Agregados (%)
Hilo Negro	Rotación	Convencional	0,52 ± 0,100 a	0,22 ± 0,12 a	698,6 ± 166,59 a	0,86 ± 0,14 a	0,023 ± 0,017 a	21,68 ± 8,86 a
Hilo Claro	Rotación	Convencional	0,36 ± 0,08 a	0,17 ± 0,05 a	839,2 ± 199,80 a	0,78 ± 0,043 a	0,030 ± 0,023 a	16,71 ± 10,19 a
Hilo Negro	Rotación	Ecológico	0,28 ± 0,03 a	0,24 ± 0,10 a	844,5 ± 303,49 a	0,79 ± 0,22 a	0,023 ± 0,011 a	14,68 ± 4,80 a
Hilo Claro	Rotación	Ecológico	0,41 ± 0,03 a	0,21 ± 0,014 a	566,6 ± 203,52 a	0,97 ± 0,27 a	0,022 ± 0,011 a	14,69 ± 6,94 a
Hilo Negro	Rotación	Convencional	0,35 ± 0,0021 a	0,25 ± 0,087 a	85 ± 65,53 a	0,84 ± 0,60 a	0,016 ± 0,0029 a	10,60 ± 3,88 a

(Promedio ± Desviación estándar) n=3; n=2; Grado de significancia: diferencias significativas (P<0,05); letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes según Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

**Tabla 22. ACTIVIDADES ENZIMÁTICAS DEL SUELO EN EL MUESTREO FINAL DE CAUPÍ**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	Glucosidasa ( $\mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$ )	Glucosaminidasa ( $\mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$ )	Arilesterasa ( $\mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$ )	Deshidrogenasa ( $\mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$ )	Celulasa ( $\mu\text{mol g}^{-1}\text{h}^{-1}$ )	Agregados (%)
Melón	Rotación	Convencional	0,29 ± 0,084 a	0,00 ± 0,089 a	719,5 ± 506,71 a	1,86 ± 1,36 a	0,006 ± 0,003 a	17,91 ± 12,14 a
Hilo Negro	Rotación	Ecológico	0,18 ± 0,10 a	0,12 ± 0,068 a	368,5 ± 473,94 a	0,74 ± 0,59 a	0,009 ± 0,0025 a	24,36 ± 0,77 a
Hilo Claro	Rotación	Ecológico	0,45 ± 0,26 a	0,21 ± 0,0527 a	466,7 ± 105,51 a	0,55 ± 0,50 a	0,003 ± 0,0008 a	19,61 ± 1,17 a
Melón	Rotación	Ecológico	0,26 ± 0,063 a	0,17 ± 0,044 a	621,2 ± 471,52 a	0,33 ± 0,11 a	0,017 ± 0,006 a	35,61 ± 7,34 a
Hilo Claro	Rotación	Convencional	0,31 ± 0,21 a	0,11 ± 0,116 a	57,2 ± 31,38 a	0,48 ± 0,26 a	0,019 ± 0,0029 a	20,19 ± 8,73 a

(Promedio ± Desviación estándar) n=3; n=2; Grado de significancia: diferencias significativas ( $P < 0,05$ ); letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes según Tukey ( $\alpha = 0,05$ ).

**Tabla 23. PRINCIPALES PROPIEDADES DEL SUELO EN MUESTREO FINAL DE CAUPÍ**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	pH	CE ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	CO ( $\text{g Kg}^{-1}$ )	Nitrógeno total ( $\text{g Kg}^{-1}$ )	Amonio ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )	Nitrato ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )
Hilo Negro	Rotación	Convencional	8,2 ± 0,05 a	384,66 ± 44,00 a	13,89 ± 3,89 a	1,06 ± 0,03 a	6,35 ± 0,74 a	57,67 ± 13,42 a
Hilo Claro	Rotación	Convencional	8,2 ± 0,06 a	390,33 ± 17,21 a	15,93 ± 8,14 a	1,14 ± 0,06 a	8,82 ± 5,35 a	63,67 ± 16,80 a
Hilo Negro	Rotación	Ecológico	8,23 ± 0,03 a	459 ± 54,99 a	11,60 ± 0,91 a	0,82 ± 0,02 a	11,18 ± 2,77 a	71,66 ± 47,96 a
Hilo Claro	Rotación	Ecológico	8,2 ± 0,05 a	406,66 ± 75,29 a	12,60 ± 1,005 a	0,85 ± 0,09 a	7,51 ± 0,48 a	116 ± 68,43 a
Hilo Negro	Rotación	Convencional	8,265 ± 0,06 a	384 ± 127,27 a	13,14 ± 0,42 a	1,00 ± 0,05 a	6,06 ± 1,72 a	55,5 ± 9,19 a
Melón	Rotación	Convencional	8,33 ± 0,05 a	329,33 ± 133,102 a	13,43 ± 1,73 a	1,00 ± 0,13 a	7,61 ± 1,11 a	29,66 ± 5,03 a
Hilo Negro	Rotación	Ecológico	8,27 ± 0,05 a	302 ± 2,82 a	11,90 ± 1,07 a	0,98 ± 0,11 a	7,74 ± 2,03 a	72,5 ± 74,24 a
Hilo Claro	Rotación	Ecológico	8,21 ± 0,13 a	532,5 ± 242,53 a	11,87 ± 1,05 a	0,84 ± 0,16 a	5,84 ± 0,34 a	98,5 ± 36,06 a
Melón	Rotación	Ecológico	8,26 ± 0,01 a	344,33 ± 45,54 a	12,53 ± 0,54 a	0,98 ± 0,06 a	5,74 ± 0,62 a	55,33 ± 9,86 a
Hilo Claro	Rotación	Convencional	8,28 ± 0,014 a	331,5 ± 28,99 a	18,12 ± 6,77 a	0,90 ± 0,29 a	5,82 ± 0,68 a	25 ± 5,65 a

(Promedio ± Desviación estándar) n=3; n=2; Grado de significancia: diferencias significativas ( $P < 0,05$ ); letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes según Tukey ( $\alpha = 0,05$ ).

**Tabla 24. PRINCIPALES PROPIEDADES DEL SUELO EN MUESTREO FINAL DE CAUPÍ**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	P (mg Kg <sup>-1</sup> )	B (mg Kg <sup>-1</sup> )	Ca (mg Kg <sup>-1</sup> )	Mg (mg Kg <sup>-1</sup> )	K (mg Kg <sup>-1</sup> )	Na (mg Kg <sup>-1</sup> )
Hilo Negro	Rotación	Convencional	25,04 ± 4,37 a	1,88 ± 0,06 b	6472 ± 1159 a	1514 ± 291 a	927 ± 79,02 a	663 ± 64,16 a
Hilo Claro	Rotación	Convencional	22,36 ± 5,88 a	1,83 ± 0,01 b	5556 ± 365 a	1223 ± 104 a	861 ± 31,51 a	506 ± 101,36 a
Hilo Negro	Rotación	Ecológico	19,66 ± 1,54 a	1,70 ± 0,09 b	5308 ± 112 a	1185 ± 70 a	698 ± 145,61 a	635 ± 24,27 a
Hilo Claro	Rotación	Ecológico	15,83 ± 3,24 a	1,73 ± 0,11 b	5396 ± 923 a	1141 ± 133 a	792 ± 168,59 a	569 ± 67,40 a
Hilo Negro	Rotación	Convencional	21,28 ± 1,04 a	1,33 ± 0,09 a	6118 ± 409 b	1389 ± 160 a	692 ± 21,45 a	524 ± 87,21 a
Melón	Rotación	Convencional	28,13 ± 2,38 b	1,44 ± 0,18 a	5364 ± 189 a	1160 ± 86 a	738 ± 186,92 a	463 ± 143,14 a
Hilo Negro	Rotación	Ecológico	22,21 ± 0,97 a	1,04 ± 0,44 a	5665 ± 927 a	1270 ± 191 a	774 ± 26,79 a	440 ± 24,82 a
Hilo Claro	Rotación	Ecológico	27,43 ± 4,70 b	1,28 ± 0,09 a	5818 ± 982 a	1347 ± 234 a	768 ± 124,78 a	576 ± 182,05 a
Melón	Rotación	Ecológico	23,20 ± 1,24 a	1,17 ± 0,27 a	5843 ± 866 a	1277 ± 172 a	712 ± 132,13 a	484 ± 44,38 a
Hilo Claro	Rotación	Convencional	23,65 ± 4,03 a	1,30 ± 0,18 a	5588 ± 190 a	1236 ± 38 a	631 ± 33,11 a	447 ± 23,58 a

(Promedio ± Desviación estándar) n=3; n=2; Grado de significancia: diferencias significativas (P<0,05); letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes según Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

**Tabla 25. CARBONO ORGÁNICO Y CONTENIDO EN NUTRIENTES EN SEMILLAS DE DOS VARIEDADES DE CAUPÍ EN MUESTREO INTERMEDIO**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	CO (%)	Nitrógeno (%)	B (mg Kg <sup>-1</sup> )	P (mg Kg <sup>-1</sup> )
Hilo Negro	Rotación	Convencional	53,08 ± 0,067a	3,10 ± 0,094b	112,08 ± 24,94a	11055 ± 1072,64b
Hilo Claro	Rotación	Convencional	53,82 ± 0,11b	2,71 ± 0,21b	110,63 ± 13,49a	10910 ± 1223,84 b
Hilo Negro	Rotación	Convencional	53,38 ± 0,11b	2,33 ± 0,090b	113,19 ± 23,76 a	10774 ± 1302,53b
Hilo Claro	Rotación	Ecológica	53,13 ± 0,14a	2,42 ± 0,25b	127,59 ± 18,44a	11823 ± 1172,08b
Hilo Claro	No Rotación	Convencional	53,12 ± 0,24a	2,59 ± 0,005b	86,71 ± 34,48a	12666 ± 1283,06 b

(Promedio ± Desviación estándar) n=3; n=2; Grado de significancia:diferencias significativas (P<0,05); letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes según Tukey (α=0,05).

**Tabla 26. CONTENIDO EN NUTRIENTES EN SEMILLAS DE DOS VARIEDADES DE CAUPÍ EN MUESTREO INTERMEDIO**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	Ca (mg Kg <sup>-1</sup> )	Mg (mg Kg <sup>-1</sup> )	K (mg Kg <sup>-1</sup> )	Na (mg Kg <sup>-1</sup> )
Hilo Negro	Rotación	Convencional	2915 ± 2394,16a	4083 ± 1190,17a	32889 ± 4123,60a	687 ± 20,39a
Hilo Claro	Rotación	Convencional	2803 ± 64,16a	4582 ± 606,84a	32378 ± 1917,090a	841 ± 234,17a
Hilo Negro	Rotación	Convencional	2558 ± 211,23a	4094 ± 750,99a	31429 ± 5960,82a	583 ± 106,30a
Hilo Claro	Rotación	Ecológica	2913 ± 478,75a	4480 ± 203,36a	34782 ± 4234,80 a	531 ± 78,95a
Hilo Claro	No Rotación	Convencional	2695 ± 311,059a	4157 ± 146,61a	33376 ± 1761,99 a	613 ± 69,73a

(Promedio ± Desviación estándar) n=3; n=2; Grado de significancia:diferencias significativas (P<0,05); letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes según Tukey (α=0,05).

**Tabla 27. CARBONO ORGÁNICO Y CONTENIDO EN NUTRIENTES EN PARTE AÉREA DE DOS VARIEDADES DE CAUPÍ EN MUESTREO INTERMEDIO**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	CO (%)	Nitrógeno (%)	B (mg Kg <sup>-1</sup> )	P (mg Kg <sup>-1</sup> )
Hilo Negro	Rotación	Convencional	47,69 ± 1,65a	1,51 ± 0,46b	181,12 ± 22,05 b	9544 ± 1514,39a
Hilo Claro	Rotación	Convencional	47,67 ± 0,79a	1 ± 0,72 a	155,82 ± 13,53b	8047 ± 1848,45b
Hilo Negro	Rotación	Ecológico	49,51 ± 2,58a	1,60 ± 0,29a	203,66 ± 40,92b	9499 ± 382,31b
Hilo Claro	Rotación	Ecológico	48,22 ± 2,98a	1,85 ± 0,46a	196,82 ± 21,33b	12074 ± 907b
Hilo Negro	No Rotación	Convencional	49,31 ± 1,14a	1,99 ± 0,34a	159,24 ± 12,32 b	9785 ± 320 b
Hilo Claro	No Rotación	Convencional	47,18 ± 0,93a	1,69 ± 0,27a	131,23 ± 21,70a	10004 ± 939 b
Algodón	Rotación	Convencional	48,28 ± 0,71a	1,88 ± 0,14a	96,02 ± 11,59a	8628 ± 1697b

(Promedio ± Desviación estándar) n=3; Grado de significancia:diferencias significativas (P<0,05); letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes según Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

**Tabla 28. CONTENIDO EN NUTRIENTES EN PARTE AÉREA DE DOS VARIEDADES DE CAUPÍ EN MUESTREO INTERMEDIO**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	Ca (mg Kg <sup>-1</sup> )	Mg (mg Kg <sup>-1</sup> )	K (mg Kg <sup>-1</sup> )	Na (mg Kg <sup>-1</sup> )
Hilo Negro	Rotación	Convencional	49107 ± 17104a	13222 ± 3500b	61140 ± 6792,24b	1072 ± 198,24a
Hilo Claro	Rotación	Convencional	51897 ± 6153b	13583 ± 804b	66622 ± 7895,00b	1139 ± 415,87a
Hilo Negro	Rotación	Ecológico	43878 ± 127a	11614 ± 714b	58733 ± 2871,09b	1005 ± 154,18 a
Hilo Claro	Rotación	Ecológico	47637 ± 10990a	11921 ± 1707b	73660 ± 7861,64b	1203 ± 305,28a
Hilo Negro	No Rotación	Convencional	49381 ± 8501a	11739 ± 1359b	62846 ± 9687,85b	1140 ± 328,83 a
Hilo Claro	No Rotación	Convencional	49836 ± 10198 a	13493 ± 1890b	67520 ± 10880,18b	964 ± 26,73a
Algodón	Rotación	Convencional	51505 ± 6231b	8542 ± 1624a	60878 ± 560,22b	754 ± 91,50a

(Promedio ± Desviación estándar) n=3; Grado de significancia:diferencias significativas (P<0,05); letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes según Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

**Tabla 29. CARBONO ORGÁNICO Y CONTENIDO EN NUTRIENTES EN RAÍZ DE DOS VARIEDADES DE CAUPÍ EN MUESTREO INTERMEDIO**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	CO (%)	Nitrógeno (%)	B (mg Kg <sup>-1</sup> )	P (mg Kg <sup>-1</sup> )
Hilo Negro	Rotación	Convencional	51,86 ± 0,44a	0,57 ± 0,07a	47,82 ± 1,33a	2109 ± 37,61 a
Hilo Claro	Rotación	Convencional	52,38 ± 0,75a	0,62 ± 0,13a	47,71 ± 3,83 a	2618 ± 436,38a
Hilo Negro	Rotación	Ecológico	52,14 ± 0,87a	0,63 ± 0,018a	51,04 ± 3,85a	2151 ± 173,92 a
Hilo Claro	Rotación	Ecológico	50,66 ± 0,38a	0,69 ± 0,12a	60,07 ± 2,68a	3482 ± 674,65a
Hilo Negro	No Rotación	Convencional	50,65 ± 0,66a	0,85 ± 0,10a	56,01 ± 8,97a	3357 ± 222,55 a
Hilo Claro	No Rotación	Convencional	50,00 ± 1,58a	0,82 ± 0,14a	76,34 ± 3,21a	3891 ± 1447,04a
Algodón	Rotación	Convencional	52,28 ± 0,60a	0,59 ± 0,08a	64,80 ± 6,51 a	2580 ± 673,39a

(Promedio ± Desviación estándar) n=3; Grado de significancia:diferencias significativas (P<0,05); letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes según Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

**Tabla 30. CONTENIDO EN NUTRIENTES EN RAÍZ DE DOS VARIEDADES DE CAUPÍ EN MUESTREO INTERMEDIO**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	Ca (mg Kg <sup>-1</sup> )	Mg (mg Kg <sup>-1</sup> )	K (mg Kg <sup>-1</sup> )	Na (mg Kg <sup>-1</sup> )
Hilo Negro	Rotación	Convencional	8925 ± 1101 a	4743 ± 598a	42030 ± 4185,12a	5745 ± 486,02b
Hilo Claro	Rotación	Convencional	7024 ± 430a	5807 ± 253a	40660 ± 3903,84 a	4740 ± 228,41b
Hilo Negro	Rotación	Ecológico	6792 ± 914a	4333 ± 810a	43463 ± 3092,54a	7672 ± 482,58b
Hilo Claro	Rotación	Ecológico	9867 ± 3002a	4755 ± 1027a	41581 ± 3288,27a	6146 ± 626,02 b
Hilo Negro	No Rotación	Convencional	11694 ± 1344a	4242 ± 1371a	45399 ± 4949,63 a	8281 ± 1450,56b
Hilo Claro	No Rotación	Convencional	7060 ± 5909a	5454 ± 465a	38789 ± 7981,77 a	6335 ± 3234,00b
Algodón	Rotación	Convencional	6882 ± 892a	4497 ± 387a	33051 ± 12609,12 a	1692 ± 657,97b

(Promedio ± Desviación estándar) n=3; Grado de significancia:diferencias significativas (P<0,05); letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes según Tukey ( $\alpha=0,05$ )



**Tabla 30. CARBONO ORGÁNICO Y CONTENIDO EN NUTRIENTES EN SEMILLAS DE DOS VARIEDADES DE CAUPÍ EN MUESTREO FINAL**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	CO (%)	Nitrógeno (%)	B (mg Kg <sup>-1</sup> )	P (mg Kg <sup>-1</sup> )
Hilo Negro	Rotación	Convencional	53,54 ± 0,86b	3,12 ± 0,30b	74,44 ± 2,63a	11209 ± 1264,01 b
Hilo Claro	Rotación	Convencional	53,34 ± 0,56b	3,22 ± 0,091b	63,45 ± 9,70a	10225 ± 1174,98b
Hilo Negro	Rotación	Ecológico	53,28 ± 0,218b	3,82 ± 0,57b	47,80 ± 6,25a	10911 ± 1783,94b
Hilo Claro	Rotación	Ecológico	53,87 ± 0,66b	3,45 0,15b	48,02 ± 7,14 a	11736 ± 2724,21b

(Promedio ± Desviación estándar) n=3; Grado de significancia:diferencias significativas (P<0,05);letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes según Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

**Tabla 31. CONTENIDO EN NUTRIENTES EN SEMILLAS DE DOS VARIEDADES DE CAUPÍ EN MUESTREO FINAL**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	Ca (mg Kg <sup>-1</sup> )	Mg (mg Kg <sup>-1</sup> )	K (mg Kg <sup>-1</sup> )	Na (mg Kg <sup>-1</sup> )
Hilo Negro	Rotación	Convencional	2205 ± 397a	3889 ± 458a	28303 ± 2575,71 a	539 ± 102,50a
Hilo Claro	Rotación	Convencional	2111 ± 87a	3906 ± 346a	28321 ± 2832,67 a	574 ± 36,33 a
Hilo Negro	Rotación	Ecológico	3069 ± 643 a	4576 ± 745a	32436 ± 5906,22a	690 ± 92,70a
Hilo Claro	Rotación	Ecológico	2835 ± 110a	4822 ± 311a	32963 ± 3009,34a	801 ± 298,70a

(Promedio ± Desviación estándar) n=3; Grado de significancia:diferencias significativas (P<0,05); letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes según Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

**Tabla 32. CARBONO ORGÁNICO Y CONTENIDO EN NUTRIENTES EN PARTE AÉREA DE DOS VARIEDADES DE CAUPÍ EN MUESTREO FINAL**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	CO (%)	Nitrógeno (%)	B (mg Kg <sup>-1</sup> )	P (mg Kg <sup>-1</sup> )
Hilo Negro	Rotación	Convencional	49,35 ± 1,18a	1,89 ± 0,23a	146,97 ± 53,03b	7606 ± 1580,14a
Hilo Claro	Rotación	Convencional	49,46 ± 0,29a	1,66 ± 0,54a	134,16 ± 12,57a	71110 ± 641,56a
Hilo Negro	Rotación	Ecológico	51,25 ± 0,35a	2,23 ± 0,18a	122,01 ± 28,96a	5680 ± 891,34a
Hilo Claro	Rotación	Ecológico	51,67 ± 2,32a	1,62 ± 0,23a	119,81 ± 15,82a	6401 ± 1266,66a

(Promedio ± Desviación estándar) n=3; Grado de significancia: diferencias significativas (P<0,05); letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes según Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

**Tabla 33. CONTENIDO EN NUTRIENTES EN PARTE AÉREA DE DOS VARIEDADES DE CAUPÍ EN MUESTREO FINAL**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	Ca (mg Kg <sup>-1</sup> )	Mg (mg Kg <sup>-1</sup> )	K (mg Kg <sup>-1</sup> )	Na (mg Kg <sup>-1</sup> )
Hilo Negro	Rotación	Convencional	52617 ± 14216b	13192 ± 3696b	37504 ± 5063,61a	893 ± 89,50a
Hilo Claro	Rotación	Convencional	52060 ± 6814b	11651 ± 1547b	37373 ± 9812,37a	854 ± 108,56 a
Hilo Negro	Rotación	Ecológico	48108 ± 18559 a	10812 ± 596b	36357 ± 3908,23 a	884 ± 99,34 a
Hilo Claro	Rotación	Ecológico	48987 ± 5240a	10249 ± 1116b	35769 ± 4581,59 a	925 ± 219,23a

(Promedio ± Desviación estándar) n=3; Grado de significancia: diferencias significativas (P<0,05); letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes según Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

**Tabla 34. CARBONO ORGÁNICO Y CONTENIDO EN NUTRIENTES EN RAÍZ DE DOS VARIEDADES DE CAUPÍ EN MUESTREO FINAL**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	CO (%)	Nitrógeno (%)	B (mg Kg <sup>-1</sup> )	P (mg Kg <sup>-1</sup> )
Hilo Negro	Rotación	Convencional	50,42 ± 2,23a	0,67 ± 0,10 a	68,28 ± 7,98a	3192 ± 306,03a
Hilo Claro	Rotación	Convencional	50,79 ± 1,66a	1,02 ± 0,57a	70,97 ± 17,65a	4575 ± 2115,90a
Hilo Negro	Rotación	Ecológico	46,89 ± 0,55 a	1,28 ± 0,41a	68,59 ± 7,03a	5212 ± 1788,71a
Hilo Claro	Rotación	Ecológico	50,39 ± 1,13 a	0,80 ± 0,59a	60,19 ± 10,78a	4289 ± 1268,77a

(Promedio ± Desviación estándar) n=3; n=2; Grado de significancia: diferencias significativas (P<0,05); letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes según Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

**Tabla 35. CONTENIDO EN NUTRIENTES EN RAÍZ DE DOS VARIEDADES DE CAUPÍ EN MUESTREO FINAL**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	Ca (mg Kg <sup>-1</sup> )	Mg (mg Kg <sup>-1</sup> )	K (mg Kg <sup>-1</sup> )	Na (mg Kg <sup>-1</sup> )
Hilo Negro	Rotación	Convencional	22315 ± 2233a	8824 ± 786 a	37336 ± 482,23a	3929 ± 806,12a
Hilo Claro	Rotación	Convencional	17685 ± 5931a	8651 ± 3005a	34675 ± 7171,79a	4358 ± 2349,57a
Hilo Negro	Rotación	Ecológico	29758 ± 2608a	8197 ± 1021a	35835 ± 12012,85 a	5830 ± 2892,96b
Hilo Claro	Rotación	Ecológico	19641 ± 3421a	8571 ± 2246a	33712 ± 8934,99 a	4248 ± 1584,62b

(Promedio ± Desviación estándar) n=3; n=2; Grado de significancia: diferencias significativas (P<0,05); letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes según Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

**Tabla 36. CULTIVO DE MELÓN EN ROTACIÓN CON CULTIVO DE HABA**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	pH	CE ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	CO ( $\text{g Kg}^{-1}$ )	Nitrógeno total ( $\text{g Kg}^{-1}$ )	Amonio ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )	Nitrato ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )
Hilo Negro	Rotación	Convencional	8,265 ± 0,06a	384 ± 127,27a	13,14 ± 0,42 a	1,00 ± 0,05a	6,06 ± 1,72a	55,5 ± 9,19 a
Hilo Claro	Rotación	Convencional	8,28 ± 0,014a	331,5 ± 28,99a	18,12 ± 6,77a	0,90 ± 0,29a	5,82 ± 0,68a	25 ± 5,65 a
Melón	Rotación	Convencional	8,33 ± 0,05a	329,33 ± 133,10 a	13,43 ± 1,73a	1,00 ± 0,13a	7,61 ± 1,11a	29,66 ± 5,03 a

(Promedio ± Desviación estándar) n=2; Grado de significancia: diferencias significativas ( $P < 0,05$ ); letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes, según Tukey ( $\alpha = 0,05$ ).

**Tabla 37. CULTIVO DE MELÓN EN ROTACIÓN CON CULTIVO DE HABA**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	P ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )	B ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )	Ca ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )	Mg ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )	K ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )	Na ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )
Hilo Negro	Rotación	Convencional	21,28 ± 1,04a	1,33 ± 0,09a	6118 ± 409 a	1389 ± 160a	692 ± 21,45a	524 ± 87,21a
Hilo Claro	Rotación	Convencional	23,65 ± 4,03a	1,30 ± 0,18a	5588 ± 190a	1236 ± 38a	631 ± 33,11a	447 ± 23,58 a
Melón	Rotación	Convencional	28,13 ± 2,38b	1,44 ± 0,18a	5364 ± 189a	1160 ± 86a	738 ± 186,92 a	463 ± 143,14a

(Promedio ± Desviación estándar) n=2; Grado de significancia: diferencias significativas ( $P < 0,05$ ); letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes, según Tukey ( $\alpha = 0,05$ ).

**Tabla 38. CULTIVO DE BRÓCOLI EN ROTACIÓN CON CULTIVO DE HABA**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	pH	CE ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	CO ( $\text{g kg}^{-1}$ )	Nitrógeno total ( $\text{g kg}^{-1}$ )	Amonio ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )	Nitrato ( $\text{mgkg}^{-1}$ )
Hilo Negro	Rotación	Ecológico	8,27 ± 0,05a	302 ± 2,82a	11,90 ± 1,07a	0,98 ± 0,11a	7,74 ± 2,03a	72,5 ± 74,24 a
Hilo Claro	Rotación	Ecológico	8,21 ± 0,13a	532,5 ± 242,53a	11,87 ± 1,05a	0,84 ± 0,16a	5,84 ± 0,34a	98,5 ± 36,06 a
Melón	Rotación	Ecológico	8,26 ± 0,01a	344,33 ± 45,54a	12,53 ± 0,54a	0,98 ± 0,06a	5,74 ± 0,62a	55,33 ± 9,86 a

(Promedio ± Desviación estándar) n=2; Grado de significancia: diferencias significativas ( $P < 0,05$ ); letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes, según Tukey ( $\alpha = 0,05$ ).

**Tabla 39. CULTIVO DE BRÓCOLI EN ROTACIÓN CON CULTIVO DE HABA**

VARIEDAD	SISTEMA CULTIVO	PRÁCTICA MANEJO	P ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )	B ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )	Ca ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )	Mg ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )	K ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )	Na ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )
Hilo Negro	Rotación	Ecológico	22,21 ± 0,97a	1,04 ± 0,44a	5665 ± 927a	1270 ± 191a	774 ± 26,79a	440 ± 24,82b
Hilo Claro	Rotación	Ecológico	27,43 ± 4,70a	1,28 ± 0,09a	5818 ± 982a	1347 ± 234a	768 ± 124,78a	576 ± 182,05b
Melón	Rotación	Ecológico	23,20 ± 1,24a	1,17 ± 0,27a	5843 ± 866a	1277 ± 172a	712 ± 132,13a	484 ± 44,38b

(Promedio ± Desviación estándar) n=2; Grado de significancia: diferencias significativas ( $P < 0,05$ ); letras diferentes indican grupos homogéneos significativamente diferentes, según Tukey ( $\alpha = 0,05$ ).

**Tabla 40. TRATAMIENTOS PARA MUESTRAS DE SUELO EN ROTACIÓN Y MONOCULTIVO CONVENCIONAL Y ECOLÓGICO EN CULTIVO DE HABA Y BRÓCOLI**

TRATAMIENTOS	VARIEDAD	SISTEMA DE CULTIVO	PRÁCTICA DE MANEJO
<b>BMSS</b>	Brócoli	Monocultivo	Sin Práctica de Manejo
<b>BRC</b>	Brócoli	Rotación	Convencional
<b>BRC</b>	Brócoli	Rotación	Convencional
<b>BRE</b>	Brócoli	Rotación	Ecológico
<b>BRE</b>	Brócoli	Rotación	Ecológico
<b>BMC</b>	Brócoli	Monocultivo	Convencional
<b>BME</b>	Brócoli	Monocultivo	Ecológico
<b>MRC</b>	Muchamiel	Rotación	Convencional
<b>PRC</b>	Palenca	Rotación	Convencional
<b>MRE</b>	Muchamiel	Rotación	Ecológico
<b>PRE</b>	Palenca	Rotación	Ecológica
<b>MMC</b>	Muchamiel	Monocultivo	Convencional
<b>PMC</b>	Palenca	Monocultivo	Convencional
<b>BMC</b>	Brócoli	Monocultivo	Convencional
<b>MMI</b>	Muchamiel	Monocultivo	Inoculado
<b>PMC</b>	Palenca	Monocultivo	Convencional

Variedades de Haba: Muchamiel y Palenca

**Tabla 41. TRATAMIENTOS PARA MUESTRAS DE PLANTAS DE HABA Y BRÓCOLI EN ROTACIÓN Y MONOCULTIVO EN CULTIVO CONVENCIONAL Y ECOLÓGICO**

TRATAMIENTOS	VARIEDAD	SISTEMA DE CULTIVO	PRÁCTICA DE MANEJO
MRC	Muchamiel	Rotación	Convencional
PRC	Palenca	Rotación	Convencional
MRE	Muchamiel	Rotación	Ecológica
PRE	Palenca	Rotación	Ecológica
MRC	Muchamiel	Rotación	Convencional
PRC	Palenca	Rotación	Convencional
MRE	Muchamiel	Rotación	Ecológica
PRE	Palenca	Rotación	Ecológica
BRC	Brócoli	Rotación	Convencional
BRC	Brócoli	Rotación	Convencional
BMC	Brócoli	Monocultivo	Convencional
BRE	Brócoli	Rotación	Ecológica
BRE	Brócoli	Rotación	Ecológica
BME	Brócoli	Monocultivo	Ecológica
MRC	Muchamiel	Rotación	Convencional
PRC	Palenca	Rotación	Convencional
MRE	Muchamiel	Rotación	Ecológica
MRE	Muchamiel	Rotación	Ecológica
MRC	Muchamiel	Rotación	Convencional
PRC	Palenca	Rotación	Convencional
MRE	Muchamiel	Rotación	Ecológica
PRE	Palenca	Rotación	Ecológica
MMC	Muchamiel	Monocultivo	Convencional
PMC	Palenca	Monocultivo	Convencional
MMI	Muchamiel	Monocultivo	Inoculado
PMI	Palenca	Monocultivo	Inoculado
MRC	Muchamiel	Rotación	Convencional
PRC	Palenca	Rotación	Convencional
PRC	Palenca	Rotación	Convencional
MRE	Muchamiel	Rotación	Ecológica
PRE	Palenca	Rotación	Ecológica
MMC	Muchamiel	Monocultivo	Convencional
PMC	Palenca	Monocultivo	Convencional
MMI	Muchamiel	Monocultivo	Inoculado
PMI	Palenca	Monocultivo	Inoculado
BMC	Brócoli	Monocultivo	Convencional
MRC	Muchamiel	Rotación	Convencional
PRC	Palenca	Rotación	Convencional
MRE	Muchamiel	Rotación	Ecológica
PME	Palenca	Monocultivo	Ecológica
MMC	Muchamiel	Monocultivo	Convencional
PMC	Palenca	Monocultivo	Convencional
MMI	Muchamiel	Monocultivo	Inoculado

Variedades de Haba: Muchamiel y Palenca

**Tabla 42. TRATAMIENTOS PARA MUESTRAS DE SUELO EN ROTACIÓN Y MONOCULTIVO CONVENCIONAL Y ECOLÓGICO EN CULTIVO DE CAUPÍ Y ALGODÓN**

TRATAMIENTOS	VARIEDAD	SISTEMA DE CULTIVO	PRÁCTICA DE MANEJO
HNRC	Hilo Negro	Rotación	Convencional
HCRC	Hilo Claro	Rotación	Convencional
HNRE	Hilo Negro	Rotación	Ecológica
HCRE	Hilo Claro	Rotación	Ecológica
HNMC	Hilo Negro	Monocultivo	Convencional
HCRC	Hilo Claro	Rotación	Convencional
AMC	Algodón	Monocultivo	Convencional
HNRC	Hilo Negro	Rotación	Convencional
HCRC	Hilo Claro	Rotación	Convencional
HNRE	Hilo Negro	Rotación	Ecológica
HCRE	Hilo Claro	Rotación	Ecológica
HNRC	Hilo Negro	Rotación	Convencional
HNMC	Hilo Negro	Monocultivo	Convencional
HNRE	Hilo Negro	Rotación	Ecológica
HCRE	Hilo Claro	Rotación	Ecológica
HNRE	Hilo Negro	Rotación	Ecológica
HCRC	Hilo Claro	Rotación	Convencional

Variedades de Caupí: Hilo Negro e Hilo Claro



**Tabla 43. TRATAMIENTOS PARA MUESTRAS DE PLANTAS DE CAUPÍ Y ALGODÓN EN ROTACIÓN Y MONOCULTIVO EN CULTIVO CONVENCIONAL Y ECOLÓGICO**

TRATAMIENTOS	VARIEDAD	SISTEMA DE CULTIVO	PRÁCTICA DE MANEJO
HNRC	Hilo Negro	Rotación	Convencional
HCRC	Hilo Claro	Rotación	Convencional
HNRE	Hilo Negro	Rotación	Ecológica
HCRE	Hilo Claro	Rotación	Ecológica
HCME	Hilo Claro	Monocultivo	Ecológica
HNRC	Hilo Negro	Rotación	Convencional
HCRC	Hilo Claro	Rotación	Convencional
HNRE	Hilo Negro	Rotación	Ecológica
HCRE	Hilo Claro	Rotación	Ecológica
HNMC	Hilo Negro	Monocultivo	Convencional
HCMC	Hilo Claro	Monocultivo	Convencional
AMC	Algodón	Monocultivo	Convencional
HNRC	Hilo Negro	Rotación	Convencional
HCRC	Hilo Claro	Rotación	Convencional
HNRE	Hilo Negro	Rotación	Ecológica
HCRE	Hilo Claro	Rotación	Ecológica
HNMC	Hilo Negro	Monocultivo	Convencional
HCMC	Hilo Claro	Monocultivo	Convencional
AMC	Algodón	Monocultivo	Convencional
HNRC	Hilo Negro	Rotación	Convencional
HCRC	Hilo Claro	Rotación	Convencional
HNRE	Hilo Negro	Rotación	Ecológica
HCRE	Hilo Claro	Rotación	Ecológica
HNRC	Hilo Negro	Rotación	Convencional
HCRC	Hilo Claro	Rotación	Convencional
HNRE	Hilo Negro	Rotación	Ecológica
HCRE	Hilo Claro	Rotación	Ecológica
HNRC	Hilo Negro	Rotación	Convencional
HCRC	Hilo Claro	Rotación	Convencional
HNRE	Hilo Negro	Rotación	Ecológica
HCRE	Hilo Claro	Rotación	Ecológica
HNMC	Hilo Negro	Monocultivo	Convencional
HCMC	Hilo Claro	Monocultivo	Convencional
HNRC	Hilo Negro	Rotación	Convencional
HCMC	Hilo Claro	Monocultivo	Convencional

Variedades de Caupí: Hilo Negro e Hilo Claro