



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

**“EVALUACIÓN DE CACHAZA FRESCA Y DESCOMPUESTA COMO
ABONO ORGÁNICO EN EL RENDIMIENTO DE ARVEJA (*Pisum sativum* L.)
VARIEDAD PIQUINEGRA, EN LA GRANJA EXPERIMENTAL “LA
PRADERA””**

Trabajo de grado previa a la obtención del Título de Ingeniera Agropecuaria

AUTORA:

MARÍA JOSÉ VEGA ARELLANO

DIRECTOR:

Ing. MIGUEL ALEJANDRO GÓMEZ CABEZAS MSc.

Ibarra, 2020

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN

CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

ESCUELA DE INGENIERIA AGROPECUARIA

**“EVALUACIÓN DE CACHAZA FRESCA Y DESCOMPUESTA COMO
ABONO ORGÁNICO EN EL RENDIMIENTO DE ARVEJA (*Pisum sativum* L.)
VARIEDAD PIQUINEGRA, EN LA GRANJA EXPERIMENTAL “LA
PRADERA””**

Trabajo de grado revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su presentación
como requisito parcial para obtener Título de:

INGENIERIA AGROPECUARIA

APROBADO:

Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas MSc

DIRECTOR



FIRMA

Ing. Luis Marcelo Albuja Illescas Msc.

MIEMBRO TRIBUNAL



FIRMA

Ing. Jefferson Vladimir Andrade Villareal MSc.

MIEMBRO TRIBUNAL



FIRMA

Ing. José Raúl Guzmán Paz MSc.

MIEMBRO TRIBUNAL



FIRMA



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

| DATOS DE CONTACTO | | | |
|----------------------|------------------------------|-----------------|------------|
| CÉDULA DE IDENTIDAD: | 100484492-2 | | |
| APELLIDOS Y NOMBRES: | Vega Arellano María José | | |
| DIRECCIÓN: | Panamericana Sur y Yanahurco | | |
| EMAIL: | majitovega13@gmail.com | | |
| TELÉFONO FIJO: | - | TELÉFONO MÓVIL: | 0997156386 |

| DATOS DE LA OBRA | |
|-----------------------------|--|
| TÍTULO: | “EVALUACIÓN DE CACHAZA FRESCA Y DESCOMPUESTA COMO ABONO ORGÁNICO EN EL RENDIMIENTO DE ARVEJA (<i>Pisum sativum</i> L.) VARIEDAD PIQUINEGRA, EN LA GRANJA EXPERIMENTAL “LA PRADERA”” |
| AUTOR: | María José Vega Arellano |
| FECHA: | 14 de enero de 2020 |
| SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO | |
| PROGRAMA: | <input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO |
| TÍTULO POR EL QUE OPTA: | Ingeniería Agropecuaria |
| ASESOR /DIRECTOR: | Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas MSc. |

2. CONSTANCIAS

La autora manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es la titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 14 días del mes de enero de 2020

LA AUTORA



María José Vega Arellano

C.I.: 100484492-2

ACEPTACIÓN

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Manifiesto que la presente obra es original y se la desarrolló sin violar derechos de autores terceros, por lo tanto, es original y que soy el titular de los derechos patrimoniales; por lo que asumo la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldré en defensa de la Universidad Técnica del Norte en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 14 días del mes de enero de 2020



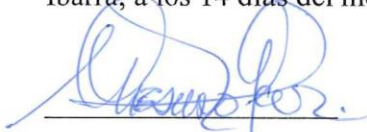
Firma

María José Vega Arellano

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por la Srta. María José Vega Arellano, bajo mi supervisión.

Ibarra, a los 14 días del mes de enero de 2020

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Miguel Alejandro Gómez Cabezas', written over a horizontal line.

Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas MSc

DIRECTOR DE TESIS

**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A
FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, María José Vega Arellano, con cédula de identidad Nro. 100484492-2., manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado: [título], que ha sido desarrollado para optar por el título de: **“EVALUACIÓN DE CACHAZA FRESCA Y DESCOMPUESTA COMO ABONO ORGÁNICO EN EL RENDIMIENTO DE ARVEJA (*Pisum sativum* L.) VARIEDAD PIQUINEGRA, EN LA GRANJA EXPERIMENTAL “LA PRADERA”**” en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 14 días del mes de enero de 2020



Firma

María José Vega Arellano

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA-UTN

Fecha: Ibarra, a los 14 días del mes de enero del 2020

Nombres y Apellidos: “EVALUACIÓN DE CACHAZA FRESCA Y DESCOMPUESTA COMO ABONO ORGÁNICO EN EL RENDIMIENTO DE ARVEJA (*Pisum sativum* L.) VARIEDAD PIQUINEGRA, EN LA GRANJA EXPERIMENTAL “LA PRADERA””
/Trabajo de titulación. Ingeniera Agropecuaria.

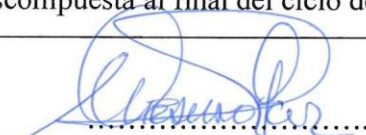
Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Ibarra, a los 14 días del mes de enero del 2020. 89 páginas.

DIRECTOR:

El objetivo principal de la presente investigación fue: Evaluar el efecto de diferentes dosis de cachaza fresca y descompuesta como enmienda orgánica en el contenido de nitrógeno en el suelo, así como en el rendimiento de arveja (*Pisum sativum* L.) variedad piquinegra.

Entre los objetivos específicos se encuentran:

1. Evaluar el efecto de la cachaza sobre las características morfológicas del cultivo de arveja.
2. Evaluar la concentración de nitrógeno en las hojas de arveja durante la etapa de pre-floración.
3. Determinar la dosis de fertilización óptima de cachaza fresca y descompuesta en el rendimiento en grano y biomasa del cultivo de arveja.
4. Determinar la cantidad de nitrógeno disponible en el suelo luego de la aplicación de cachaza fresca y descompuesta al final del ciclo del cultivo.


.....
Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas MSc.
Director de Trabajo de Grado


.....
María José Vega Arellano

Autora

AGRADECIMIENTO

Eres una mujer que simplemente me hace llenar de orgullo, te amo y no va a haber manera de devolverte tanto que me has ofrecido desde que incluso no hubiera nacido. Esta tesis es un logro más que llevo a cabo y sin lugar a duda ha sido en gran parte gracias a ti; no sé en donde me encontraría de no ser por tu ayuda tu compañía y tu amor.

Te doy mis sinceras gracias, amada madre.

El más profundo agradecimiento a la Universidad Técnica del Norte, a la Facultad "FICAYA" y en especial a la carrera de Ingeniería Agropecuaria, por brindarme la oportunidad de estudiar y formar una persona profesional con valores y ética incomparables.

A mis directores de tesis Ing. Ingrid Martínez e Ing. Miguel Gómez; a mis asesores: Ing. Jefferson Andrade, Ing. Marcelo Albuja, Ing. José Guzmán, así como a muchos docentes de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria, quienes me brindaron sus conocimientos y capacidades científicas para que este trabajo de titulación culmine con éxito.

Dejo para el final, por ser el más importante de los agradecimientos, a Jesucristo, Rey, Profeta y Sacerdote, el humilde Carpintero de Galilea, por trazar el camino por los que mis pies avanzan y en el que mi mente y corazón viven la felicidad.

María José Vega Arellano.

DEDICATORIA

Dicen que la mejor herencia que nos pueden dejar los padres son los estudios, sin embargo, no creo que sea el único legado del cual yo particularmente me siento muy agradecida, mis padres me han permitido trazar mi camino y caminar con mis propios pies.

El presente trabajo investigativo representa un triunfo de gran valor en mi vida, por tal motivo dedico esta historia a las personas queridas en que vivo:

A mi guía Mami Susana, por instruirme, por acercarme. Por dejarme crecer y confiarme su sabiduría. Por integrarme. Por despertar lo que soy y enseñarme a serlo. Junto a usted aprendí que no existe lo imposible cuando se es capaz de ver y ser más allá.

A mis queridos hermanos, Alba y Oscar con los que compartí las travesuras infantiles más insólitas, las locuras de juventud. Y ahora, compartimos otra etapa en nuestras vidas con un cariño más profundo, más rico y abundante, gracias por sus consejos, palabras de aliento y estímulo en este trabajo.

A mi sobrino Gael que, con sus travesuras y manifestaciones de amor, me ha brindado alegría y felicidad a mis días.

A mi Abuelita Amada Basantes, por haber sido una madre más durante mi infancia y lo será siempre desde el cielo.

A mis mejores amigos Alexis Chiriboga, Fernando Noboa, Patricio Albarrán, Carolina Velastegui, Lensy Aupás, Alicia Cadena. Tamia Morales y Tatiana Mendoza por abrirme sus brazos desde el principio y darle un toque cómico a mi vida. Por ser amigos entre tantos conocidos y por qué me ofrecieron más de lo que han tenido y me han dejado ser a mi modo sin juzgarme. Junto a ustedes aprendí el valor de la amistad libre.

A los “avengers”: Jonathan Anrango y Fernando Vaca porque antes de ser Ingenieros fuimos amigos y compartimos largas conversaciones, en las que muchos de nuestros planes de vida eran formados para lograr alcanzar nuestros inmensos sueños.

A una gran amiga excepcional Maribel Robby, porque confió en cada paso que di durante todo este camino y con su sabiduría, calidez y bondad humana me brindo palabras de aliento para no dejarme caer.

María José Vega Arellano.

CONTENIDO

| | |
|---|------|
| ÍNDICE DE TABLAS | IV |
| ÍNDICE DE FIGURAS | V |
| ÍNDICE DE ANEXOS | VI |
| RESUMEN..... | VII |
| ABSTRACT | VIII |
| CAPITULO I..... | 1 |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1 Antecedentes..... | 1 |
| 1.2 Problema de investigación | 2 |
| 1.3 Justificación..... | 3 |
| 1.4 Objetivos | 3 |
| 1.4.1 Objetivo general | 3 |
| 1.4.2 Objetivos específicos..... | 3 |
| 1.5 Hipótesis | 4 |
| CAPITULO II | 5 |
| 2. MARCO TEÓRICO | 5 |
| 2.1 El cultivo de arveja..... | 5 |
| 2.1.1 Generalidades | 5 |
| 2.1.2 Características morfológicas del cultivo..... | 5 |
| 2.1.3 Descripción botánica del cultivo | 5 |
| 2.1.4 Requerimientos edafoclimáticos | 6 |
| 2.1.5 Manejo del cultivo..... | 7 |
| 2.2 Abonos..... | 8 |
| 2.3 Cachaza | 9 |
| 2.3.1 Obtención | 9 |
| 2.3.2 Composición nutricional | 10 |
| 2.3.3 Usos de la cachaza..... | 11 |
| 2.3.4 Descomposición de la cachaza | 11 |
| 2.3.5 Ventajas y desventajas del uso cachaza fresca como abono orgánico | 12 |
| 2.3.6 Resultados de aplicaciones de cachaza en cultivos | 12 |
| 2.4 Fertilizantes químicos..... | 13 |
| 2.4.1 Fertilizantes convencionales | 13 |
| 2.4.2 Fertilizantes de lenta liberación..... | 13 |
| 2.4.3 Fertilizantes orgánicos-minerales..... | 13 |
| 2.5 El suelo | 13 |
| 2.5.1 Efectos positivos de los abonos orgánicos sobre el suelo | 14 |
| 2.5.2 Efectos negativos de los abonos orgánicos en el suelo | 14 |
| 2.6 Uso eficiente del N | 14 |
| 2.7 Efecto de la fertilización órgano-mineral..... | 14 |
| 2.8 Marco legal..... | 15 |
| CAPITULO III | 16 |
| 3. MARCO METODOLÓGICO | 16 |

| | |
|--|----|
| 3.1 Descripción del área de estudio | 16 |
| 3.1.1 Características climáticas | 17 |
| 3.1.2 Características edáficas | 17 |
| 3.2 Materiales, insumos, equipos y herramientas | 17 |
| 3.2.1 Materiales de campo..... | 17 |
| 3.2.2 Material vegetativo..... | 17 |
| 3.2.3 Materia prima fresca y descompuesta | 18 |
| 3.2.4 Insumos | 18 |
| 3.2.5 Equipos..... | 18 |
| 3.2.6 Herramientas | 18 |
| 3.3 Métodos | 18 |
| 3.3.1 Diseño del experimento..... | 18 |
| 3.3.2 Tratamientos | 19 |
| 3.3.3 Características del área experimental | 19 |
| 3.3.4 Análisis estadístico | 20 |
| 3.3.5 Variables..... | 20 |
| 3.4 Manejo específico del experimento..... | 25 |
| 3.4.1 Descomposición de la cachaza en estado fresco. | 25 |
| 3.4.2 Análisis de la cachaza fresca y descompuesta. | 26 |
| 3.4.3 Toma de muestras de suelo inicial | 26 |
| 3.4.4 Preparación del terreno y delimitación del área experimental | 27 |
| 3.4.5 Siembra de la avena como barrera viva. | 27 |
| 3.4.6 Aplicación de la cachaza fresca | 28 |
| 3.4.7 Aplicación de la cachaza descompuesta..... | 28 |
| 3.4.8 Fertilización química..... | 29 |
| 3.4.9 Siembra de las semillas de arveja..... | 29 |
| 3.4.10 Aporques | 30 |
| 3.4.11 Instalación del tutorado | 30 |
| 3.4.12 Instalación del sistema de riego. | 31 |
| 3.4.13 Deshierbas | 31 |
| 3.4.14 Control fitosanitario. | 31 |
| 3.4.15 Cosecha | 31 |
| CAPÍTULO IV | 33 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 33 |
| 4.1 Altura de planta | 33 |
| 4.2 Diámetro del tallo..... | 36 |
| 4.3 Área foliar | 38 |
| 4.4 Concentración de N foliar | 41 |
| 4.5 Biomasa radicular..... | 42 |
| 4.6 Biomasa total..... | 43 |
| 4.7 Rendimiento | 45 |
| 4.8 Nitrógeno mineral | 48 |
| CAPÍTULO V | 50 |

| | |
|---|----|
| 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 50 |
| 5.1 Conclusiones | 50 |
| 5.2 Recomendaciones | 51 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 52 |
| ANEXOS..... | 61 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Recomendaciones de fertilización para arveja (kg/ha) | 8 |
| Tabla 2. Contenido de N total del suelo antes de la aplicación de cachaza | 17 |
| Tabla 3. Porcentaje del contenido de nutrientes de la cachaza fresca y descompuesta | 18 |
| Tabla 4. Tratamientos evaluados y dosificación | 19 |
| Tabla 5. Fuentes y dosis de fertilizantes minerales aplicados (kg/ha) | 19 |
| Tabla 6. Análisis de varianza (ADEVA)..... | 20 |
| Tabla 7. ADEVA del efecto de diferentes dosis de cachaza fresca y descompuesta sobre la altura de planta. | 33 |
| Tabla 8. ADEVA del efecto de diferentes dosis de cachaza fresca y descompuesta en el diámetro del tallo..... | 36 |
| Tabla 9. ADEVA del efecto de diferentes dosis de cachaza fresca y descompuesta en el área foliar..... | 39 |
| Tabla 10. Concentración del N (%) foliar en estado de pre-floración. | 41 |
| Tabla 11. ADEVA del efecto de diferentes dosis de cachaza fresca y descompuesta en la biomasa radicular. | 42 |
| Tabla 12. Medias y error estándar de las variables biomasa aérea y total aplicando diferentes dosis de cachaza fresca y descompuesta. | 44 |
| Tabla 13. Rendimiento del cultivo de arveja..... | 45 |
| Tabla 14. ADEVA del contenido del N mineral después de la cosecha. | 48 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Mapa base de la zona de estudio en la Granja Experimental “La Pradera” | 16 |
| Figura 2. Medición de altura de planta de arveja | 21 |
| Figura 3. Medición del diámetro del tallo de la planta de arveja | 21 |
| Figura 4. Medición del área foliar de los folíolos de las plantas de arveja. | 22 |
| Figura 5. Muestra fresca del sistema radicular de la planta de arveja..... | 22 |
| Figura 6. Muestras frescas del sistema aéreo (tallos y hojas) de las plantas de arveja. | 23 |
| Figura 7. Muestras frescas del sistema radicular y aéreo de las plantas de arveja..... | 23 |
| Figura 8. Recolección de las hojas de plantas de arveja para muestras foliares. | 24 |
| Figura 9. Mezclas de submuestras de suelo | 24 |
| Figura 10. Rendimiento del cultivo de arveja. 1. Pesaje de vainas verdes, 2. Número de vainas por planta, 3. Número de granos por vaina. | 25 |
| Figura 11. Proceso de descomposición de la cachaza fresca. 1. Cachaza fresca-día 1, 2. Cachaza-2 meses, 3. Cachaza-4 meses, 4. Cachaza-6 meses. | 26 |
| Figura 12. Muestras de 1 litro de cachaza fresca y 1 kilogramo de cachaza descompuesta | 26 |
| Figura 13. Toma de muestras de suelo. 1. Realización del hueco en forma de “V” en el suelo, 2. Extracción de la submuestra del suelo, 3. Mezclas de las submuestras..... | 27 |
| Figura 14. Delimitación de las unidades experimentales y colocación de rótulos en la zona de estudio | 27 |
| Figura 15. Dos barreras vivas de avena entre bloques del cultivo de arveja..... | 28 |
| Figura 16. Material Orgánico. 1. Pomos de 5 kg de CF, 2. Incorporación al suelo de CF por surco | 28 |
| Figura 17. Incorporación de la cachaza descompuesta por surco. | 29 |
| Figura 18. Aplicación de la fertilización química por surco. | 29 |
| Figura 19. Siembra por espeque de la semilla de arveja. | 30 |
| Figura 20. Tutorado de espaldera sencilla en el cultivo de arveja variedad Piquinegra en estado de floración | 30 |
| Figura 21. Sistema de riego por aspersión en el cultivo de arveja en estado de emergencia | 31 |
| Figura 22. Cosecha de las vainas verdes de arveja en baldes de 20 kg..... | 32 |
| Figura 23. Características organolépticas de las vainas: textura rugosa y coloración verde blanduzco | 32 |
| Figura 24. Curvas de crecimiento de la variable altura de planta para todas las dosis de cachaza en función del tiempo. | 34 |
| Figura 25. Curvas de crecimiento de la variable diámetro del tallo para todas las dosis de cachaza en función del tiempo. | 36 |
| Figura 26. Curvas de crecimiento de la variable área foliar para todas las dosis de cachaza en función del tiempo. | 39 |
| Figura 27. Comportamiento de la variable biomasa radicular medida a los 90 días después de la emergencia..... | 43 |

| | |
|---|----|
| Figura 28. Concentración del N mineral inicial y final del suelo del cultivo de arveja (<i>Pisum sativum</i> L). | 48 |
|---|----|

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|--|----|
| Anexo 1. Resultado del análisis inicial del suelo. | 61 |
| Anexo 2. Resultado del análisis del abono orgánico..... | 61 |
| Anexo 3. Cálculos de las dosis de cachaza fresca y descompuesta. | 62 |
| Anexo 4. Tabla resumen del aporte nutricional por tratamiento..... | 63 |
| Anexo 5. Distribución al azar de los tratamientos en el área experimental. | 63 |
| Anexo 6. Plantas seleccionadas al azar para destrucción, muestreos foliares y rendimiento dentro de cada tratamiento. | 63 |
| Anexo 7. Medias y rangos de la variable altura de planta..... | 64 |
| Anexo 8. Medias y rangos de la variable diámetro del tallo..... | 65 |
| Anexo 9. Medias y rangos de la variable área foliar..... | 66 |
| Anexo 10. Medias y rangos de la variable biomasa radicular..... | 67 |
| Anexo 11. Resultados de los análisis foliares por unidad experimental | 67 |
| Anexo 12. Resultado del análisis final del suelo por tratamiento. | 68 |

TÍTULO: “Evaluación de cachaza fresca y descompuesta como abono orgánico en el rendimiento de arveja (*Pisum sativum* L.) variedad piquinegra, en la Granja Experimental “La Pradera””.

Autora: María José Vega Arellano

Director del trabajo de titulación: Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas, MSc.

Año: 2020

RESUMEN

En Ecuador, la industria artesanal panelera produce alrededor de 300 mil toneladas/año de cachaza, de las cuales el 53% que, por falta de capacidad de almacenamiento son arrojadas al aire libre ocasionando problemas de contaminación ambiental alrededor de las fincas paneleras. Esta investigación se basó en el uso potencial de la cachaza como enmienda orgánica en la agricultura y tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes dosis de cachaza fresca (CF) y descompuesta (CD) como abono orgánico en el cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.). Se evaluaron seis tratamientos: tres dosis de cachaza descompuesta (T1=2t/ha; T2=4t/ha; y T3=6t/ha), dos diferentes mezclas (T4=75% CD + 25% CF; T5=50% CD + 50% FM) y un testigo (T6=FM). Las variables evaluadas fueron altura de planta (cm), diámetro del tallo (mm), área foliar (cm²), biomasa total (g), N foliar, rendimiento (t/ha) y N mineral del suelo. Los resultados permitieron determinar que la dosis de CD-2, CD-6 y CD+FM generaron plantas con mayor crecimiento vegetativo en altura de planta (21%), diámetro del tallo (27%) y área foliar (61%) y expresaron un incremento promedio de 32% en rendimiento en vainas verdes con respecto a la fertilización mineral. En lo que respecta a biomasa total, nitrógeno foliar y mineral del suelo no presentó diferencias entre la fertilización orgánica y mineral. Este estudio indica que la cachaza descompuesta cubre la dosis de nitrógeno recomendada, favorece el desarrollo de las plantas de arveja y sustituye el 50% de la fertilización química, sin la necesidad de aplicar altas cantidades de abono orgánico al suelo para mantener los sistemas de producción convencionales.

Palabra claves: Caña de azúcar, panela, enmienda orgánica

TITLE: “Evaluation of fresh and decomposed filter cake as organic fertilizer in yield pea (*Pisum sativum* L.) piquinegra variety, in the Experimental Farm “La Pradera””.

Author: María José Vega Arellano

Director of degree work: Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas, MSc.

Year: 2020

ABSTRACT

In Ecuador, the panela artesanal industry produces around of three hundred thousand tons/year of filter cake, which fifty three percent for lack of storage capacity are thrown outdoors causing environmental pollution problems in the panela farms. This research focuses on the potencial value of filter cake as organic amendments in the agriculture and the objectives were to evaluate the effect of different doses of fresh filter cake (CF) and decomposed filter cake (CD) as organic fertilizer on pea (*Pisum sativum* L.). Were evaluated six treatments: tree rates of CD (T1=2t/ha; T2=4t/ha; y T3=6t/ha), two differents mixture (T4=75% CD + 25% CF; T5=50% CD + 50% FM) and a witness (T6=mineral fertilization). The variables evaluated were plant height (cm), stem diameter (mm), leaf area (cm²), total biomass (g), foliar nitrogen, weight (t/ha) and final mineral nitrogen. Results determinated that CD-2, CD-6 y CD+FM got plants with higher vegetative growth in plant height (21%), stem diameter (27%) and leaf area (61%) and expressed an average increase of 32% in yield in green pods compared with mineral fertilization. Respect to total biomass, foliar nitrogen and final mineral nitrogen of soil there are no significant differences between organic and mineral fertilization. This research indicate that aplication of decomposed filter cake covers the recommended nitrogen dose, promotes the growth of pea plants and decrease the 50% of mineral fertilization without the need to apply hight amounts of organic fertilizer to soil to maintain convencional production systems.

Keys words : sugar cane, brown sugar, organic amendment

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El desarrollo de la agricultura se ha regido por una producción cada vez más intensa, contribuyendo al uso indiscriminado de fertilizantes u otros productos químicos y de prácticas culturales que ha propiciado la erosión, la pérdida de fertilidad y la contaminación del suelo, afectando la calidad ambiental (Hernández-Rodríguez, Ojeda-Barrios, López y Arras, 2010).

La inclinación de los productores ha aplicar grandes cantidades de fertilizantes químicos, especialmente nitrogenados para asegurar altos rendimientos en la cosecha, es una iniciativa económica rentable, pero no deseable desde el punto de vista de ambiental, pues a menudo, las cantidades de nitrógeno y fósforo permanecen en el suelo después de la cosecha, lo cual puede afectar la calidad del agua mediante escorrentía de nitratos y fosfatos y la calidad del aire por emisión de óxido nitroso (Añez y Espinoza, 2003).

Debido a que el uso de fertilizantes químicos a largo plazo ha demostrado tener efectos negativos sobre el recurso suelo según Catellanos, Uvalle-Bueno y Aguilar-Santelises (2000), la materia orgánica es un componente de gran importancia, ya que tiene efectos positivos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo que permite aumentar la capacidad productiva en los campos (Labrador, Guiberteau, López y Reyes, 2001).

Por otro lado, hasta hace poco los desechos orgánicos han sido considerados como una fuente de contaminación y no se han valorado como el subproducto de la agricultura susceptible de originar abonos orgánicos (Clavijo, 2013). Existen diferentes fuentes de compuestos orgánicos provenientes de residuos de plantas, animales y microorganismos, que pueden cubrir las necesidades de nitrógeno (N) y fósforo (P) en el suelo (Ramos y Terry, 2014). Entre los residuos de plantas se puede destacar la cachaza, residuo derivado del proceso de molienda industrial de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) misma que, se recomienda para sustituir parcialmente la dosis de N y P_2O_5 en algunos cultivos y cuya composición química es variable de acuerdo con la variedad, la maduración de la caña, el tipo de suelo, el proceso de clarificación del jugo, entre otros (Forero, Fernández y Álvarez, 2010).

Estudios sobre el manejo de residuos agroindustriales de la caña de azúcar indican que la cachaza fresca contiene aproximadamente 0.49 % de N, 0.074% P y 21% de MO, en cambio en estado descompuesto incrementa a 1.65 % de N, 7.03 % de P y 78.5 % MO, esto es debido a que los nutrientes que contiene este residuo se mineralizan rápidamente y se vuelven más disponibles para las plantas (Parra y Vázquez, 2014).

Los efectos favorables de la aplicación de este compuesto orgánico en el suelo son: estimular el aumento de las reservas de materia orgánica (MO), el carbono orgánico, el N total y la cantidad de P en el suelo (Elsayed, Babiker, Abdelmalik, Mukhtar y Montange, 2008), promover el desarrollo de las raíces, favorecer la penetración del agua en el suelo y disminuir la compactación del suelo causada por la maquinaria agrícola (Quiroz y Pérez, 2013). Esto contribuye a mejorar la calidad del suelo debido a que proporciona una mayor disponibilidad

de nutrientes para las plantas y puede llegar a reducir hasta en un 25% las dosis de fertilización mineral e incrementar el rendimiento de los cultivos (Bokhtiar, Paul y Alam, 2008)

Las limitaciones del uso de la cachaza en estado fresco son: la alta relación carbono/nitrógeno que podría ocasionar el retraso del crecimiento de los cultivos, y el alto contenido de humedad (75-80%) que dificulta el transporte al momento de incorporar al suelo. Sin embargo, la deshidratación de este residuo previo a la aplicación en campo permite reducir su contenido de humedad (Forero, Fernández y Álvarez, 2010).

Investigaciones en países cañameleros como Cuba, Puerto Rico, Colombia, Brasil, Trinidad, India y México, dan a conocer que las aplicaciones de la cachaza en campo como abono orgánico en los cultivos de maíz, caña de azúcar, café, plátano, col, arroz y vegetales organopónicos ha logrado incrementar los rendimientos debido a los cambios favorables en las propiedades físicas y químicas del suelo, además de cubrir las deficiencias de materia orgánica en el suelo, reduciendo los costos de la fertilización mineral y maximizando el efecto sobre la productividad de los cultivos (Borges y Garcés, 2006).

1.2 Problema de investigación

En Ecuador, la producción de cachaza alcanza las 300 000 toneladas promedio en las fincas artesanales e industriales de panela y azúcar (Salazar, Sánchez y Autocama, 2009). La provincia de Imbabura es considerada una zona cañera, las unidades de producción agrícola artesanal panelera generan alrededor de 21 812 toneladas/año de cachaza de las cuales el 47% es utilizado como alimento para animales domésticos y el 53% que, por la falta de capacidad de almacenamiento, dificultad de manejo y tratamiento se deja al aire libre, generando problemas de contaminación hídrica y odorífera en las diferentes fincas paneleras (Estupiñán, Garzón y Forero, 2013).

Una limitante para el uso masivo de este residuo como abono orgánico en la agricultura es que requiere aplicar alrededor de 180 toneladas de cachaza fresca para satisfacer la demanda de nutrientes en el cultivo de arveja (Cairo, Machado, Rodríguez y Rodríguez, 2017) y su aplicación directa al suelo en este estado puede ocasionar quemaduras en el sistema radicular de las plantas debido a que libera fitotoxinas, aumenta la temperatura, disminuye la concentración de oxígeno y la biodisponibilidad de nitrógeno, lo cual podría ocasionar un retraso en el crecimiento de los cultivos (Zuñiga, Cuero y Peña, 2011).

La Parroquia de San José de Chaltura presenta alrededor de 27.75 ha de suelos degradados y 23 ha en proceso erosión, debido a: las prácticas actuales de mal manejo, siembra de monocultivos y la mínima incorporación de materia orgánica (Sistema Nacional de Información, 2015). Lo cual provoca una inadecuada disponibilidad N y M.O, limitando el crecimiento fisiológico de las plantas y afectando el rendimiento del cultivo de arveja (Awasthi, Tewari y Nayyar, 2011). Sin embargo, esta condición de deficiencia nutricional es compensada con la aplicación de fertilizantes nitrogenados que, a pesar de ser una alternativa eficiente presenta problemas como: acidificación, desnitrificación, lixiviación en los suelos y altos costos energéticos y económicos (Boccolini, 2016).

Además, según menciona Lawlor (2002) para el agricultor es de fundamental importancia conocer cuando aplicar el fertilizante para optimizar la absorción por el cultivo y minimizar las pérdidas potenciales de los nutrientes por las transformaciones microbianas que se dan en el suelo. Es decir, identificar el mejor momento de aplicación, durante el ciclo de desarrollo del cultivo, para promover la mayor absorción por las plantas cultivadas y disminuir así el riesgo de contaminación ambiental, tanto de acuíferos por NO_3 o de contaminación de la atmósfera por formas gaseosa de N como NO, NO_2 y NH_3 (Van Kessel y Reeves, 2002).

1.3 Justificación

La cachaza es el principal y abundante residuo que se obtiene durante el proceso de clarificación de los jugos de caña en las fincas artesanales paneleras, produciendo alrededor de 30 a 50 kg por cada tonelada de caña procesada (Hernández et al., 2008). En diferentes estudios realizados sobre el manejo de este residuo, mencionan que el uso de este residuo como abono orgánico favorece las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo por su contenido de nutrientes y M.O que presenta tanto en estado fresco como descompuesto (Parra y Vázquez, 2014).

En estado descompuesto este residuo tiene concentraciones considerables de N, P, K y M.O, lo cual es una alternativa que permite reducir la dosis de aplicación de la cachaza fresca, facilitando su transporte e incorporación al suelo, por lo que mitiga el efecto negativo hacia el medio ambiente que produce al ser depositada al aire libre por varios años (Zuñiga, Cuero y Peña, 2011).

Igualmente, el alto costo energético y económico de los fertilizantes químicos y el agotamiento de las reservas minerales, obligan a buscar y evaluar alternativas sostenibles como el reciclaje de nutrientes a base de residuos agroindustriales de la molienda de caña de azúcar en abonos orgánicos, que representan parte del N en formas orgánicas, más o menos estables, que paulatinamente van mineralizándose y pasando a disposición de las plantas (Ramos y Terry, 2014).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de diferentes dosis de cachaza fresca y descompuesta como enmienda orgánica en el contenido de nitrógeno en el suelo, así como en el rendimiento de arveja (*Pisium sativum L.*) variedad piquinegra.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Evaluar el efecto de la cachaza sobre las características morfológicas del cultivo de arveja.
2. Evaluar la concentración de nitrógeno en las hojas de arveja durante la etapa de pre-floración.

3. Determinar la dosis de fertilización óptima de cachaza fresca y descompuesta en el rendimiento en grano y biomasa del cultivo de arveja.
4. Determinar la cantidad de nitrógeno disponible en el suelo luego de la aplicación de cachaza fresca y descompuesta al final del ciclo del cultivo.

4.1 Hipótesis

Ho: La aplicación de cachaza fresca o descompuesta no influye en el contenido de nitrógeno en el suelo, las características morfológicas y el rendimiento de la arveja

Ha: La aplicación de cachaza fresca o descompuesta influye en el contenido de nitrógeno en el suelo, las características morfológicas y el rendimiento de la arveja.

CAPITULO II

5. MARCO TEÓRICO

5.1 El cultivo de arveja

5.1.1 Generalidades

La arveja (*Pisum sativum* L.) es una leguminosa del género pisum, perteneciente a la familia de las fabáceas y originaria de Asia central, medio Oriente, Etiopía y el Mediterráneo, este cultivo se expandió a regiones templadas y zonas altas de los trópicos de todo el mundo, siendo hoy ampliamente cultivada y consumida en todos los países como grano fresco o seco (Casa, 2014).

El Programa Nacional de Leguminosas de la Estación Experimental “Santa Catalina” indica que en el Ecuador, las zonas con mayor producción de arveja se encuentran en Carchi con un 43% de la producción nacional, seguido por Pichincha, Imbabura, Chimborazo y Bolívar (Cuasapaz, 2015).

Las variedades de arveja sembradas en el país son: INIAP-431 (Andina); INIAP-432 (Lojanita); INIAP-433 (Roxana); INIAP-434 (Esmeralda), dentro de la provincia de Imbabura, además se siembran algunas variedades de tipo indeterminado como Santa Isabel, Piquinegra, Guatecana y Suereña (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, 2009).

5.1.2 Características morfológicas del cultivo

Las características morfológicas del cultivo de arveja variedad piquinegra según el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (2015)son:

- Altura de planta: La variedad piquinegra es una leguminosa de crecimiento indeterminado, el tallo principal llega a alcanzar una altura entre 0.8 y 2.0 metros.
- Diámetro del tallo: El grosor que presenta esta variedad de leguminosa varía entre 4 y 6 mm, dependiendo cada una de ellas de la densidad de siembra que aplique el agricultor.
- Área foliar: La formación y expansión de las hojas en este cultivo varía de acuerdo a la nutrición que reciba la planta, ya sea vía foliar o del suelo, en condiciones adecuadas tanto nutricionales como edafoclimáticas y prácticas culturales, el área foliar llega a alcanzar los 2 010 cm² y 6 345 cm².

El mismo autor menciona que el ciclo de vida a partir de la siembra es de 120 días para la cosecha en grano verde y 160 días para la cosecha en grano seco, presentando rendimientos de 2.000 a 4 500 kg en vainas verdes y 900 a 1 100 kg de grano seco por hectárea.

5.1.3 Descripción botánica del cultivo

Las características morfológicas de las plantas de arveja según Ventura (2012) son:

- Raíz: El sistema radicular es poco desarrollado en conjunto, aunque posee una raíz pivotante que puede llegar a bastante profundidad.

- Tallos y ramas: Los tallos son trepadores y angulosos: respecto al desarrollo vegetativo existen unas variedades: enanas de medio enrame y de enrame.
- Hojas: las hojas tienen pares foliolos y terminan en zarcillos, que tienen la propiedad de asirse a los tutores que encuentran en su crecimiento
- Flores o inflorescencias: La inflorescencia es racimosa, con brácteas foliáceas, que se inserta por medio de un largo pedúnculo en la axila de las hojas. Cada racimo lleva generalmente 1 o 2 flores, pero también hay casos de tres, e incluso 4 y 5 aunque estos últimos son raros.

Con respecto a las flores son de morfología típicamente papilionáceas, y poseen simetría zigomorfa, es decir, con un solo plano de simetría, consta de 5 sépalos, siendo los dos superiores variables, tanto en forma como en dimensiones, lo cual se utiliza como carácter varietal.

- Vaina: Cuasapaz (2015) indica que las vainas tienen 5 a 10 cm de largo y suelen tener de 4 a 10 semillas.
- Semilla: El anterior autor menciona que las semillas de arveja tienen una ligera latencia; el peso medio es de 0,20 gramos por unidad; el poder germinativo es de 3 años como máximo, siendo aconsejable emplear para la siembra las semillas que tengan menos de 2 años desde su recolección, en las variedades de grano arrugado la facultad es aún menor.

5.1.4 Requerimientos edafoclimáticos

El cultivo requiere las siguientes condiciones climáticas según Daza (2017):

- Clima: Es una planta de clima templado y algo húmedo. La planta se hielga con temperaturas por debajo de -3 o -4 °C. Detiene su crecimiento cuando las temperaturas empiezan a ser menores de 5 o 7 °C. El desarrollo vegetativo tiene su óptimo de crecimiento con temperaturas comprendidas entre 16 y 20 °C, estando el mínimo entre 6 y 10 °C y el máximo en más de 35 °C. Si la temperatura es muy elevada la planta vegeta bastante mal. Necesita ventilación y luminosidad para que veje bien.
- Suelo: La arveja es una especie que requiere suelos de buena estructura, profundos, bien drenados, ricos en nutrientes asimilables y de reacción levemente ácida a neutra y suelos franco-arenosos y franco-arcillosos, ricos en materia orgánica y con un pH de 6.5 y 7.5. Los mejores resultados se logran en suelos con buen drenaje, que aseguran una adecuada aireación y a su vez, tengan la suficiente capacidad e adaptación y almacenaje de agua para permitir su normal abastecimiento, en especial durante su fase crítica (periodo de floración y llenado de vainas).
- Altitudes: Se desarrollan en altitudes de 2.300 a 2.700 msnm
- Precipitación: 500-1.000 mm por ciclo vegetativo.
- Humedad relativa óptima es de 70-80%

5.1.5 Manejo del cultivo

5.1.5.1 Preparación del suelo

Según Borja, Burbano, Caamaño y Canavides (2001), la instalación tecnificada para el cultivo de arveja inicia con selección adecuada del área con relación a las condiciones ambientales y la época del cultivo, seguido por las siguientes labores culturales:

- Aplicación de cal y materia orgánica: Se aplica uniformemente al suelo 2 ó 3 meses antes de la siembra para corregir el pH y suplir la falta de materia orgánica, las cantidades incorporadas depende del análisis de suelo realizado.
- Arado: La soltura de la tierra depende del número de pases de arado, debido a que la raíz de la planta de arveja no requiere de gran profundidad es necesario realizar dos pases de arada a 30 cm.
- Mullido del suelo: Días antes de la siembra se realiza 3 o 4 pases de la rastra para eliminar los agregados del suelo y conseguir un suelo bien mullido.
- Drenajes: El emparejamiento del suelo en zonas de encharcamiento y la elaboración de zanjas permite un buen drenaje del agua al realizar el riego o en épocas de lluvias.
- Preparación de surcos: se realiza de forma mecánica o manual a una distancia de 1m o 1.20 m para variedades enanas y de 1.25 m para variedades de tutorado.

5.1.5.2 Siembra.

Sánchez y Sandoval (2002), enfatiza que realizar un riego antes de la siembra para que el suelo tenga humedad al momento de colocar la semilla beneficiará en la germinación y emergencia del cultivo, además menciona que es importante el uso semillas certificadas y posteriormente desinfectadas como método preventivo para el control biológico de hongos en el suelo, se debe colocar de 4 a 5 semillas por golpe a un distanciamiento de 40 a 50 cm entre golpes para variedades decumbentes y en el caso de las variedades enanas, se siembra una semilla cada 2 a 6 cm.

5.1.5.3 Instalación de tutorado.

La formación de sistemas de tutorado para las variedades de arveja de crecimiento indeterminado permite una buena expansión vegetativa de los tallos volubles y zarcillos, facilita la cosecha, el control fitosanitario y el riego del cultivo (Crespo, 2012). El uso de tutores de caña o madera de 2.8 a 3 m de altura y de 8 a 12 cm de diámetro, colocados cada 4-5 m y enterrados de 60 – 75 cm por surco permite dar un buen sosten al cultivo (Borja, Burbano, Caamaño y Canavides, 2001).

5.1.5.4 Amarre y guiado.

El amarre de las plantas hacia los tutores es una práctica de soporte de la planta, la cual mediante la guía de los brotes laterales y ramas que van emergiendo de las plantas de arveja permite lograr un crecimiento normal ascendente (Cuasapaz, 2015).

5.1.5.5 Riego.

El número y frecuencia de riego para el cultivo de arveja depende del tipo de suelo, la variedad y las condiciones climáticas; tomando en ausencia de lluvias los riegos deben ser ligeros y frecuentes especialmente en las etapas de floración y llenado de vainas (Peralta, Murillo, Caicedo, Pinzón y Rivera, 2011).

5.1.5.6 Deshierbas.

Es una práctica manual que se realiza dos veces durante el ciclo del cultivo, la primera limpieza es a los 20 días después de la siembra y las siguientes con intervalos de 25 días (Sánchez y Sandoval, 2002).

5.1.5.7 Fertilización.

La fertilización en el cultivo de arveja tiene como propósito el suministro de nutrientes deficientes en el suelo y poner los mismos a disposición de las plantas para obtener un buen rendimiento, para realizar una adecuada fertilización se debe realizar un análisis de suelo que permita conocer el nivel de salinidad o acidez, la cantidad de nutrientes disponibles, y determinar los tipos y dosis de fertilizantes que deben ser aplicados al suelo (Subía, 2001).

La planta de arveja es una planta que requiere gran cantidad de nitrógeno debido a produce granos con alto valor proteico (20 al 25%), en la Tabla 1 se muestran las recomendaciones generales para la fertilización del cultivo de arveja (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, 2009).

Tabla 1.

Recomendaciones de fertilización para arveja (kg/ha)

| Análisis de Suelo | N* | P₂O₅ | K₂O | S |
|--------------------------|-----------|-----------------------------------|-----------------------|----------|
| Bajo | 20 – 40 | 80 - 100 | 40 - 60 | 20 – 30 |
| Medio | 10 – 20 | 60 - 80 | 20 - 40 | 10 – 20 |
| Alto | 0 – 10 | 40 - 60 | 0 - 20 | 0 – 10 |

* Las cantidades de N se recomiendan asumiendo la presencia de cepas nativas específicas de *rhizobium* en el suelo.

5.2 Abonos

La producción elevada de residuos provenientes de actividades agrícolas, forestales, industriales o domésticas están siendo considerados como fuentes contaminación ambiental, sin darles un valor como productos útiles para la agricultura (Morales, Fernández, Montiel y Peralta, 2009).

El reciclaje de nutrientes es una opción de uso que estos residuos presentan al ser transformados en abonos orgánicos, los cuales aportan nutrientes, materia orgánica y microorganismos al ser incorporados al suelo (Ramos y Terry, 2014). Dando así una nutrición adecuada en el desarrollo vegetal de las plantas y devolviendo al suelo muchos de los elementos extraídos durante el proceso productivo del cultivo (Félix, Sañudo, Rojo, Martínez y Olalde, 2008).

Dentro de la fertilización orgánica existen principalmente dos tipos de abonos, los abonos sólidos como el compost, bocashi, lombricomposta, biofertilizantes y los abonos líquidos como el té de compost, té de estiércol y biofermentados, que enriquecen y suministran al suelo de nitrógeno (Soto y Meléndez, 2004). Restrepo, Gómez y Escobar (2014) manifiesta que los materiales o residuos que pueden ser usados como fertilizantes o entrar en un proceso fabricación son bovinaza, gallinaza, porquinaza, bagazo, cachaza, y malezas acuáticas flotantes.

Entre los abonos orgánicos más comunes estan:

- Estiércol: son principalmente de vaca, oveja, caballo y cabara. Se adquieren en las granjas directamente o en los centros de jardinería ensacados, algunos sin mal olor y, a veces, enriquecidos con minerales.
- Gusano, gallinaza, palomina y excrementos de murciélagos: Son productos similares a los estiércoles: deyecciones animales.
- Compost: El compost es un material obtenido a partir de restos vegetales y otras materias orgánicas sometidas a un proceso de compostaje (fermentación controlada). Para su elaboración se usan materiales variados como: cascarilla de cacao, humus de lombriz, fermentación de gallinaza, fermentación de estiércol de oveja, mezcla de materias vegetales comportadas, residuos agrícola, mezclas variadas de estiércoles, turba, humus de lombriz, compostaje de orujo de uva, compostaje de estiércoles, entre otros. El compost puede venir enriquecido de nitrógeno, fósforo y potasio y con micronutrientes (hierro, manganeso, cobre, etc).
- Turba: hay dos tipos de turba: turba negra (la más habitual) y turba rubia (muy ácida, pH=3.5). se emplean mucho como base para preparar sustratos para macetas y para hacer semilleros. También son buenas para adicionar al terreno.
- Extractos húmicos: Son ácidos húmicos y flúvicos extraídos de sustancias orgánicas.
- Abonos verdes: Consiste en cultivar una leguminosa para enterrarla y que aporte así nitrógeno al suelo.

5.3 Cachaza

La cachaza también denominada torta de filtro, es un residuo de la fabricación artesanal de la panela que se obtiene durante el proceso de limpieza y clarificación del jugo de caña (FAO, 1990), en el cual se forma una mezcla de fibra de caña, tierra, sacarosa, cera, coloides, coagulados, fosfato de calcio y partículas de suelo y dan lugar a un residuo esponjoso, amorfo, de color marrón oscuro a negro (Basanta, García, Cervantes, Mata y Bustos, 2007).

5.3.1 Obtención

El proceso de recolección de cachaza inicia al pasar la caña cortada por el trapiche y obtener dos subproductos: jugo de caña y bagazo, este último es almacenado para ser utilizado en la combustión de las hornillas o calderas, mientras el jugo continúa con el proceso de pre-limpieza que consiste en retirar del jugo residuos como: partículas de tierra, lodo, trozos de bagacillo, hojas, insectos y aquellas impurezas de carácter no nutricional (Quezada, 2007).

Seguido a esto, continua con la etapa de clarificación, en donde el jugo pasa a la paila recibidora o “descachazadora” que se encuentra a una temperatura entre 50 -55°C y por medio del uso de utensillos denominados remellones se procede a coleccionar todas las sustancias coloidales, compuestos colorantes y sólidos en suspensión que se aglomeran entre si en la superficie formando una masa homogénea denominada “cachaza”, la cual es retirada manualmente y desechada sin darle un uso útil, mientras que el jugo, continua con los procesos requeridos para la transformación de la panela (Hernández, 2014).

Una pequeña cantidad de se utiliza, para la obtención de cera, una parte se desperdicia acumulándose en pilas, donde a veces se quema, o se arroja a desagües naturales y el resto se utiliza como abonos, principalmente en caña. Puede calcularse que se produzcan, como promedio un 3% de cachaza de la caña molida (Soliva, 2009)

5.3.2 Composición nutricional

El contenido nutricional de este residuo es variable, no definido y depende del lugar y las condiciones de obtención. Sin embargo, presenta un alto contenido de M.O, N, P₂O₅; K₂O; MgO; CaO y una relación carbono: nitrógeno (C:N) mayor de 20:1 (Hernández, Salgado, Palma, Lagune y Ruíz, 2008), esto debido a la alta cantidad de materia orgánica que presenta el residuo y a la adición de fosfatos y calcio que realizan las fábricas para acelerar el proceso de clarificación y presentando las siguientes propiedades según Basanta, García, Cervantes, Mata y Bustos (2007):

- pH: 5,6
- Material orgánico: La relación C/N es 20:1, lo cual favorece la inmovilización y movilización del suelo. Este proceso ocurre simultáneamente en el suelo.
- Nitrógeno: Los altos contenidos de nitrógeno se deben a la elevada cantidad de materia orgánica que presenta este residuo.
- Fósforo: El contenido de este electo se debe a que algunas fábricas tratan con fosfato al jugo para clarificarlo más rápido. En la cachaza es rápidamente disponible y produce un mejor efectos en suelos pobres.
- Potasio: De acuerdo con su composición, la cachaza presenta bajo contenido de K, el cual se encuentra en forma soluble y fácilmente lixiviable. Los bajos contenidos de potasio que exhibe la cachaza es por la gran solubilidad de este elemento, lo cual le permite irse en los jugos hasta que es separado con la melaza y vinaza.
- Calcio: El contenido de calcio de este subproducto varía con las cantidades de cal empleadas durante la clasificación del jugo, la cual e usualmente aplicada en dosis altas.
- Micronutrientes: Son inconsistentes los resultados sobre el aporte de microelementos por la cachaza al suelo, Sin embargo, se ha reportado aumento de las disponibilidades de zinc, reducción del hierro u el manganeso y disminución de la toxicidad del aluminio, con las aplicaciones de este material orgánico. Los micro nutrientes

contenidos en ella se derivan parcialmente de las partículas que van adheridos a la caña. También es un fuente importante de magnesio y zinc.

5.3.2.1 Factores Agroindustriales que influyen en la composición de la cachaza.

Al ser la cachaza una masa homogénea y extraída como desecho en la fabricación de panela su composición esta influenciada por varios factores agroindustriales que (López, 1986) describe a continuación:

- Variedad de la caña y tipos de suelo : Determina la cantidad de N y P.
- Tipo de cosecha: La cosecha de la caña de azúcar realizada por mecanización permite el mayor ingreso de materia extraña a la unidad de producción y por con ello el incremento de M.O y otros sedimentos.
- Clima: En épocas de lluvia aumenta la M.O debido a la gran cantidad de tierra arrastada y en épocas de sequía se acumula la mayor cantidad de cera en las plantas de caña.
- Proceso de clarificación: Los precipitados formados durante el proceso de clarificación van a depender de las sustancias utilizadas en la clarificación de los jugos, es decir que el uso de cal podría formar diferentes compuestos de Ca.

5.3.3 Usos de la cachaza

Existen diferentes estudios e investigaciones que muestran el uso productivo que tiene la cachaza:

5.3.3.1 Producción de cera.

La composición químicas de la cachaza permite que la industria de procesos extraiga cera de este residuo, la cual al ser sometida a procesos adecuados permitira obtener productos similares a las ceras vegetales (San Anastacio, García, Hernández, Guerra y Villanueva, 2017).

5.3.3.2 Alimento animal.

La incorporación de cachaza seca como materia prima para la elaboración de piensos es una alternativa para la alimentación ganadera pues permite alargar el tiempo de almacenamiento sin alterar la formulación de los piensos (Namer, 1985).

5.3.3.3 Fertilizantes.

La cachaza por su composición en N, P y K permite minorar el uso de fertilizantes minerales hasta en un 25% contribuyendo a mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo a largo plazo (Salazar, Sánchez y Autocama, 2009).

5.3.4 Descomposición de la cachaza

Debido a la producción de altos volúmenes de cachaza fresca en los trapiches paneleros, se toma como una alternativa la descomposición de este residuo realizando el proceso que menciona la FAO (2000), que consiste en aplicar 4 cm de capa de cachaza fresca sobre una superficie plana que permita su exposición sol durante al día y ser cubierta al momento de lluvias.

Un estudio realizado por Parra y Vázquez (2014) da a conocer que en estado descompuesto la cachaza tiende a aumentar considerablemente el porcentaje de nutrientes, lo cual produce un proceso de mineralización más rápido y volverse más disponible para las plantas.

5.3.5 Ventajas y desventajas del uso cachaza fresca como abono orgánico

La incorporación de este compuesto orgánico al suelo causa efectos positivos y presenta limitantes que describe Cortés, (2008) a continuación:

- Incrementa las reservas en el suelo de la Materia Orgánica y a su vez la población microbiana, permitiendo de tal manera una mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas.
- Reduce la aplicación de fertilizantes minerales hasta un 25%, lo cual da lugar a realizar una fertilización órgano-mineral más eficiente.
- El contenido de macronutrientes como N, P, K y Ca que posee son indispensables para el buen desarrollo nutricional de los cultivos.
- La aplicación de este residuo durante varios años ayuda a mejorar las propiedades físicas del suelo como: infiltración, densidad aparente, porosidad, retención y distribución de humedad.

En cambio, las limitantes de la aplicación de este residuo son:

- El alto contenido de humedad que posee este residuo genera problemas del manejo y de costo durante su transporte y la aplicación de la cachaza.
- Este compuesto posee una alta relación carbono/nitrógeno (mayor a 20: 1) que podría ocasionar daños en el crecimiento de los cultivos y provocar la inmovilización de N.
- Se requiere de grandes cantidades de cachaza para satisfacer la demanda de nutrientes que requiere tanto el suelo como el cultivo para el buen desarrollo vegetativo de las plantas.

5.3.6 Resultados de aplicaciones de cachaza en cultivos

Debido a las características químicas de la cachaza, su aplicación al suelo como abono orgánico para los cultivos es una alternativa para cubrir las deficiencias nutricionales, por su aporte de nutrientes semejantes a los fertilizantes minerales (Parra y Vázquez, 2014).

Existen investigaciones donde el uso de la cachaza como abono orgánico tiene un efecto favorable como fertilizante en algunos cultivos y los resultados son:

- En el cultivo de pejibaye la cachaza resultó ser superior a la gallinaza, obteniéndose buenos resultados en el crecimiento vegetativo de las plántulas en almácigos con 25% cachaza y 75% suelo (Bogantes, 2006).
- El cultivo de caña de azúcar obtuvo un incremento significativo en el rendimiento con la aplicación de 10 y 15 t ha⁻¹ de cachaza más fertilización química, además de mejorar las características químicas del suelo y la nutrición del cultivo (Arreola-Enríquez et al., 2004).

- Estudios realizados en Costa Rica en Central Azucarera Tempisque, S.A. han encontrado incrementos hasta de un 24% en el rendimiento toneladas caña/ha, con la aplicación de 75 toneladas de cachaza fresca/ha en un suelo del Orden Vertisol (Central Azucarera Tempisque, S.A., 2012).
- Otros cultivos donde se ha obtenido resultados promisorios con el uso de la cachaza son el café, el plátano, las hortalizas, el arroz y los vegetales organopónicos (Peña, Carrion, Martínez y Companioni, 2002).

5.4 Fertilizantes químicos

5.4.1 Fertilizantes convencionales

Son las más conocidos y usados. Se caracterizan por que se disuelven con facilidad en el suelo y, por tanto, las plantas disponen de ellos fácilmente. Entre ellos según Gómez y Jaramillo (2006) se encuentran:

- Fertilizantes nitrogenados: Urea (46-0-0), Nitrato de amonio (33-0-0), Sulfato de amonio, Nitrato de potasio, Nitrato de cálcico, Nitrato sódico, etc.
- Fertilizantes fosfóricos: Superfosfato, fosfato amónico, etc.
- Complejos binarios: Llevan 2 de alguno de los macronutrientes: nitrógeno, fósforo, potasio. Ejemplo: 35-15-0 contiene un 35% de N y un 15% de P.
- Complejos ternarios: Llevan los tres macronutrientes: nitrógeno, fósforo, potasio. Ejemplo: 15-15-15
- Abonos líquidos y para fertirrigación: Se presentan en forma líquida en lugar de granulada para emplear en fertirrigación, es decir, disueltos en el agua de riego.

5.4.2 Fertilizantes de lenta liberación

Se caracterizan por que se disuelven poco a poco y van liberando para las raíces los nutrientes lentamente, a lo largo de varios meses. Esto se consigue por la propia formulación química o por recubrir las bolitas con una especie de membrana que dejan salir los minerales lentamente. Son más caros que los convencionales, pero duran más (Daza, Díaz, Aguirre y Urrutia, 2015).

5.4.3 Fertilizantes orgánicos-minerales

Es una mezcla de materia orgánica con nutrientes minerales (nitrógeno, potasio, magnesio, manganeso, etc.) que vienen normalmente granulados. Ideales para realizar una fertilización completa en el abonado de fondo en todo tipo de cultivos (Rey, Bachiller, Del Río, Gómez y Montero, 2004).

5.5 El suelo

Cuasapaz (2015) indica que el suelo es fruto de la descomposición de la roca madre a través del tiempo, por influencia de diversos procesos físicos, químicos y microbiológicos; además proporciona a las plantas, agua y nutrientes necesarios para su desarrollo normal. Las características físicas, químicas y biológicas del suelo afectan al desarrollo de las raíces y por ende de toda planta.

5.5.1 Efectos positivos de los abonos orgánicos sobre el suelo

Las reacciones benéficas que ocurren en el suelo al incorporar materia orgánica permite: mejorar la estructura mediante la formación de agregados que evita la erosión, produce mayor absorción y retención de humedad en el suelo; estimula el desarrollo' radicular de las plantas debido a que aumenta la porosidad; regula la velocidad de infiltración del agua evitando escurrimiento superficial y da el color oscuro al suelo al aumentar la temperatura y las reacciones bioquímicas que se desarrollan en él (Cajamarca, 2012). De la misma manera esta incorporación permite: aumentar la capacidad de intercambio catiónico liberando nutrientes para las plantas y mantiene la fertilidad de los suelos, aportando principalmente N, P, K y algunos microelementos (Peña, Carrión, Martínez y Companioni, 2002).

5.5.2 Efectos negativos de los abonos orgánicos en el suelo

La aplicación de abonos tiene limitantes como: a medida que el abono se transforma en el suelo los nutrientes que contienen se liberan lentamente y esta liberación puede depender de los factores ambientales y de la presencia de microorganismos en el suelo, además, puede ser fuentes de patógenos si no están adecuadamente tratados y ocasionar eutrofización (Cajamarca, 2012).

5.6 Uso eficiente del N

Considerando el incremento de la población y por ende la demanda de los alimentos, fibras, combustibles, entre otros, es necesario para la agricultura el mejoramiento de la eficiencia de la productividad y de la eficiencia del uso de los recursos, incluyendo así el uso eficiente de los nutrientes (León, González y Gallardo, 2009). Por otra parte, Cliff (2009) considera que la fertilización con Nitrógeno (N) incrementará para compensar la demanda mundial de alimentos, y que además por las características de lixiviación, volatilización y escurrimiento del Nitrógeno es necesario determinar el uso eficiente del elemento, para determinar la productividad alcanzada. La fórmula para determinar el uso eficiente del nitrógeno se muestra a continuación.

$$PPFN = R/D$$

Donde PPFN = Productividad parcial del factor N

R= Rendimiento (kg/ha)

D= Cantidad de nitrógeno aplicado (kg/ha)

5.7 Efecto de la fertilización órgano-mineral

El valor nutricional de los residuos orgánicos cuando se agregan a los suelos es considerado una forma de evaluar la calidad de los mismos, este efecto nutricional se mide normalmente en campo o en ensayos de invernadero sobre las características del cultivo, así como el rendimiento, pues diferentes estudios resaltan el efecto que tienen sobre los suelos, cuando se incorporan mezclas de fertilizantes inorgánicos con residuos orgánicos, demostrando que los contenidos de materia orgánica, fósforo, calcio, magnesio y potasio aumentaron en los suelos donde se aplicaron los tratamientos combinados de desechos de cosechas y fertilización inorgánica N, P, K, y produciendo un aumento en el rendimiento (Arrieché y Mora, 2008)

5.8 Marco legal

La presente investigación está inmersa en las leyes y artículos que rigen al Estado Ecuatoriano, según la Constitución Política 2008 en el Art. 71 se establece los derechos de la naturaleza y a través de la cual se estableció el Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una Vida, en donde se encuentra el objetivo 3 “*Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones*” que tiene como finalidad establecer prácticas responsables con el medio ambiente que reduzcan el impacto ambiental ocasionado por las labores agrícolas y pecuarias, de tal manera que cree un manejo responsable del patrimonio natural y de los recursos naturales no renovables.

La Asamblea Nacional promulgó la Ley Orgánica de la Soberanía Alimentaria, en la que se refiere en el Título III, Capítulo I sobre el fomento a la producción en el Art. 14, que señala el fortalecer la diversificación de la producción agroecológica, orgánica y sustentable agropecuaria, es así que mediante la aplicación de abonos orgánicos, en este caso de cachaza, se pretende conservar, mantener y recuperar la fertilidad de los suelos para la producción de alimentos sanos, seguros y eficientes que garanticen una alimentación sana para las futuras generaciones.

CAPITULO III

6. MARCO METODOLÓGICO

6.1 Descripción del área de estudio

La presente investigación se realizó a una altitud de 2 267 m.s.n.m. en la Granja Experimental “La Pradera” de la Universidad Técnica del Norte, ubicada en la parroquia San José de Chaltura, cantón Antonio Ante en la provincia de Imbabura, como se puede observar en la Figura 1.



Figura 1. Mapa base de la zona de estudio en la Granja Experimental “La Pradera”.

6.1.1 Características climáticas

| | |
|---------------------|------------------|
| Temperatura máxima: | 32°C |
| Temperatura mínima: | 10°C |
| Humedad relativa: | 72% |
| Precipitación: | 597.2 mm anuales |

6.1.2 Características edáficas

El área de estudio presentó una textura franco-arcillosa y una pendiente de 15%. En la Tabla 2 se muestra el contenido de N total inicial que presentó el suelo, cuyo análisis químico se realizó en el Laboratorio AgrarProjekt de la ciudad de Quito. En el anexo 1 se muestra el contenido de los micro y macronutrientes restantes iniciales del suelo.

Tabla 2.

Contenido de N total del suelo antes de la aplicación de cachaza

| Propiedades | Valor | Unidad | Nivel Crítico |
|-----------------|-------|--------|---------------|
| NO ₃ | 10.9 | mg/kg | |
| NH ₄ | 6.0 | mg/kg | |
| *N total | 16.9 | mg/kg | Bajo |

Nota: N total= NO₃+ NH₄

6.2 Materiales, insumos, equipos y herramientas

6.2.1 Materiales de campo

- Libreta de campo
- Croquis
- Etiquetas
- 2 rollos de piola
- Rótulos de madera
- 1 cinta métrica
- 24 pomas plásticas de 5 litros (cachaza fresca)
- 1 cooler
- Bolsas plásticas (muestras de suelo)
- Fundas herméticas (muestras foliares)
- Cintas de tutorado
- Plástico negro
- Tanques de 200 L.

6.2.2 Material vegetativo

- Semillas de avena (Barrera viva)
- Semillas de arveja variedad piquinegra

6.2.3 Materia prima fresca y descompuesta

El material orgánico se recolectó en la finca panelera “La Palmera” ubicada en la ciudad de Ibarra en la parroquia de Ambuquí y el contenido de nutrientes de este material orgánico se determinó enviando muestras de un litro en estado fresco y un kilogramo en estado descompuesto al Laboratorio de agrarProjeckt de la ciudad de Quito. Los valores obtenidos se expresan en la Tabla 3.

Tabla 3.

Porcentaje del contenido de nutrientes de la cachaza fresca y descompuesta

| Cachaza | % M.O | % N | % P | % K | % Mg | % Ca | % Na |
|----------------|--------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| CF | 89.7 | 2.27 | 0.23 | 1.55 | 0.12 | 0.14 | 0.04 |
| CD | 94.0 | 5.25 | 0.27 | 0.66 | 0.08 | 0.07 | 0.02 |

Nota: CF: Cachaza fresca; CD: Cachaza descompuesta

6.2.4 Insumos

- Insecticida (Curacron-ingrediente activo cypermetrina)
- Fertilizantes minerales (fosfato di-amónico, nitrato de calcio y sulphomag)
- Fertilizantes orgánicos (yeso agrícola)

6.2.5 Equipos

- Computador
- Impresora
- Cámara fotográfica
- Balanza electrónica CAMRY
- Estufa
- Calibrador
- Medidor de área foliar

6.2.6 Herramientas

- Azodones
- Palas
- Rastrillo
- Pingos de tutorado
- Alambre
- Bomba de fumigar de 20 litros
- Estacas
- Aspersores
- Mangueras de 2 pulgadas

6.3 Métodos

6.3.1 Diseño del experimento

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (D.B.C.A) con medidas repetidas en tiempo, es decir a los 15, 30, 45, 60, 75 y 90 días después de la emergencia.

6.3.2 Tratamientos

Los tratamientos evaluados se realizaron en base al nitrógeno (N), el cual fue proporcionado por la cachaza fresca y descompuesta. En la Tabla 4 se presenta la dosificación de cada tratamiento, para cada unidad experimental (28.8 m²).

Tabla 4.

Tratamientos evaluados y dosificación

| Tratamientos | Formulación | Dosis | |
|--------------|---|----------------|-----------------|
| | | Ha | U.E |
| CD-1 | 100% Cachaza descompuesta | 2 toneladas | 6 kilogramos |
| CD-2 | 100% Cachaza descompuesta | 4 toneladas | 12 kilogramos |
| CD-3 | 100% Cachaza descompuesta | 6 toneladas | 18 kilogramos |
| CF+CD | 25% Cachaza fresca + 75% | 14 toneladas + | 41 kilogramos + |
| | cachaza descompuesta | 2 toneladas | 4 kilogramos |
| CD+FM | 50% Cachaza descompuesta + 50% Fertilización mineral | 1 tonelada | 3 kilogramos |
| FM | 100% Fertilización mineral | | |

De acuerdo con los resultados obtenidos en los análisis de suelo (Anexo 1) y los requerimientos del cultivo de arveja (Tabla 1), se determinó la recomendación de 40 kg/ha de N para las dosis de CD-1, CF+CD, CD+FM y FM, y se incrementó a 80 kg/ha de N para el CD-2 y 120 kg/ha de N para el CD-3. Utilizando como fuente orgánica la cachaza fresca y descompuesta y como fuente química el fosfato diamónico y el nitrato de calcio, quedando el tratamiento de fertilización química, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5.

Fuentes y dosis de fertilizantes minerales aplicados (kg/ha)

| Tratamiento | Fosfato di amónico 18-46-00 | Nitrato de calcio Ca (NO ₃) ₂ | Sulpomag 22-18-22 | Yeso agrícola |
|-------------|--------------------------------|---|----------------------|------------------|
| FM | 87 | 162 | 136 | 87 |
| CD+FM | 43,5 | 81 | 68 | 43.5 |

6.3.3 Características del área experimental

Las mediciones y el área total del experimento y de las unidades experimentales se presenta a continuación: (Anexo 5).

| | |
|-----------------------------|--|
| Área total del experimento: | 672.4 m ² (20.5 m x 32.8 m) |
| Unidades experimentales: | 18 |

6.3.3.1 Unidad experimental

| | |
|--|-----------------------------------|
| Área de la unidad experimental: | 28.8 m ² (3 m x 9.6 m) |
| Distancia entre plantas: | 0.20 m |
| Distancia entre surcos: | 1.20 m |
| Distancia entre parcelas: | 0.5 m |
| Surcos: | 9 |
| Longitud del surco: | 3 m |
| Número de plantas por surco: | 15 |
| Número de plantas por unidad experimental: | 120 |
| Número de plantas en el ensayo: | 2160 |

6.3.3.2 Parcela neta

| | |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| Área de la parcela neta: | 18.72 m ² (2.6 m x 7.2 m) |
| Número de surcos a evaluarse: | 6 |
| Número de plantas/surco | 13 |
| Número de plantas/parcela neta: | 78 |

6.3.4 Análisis estadístico

Se presenta un análisis de varianza (ADEVA) del diseño de bloques completos al azar (Tabla 6).

Tabla 6.

Análisis de varianza (ADEVA)

| Fuente de Variación | Fórmula | GL |
|---------------------|-----------------|----|
| Total | (t x R) - 1 | 17 |
| Tratamientos | (t - 1) | 5 |
| Repeticiones | (R - 1) | 2 |
| Error experimental | (t - 1) (R - 1) | 10 |

6.3.5 Variables

Los residuos orgánicos de origen vegetal poseen diferentes compuestos como son los micronutrientes, macronutrientes, además de sustancias como: sacarosa, coloides, coagulados y fosfato de calcio (Basanta, García, Cervantes, Mata y Bustos, 2007). Estas son sustancias primarias que las plantas necesitan para el crecimiento y desarrollo de tejidos, raíces, tallos, hojas y desempeñan un papel crucial en la fase vegetativa y maduración de la mayoría de los cultivos (Bonza-Espinoza, Pinzón-Sandoval y Álvarez-Herrera, 2016).

Para evaluar las variables morfológicas de las plantas de arveja se tomó al azar 3 plantas de análisis de la parcela neta de cada tratamiento (Anexo 6), las mediciones se inició a los 15

días después de la emergencia del cultivo con un intervalo de quince días entre mediciones, hasta los 90 días que finalizó el desarrollo vegetativo del cultivo. Estas plantas fueron extraídas de raíz con una pala recta y se llevaron al laboratorio para iniciar la medición de:

6.3.5.1 Altura de planta (cm)

Para evaluar la variable altura de planta se procedió a elegir las 3 plantas para análisis y se colocó un flexómetro desde el cuello de la raíz hasta el ápice vegetativo del tallo principal. La medida se registró en centímetros.



Figura 2. Medición de altura de planta de arveja

6.3.5.2 Diámetro del tallo (mm)

Para la medición del diámetro del tallo, se tomó las 3 plantas de las cuales se midió altura de planta y se colocó el calibrador pie de rey en la base del tallo de la planta. La medida se registró en milímetros.



Figura 3. Medición del diámetro del tallo de la planta de arveja

6.3.5.3 Área foliar (cm²)

De las 3 plantas anteriores se procedió a extraer los folíolos de cada una, los cuales fueron colocados en el medidor de área foliar y arrojó la medición total individual de cada planta de arveja. La medida fue registrada en centímetros cuadrados.



Figura 4. Medición del área foliar de los folíolos de las plantas de arveja.

6.3.5.4 Biomasa radicular (g/m²)

Una vez realizada la medición de las 3 plantas anteriores, se procedió a extraer la raíz de cada planta realizando un corte en el cuello de la misma. Las muestras fueron lavadas y pesadas en una balanza electrónica, obteniendo así el peso fresco. Las raíces fueron empacadas en bolsas de papel y posteriormente introducidas a una estufa a una temperatura 105 °C durante 24 horas hasta obtener un peso constante. Las muestras secas fueron pesadas en la balanza electrónica y se registró el peso seco. Una vez registrado el peso fresco y seco en gramos, se determinó la biomasa radicular por metro cuadrado de cada una de las plantas de arveja.



Figura 5. Muestra fresca del sistema radicular de la planta de arveja.

6.3.5.5 Biomasa aérea (g/m^2)

Se realizó el pesaje en fresco independiente de las hojas, flores y frutos de cada una de las plantas anteriores. Las cuales fueron empacadas en bolsas de papel e introducidas al una estufa a una temperatura de 105 °C durante 24 horas hasta obtener un peso constante. Una vez secas, se realizó el pesaje de las misma usando una balanza electrónica y resgistrando el peso seco en gramos. Para el cálculo del porcentaje de biomasa área se procedió a realizar las suma de los pesos independientes de las hojas, flores y frutos; una vez obtenido el peso área de la planta se obtuvo la biomasa aérea por metro cuadrado de cada planta de arveja.



Figura 6. Muestras frescas del sistema aéreo (tallos y hojas) de las plantas de arveja.

6.3.5.6 Biomasa total (g/m^2)

Se realizó la suma total de los pesos independientes de la raíz, tallo, hojas, flores y frutos; una vez registrado el peso total de la planta se obtuvo la biomasa total por metro cuadrado de cada una de las plantas de arveja.



Figura 7. Muestras frescas del sistema radicular y aéreo de las plantas de arveja.

6.3.5.7 Concentración del N en las hojas en estado de pre-floración.

La toma de muestras para la medición de esta variable se realizó en las primeras horas de la mañana, se procedió a seleccionar ocho plantas al azar de cada parcela neta y con el uso de

guantes se tomó las dos hojas medias del tercer nudo de la planta; colectando un total de 40 hojas por tratamiento. Las muestras foliares fueron colocadas en fundas de cierre hermético y guardadas en un cooler con refrigerantes para evitar el daño de estas; las cuales fueron enviadas al laboratorio el mismo día de muestreo.



Figura 8. Recolección de las hojas de plantas de arveja para muestras foliares.

6.3.5.8 Nutrientes disponibles en el suelo después de la cosecha

Se procedió a coleccionar con una pala recta 10 submuestras de suelo por el método de zig-zag a una profundidad de 20 cm. Las submuestras fueron mezcladas en un balde y de ella se obtuvo 1 kg de muestra de suelo. Este proceso se realizó en cada una de las unidades experimentales después de la cosecha de las parcelas, obteniendo un total de 18 muestras de suelo finales.



Figura 9. Mezclas de submuestras de suelo

La evaluación de las variables de contenido de nutrientes en las hojas y suelo, se realizó de acuerdo al protocolo que presenta el Laboratorio AgrarProjeckt de la ciudad de Quito.

Para evaluar las variables de rendimiento del cultivo de arveja durante la cosecha, se procedió a señalar numéricamente las 30 plantas centrales de la parcela neta y se realizó el siguientes registros:

6.3.5.9 Número de vainas por planta

Se anotó el número de vainas de cada una de las 30 plantas seleccionadas para las 3 cosechas en fresco realizadas.

6.3.5.10 Rendimiento en vaina verde (Mg/ha)

Las vainas verdes recolectadas por tratamiento fueron pesadas en una balanza electrónica y se obtuvo su peso en kilogramos.

6.3.5.11 Número de granos por vainas

De las vainas recolectadas por tratamiento se seleccionaron 15 vainas al azar y se registró el número de granos por vaina.



Figura 10. Rendimiento del cultivo de arveja. 1. Pesaje de vainas verdes, 2. Número de vainas por planta, 3. Número de granos por vaina.

6.4 Manejo específico del experimento

6.4.1 Descomposición de la cachaza en estado fresco.

Seis meses antes del experimento se procedió a recolectar de un trapiche artesanal panelero la cantidad de 200 L de cachaza fresca en un tanque del mismo volumen. Este fue transportado para prodecer a su descomposición, para este proceso se tendió un plástico negro de 10 m sobre una superficie plana, se esparció la cachaza por toda la superficie hasta formar un grosor de cuatro cm y se expusó al sol durante seis meses (FAO, 2000).

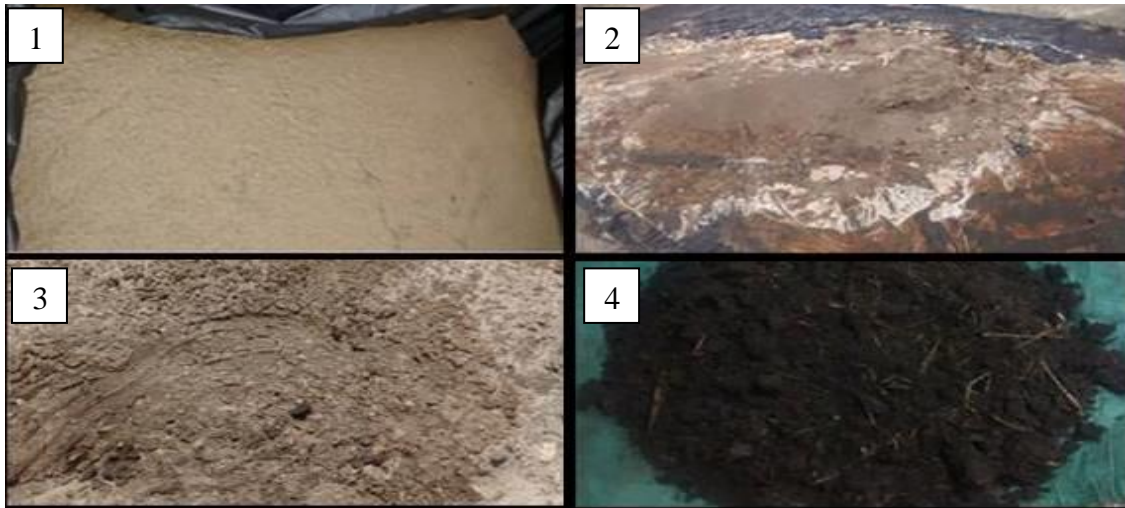


Figura 11. Proceso de descomposición de la cachaza fresca. 1. Cachaza fresca-día 1, 2. Cachaza-2 meses, 3. Cachaza-4 meses, 4. Cachaza-6 meses.

6.4.2 Análisis de la cachaza fresca y descompuesta.

El análisis del contenido de nutrientes y materia orgánica de la cachaza (Figura 11), se realizó cuando el materia prima estuvo lista para su dosificación y posterior aplicación para el cultivo. Se tomo un litro de cachaza fresca y un kilogramo de cachaza descompuesta.



Figura 12. Muestras de 1 litro de cachaza fresca y 1 kilogramo de cachaza descompuesta

6.4.3 Toma de muestras de suelo inicial

Este proceso se realizó un mes antes de la preparación del terreno. Las submuestras fueron tomadas del centro de cada unidad experimental en base a un esquema cuadrangular y en cada unidad experimental se realizó el siguiente proceso:

- a) Usando una pala recta a una profundidad de 20 cm se realizó un hueco en forma de “V” y de uno de sus lados se tomó una porción de 3 cm de espesor y con un cuchillo se retiraron los bordes, dejando una parte de 5 cm de ancho.
- b) En un balde limpio se depositó las 18 submuestras y se procedió a mezclar homogéneamente.

- c) Del balde se tomó 1 kg de muestra en una funda de plástico, la cual fue etiquetada con los datos correspondientes y enviada al Laboratorio AgrarProjeckt.



Figura 13. Toma de muestras de suelo. 1. Realización del hueco en forma de “V” en el suelo, 2. Extracción de la submuestra del suelo, 3. Mezclas de las submuestras

6.4.4 Preparación del terreno y delimitación del área experimental

En el lote experimental se realizó un pase de arada y rastra con el tractor. Luego se procedió a delimitar del terreno con el empleo de estacas y piola. Las dimensiones fueron de 22.5 m de ancho y 36.8 m de largo (Anexo 5). Además se fijó cada unidad experimental de 28.8 m² (3m x 9.6 m). Los caminos entre unidades fueron de 0.50 m. y, entre bloque de 2 m. Se realizaron surcos con un azadón a una distancia de 1.1 m de forma manual y se rotuló las unidades experimentales con su correspondiente tratamiento.



Figura 14. Delimitación de las unidades experimentales y colocación de rótulos en la zona de estudio

6.4.5 Siembra de la avena como barrera viva.

Entre el camino de los bloques se procedió a sembrar de forma manual cuatro hileras de avena. Este cultivo formó una barrera viva que detuvo el arrastre de suelo entre bloques en el momento de lluvias. Esta práctica se realizó debido a que terreno posee una pendiente del 15%.



Figura 15. Dos barreras vivas de avena entre bloques del cultivo de arveja.

6.4.6 Aplicación de la cachaza fresca

En un tanque se recolectó la cachaza fresca del trapiche panelero y usando una balanza electrónica, se procedió a pesar 5 kg de este residuo en una botella de plástico de 3 litros. La aplicación se realizó de forma manual a chorro continuo en el tratamiento CF+CD y se incorporó con el azadón en cada surco. Esta aplicación fue necesaria realizar 20 días antes de la siembra, de esta forma se evitó fitotoxicidad debido a la liberación de CO₂ y CH₄, que conlleva el proceso de descomposición y no afecte la germinación (Zeregea, 2000).



Figura 16. Material Orgánico. 1. Pomas de 5 kg de CF, 2. Incorporación al suelo de CF por surco

6.4.7 Aplicación de la cachaza descompuesta

En estado descompuesto la cachaza se aplicó al suelo en el momento de la siembra de las semillas de arveja. Se procedió a pesar en una balanza electrónica las dosis de cachaza descompuesta que requiere cada surco por tratamiento. En manera de bandas superficiales a un costado de la hilera de siembra se aplicó el material orgánico a chorro continuo y se incorporó con un azadón.



Figura 17. Incorporación de la cachaza descompuesta por surco.

6.4.8 Fertilización química

En base a la recomendación del análisis de suelo, se determinó la cantidad de fertilizantes químicos requeridos por el cultivo (Tabla 5). Los fertilizantes minerales utilizados se aplicaron en bandas superficiales y cubiertos con el azadón en el tratamiento FM. En el caso del tratamiento CD+FM se aplicaron los fertilizantes después de cubrir la cachaza descompuesta.



Figura 18. Aplicación de la fertilización química por surco.

6.4.9 Siembra de las semillas de arveja

La siembra se realizó manualmente con un espeque que forma hoyos de 5 cm de profundidad. Se colocó una semilla por golpe con una distancia entre planta de 20 cm.



Figura 19. Siembra por espeque de la semilla de arveja.

6.4.10 Aporques

El aporque permitió facilitar el buen sostén y aireación a las plantas, lo que contribuyó a dar mayor vigor al cultivo en general. Se realizó dos aporques durante el ciclo del cultivo, el primero fue a los 30 días después de la siembra y el segundo aporque fue a los 50 días.

6.4.11 Instalación del tutorado

El sistema de tutorado que requiere esta variedad de cultivo de arveja es de espaldera sencilla, colocando postes de 2 m a cada extremo de los surcos. Posterior a ello se instaló alambre de calibre 12, y después se reforzó el tutorado con varas de 2 m de altura ubicados a 3 m de distancia dentro del surco. Los alambres guía de hiliza se colocaron a los 30 días después de la emergencia de las plantas, cuando los zarcillos comenzaron a brotar y se formó el sostén del tutorado.



Figura 20. Tutorado de espaldera sencilla en el cultivo de arveja variedad Piquinegra en estado de floración

6.4.12 Instalación del sistema de riego.

Se instaló un sistema de riego por aspersión utilizando tres rollos de mangueras de una pulgada y seis aspersores con cubren un diámetro de ocho m. La fuente hídrica de donde se suministró el agua para el cultivo se encontraba de 50 m del lote, se decidió instalar una manguera principal en la cual se colocó una T con dos mangueras extras que cubrieron el área total del experimento.



Figura 21. Sistema de riego por aspersión en el cultivo de arveja en estado de emergencia

6.4.13 Deshierbas

Durante la investigación se realizó dos deshierbes durante el ciclo del cultivo, el primero fue a los 30 días después de la siembra y el segundo fue a los 50 días. Esta práctica evita la competencia de absorción de nutrientes entre las plantas arvencas y el cultivo implementado.

6.4.14 Control fitosanitario.

Los controles fitosanitarios se realizaron para las siguientes plaga:

Gusano trozador (*Agrotis sp*): Esta plaga se encarga de trozar las tejidos vegetativos en crecimiento inicial. Se realizó un control químico usando un insecticida no sistémico, cuyo ingrediente activo es la Cypermetrina. En una bomba de 20 litros se colocó 30 cc del insecticida y se procedió a mezclar, se realizó tres aplicaciones cada 8 días en las horas de la mañana cuando el cultivo estaba a los 15 días de crecimiento vegetativo y tres aplicaciones más, cuando el cultivo se encontraba en estado de floración.

6.4.15 Cosecha

La cosecha correspondiente al primer ciclo de producción inició a los 160 días después de la siembra. En total se realizaron 2 cosechas en todo el ciclo del cultivo. La cosecha se realizó de forma manual, separando la vaina de la planta y depositándola en baldes de capacidad de 20 kg, para después ser empacadas en costales de nylon con capacidad de 50 kg. Para definir la madurez de las vainas comestibles de arveja se aplicó uno de los métodos descritos por Myers et al, (2001) que consiste en parámetros visuales donde se consideró como momento óptimo de cosecha, cuando las vainas presentaron las siguientes características organolépticas: textura rugosa y coloración verde blanduzco.



Figura 22. Cosecha de las vainas verdes de arveja en baldes de 20 kg



Figura 23. Características organolépticas de las vainas: textura rugosa y coloración verde blanduzco

CAPÍTULO IV

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La cachaza es un subproducto obtenido de la elaboración de panela artesanal, la composición química que posee permite sustituir parcial o totalmente la dosis de N en los cultivos, mostrando su potencial como fertilizante orgánico para el suelo.

El comportamiento de las variables morfológicas: altura de planta, diámetro del tallo y área foliar bajo la aplicación de cachaza fresca y descompuesta en el cultivo de arveja, responde al objetivo específico número 1 y se describe a continuación:

7.1 Altura de planta

Una vez realizado el análisis estadístico se determinó que existe interacción entre la frecuencia de medición y los tratamientos, con respecto a la variable altura de planta medida a los 15, 30, 45, 60, 75 y 90 días después de emergencia ($F= 5.92$; $gl=25, 283$; $p<0.001$) (Tabla 7).

Tabla 7.

ADEVA del efecto de diferentes dosis de cachaza fresca y descompuesta sobre la altura de planta.

| Fuente de variación | Grados de libertad F. V | Grados de libertad Error | Valor F | Valor P |
|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------|---------|
| Frecuencia | 5 | 283 | 1812.81 | <0.0001 |
| Tratamientos | 5 | 283 | 58.83 | <0.0001 |
| Frecuencia: tratamientos | 25 | 283 | 5.92 | <0.0001 |

La altura de planta es una característica morfológica de gran importancia en el crecimiento y desarrollo de la planta. Esta determinada por la elongación del tallo al acumular en su interior los nutrientes producidos durante la fotosíntesis, lo que a su vez son transferidos a la vainas durante el llenado de grano y puede verse afectada por la acción conjunta de los cuatro factores fundamentales: luz, calor, humedad y nutrientes (Blessing y Hernández, 2009).

Las pruebas de media fisher al 5% indica que la variable altura de planta para todas las dosis de cachaza en función del tiempo muestra curvas de crecimiento (Figura 24), donde se aprecia que entre los 15, 30 y 45 días después de la emergencia del cultivo no hubo diferencia de altura entre las dosis de cachaza aplicada. Este resultado obtenido en estos días es debido a que el crecimiento de la arveja es lento en estos periodos de desarrollo, por lo que es una etapa muy temprana para mostrar el efecto de los fertilizantes aplicados.

Por otro lado, las diferencias estadísticas se muestran a partir de los 60 días en adelante con un mayor crecimiento vegetativo que alcanza valores más altos a los 75 días y posteriormente a los 90 días después de la emergencia. La dosis CD-6 presentó plantas de mayor crecimiento vegetativo registrando una altura promedio de 208 cm, seguido por el CD+FM y el CD-2 que presentaron valores de 194 cm y 185 cm, respectivamente. En cuanto a las dosis CD+CF y CD-4 presentaron plantas con menor crecimiento, con una altura promedio de 159 cm,

seguido por la FM que presentó plantas con una altura de 153 cm, evidenciándose de esta manera que la mayor altura se presentó en tratamientos con manejo orgánico.

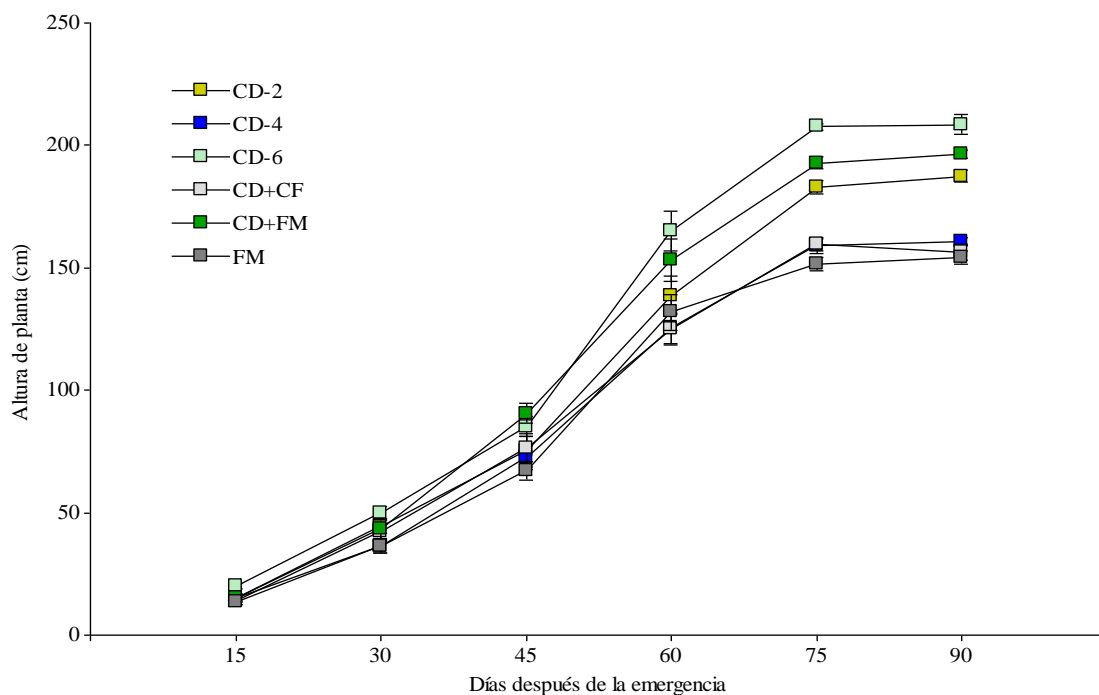


Figura 24. Curvas de crecimiento de la variable altura de planta para todas las dosis de cachaza en función del tiempo.

En general, analizando los resultados respecto a la variable altura de planta se puede deducir que a pesar de que la CD-6 aportó al suelo 120 kg/ha de N obtuvo mayor altura, el CD-2 de 40 kg/ha de N también mostró una altura mayor. Según el IPNI (2011) la aplicación de nitrógeno debe ser en dosis correctas y únicamente las requeridas por el cultivo y el suelo, pues mientras se aumenta las cantidades adecuadas de este elemento, mayor es la probabilidad que exista procesos de volatilización, lixiviación, desnitrificación y escorrentia en el sistema suelo-cultivo, ocasionando así problemas de contaminación ambiental a los recursos agua, suelo y aire.

Estos resultados sugieren que el contenido de nitrógeno en el CD-2 genera un mayor crecimiento de la planta de arveja que la FM, según menciona Monsalve, Escobar, Acevedo, Sánchez y Coopman (2009) mientras mayor disponibilidad de nitrógeno exista en el suelo, mayor es la absorción por parte de las plantas, que aprovechan para promover una rápida división y elongación celular, ocasionando así según Perdonomo y Barbazán (2001) que este nutriente se acumule en el interior del tallo y estimule el crecimiento de la planta en la etapa vegetativa del cultivo

Similares resultados fueron encontrados por Forero, Fernández y Álvarez (2010), quienes obtuvieron diferencias de efecto significativo en la altura de planta de maíz aplicando dosis de 15 tn ha⁻¹ de cachaza. Por lo cual dan a conocer que la altura aumenta en función de la cantidad de cachaza aplicada al suelo. De la misma forma, Cuenya, García, Díaz, Romero y Chavanne (2007), evaluaron el efecto de la adición y no adición de cachaza en semilleros de plantas de caña de azúcar y observaron que a pesar de que no presentó diferencias

significativas en la altura de planta, la aplicación de la dosis de 25 tn ha⁻¹ de cachaza incrementó la altura de los tallos de las plántulas de caña de azúcar en comparación al testigo sin aplicación.

A pesar de que las investigaciones mencionan que la altura de planta incrementa en función de la cantidad de cachaza aplicada al suelo, en esta investigación se demuestra que es poco probable que esto siempre ocurra debido a que, como se observa en la Figura 24, la dosis CD-4 tuvo una mejor altura de planta que la dosis correcta CD-2, por lo que sugiere únicamente la aplicación de abonos orgánicos en cantidades de nitrógeno requerido.

Por otro lado, la dosis CD+FM que representa la mezcla de 50% de cachaza y 50% de fertilización mineral, también generó plantas de arveja con mayor crecimiento, registrando una altura de 196 cm superior a la FM, para Ramos y Terry (2014) la aplicación combinada de fertilizantes y abonos orgánicos permite que el nitrógeno se presente en formas inorgánicas y orgánicas, las cuales se vuelven más o menos estables y que paulatinamente van mineralizándose y pasando a disposición de las plantas de manera más eficiente. Los resultados obtenidos en esta investigación coinciden con Estupiñán, Garzón y Forero (2013) quienes evaluaron tres dosis de cachaza y encontraron diferencias significativas en la altura de las plantas de fréjol, mostrando que las plantas más altas fueron aquellas que se fertilizaron con la dosis de 50 % de cachaza y 50 % fertilización mineral, lo cual indican en este sentido que la fertilización orgánica-mineral puede llegar a sustituir en gran medida el uso completo de fertilizantes minerales debido a la naturaleza de liberación de nutrientes que cada producto posee.

Esta combinación orgánica-mineral permite deducir que es factible reducir el 50% de la fertilización mineral y realizar su complementación con 50% materiales orgánicos. Según menciona Zhang et al., 2013 el minimizar el uso excesivo de nitrógeno en la producción de cultivos contribuye a reducir la contaminación al suelo, agua y aire, y las emisiones directas de óxido nitroso del suelo (N₂O) de efecto invernadero (GEI). Además, Nayak et al (2015) da a conocer que por cada tonelada de fertilizantes nitrogenado fabricado y utilizado se emiten 13.5 toneladas de CO₂ es por ello que esta combinación en una medida que podría disminuir las emisiones globales del GEI de los sistemas de cultivo.

Por el contrario, la dosis CD-4 que presentó una altura mayor a la FM pero inferior a la CD-2, según Arreola-Enríquez et al (2004) menciona que una de las propiedades de los abonos orgánicos es el proceso lento de mineralización de nitrógeno, lo cual pudo ocasionar un menor desarrollo vegetativo en las plantas de este tratamiento. En cuanto, a la dosis CD+CF la altura menor que presentó puede ser debido a que la cachaza fresca fue aplicada a campo abierto 20 días antes de la siembra, pues durante este periodo de tiempo es probable que el nitrógeno se haya lixiviado por medio de las lluvias o pérdida por volatilización del gas amoniacal. Estos procesos pueden ser la causa de la baja disponibilidad de nitrógeno en el suelo que ocasiona un menor crecimiento y desarrollo vegetativo de la planta de arveja bajo esta combinación.

7.2 Diámetro del tallo

Los resultados de análisis de varianza muestran que existe interacción entre la frecuencia de medición y tratamientos con respecto a la variable diámetro del tallo medida a los 15, 30, 45, 75 y 90 días después de la emergencia ($F=5.99$; $gl=25, 283$; $p<0.001$) (Tabla 8).

Tabla 8.

ADEVA del efecto de diferentes dosis de cachaza fresca y descompuesta en el diámetro del tallo.

| Fuente de variación | Grados de libertad | Grados de libertad | Valor F | Valor P |
|--------------------------|--------------------|--------------------|---------|---------|
| | F. V | Error | | |
| Frecuencia | 5 | 283 | 111.53 | <0.0001 |
| Tratamientos | 5 | 283 | 48.55 | <0.0001 |
| Frecuencia: tratamientos | 25 | 283 | 5.99 | <0.0001 |

El diámetro del tallo es una característica morfológica en las plantaciones de arveja, ya que influye sobre el doblamiento de los tallos, según Gordillo (2010) el grosor del tallo depende de la variedad, las condiciones ambientales y nutricionales del suelo y Gómez, Gómez, Padilla, González y Expósito (2005) afirma que la aplicación de nitrógeno es uno de los factores que influyen en el diámetro del tallo, pues afirma que las altas dosis de nitrógeno influyen positivamente en el diámetro del tallo.

Las altas densidades de siembra y la competencia por luz con las malezas provocan una elongación de los tallos, entrenudos más largos y plantas más altas, reduciendo el grosor de los tallos y aumentando las posibilidades de acame de las plantas. Los tallos delgados es un símbolo de raquitismo por deficiencia nutricional del vegetal (Blessing y Hernández, 2009).

En la Figura 25 se muestra el comportamiento de este indicador, donde todas las dosis de cachaza en función del tiempo muestra curvas de crecimiento. Entre los 15 y 30 días después de la emergencia del cultivo se puede observar que no hubo diferencias en el engrosamiento del tallo entre las dosis de cachaza aplicada.

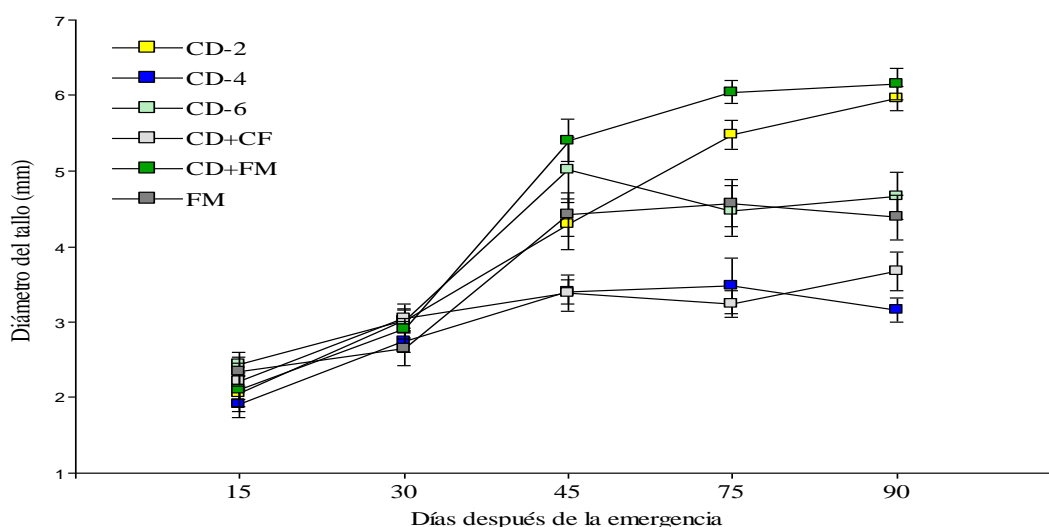


Figura 25. Curvas de crecimiento de la variable diámetro del tallo para todas las dosis de cachaza en función del tiempo.

Los resultados indican que después de los 45 días, hubo mayor engrosamiento en los tallos del cultivo. Sin embargo, a partir de los 75 días hasta los 90 días después de la emergencia, se evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Las dosis CD+FM y CD-2 generaron plantas de arveja con tallos más gruesos, registrando un diámetro promedio de 6 mm y 5 mm, seguido por el CD-6 y FM que presentaron el valor del 4 mm, respectivamente. En cuanto a los tratamientos CD+CF y CD-4 presentaron plantas de arveja con menor engrosamiento del tallo con un diámetro promedio de 3 mm.

El aporte de nutrientes que proporcionó la combinación de CD+FM al suelo permitió un mayor engrosamiento en los tallos de arveja con respecto a la FM. De acuerdo con Moreno y Torres (2011) este comportamiento se debe al efecto del nitrógeno tanto del material orgánico y mineral, el cual favorece el crecimiento vegetativo, en tanto que el fósforo regula el metabolismo de los carbohidratos proporcionando un mayor aporte de fotosintatos al parénquima que funciona como reservorio; por otro lado, el potasio interviene en la formación de glúcidos y ejerce una influencia sobre el aumento del diámetro del tallo. Marschner (2002) en una investigación menciona que es probable que el contenido de calcio que tiene la cachaza puede influir en el incremento del diámetro y resistencia del tallo.

De la misma manera Dávalos, Robles y Bruzón (1996), evaluaron el uso de cachaza-carbonilla y fertilización mineral en el sustrato de plántulas de tomate y a pesar de no obtener diferencias significativas en el diámetro del tallo, hubo mayor engrosamiento con el sustrato con cachaza-carbonilla que con la fertilización mineral, mencionando que la cachaza es material que retiene el agua y da el abastecimiento necesario de nutrientes para un mayor desarrollo vegetativo de las plantas.

Para Cairo, Machado, Rodríguez y Rodríguez (2017) los fertilizantes orgánico-mineral integran las ventajas de los abonos orgánicos y los minerales, pues su comportamiento beneficia en el desarrollo vegetativo de los cultivos debido a que tienen altos porcentajes de material orgánico que mejora las características de los suelos; por otra parte, la adición de fertilizantes minerales asegura un suministro de nutrientes altamente disponibles para las plantas que compensa la falta de disponibilidad inmediata de nutrientes de los abonos orgánicos. Esto fue corroborado en esta investigación y ambientalmente es una alternativa que permite reducir la cantidad de fertilizante nitrogenado y las emisiones de óxido de nitroso y dióxido de carbono que son gases de efecto invernadero, tal como se mencionó en la variable altura de planta.

De la misma forma la dosis CD-2 generó plantas con tallos más gruesos con respecto a la fertilización mineral, ya que de acuerdo con lo indicado por Escamilla et al (2003), la materia orgánica aumenta el crecimiento vegetativo de las plantas, debido a que mejora las propiedades físicas del suelo e incrementa la capacidad de retención de agua y nutrientes. Similares resultados obtuvieron Forero, Fernández y Álvarez (2010) quienes presentaron diferencias de efecto significativo en el diámetro del tallo de las plantas de maíz aplicando una dosis de 15 t ha⁻¹ de cachaza fresca y dan a conocer que el diámetro del tallo aumenta en función de la cantidad de cachaza aplicada al suelo.

Igualmente, la dosis CD-6 presentaron tallos de arveja con un engrosamiento superior a la fertilización mineral, según menciona Bentancourt, González, Figueroa y González (2001) las mayores dosis de nitrógeno permiten obtener un diámetro del tallo con un 21% superior a la no aplicación de materia orgánica. Diversos estudios concuerdan con los resultados encontrados en este ensayo. En investigaciones realizadas por Pérez y Torres (2014) y Borges y Garcés (2006), demostraron que la adición de distintas concentraciones de cachaza en el suelo tiene un efecto significativo sobre el diámetro del tallo de las plantas, alcanzando los valores más altos con respecto al testigo suelo sin cachaza, debido al contenido de materia orgánica y nutrientes que presenta este material orgánico que, tal como señala Díaz et al. (2016), la calidad biológica del suelo mejora al adicionar la cachaza, lo cual favorece el proceso de mineralización y la absorción de nitrógeno, produciendo un incremento significativo en el diámetro de tallo y demostrando que constituye una alternativa fertilización para satisfacer las necesidades nutricionales de los cultivos.

Estos resultados dan a conocer que a pesar de aplicar dosis altas de nitrógeno al suelo, el engrosamiento de los tallos en las plantas de arveja fue menor a la dosis de adecuada. Según IPNI (2009) explica que la fuente correcta del nutriente, en la dosis, época y localización correctas permite entregar de manera más eficiente el nitrógeno a las plantas, minimizando al mismo tiempo las pérdidas al ambiente. Es por ello que la CD-2 obtuvo un mayor engrosamiento de plantas de arveja, pues aprovechó de manera eficiente el nitrógeno en la dosis adecuada sin tener la necesidad de triplicar la dosis de este nutriente para obtener un mayor crecimiento vegetativo, el cual no se obtuvo en esta investigación con la dosis CD-6.

En cuanto que las pérdidas de nitrógeno por medio lixiviación y volatilización son procesos que probablemente ocurrieron en la dosis de CD-6 que ocasionó un menor crecimiento en las plantas de arveja, pues en esta investigación no se evaluó los procesos fisiológicos que permitan identificar donde encuentra almacenado este nutriente dentro de las plantas. A su vez, hay que tomar en cuenta que al triplicar la cantidad adecuada de nitrógeno que requiere el cultivo es un gasto innecesario de las fuentes orgánicas con las cuales se podría fertilizar mayor hectáreas de suelo que también requieren de este nutriente.

Por otro lado, la dosis CD-4 presentaron plantas de arveja con tallos de menor diámetro con respecto a los demás tratamientos, tal como se mencionó anteriormente esto puede ocurrir debido al proceso lento de mineralización de nitrógeno. A su vez, Escamilla et al. (2003) sugiere a que factores como el tipo de suelo y el tiempo requerido para que la materia orgánica se haga disponible a la planta, dificultan una respuesta positiva de esta forma de fertilización. De igual forma, en la dosis CD+CF, los procesos y factores mencionados en la variable altura de planta pueden ser también la causa de un menor engrosamiento de tallos.

7.3 Área foliar

Al realizar el análisis estadístico, la variable área foliar medida a los 15, 30, 45, 60, 75 y 90 días, muestra que existe interacción entre la frecuencia de medición y los tratamientos ($F=23.75$; $gl=25, 283$; $p=0.094$) (Tabla 9).

Tabla 9.

ADEVA del efecto de diferentes dosis de cachaza fresca y descompuesta en el área foliar.

| Fuente de variación | Grados de libertad | Grados de libertad | Valor F | Valor P |
|--------------------------|--------------------|--------------------|---------|---------|
| | F. V | Error | | |
| Frecuencia | 5 | 283 | 513.78 | <0.0001 |
| Tratamientos | 5 | 283 | 3.11 | 0.0094 |
| Frecuencia: tratamientos | 25 | 283 | 23.75 | <0.0001 |

El área foliar es una característica morfológica cuantitativa que puede ser medida a través de medidores foliares o de parámetros como ancho de la hoja y longitud de la hoja y contribuye a un aumento del rendimiento al incrementar los niveles de fotosíntesis (Mata, 2015). El área foliar va a depender de la variedad, la posición de las hojas respecto al tallo, la edad y las condiciones ambientales de luz y temperatura (Hernández, Ojeda, López y Arras , 2010).

En la figura 26 se puede observar que la variable área foliar para todos los tratamientos muestra curvas de crecimiento en función del tiempo. Entre los 15, 30 y 45 después de la emergencia del cultivo se puede apreciar que no hubo diferencias significativas entre las dosis de cachaza aplicada, y a los 90 días después de la emergencia para todas las dosis de cachaza el área foliar disminuyó al término del ciclo vital del cultivo de arveja.

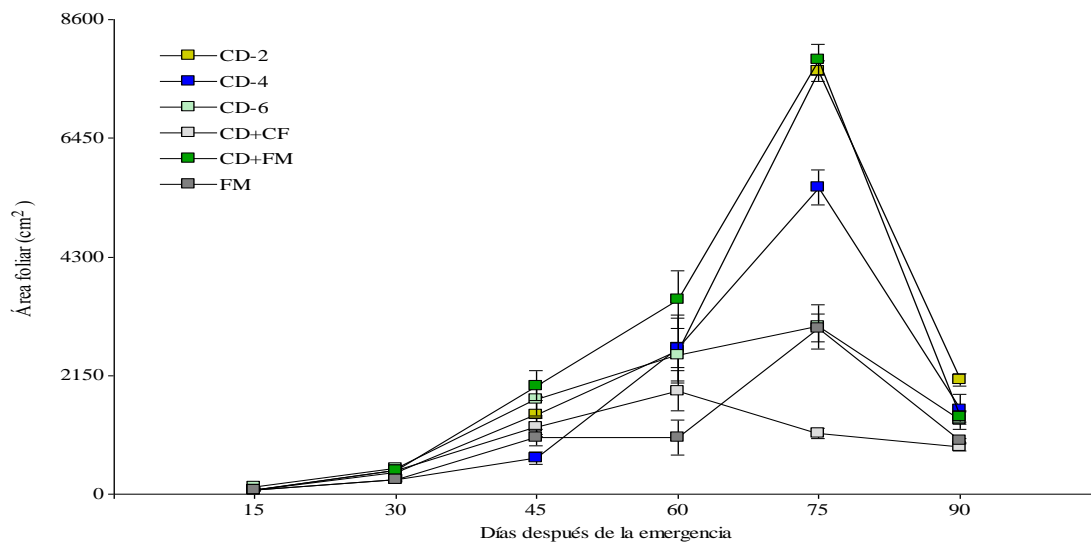


Figura 26. Curvas de crecimiento de la variable área foliar para todas las dosis de cachaza en función del tiempo.

Sin embargo, a partir de los 60 días hasta los 75 días después de la emergencia, se evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Las dosis CD+FM y CD-2 presentaron hojas de arveja con mayor área foliar, registrando una superficie promedio de 7 768 cm², seguido por el CD-4 que presentó un valor promedio de 5 559 cm². En cuanto al CD-6 y FM registraron un área foliar menor con promedio de 3 021 cm², seguido por el CD+CF que presentó una superficie de 1 109 cm². El suministro de nutrientes proveniente de la combinación orgánico-mineral ocasionó que exista mayor área foliar en CD+FM con respecto a la FM, según menciona Perzabal-Ramos et al. (2018) esto ocurre debido a que la

fertilización química tiene una eficiencia limitada y los cultivos absorben entre 10 y 50% del fertilizante aplicado, mientras que el abono orgánico mejora las condiciones del suelo por lo que la combinación de ambos permite un mayor aporte nutrientes, en especial de nitrógeno, el cual es responsable de generar una mayor área foliar. Lo que concuerda con un estudio en el cultivo de col donde la aplicación de 10 t ha⁻¹ de cachaza junto con el 50% fertilizante químico favoreció en la formación y la expansión de las hojas y aseguró un buen nivel de área foliar (Plata, Forero, Balaguera y Serrano, 2009).

Estos resultados coinciden con los reportados por Estupiñán, Garzón y Forero (2013) quienes evaluaron el efecto de diferentes dosis de cachaza y obtuvieron mayor área foliar con la aplicación de 6 t ha⁻¹ cachaza más 50% fertilización mineral en las plantas de frejol con respecto a las dosis bajas de cachaza. El efecto consistente de la cachaza concuerda con los resultados Armario et al. (2008) quien expuso una mayor área foliar en el cultivo de banano con las aplicación de 6, 10 y 14 kg de cachaza más 25% fertilizantes químicos, cuyos valores fueron significativamente superiores al testigo fertilización mineral, lo cual le convierte en un buen tratamiento de fertilización para los cultivos.

No obstante, con el solo suministro de las dosis CD-2, CD-4 y CD-6 fue posible también obtener mayor área foliar con respecto a la FM, la mayor disponibilidad de nutrientes se evidencia a medida que se incrementa la dosis de cachaza en el experimento y pone en manifiesto el efecto positivo que tiene la cachaza sobre el aumento del área foliar de las plantas de arveja, principalmente de nitrógeno, que se caracteriza por aumentar el follaje (Basanta, García, Cervantes, Mata y Bustos, 2007).

Similares resultados fueron encontrados por Forero, Fernández y Álvarez (2010) quienes comprobaron que la aplicación de 12 t ha⁻¹ de cachaza fresca produce mayor cantidad de follaje y área foliar, con respecto al testigo absoluto sin aplicación de cachaza y da a conocer que el área foliar de las plantas de maíz aumenta en función de la cantidad de cachaza aplicada al suelo, es decir que cantidades bajas de nitrógeno en el suelo conduce a un menor número de hojas por planta y reduce, principalmente, la tasa de expansión foliar, con un leve impacto sobre la tasa de aparición foliar.

Sin embargo, hay que tomar en cuenta que la aplicación de la dosis CD-2 permitió una mayor área foliar en comparación con la dosis CD-6, lo cual concuerda con la variable diámetro del tallo. Esto permite sugerir que altas cantidades de nitrógeno no aporta al crecimiento vegetativo de las plantas de arveja, lo que conlleva a no tener un uso eficiente de este nutriente. Tal como se mencionó en la variables anteriores la dosis correcta de nitrógeno permite tener una nutrición eficiente en las plantas y con ello un desarrollo vegetativo favorable para los cultivos como se demostró en esta investigación con las variables morfológicas altura de planta, diámetro del tallo y área foliar, las cuales son características fundamentales para el rendimiento del cultivo. Además, cabe mencionar que por medio del uso eficiente de nutrientes con la dosis correcta se podría minimizar los GEI producidos en la elaboración y aplicación de nitrógeno al suelo.

La concentración de nitrógeno foliar es la variable respuesta al objetivo específico número dos, esta muestra el nivel de este elemento cuando el cultivo se encontraba en estado de pre-

floración; además permitirá conocer el estado nutricional de las plantas frente a la aplicación de cachaza fresca y descompuesta.

7.4 Concentración de N foliar

El nitrógeno es el nutriente que mayor actividad de circulación tiene por el sistema vascular de las plantas, especialmente en la etapa de pre-floración del cultivo (Sosa-Rodriguez y García-Vivas, 2018). La interpretación de los análisis foliares en esta etapa permite identificar metabólicamente el estado nutricional del cultivo, puesto que una planta que contiene en sus tejidos las cantidades adecuadas de nutrientes es capaz de dar altos rendimientos y exhibir un buen estado visual (Puentes-Páramo, Menjivar-Flores, y Aranzazu-Hernández, 2016). En la Tabla 12 se muestra los porcentajes de concentración de nitrógeno que presentó cada tratamiento de cachaza con un valor promedio de 4%.

Tabla 10.

Concentración del N (%) foliar en estado de pre-floración.

| Niveles | CD-2 | CD-4 | CD-6 | CD+CF | CD+FM | FM |
|-----------|------|------|------|-------|-------|-----|
| Nitrógeno | 4.14 | 4.15 | 4.08 | 4.38 | 4.47 | 4.3 |

Los análisis foliares muestran que la concentración del nitrógeno en el tratamiento orgánico y mineral no presentan diferencias, según Moreno y Torres (2011) el porcentaje óptimo de concentración es de 4.0% a 5.5%, lo que indica que los valores que presentó esta investigación son las más adecuados para el desarrollo y crecimiento vegetativo del cultivo de arveja.

Por lo cual, este resultado sugiere que la aplicación de la dosis correcta de cachaza (CD-2) o la combinación orgánico-mineral (CD+FM) en el suelo logra abastecer los requerimientos de nitrógeno en las plantas, sin la necesidad de doblar o triplicar esta dosis y de realizar una completa fertilización mineral para lograr el porcentaje de nitrógeno foliar requerido por el cultivo de arveja, aportando de tal manera a minimizar el uso de excesivo de fertilizantes nitrogenados en un 50% y los efectos negativos que este produce al medio ambiente.

Cabe recalcar que durante el etapa de pre-floración en el cultivo de arveja en cada tratamiento evaluado no se observaron deficiencias nutrimentales y basandose en la composición nutrimental de la cachaza descompuesta (Tabla 3), se asume que este residuo orgánico aportó también los demás nutrientes de manera eficiente lo que ocasionó que el cultivo de arveja refleje un buen estado nutricional. Este resultado es corroborado por Cautinbo, Araújo, Guerra, Rodríguez y Siqueira (2006) al aplicar diferentes dosis de cachaza en sustratos de plántulas de *Sesbania virgata (Cav.)* y obtener 2% mayor contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en las hojas con respecto al testigo sin cachaza.

Diferentes estudios muestran el efecto positivo que tienen los abonos orgánicos sobre la concentración de nitrógeno foliar en los cultivos. Ochoa-Martínez et al., (2009) en una investigación obtuvieron valores similares de nitrógeno foliar entre el té de composta y la solución nutritiva de la fertilización mineral aplicada en el cultivo de tomate. Así mismo, un estudio realizado por Ramírez, Gómez y Flóres (2011) demostraron que la adición del 25% de fertilizante orgánico líquido de lombris en las hojas de las flores obtienen mayor

concentración de nitrógeno foliar en comparación con las flores de fertilización mineral completa.

La mayor acumulación de la biomasa el sistema radicular y total y el incremento del rendimiento determinó la dosis óptima de cachaza fresca y descompuesta que requiere el cultivo de arveja para su ciclo vegetal, esta variables son la respuesta al objetivo específico número tres y se describen a continuación:

7.5 Biomasa radicular

Una vez realizado el análisis estadístico se determinó que existe diferencias significativas entre los tratamientos evaluados ($F=24.99$ $gl=5, 10$; $p<0.0001$) (Tabla 10).

Tabla 11.

ADEVA del efecto de diferentes dosis de cachaza fresca y descompuesta en la biomasa radicular.

| Fuente de variación | Grados de libertad F. V | Grados de libertad Error | Valor F | Valor P |
|---------------------|----------------------------|-----------------------------|---------|---------|
| Tratamientos | 5 | 10 | 24.99 | <0.0001 |

El sistema radicular es una de las partes más importantes fisiológicamente de las plantas, ya que es donde se almacenan, absorben y reciclan los nutrientes, minerales y agua (Gárate y Blanco, 2013). En la Figura 27 se muestra el comportamiento de este indicador a los 90 días después de la emergencia, donde se observa que las dosis CD-6, CD+FM y CD-2 (39%, 37% y 18% respectivamente) obtuvieron significativamente mayor acumulación de masa en el sistema radicular en comparación a la FM.

Estos resultados muestran que la cachaza descompuesta tanto de la dosis CD-6 y CD-2 fue favorable para el desarrollo radicular de las plantas, por lo que sugiere que la aplicación de este material orgánico sea únicamente con la dosis correcta que requiere el cultivo para compensar el nitrógeno en el suelo. A pesar de que la dosis CD-6 obtuvo mayor acumulación de biomasa radicular por el aumento de nitrógeno, es necesario recalcar que con esta dosis se puede abastecer más de una hectárea de cultivo y con una dosis correcta.

A su vez, también se puede observar que la combinación orgánico-mineral también generó mayor acumulación de biomasa radicular, siendo esta una opción fiable para compensar el nitrógeno en el suelo sin necesidad de triplicar correcta. Además, tal como se mencionó anteriormente esta combinación permite minizar el uso excesivo y las emisiones globales del GEI de los sistemas de cultivo.

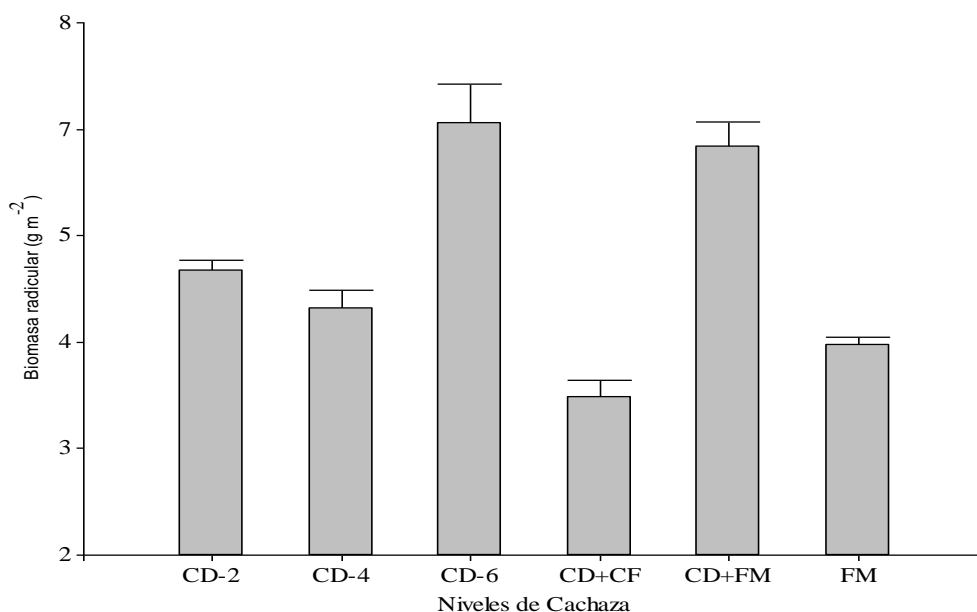


Figura 27. Comportamiento de la variable biomasa radicular medida a los 90 días después de la emergencia.

La cachaza presentó un efecto favorable sobre la masa radicular de las plantas de arveja, no solo por el aporte de nutrientes, sino también por que presenta otros beneficios sobre el suelo, que van a favorecer la disponibilidad de nutrientes presentes; tal como menciona Zeregea (2000) la cachaza como enmienda incrementa temporalmente la capacidad de intercambio catiónica de los suelos por la producción de humus y promueve la liberación de gran cantidad de CO₂ en su transformación de H₂CO₃ que junto con otros ácidos orgánicos, disuelve nutrientes. La cachaza puede aumentar el pH del suelo, por su relativo alto contenido de carbonato de calcio (Prasad, 2001), ya que De Camargo, Berton, Geraldí y Aires (2007) sostiene que la cachaza tiene un poder de neutralización del 25% respecto del CaCO₃; además se ha encontrado que corrige el aluminio tóxico (Prasad, 2001; Zérega, 2000). Todos estos procesos se encargan de aumentar la disponibilidad de nutrientes para que puedan ser tomados por la planta por medio de la raíz, estimulando así su desarrollo y producción de biomasa.

Resultados similares a este estudio fueron encontrados por Díaz et al., (2016), quienes obtuvieron mayor biomasa radicular con la aplicación de 25 t ha⁻¹ de cachaza en el cultivo de tomate porque contribuye a mejorar la porosidad del suelo y aumentar la retención de la humedad, lo cual genera una eficiente producción de masa radicular. De igual manera un estudio reportado por Plata, Forero, Balaguera y Serrano (2009) observaron que con la aplicación de 10 t ha⁻¹ de cachaza más 50% de fertilización mineral obtuvieron mayor acumulación de masa radicular por lo cual manifiestan la importancia de complementar la aplicación de cachaza con el fertilizante mineral, para hacer más eficiente la respuesta en las plantas.

7.6 Biomasa total

La prueba de media Fisher al 5% muestra que existe diferencia significativa para las variables biomasa aérea y total al término del ciclo del cultivo. En la Tabla 11 se muestra el

comportamiento que presentó la biomasa aérea y total de las plantas de arveja para cada dosis de cachaza aplicada.

Tabla 12.

Medias y error estándar de las variables biomasa aérea y total aplicando diferentes dosis de cachaza fresca y descompuesta.

| Tratamientos | Biomasa aérea (g m⁻²) | | Biomasa total (g m⁻²) |
|---------------------|---|----|---|
| CD-2 | 329 ± 39 | b | 331 ± 38 b |
| CD-4 | 406 ± 53 | ab | 407 ± 53 ab |
| CD-6 | 443 ± 26 | a | 445 ± 26 a |
| CD+CF | 475 ± 47 | a | 476 ± 47 a |
| CD+FM | 439 ± 31 | ab | 441 ± 31 ab |
| FM | 553 ± 39 | a | 554 ± 39 a |

Biomasa total=biomasa radicular sumado a la biomasa aérea

Los resultados muestran que las dosis FM, CD+CF y CD-6 produjeron la mayor acumulación de biomasa aérea y total, sin diferencias estadísticas entre ellos. Esto implica que, aunque no hay diferencias entre el tratamiento mineral y el orgánico, este último, tal como señala Quiroz y Pérez (2013), es el alimento de una multitud de microorganismos y favorece el proceso de mineralización, desarrollo de la cubierta vegetal y estimula el crecimiento de las plantas generando mayor biomasa vegetativa.

Estos resultados muestran a su vez que no es necesario triplicar la dosis orgánica de nitrógeno requerido en el suelo para obtener una mayor acumulación masa vegetativa, pues la dosis correcta o la combinación orgánico-mineral se cubre el requerimiento nutricional y se permite un desarrollo eficiente del cultivo. Además, de ser dos opciones que ambientalmente contribuyen a conservar el recurso suelo, agua y aire, tal como se mencionó en las variables anteriores.

Diferentes investigaciones coinciden con los resultados obtenidos en este ensayo, en donde muestran el beneficio que tiene la cachaza como abono orgánico. Morgado, Carneiro, Leles y Barroso (2000) quienes determinaron en sustratos a base de cachaza y bagazo (30% y 70%, respectivamente) que este residuo favoreció la acumulación de biomasa seca aérea y total en la producción de plantas de caña de azúcar. En cuanto a Plata, Forero, Balaguera y Serrano (2009) determinaron que la aplicación de 10 t ha⁻¹ de cachaza más 50% de fertilización mineral, generó mayor masa seca de la parte aérea y total de las plantas de col, debido a que esta mezcla cubre los requerimientos nutritivos del cultivo y genera plantas mejor nutridas que son más eficientes en el proceso de fotosíntesis, lo cual finalmente genera mayor producción y acumulación de materia seca. De la misma manera Estupiñán, Garzón y Forero (2013) obtuvieron mayor masa seca aérea y total con la aplicación de 50% de la dosis de cachaza y 50% de la dosis de fertilización mineral, y esta respuesta fue superior a la encontrada con la fertilización mineral.

Por el contrario, Forero, Fernández y Álvarez (2010), observaron que no hubo diferencias significativas en la acumulación de materia seca total de las plantas de maíz entre las distintas dosis de cachaza, lo cual implica que este residuo orgánico no influye en un aumento de la absorción de nutrientes; no obstante los resultados más altos en la producción de masa seca se generaron con la dosis de 10 t ha⁻¹. De igual manera, Roth (1971), demostró que la aplicación de una dosis alta de cachaza fresca aumentó la producción tallos y macollas en las plantas de caña, debido a que la cachaza estimula la producción de biomasa aérea y total. Tal como menciona Corrales-González, Rada y Jaimez (2016) la materia seca producida por las plantas depende totalmente del suministro de nitrógeno, debido a que ocasiona un aumento en la tasa fotosintética e incrementa el crecimiento de los cultivos.

7.7 Rendimiento

La prueba de medias de Fisher al 5% indica que el rendimiento del cultivo de arveja presentó diferencias significativas ($P < 0.01$) para las variables número de vainas por plantas, peso de vainas verdes y número de granos por vainas (Tabla 13).

Tabla 10.
Rendimiento del cultivo de arveja.

| Tratamientos | Número de vainas por planta | Peso de vainas verde t/ha | Número de granos por vaina |
|--------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| CD-2 | 75.10 b | 12.15 b | 5.14 c |
| CD-4 | 69.78 c | 11.78 b | 5.43 bc |
| CD-6 | 92.60 a | 14.18 a | 5.43 bc |
| CD+CF | 66.00 d | 10.96 bc | 5.60 ab |
| CD+FM | 90.44 a | 15.29 a | 5.89 a |
| FM | 61.86 e | 10.30 c | 5.49 b |

En los resultados obtenidos, la diferencia estadística entre fertilizantes orgánicos y minerales puede verse desde el punto de vista nutricional, donde la fertilización orgánica superó a los fertilizantes minerales en la diversidad de elementos esenciales. Los fertilizantes minerales solo contenían N, P, K, mientras que los abonos orgánicos contenían estos mismos, más otros elementos como Ca y Mg, requeridos por el cultivo en menores cantidades, pero de vital importancia para el buen desarrollo y crecimiento de las plantas, que se expresa mejor con los resultados obtenidos en el rendimiento (Tabla 13).

Tal como se mencionó anteriormente, la dosis CD+FM obtuvo una mayor altura de planta, diámetro del tallo y área foliar, lo cual es probable que influyera en un mayor rendimiento tanto en número de vainas por plantas, peso en vainas verdes y número de granos por vainas, pues supera a la FM por una diferencia porcentual del 31%, 32% y 7%, respectivamente. En cuanto al uso eficiente de nitrógeno es de 375 kg de arveja por cada kilogramo de nitrógeno aplicado, el cual fue superior a las dosis de cachaza y a la fertilización mineral, mostrando así los beneficios de esta combinación orgánico-mineral sobre el cultivo de arveja.

Según da a conocer Arrieche (2008) está la combinación orgánico-mineral tiene un mayor contenido de nitrógeno, fósforo y potasio y una favorable relación carbono/nitrógeno que permite una rápida mineralización y mayor disponibilidad de nutrientes en el suelo, especialmente del nitrógeno que para Magallón (2000) es el elemento fundamental que está ligado a una mayor producción de frutos. Así mismo, Plata, Forero y Serrano (2009) mencionan que esta combinación por medio de los fertilizantes minerales realiza una liberación rápida de nutrientes, y la cachaza como material orgánico potencializa la absorción de estos por las plantas, de tal forma que, suple las necesidades nutricionales del cultivo y lograr mayores rendimientos, el cual obtuvieron en el cultivo de col al aplicar 10 t ha^{-1} de cachaza más 50% de fertilización mineral superando a la fertilización mineral.

Resultados similares obtuvieron Estupiñán, Garzón y Forero (2013) al incorporar 6 t ha^{-1} de cachaza y 50% fertilización mineral en el cultivo de frijol y obtuvieron un rendimiento mayor en número de vainas por planta y número de granos por plantas con respecto a la fertilización mineral. De la misma manera, Arreola-Enríquez et al. (2004) mediante la incorporación de 10 y 15 t ha^{-1} del abono orgánico-mineral de cachaza produjo un incremento significativo en el rendimiento de tallos molederos de caña de azúcar en comparación a la fertilización mineral. Lo cual para varios autores como Eifediyi, Mohammed y Remison (2013) es debido a que el uso de la mezcla de materia orgánica y minerales producen efectos muy positivos sobre la actividad biológica, formación de agregados y solubilidad de nutrientes, y asegura así Ramos y Terry (2014) que esto es un papel importante en la sostenibilidad de la fertilidad del suelo y la productividad del cultivo.

En cuanto a las dosis CD-2, CD-4 y CD-6, se puede observar en la Tabla 13 que el mayor rendimiento para las tres variables obtuvo la dosis CD-6, seguida por CD-2 y CD-4. Pero a pesar de que la dosis CD-6 presentó mayor rendimiento, el uso eficiente de nitrógeno fue bajo, con un valor de 118.16 con respecto al CD-2, que presentó un valor de 303.75 kg de arveja por cada kg de nitrógeno aplicado. Es decir que hubo mayor aprovechamiento de este nutriente por parte de las plantas presentando a su vez mayor altura de planta, diámetro del tallo y área foliar y con ello un rendimiento indicado, permitiendo así sugerir que para suplir las necesidades de nitrógeno en el suelo únicamente se requiere la dosis correcta de abono orgánico, lo cual además evita que exista un desgaste de nutriente por medio de procesos como lixiviación y volatilización que ocasionan problemas ambientales.

Con base a los resultados obtenidos, puede asumirse que la respuesta de las plantas de arveja con el uso de la cachaza como abono orgánico fue satisfactoria. Según menciona Ramos y Terry (2014) la cachaza por ser un material orgánico tiende a favorecer la asimilación de nutrientes por parte de la planta, gracias a que los retiene y evita su lixiviación, dicho proceso ocasionó un mayor rendimiento en la dosis CD-2 y CD-6. Este resultado es corroborado por Pérez y Torres (2014) quienes obtuvieron mayor número de frutos por planta en el cultivo de tomate con la aplicación de 8 t ha^{-1} de cachaza superando a la fertilización química con una diferencia porcentual del 5%, sugiriendo de tal manera, que este residuo orgánico favorece el rendimiento por planta sin la adición de fertilizantes minerales.

De forma similar Arrieche y Mora (2005) obtuvieron 5% más en el rendimiento por hectárea de maíz al aplicar 2 t ha^{-1} de cachaza con respecto al abono de estiércol compostado y afirman

que la aplicación de este residuo orgánico produce mayor productividad en comparación con otros abonos orgánicos. De igual manera, Soliva (2009) indica que la incorporación de 40 t ha⁻¹ de cachaza produjo 32% más de rendimiento por hectárea en el cultivo de col en comparación al testigo sin aplicación de cachaza, dando a conocer el efecto positivo que tiene este material orgánico como abono orgánico sobre el crecimiento y desarrollo vegetativo del cultivo de col, lo que produjo un mayor rendimiento.

El incremento del rendimiento obtenido en la última investigación es del 32% igual obtenido en este estudio, pero cabe recalcar que las investigaciones realizan comparaciones con respecto a testigos sin cachaza, es decir sin la aplicar ningún fertilizante o abono orgánico. Por lo que puede mencionarse que es razonable que existan estos resultados pues una planta a la cual se le añade cualquier cantidad de nutrientes siempre presentará mejor desarrollo vegetativo, a una planta que no tenga ningún aporte de nutrientes extra. En cuanto que esta investigación compara el aporte de dosis de nitrógeno con respecto a la fertilización mineral, lo cual le vuelve un estudio con mayor credibilidad en el uso de la cachaza.

Diferentes estudios muestran la respuesta eficiente que tiene la cachaza al ser incorporada al suelo como abono orgánico. Escalona (2002) evaluó el efecto de la aplicación de dosis altas de cachaza y obtuvo un mayor rendimiento en los cultivos de pimentón y cebolla en comparación al estiércol de pollo. Así mismo, estudios realizados por la Central Azucarera Tempisque S.A. (2012) han encontrado que la incorporación de 75 t ha⁻¹ de cachaza aumenta un 24% el rendimiento de la caña por hectárea, debido a que su alto contenido en nitrógeno, fósforo y calcio permite cubrir las necesidades nutricionales en el cultivo de caña, reflejándose su respuesta positiva en el incremento del rendimiento.

A pesar de que la Central Azucarera incrementó el 24% en el rendimiento del cultivo de caña de azúcar con la aplicación de 75 t ha⁻¹ de cachaza, es necesario mencionar que no se requiere grandes cantidades de abonos orgánicos para aumentar la producción de los cultivos, pues en esta investigación se demuestra que con la dosis de nitrógeno recomendada se obtuvo un incremento aún mayor de 32% en el rendimiento del cultivo con la cantidad adecuada de abonos orgánicos. Además, hay que tomar en cuenta que al incorporar altas cantidades de abonos orgánicos en el suelo, es probable que mediante los procesos de lixiviación y volatilización exista pérdida de nitrógeno, ocasionando problemas de contaminación ambiental.

Los resultados obtenidos también demuestran que los abonos orgánicos son una alternativa para sustituir la fertilización mineral. Esto se debe a que los abonos orgánicos abastecen al suelo de nutrientes como el nitrógeno y los demás elementos esenciales (P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn, H), que estos contienen. Además, según Félix, Sañudo, Rojo, Martínez y Olalde (2008) la materia orgánica aumenta el crecimiento y el rendimiento de los cultivos debido a que mejora las propiedades físicas del suelo e incrementa la capacidad de retención de agua y nutrientes, las cuales permiten tener una buena capacidad productiva en el campo.

Una vez terminado el ciclo vegetativo del cultivo se realizaron muestras de suelo, por medio de las cuales se determinó únicamente el contenido de nitrógeno mineral después de la aplicación de cachaza fresca y descompuesta, siendo esta la respuesta al objetivo específico número cuatro y se describe a continuación:

7.8 Nitrógeno mineral

Una vez realizado el análisis estadístico se determinó que no existe diferencias significativas entre tratamientos con respecto al contenido de nitrógeno mineral final ($F= 2.44$; $gl=5, 10$; $p=0.1081$) (Tabla 14)

Tabla 11.

ADEVA del contenido del N mineral después de la cosecha.

| Fuente de variación | Grados de libertad F. V | Grados de libertad Error | Valor F | Valor P |
|---------------------|----------------------------|-----------------------------|---------|---------|
| Tratamientos | 5 | 10 | 2.44 | 0.1081 |

En la figura 28 se muestra una concentración inicial de 16 mg kg^{-1} de nitrógeno mineral que presentó el suelo, el cual al término del ciclo vegetal del cultivo incrementó considerablemente, independiente del tipo de fertilización. No obstante, los tratamientos FM y CD+FM incrementaron un 61%, seguido por el CD-2 que incrementó un 58%, mientras que, el CD-4 y CD-6 aumentó un 52 % y el CD+FM un 50%, respectivamente.

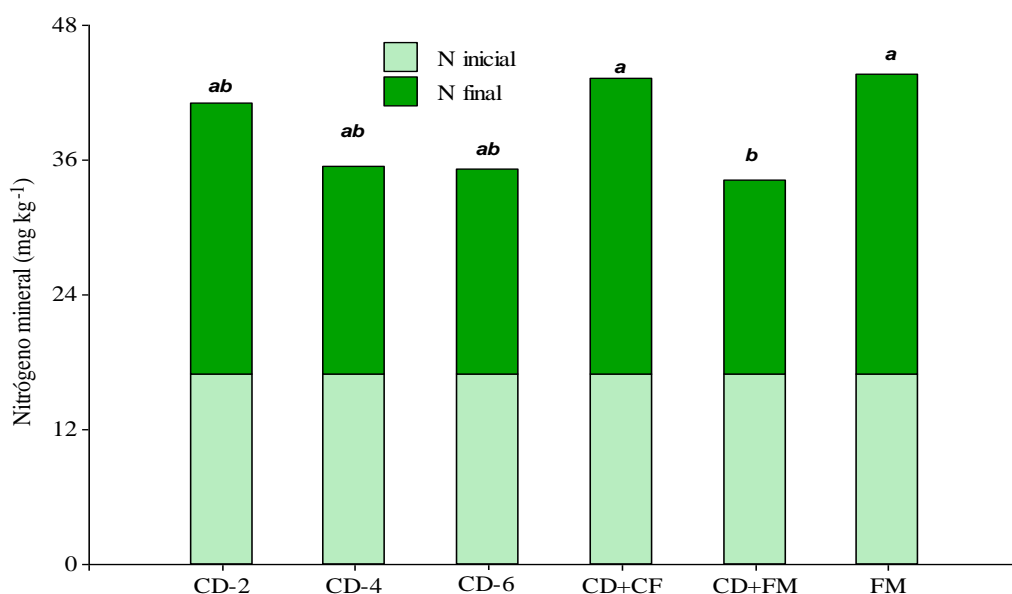


Figura 28. Concentración del N mineral inicial y final del suelo del cultivo de arveja (*Pisum sativum* L).

Los resultados indican que la incorporación de cachaza fresca y descompuesta al suelo genera una similar concentración de nitrógeno en el suelo que se produce al realizar la fertilización mineral, siendo este un indicador a la respuesta a una eficiente fertilización orgánica.

Por lo dicho anteriormente es necesario recalcar que para tener obtener reservas de nitrógeno mineral no se requiere aplicar dosis altas de nitrógeno que sobrepasen la dosis correcta, como se observa en la Figura 28 las dosis de CD-2 y CD+CF alcanzaron a tener una reserva similar concentración de nitrógeno que, en la FM. Demostrando así que las dosis tenían suficiente carga de nutrientes y efectividad biológica sobre el nitrógeno del suelo, lo que se traduce en

mejoras del suelo e incremento en los rendimientos del cultivo de arveja, tal como se obtuvo en esta investigación.

Similares estudios concuerdan con los resultados obtenidos en esta investigación, Arreola-Enríquez et al. (2004) obtuvieron un mayor contenido de nitrógeno mineral en el suelo al aplicar 10 y 15 t ha⁻¹ de abono orgánico-mineral de cachaza y el más bajo contenido lo obtuvo el tratamiento con fertilización mineral, además resaltan que durante el desarrollo de los cultivos la liberación del nitrógeno de la M.O en el suelo depende principalmente del porcentaje y de la calidad de la M.O, textura, temperatura y las condiciones de humedad existentes en el suelo. A su vez Elsayed, Babiker, Abdelmalik, Mukhtar y Montange (2008) indican que la incorporación de cachaza al suelo estimula el aumento de las reservas de M.O y el reciclaje del N mineral. Ramos y Terry (2014) enfatizan que todos los abonos orgánicos liberan la suficiente cantidad de N para garantizar una reducción en la aplicación de las dosis de este elemento, lo cual fue corroborado en esta investigación.

En cuanto a las dosis CD-6 y CD+FM se puede sugerir que es probable que el menor contenido de reservas de nitrógeno es debido a que, la plantas de arveja de asimilaron la mayor cantidad de nitrógeno del suelo, lo cual se vio reflejada en el mayor rendimiento que presentaron estas dosis de cachaza. Sin embargo, el CD-4 no presentó rendimiento y las reservas de nitrógeno fueron bajas, pues es probable que hubo pérdidas de este nutriente por medio de procesos como lixiviación y volatilización que se ocurren en el sistema suelo-cultivo.

CAPÍTULO V

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

- El cultivo de arveja con la aplicación de 2 y 6 t ha⁻¹ de cachaza descompuesta sola o en combinación con la fertilización mineral, generó plantas con mayor crecimiento vegetativo en altura de planta, diámetro del tallo y área foliar en los estados de floración y fructificación del cultivo. Determinando así que con la aplicación de la cachaza descompuesta es posible obtener un mayor crecimiento vegetativo.
- En el estado de prefloración, las plantas de arveja alcanzaron una concentración del 4% de nitrógeno foliar para cada tratamiento, comprobando así que el uso 2, 4 y 6 t ha⁻¹ de cachaza descompuesta y su combinación con la cachaza fresca y la fertilización mineral puede suplir a la fertilización mineral, sin presentar deficiencias nutricionales que afecten al rendimiento del cultivo. Sugiriendo únicamente el uso de dosis recomendadas de nitrógeno para alcanzar porcentajes foliares que permiten el desarrollo adecuado del cultivo.
- En los tratamientos evaluados, la fertilización con 2 t ha⁻¹ de cachaza descompuesta y la combinación orgánica mineral presentaron mayor eficiencia de nitrógeno con un valor promedio de 343 kg de arveja por kg de nitrógeno aplicado, teniendo un incremento promedio de 32% con respecto a la fertilización mineral. Además, la biomasa total que se evidenció en estos tratamientos fue inferior, lo que conlleva a concluir que hubo mayor asimilación de nitrógeno en la etapa de fructificación y se manifestó en el rendimiento del cultivo en las dosis antes mencionadas.
- El contenido de nitrógeno mineral del suelo después de la cosecha que presentaron la dosis de 2, 4 y 6 t ha⁻¹ de cachaza descompuesta sola y la combinación con la fertilización mineral fue similar a la concentración de la fertilización mineral, lo que indica que no se requiere aplicar al suelo altas cantidades de abono orgánico o de fertilizantes minerales para obtener reservas de nutrientes.
- Con la presente investigación se demostró que la cachaza descompuesta de trapiche panelero sirve como fertilizante orgánico o enmienda para el suelo, por aportar la cantidad adecuada de nitrógeno, lo que favorece el desarrollo de las plantas de arveja y sustituye en parte la fertilización mineral, orientando así a la sociedad a una producción agronómica que minimice la contaminación del suelo, agua y aire que produce el uso excesivo de los fertilizantes nitrogenados así como también las emisiones globales de GEI de los sistemas de cultivo.

8.2 Recomendaciones

- Los trapiches artesanales paneleros en la provincia de Imbabura desarrollen planes de manejo de los residuos agroindustriales, principalmente de la cachaza que se produce en mayor volumen, con el fin de crear actividades que permitan el almacenamiento y uso de este residuo en la recuperación de suelos degradados.
- Determinar la relación beneficio costo que presenta la aplicación de cachaza descompuesta en los cultivos y comprobar su factibilidad frente al uso de los fertilizantes minerales y conocer si existe rentabilidad, para que los productores agrícolas usen este residuo como abono orgánico.
- En suelos de baja fertilidad a causa de monocultivos, sería interesante aplicar cachaza descompuesta durante un ciclo de cultivo con el fin de evaluar su efecto residual sobre las características físicas, químicas y microbiológicas del suelo.
- Para aumentar el potencial agrícola de la cachaza fresca, se requiere que este residuo sea utilizado como materia prima en la elaboración de compost y determinar sus aportes positivos sobre la estructura, manejabilidad y la relación C/N al producto final. Para lo cual se requiere realizar un análisis químico para determinar el nivel nutricional de la cachaza antes de su uso.

BIBLIOGRAFÍA

- Añez, B., y Espinoza, W. (2003). Respuestas de la lechuga y de repollo a la fertilización química y orgánica. *Revista Forest*, 47(2), 73-82.
- Armario, D., Díaz, B., Rodríguez, A., Machado, J., Portieles, J., Espinosa, A., Triana, O., y Gálvez, J. (2008). *Instituto de Investigaciones en Viandas Tropicales*. Empleo de la cachaza como alternativa para la fertilización del banano (FHIA 18) plantando en altas densidades: Recuperado de http://www.actaf.co.cu/revistas/agrotecnia_05_2008/agrot20071/Nutrici%20Vegetal/Nutricion%20Vegetal12.pdf
- Arreola-Enríquez, J., Palma-López, D., Salgado-García, S., Camacho-Chiu, W., Obrador-Olán, J., Juárez-López, F., y Pastrana-Aponte, L. (2004). Evaluación de Abono organo-mineral de cachaza en la producción y calidad de caña de azúcar. *Terra Latinamericana*, 22(3), 351-357.
- Arrieche, I. (2008). *Efecto de la fertilización orgánica y química en suelos degradados en cultivos de maíz (Zea mays L.), en el estado de Yaracuy* (tesis de pos grado). Universidad de Valladolid, Yaracuy, Venezuela.
- Arrieche, I., y Mora, O. (2005). Efecto de la aplicación de residuos orgánicos sobre el cultivo de maíz en suelos degradados del Estado de Yaracuy, Venezuela. *Bioagro*, 17(3), 155-159.
- Awasthi, R., Tewari, R., y Nayyar, H. (2011). Synergy between plants and P-solubilizing microbes in soils: Effects on growth and physiology of crops. *International Research Journal of Microbiology*, 2(12), 483-503.
- Barrera, J., Combatt, E., y Ramírez, Y. (2011). Efecto de abonos orgánicos sobre el crecimiento y producción del plátano Hartón (Musa AAB). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 5(2), 186-194.
- Basanta, R., García, M., Cervantes, J., Mata, H., y Bustos, G. (2007). Sostenibilidad del reciclaje de residuos de la Agroindustria azucarera: Una revisión. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 5(4), 293-305.
- Bentancourt, Y., González, J., Figueroa, S., y González, C. (2001). Cobertura vegetativa y fertilización nitrogenada en la producción de maíz. *Tierra Latinoamericana*, 16(3), 231-237.
- Blessing, D., y Hernández, G. (2009). *Comportamiento de variable de crecimiento y rendimiento en maíz (Zea mays L.) var, NB-6 bajo prácticas de fertilización, orgánica y convencional en la finca el plantel* (tesis de pre grado). Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua. .
- Boccolini, M. (2016). Impacto de la aplicación prolongada de urea sobre la comunidad de bacterias oxidantes del amoníaco en un suelo arguicó típico de Argentina (tesis de pos grado). Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.

- Bogantes, A. (2006). Uso de cachaza y gallinaza en el sustrato de siembra para almacigo de pejibaye (*Bactris gasipaes* K.). *Alcances Tecnológicos*, 4(1), 23-27.
- Bokhtiar, S., Paul, G., y Alam, K. (2008). Effects of organic and inorganic fertilizer on growth, yield and juice quality and residual effects on ratoon crops of sugarcane. *Journal of Plants Nutrition*, 31, 1832-1843.
- Bonza-Espinoza, M., Pinzón-Sandoval, E., y Álvarez-Herrera, J. (2016). Efecto del nitrato de potasio y la sacroda sobre el rendimiento de plantas de cebolla (*Allium cepa* L.). *Temas Agrarios*, 21(2), 40-50.
- Borges, M., y Garcés, Y. (2006). Efecto de la adición de distintas concentraciones de cachaza en el suelo sobre la propagación de *Cocos nucifera* L. *Centro Agrícola*, 33(1), 9-14.
- Borja, C., Burbano, H., Caamaño, E., y Canavides, J. (2001). *Guía Técnica del Cultivo de Arveja China*. Recuperado de Manejo del cultivo: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/2927/4/01.pdf>
- Cairo, P., Machado, J., Rodríguez, O., y Rodríguez, A. (2017). Efecto de abonos orgánico-minerales sobre la calidad del suelo, impacto en el rendimiento de la caña de azúcar. *Centro Azúcar*, 44(4), 12-20.
- Cajamarca, D. (2012). *Procedimientos para la elaboración de abonos orgánicos* (tesis de pre grado). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Casa, B. (2014). *Evaluación de la Fijación de Nitrógeno de Cepas de Rhizobium spp. en invernader, para arveja (Pisum sativum), chocho (Lupinus mutabilis), fréjol (Phaseolus vulgaris), haba (Vicia faba) y vicia (Vicia sp), Cutuglagua-Pichincha* (tesis de pre-grado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Catellanos, S., Uvalle-Bueno, K., y Aguilar-Santelises, M. (2000). Manual de interpretación de Suelos, Aguas agrícola, Plantas y ECP. *Tecnociencia*, 6(15), 48-56.
- Cautinbo, M., Araújo, J., Guerra, D., Rodrigues, L., y Siqueira, J. (2006). Sustrato de cavas de extracao de argila enriquecido com subproductos agroindustriais e urbanos para producao de mudas de sesbania. *Revista Árvore*, 30(1), 147-153.
- Central Azucarera Tempisque, S.A. (2012). *La Cachaza y su empleo como abono orgánico en plantaciones de caña de azúcar*. Recuperado de <http://www.catsa.net/wordpress/wp-content/uploads/2014/07/Agricola-La-Cachaza-empleo-como-abono-organico-en-plantaciones-de-cana-CATSA.pdf>
- Clavijo, N. (2013). *Entre la Agricultura convencional y la Agroecología. El caso de las prácticas de Manejo en los Sistema de producción campesina en el Municipio de Silvania* (tesis de pre grado). Pontificia Universidad Javeriana-Bogota, Colombia.
- Corrales-González, M., Rada, F., y Jaimez, R. (2016). Efecto del nitrógeno en los parámetros fotosintéticos y de producción del cultivo de la gerbera (*Gerbera jamesonii* H. Bolues ex Hook. f.). *Ecología, Metabolismo de Cultivos, Tecnología, Producción y Fisiología de Semillas*, 65(3), 255-260.

- Cortés, S. (2008). *Aprovechamiento de Subproductos de la Industria Panelera en la Elaboración de Compost, utilizando Microorganismos Eficientes (EM)* (tesis de pre grado). Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramangara, Colombia.
- Crespo, M. (2012). *Estudio Preliminar para la producción y comercialización para la exportación de arveja de grano (Pisum sativum L.)* (tesis de pre grado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Cuasapaz, E. (2015). *Evaluación de tres dosis de brasinosteroides en dos variedades del cultivo de arveja (pisum sativum linneo), en el cantón San Pedro de Huaca provincia del Carchi* (tesis de pre grado). Universidad Técnica de Babahoyo, Babahoyo, Ecuador.
- Cuenya, M., García, M., Díaz, C., Romero, E., y Chavanne, E. (2007). Efectos del agregado de cachaza y de diferentes densidades de plantación en la capacidad productiva de un semillero saneado de la variedad de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) LCP85-384. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán*, 84(1), 1-8.
- Davalos, A., Robles, C., y Bruzón, S. (1996). Modelo de producción de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) usando como sustrato la mezcla de cachaza-carbonilla en diferentes dosis de fertilización. *Acta Agronómica*, 46(1), 44-48.
- Daza, M., Díaz, J., Aguirre, E., y Urrutia, N. (2015). Efecto de abonos de liberación lenta en la lixiviación de nitratos y nutrición nitrogenada en estevia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(1), 112-123.
- Daza, N. (2017). *Cultivo de arveja (Pisum sativum L.) como alternativa de diversificación de cultivos y aporte a la seguridad alimentaria del Municipio de Gigante Huila* (tesis de pre grado). Universidad de la Salle, El Yopal, Colombia.
- De Camargo, O., Berton, R., Geraldí, R., y Aires, J. (2007). Alteraciones de las características químicas de sustratos a base de residuos de la industria alcholera azucarera. *Bragantia*, 1, 125-139.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas. (2015). *Bolentin Mensual del Cultivo de Arveja*. Insumos y Factores Asociados a la Producción Agropecuaria. Recuperado de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos31_mar_2015.pdf
- Díaz, A., Cayón, G., y Mira, J. (2007). Metabolismo del calico y su relación con la "mancha de madurez" del fruto de banano. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 25(2), 280-287.
- Díaz, I., Catellanos, L., Sarduy, M., Toledo, L., Silva, C., De Mello, R., y Rossato, L. (2016). Fuentes de fósforo, cachaza y microorganismos sobre las variables morfométricas en plántulas de tomate. *Centro Agrícola*, 43(3), 22-29.

- Eghball, B., Ginting, D., y Gilley, J. (2004). Residual Effects of Manure and Compost Applications on Corn Production and Soil Properties. *Agronomy Journal*, 96, 442-447.
- Eifediyi, E., Mohammed, K., y Remison, S. (2013). Influence of organominerañ fertilizer (OMF) on the performance of jute mallow (*corchorous olitorius*) in North Central Nigera. *Nigerian Journal of Agriculture, Food and Environment.*, 9(3), 54-58.
- Elsayed, M., Babiker, M., Abdelmalik, M., Mukhtar, O., y Montange, D. (2008). Impact of filter mud applications on the germination of sugarcane and small-seeded plants and on soil and sugarcane nitrogen contents. *Bioresource Technology*, 99, 4164-4168.
- Escalona, A. (2002). *Efecto de la apliación de dosis altas de cachaza de caña y estiercol de pollo sobre el desarrollo de los cultivos de pimienta y cebolla en la zona de Quito, estado Lara* (tesis de post grado). Universidad "Lisandro Alvarado", Baquisimetro, Venezuela.
- Escamilla, J., Crescenciano, V., María, M., Martínez, Á., Prometeo, S., y Ramón, S. (2003). Fertilización orgánica, mineral y foliar sobre el desarrollo y la producción de papaya cv. maradol. *Terra Latinoamericana*, 21(2), 157-166.
- Estupiñán, C., Garzón, G., y Forero, F. (2013). Efecto de la aplicación de tres dosis de cachaza al cultivo de fríjol (*Phaseolus vulgaris* L.) en Tunja, Boyacá. *Ciencia y Agricultura*, 10(1), 67-79.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2000). *La cachaza como fertilizante*. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/eswww/fulltext/resisoli/fertili/fertili.html>
- Félix, J., Sañudo, R., Rojo, G., Martínez, R., y Olalde, V. (2008). Importancia de los abonos orgánicos. *Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*, 4(1), 57-67.
- Forero, F., Fernández, J., y Álvarez, J. (2010). Efecto de diferentes dosis de cachaza en el cultivo de maíz (*Zea Mays*). *U.D.C.A Act. & Div. Cient.*, 13(1), 77-86.
- Forero, F., Torres, J., y Balaguera, H. (2008). Efecto de la aplicación de cachaza fresca y de dos sistemas de producción maíz y maíz con asocio fríjol sobre las propiedades físicas de un Inceptisol. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 2(2), 205-216.
- Gárate, M., y Blanco, J. (2013). Importancia de la caracterización de la biomasa de raíces en la simulación de ecosistemas forestales. *Ecosistemas*, 22(3), 67-73.
- Gómez, E., Gómez, J., Padilla, M., González, A., y Expósito, I. (2005). Eficiencia en la absorción del N por el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) debido al efecto de orgánicos en el suelo fluvisol. *Cultivos Tropicales*, 26(2), 73-77.
- Gómez, P., y Jaramillo, L. (2006). *Estudio de factibilidad para el uso de la cachaza generada a partir del proceso de la caña de azúcar como abono* (tesis de pre grado). Universidad de la Sabana, Chía, Colombia .

- Gordillo, Á. (2010). *Estudio del Proceso de Mineralización de un Abono Orgánico en el suelo para el Cultivo Ecológico de Algodón*. Transformación de nitrógeno en el suelo. Recuperado de https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/49372/pfc_angel_j_gordillo_rivero.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Hernández, Y. (2014). *Elaboración de panela blanca a partir de jugo de caña purificada con carbón activado de bagazo y ultrafiltración* (tesis de pre grado). Universidad Veracruzana, México.
- Hernández, G., Salgado, S., Palma, D., Lagunes, L., y Ruiz, O. (2008). Vinaza y compost de cachaza como fuente de nutrientes en caña de azúcar en un gleysol mólico de Chiapas, México. *Interciencia*, 33(11), 855-860.
- Hernández-Rodríguez, O., Ojeda-Barrios, D., López, J., y Arras, A. (2010). Abonos orgánicos y su efecto en las propiedades físicas, química y biológicas del suelo. *TECNOCENCIA-Chihuahua*, 4(1), 1-6.
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (2009). *Guía de recomendaciones de fertilización para los principales cultivos del cajellon interandino*. Estación Experimental Santa Catalina. Quito:Ecuador.
- Labrador, J., Guiberteau, A., Lopez, A., y Reyes, J. (2001). *La materia orgánica en los sistemas agrícolas. Manejo y utilización*. España: Grupo Mundi-Prensa.
- Lawlor, D. (2002). Carbon and nitrogen assimilation in relation to yield: mechanisms are the key to understanding production systems. *Journal of Experimental Botany*, 53(370), 773-772.
- León, J., González, M., y Gallardo, J. (2009). Retranslocación y Eficiencia en el uso de Nutrientes en Bosques del Centro de Antioquia. *Revista Colombiana Forestal*, 12, 119-140.
- López, R. (1986). La cachaza como materia prima. En L. Galvez (Ed.), *La industria de los derivados de la caña de azúcar* (págs. 178-184). Cuba: Editorial Científico-Técnico.
- Marschner, H. (2002). Nutrición mineral de las plantas. *Ademic Vegetal*, 3(20), 89-97.
- Martínez, S. (2010). Desafío del desarrollo: la agricultura orgánica como parte de una estrategia de mitigación de la pobreza rural en México. *Nóesis. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 19(37), 92-111.
- Mata, C. (2015). *Prueba de tres fuentes de nitrógeno orgánico de Lechuga Crespa (Lactuca sativa L. Var. crispa)* (tesis de pre grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Matheus, J. (2004). Evaluación agronómica del uso de compost de residuos de la industria azucarera (biofertilizante) en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*). *Bioagro*, 16(3), 219-224.

- Mogollón, L. (2000). Uso eficiente de los fertilizantes. En Lobo D. (ed.). Manejo de la Fertilidad de los Suelos. *Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo. Maracay, Venezuela.*, 56(6), 25-36.
- Monsalve, J., Escobar, R., Acevedo, M., Sánchez, M., y Coopman, R. (2009). Efecto de la concentración de nitrógeno sobre atributos morfológicos, potencial de crecimiento radical y estatus nutricional en plantas de *Eucalyptus globulus* producidas a raíz cubierta. *Bosque*, 30(2), 88-94.
- Morales, J., Fernández, M., Montiel, A., y Peralta, B. (2009). Evaluación de sustratos orgánicos en la producción de Lombricomposta y el desarrollo de lombriz. *Biotecnia*, 11(1), 19-26.
- Moreno, G., y Torres, S. (2011). *Propuesta para a creación de una microempresa comunitaria asociativa de producción, industrialización y comercialización* (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Morgado, I., Carneiro, J., Leles, P., y Barroso, D. (2000). Residuos agroindustriales prensados como sustratos para a produção de mudas de cana-de-açúcar. *Scientia Agricola*, 709-712.
- Namer, I. (1985). El secado de la cachaza con energía solar y su empleo en la alimentación animal. *Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de azúcar*, 19(1), 34-38.
- Nayak, D., Saetnan, E., Cheng, K., Wang, W., Koslowski, F., Cheng, Y.-F., y Zhu, W. (2015). Management opportunities to mitigate greenhouse gas emissions from Chinese agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment-ELSEVIER*, 1-14.
- Ochoa-Martínez, E., Figueroa-Viramontes, U., Cano-Ríos, P., Preciado-Rangel, P., Moreno-Reséndez, A., y Rodríguez-Dimas, N. (2009). Té de composta como fertilizante orgánico en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 15(3), 245-250.
- Pacheco, A., Vergara, M., y Ligarreto, G. (2010). Clasificación de 42 Líneas Mejorada de Arveja (*Pisum sativum* L.) por Caracteres Mofológicos y Comportamiento Agronómico. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 63(2), 5543-5553.
- Parra, V., y Vázquez, J. (2014). *SIIBA-Fertidad de suelo y nutrición*. Producción, manejo y perspectivas de las compostas en el área de influencia del Ingenio central progreso. Recuperado de <https://www.atamexico.com.mx/wp-content/uploads/2017/11/3.-FERTILIZACI%C3%93N-1.pdf>
- Peña, E., Carrion, M., Martínez F, F., y Companioni, N. (2002). *Manual de Abonos orgánicos para la Agricultura Urbana Cubana*. Recuperado de <http://www.fao.org/agroecology/database/detail/es/c/443310/>
- Peralta, E., Murillo, Á., Caicedo, C., Pinzón, J., & Rivera, M. (2011). *Manual agrícola de Leguminosas*. Quito, Ecuador:INIAP.

- Perdonomo, C., y Barbazán, M. (2001). *Área de Suelos y Aguas*. Nitrógeno. Recuperado de <http://www.fagro.edu.uy/~fertilidad/publica/Tomo%20N.pdf>
- Pérez, G., y Torres, A. (2014). La Cachaza como Enmienda Orgánica del Tomate (*Solanum Lycopersicum* Mill) Var. Roma (Híbrido) en el Asentamiento Cojedes-Sarare del Estado Potuguesa. *Universidad y Ciencia*, 3(1), 80-101.
- Pérez, A., Céspedes, C., y Núñez, P. (2008). Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en República Dominicana. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8(4), 10-29.
- Pérez-Vázquez, A., y Landeros-Sánchez, C. (2009). Agricultura y deterioro ambiental. *Elementos*, 73, 19-25.
- Perzabal-Ramos, M., Sandoval-Castro, E., Díaz-Ruiz, R., Huerta-de la Peña, A., Figueroa-Brito, R., y Bahena-Juarez, F. (2018). Respuesta de espinaca y de Spodoptera exigua a fertilizaación orgánica y mineral. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(4).
- Plata, A., Forero, F., Balaguera, H., y Serrano, P. (2009). Efecto de la aplicación de cachaza fresca al cultivo de repollo (*Brassica oleraceae* var. capitata L.). *Ciencia y Agricultura*, 7(1), 29-42.
- Prasad, M. (2001). Efecto de la aplicación de cachaza sobre la disponibilidad de macro y micro nutrientes de dos suelos. *Información Express. Caña de azúcar*, 1(11), 30-31.
- Puentes-Páramo, Y., Menjivar-Flores, J., y Aranzazu-Hernández, F. (2016). Concentración de nutrientes en hojas, una herramienta para el diagnóstico nutricional en cacao. *Agronomía Mesoamericana*, 27(2), 329-336.
- Quezada, W. (2007). *Guía Técnica de Agroindustria Panelera*. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/934/1/Gu%C3%ADa%20T%C3%A9cnica%20de%20Agroindustria%20Panelera.pdf>
- Quiroz, I., y Pérez, A. (2013). Vinazas y compost de cachaza: efecto en la calidad del suelo cultivado con caña de azúcar. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*(5), 1069-1075.
- Ramírez, F., Gómez, J., y Flóres, V. (2011). Evaluación del fertilizante orgánico líquido de lombriz San Rafael en el Cultivo de Rosa cv. Classy. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín.*, 64(2), 6147-6157.
- Ramos, D., y Terry, E. (2014). Generalidades de los abono orgánicos: Importancia del bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos Tropicales*, 35(4), 52-59.
- Restrepo, J., Gómez, J., y Escobar, R. (2014). *Fundación para la Investigación y el Desarrollo Agrícola*. Utilización de los Residuos Orgánicos en la Agricultura. Recuperado de http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_CIAT/Residuos_Organicos_Agricultura_FIDAR.pdf
- Rey, I., Bachiller, A., Del Río, M., Gómez, S., y Montero, G. (2004). Efecto de la fertilización orgánica y mineral en el arraigo y desarrollo de especies mediterráneas durante los

- primeros años de la plantación. *Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 1, 139-143.
- Riveros, M. (2017). *Federación Nacional de Productores de Panela "Fedepanela"*. Aprovechamiento de Subproductos de la caña panelera en la alimentación animal. Recuperado de <http://www.fedepanela.org.co/publicaciones/cartillas/Subproductos.pdf>
- Roth, G. (1971). The effects of filter cake on soil fertility and yield of sugarcane. *Proc. S. Afr. Sug. Technol. Ass. (Sudáfrica)*, 45, 142-148.
- Salazar, M., Sánchez, M., y Autocama, B. (2009). *Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador*. Uso de la cachaza descompuesta y porcentaje de sustitución de fertilización química en un lote del Ingenio Valdez. Recuperado de <http://cincae.org/wp-content/uploads/2013/05/Informe-Valdez-CACHAZA1.pdf>
- San Anastacio, I., García, D., Hernández, R., Guerra, L., y Villanueva, G. (2017). Extracción de cera a partir de cachaza con etanol a 96"GL a escala de laboratorio. *Tecnología de la Química*, 37(1), 140-151.
- Sánchez, G., y Sandoval, J. (2002). *Manual de pre-inspección para la producción de arveja china y dulce en Guatemala*. Guatemala: ICTA.
- Sistema Nacional de Información. (2015). *Actualización Plan de Desarrollo de Ordenamiento Territorial de la Parroquia San José de Chaltura*. Recursos Naturales o en proceso de degradación. Recuperado de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1060013320001_DIAG, CHALTURA-DEFIN_15-05-2015_11-43-42.pdf
- Soliva, G. (2009). *Efesto de la cachaza y el compost en el rendimiento agrícola de la Col (Brassica Oleracea) Variedad KK Cross.*, en condiciones de huerto intensivo en el Municipio de Amancio. Centro Universitario "Vladimir Ilich Lenin" Cuba. Recuperado de <http://roa.ult.edu.cu/bitstream/123456789/941/1/Gabriel%20Soliva%20Silva.pdf>
- Sosa-Rodriguez, B., y García-Vivas, Y. (2018). Eficiencia de uso del nitrógeno en maíz fertilizado de forma orgánica y mineral. *Agronomía Mesoamérica*, 29(1), 1-13.
- Soto, G., y Meléndez, G. (2004). Cómo medir la calidad de los abonos orgánicos. *Manejo Integrado de plagas y Agreología*, 91-97. Como medir la calidad de los abonos orgánicos. Maracaibo:Venezuela.
- Subía, C. (2001). *Evaluación de tres cepas introducidas de Rhizobium leguminosarum en cuatro variedades de arveja (Pisum sativum L.) para la zona interandina* (tesis de pregrado). Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolqui, Ecuador.
- Van Kessel, J., & Reeves, J. (2002). Nitrogen mineralization potential of dairy manures and its relationship to composition. *Biol Fertil Soils*, 36, 118-123.
- Vega, Y. (2011). *Análisis de la implementación de la Agricultura orgánica de la zona de amortiguamiento de la reserva de biosfera Podocarpus-El Cóndor con miras a la*

- obtención de una Certificación Orgánica* (tesis de pre grado). Universidad Particular de Loja, Quito, Ecuador.
- Ventura, O. (2012). *Evaluación Agronómica de Ecotipos de arveja (Pisum sativum) con dos metodos de siembra u efecto del tutoraje en la localidad de Cavinchilla-Provincia Camacho* (tesis de pre grado). Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
- Zeregea, L. (2000). Manejo y uso agronómico de la cachaza en suelos cañameleros. *Caña de azúcar*, 11(2), 71-92.
- Zhang, W.-f., Dou, Z.-x., Hea, P., Ju, X.-T., Powlson, D., Chadwick, D., . . . Lu, Y.-L. (2013). New technologies reduce greenhouse gas emissions from nitrogenous fertilizer in China. *PNAS*, 110(21), 8375–8380.
- Zuñiga, O., Cuero, R., & Peña, J. (2011). Estimulación con campo electrónico variable de microorganismos benéficos aplicados a la cachaza para mejorar su uso como biofertilizante. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 9(2), 150-158.

ANEXOS

Anexo 1. Resultado del análisis inicial del suelo.

Empresa: María José Vega Arellano
Cultivo: Arveja (*Pisum sativum* sp.)
Fecha: 15/1/2018

Contenido de macro- y microelementos en mg / kg de suelo seco

| | | Método de Análisis | Unidad de Expresión | Nivel Óptimo para Arveja - Cultivo Intensivo | # 1 |
|---------------------------|---|--------------------------|---------------------|--|---------------|
| | | | | | Lote # 1 |
| | | | | | Suelo, Arveja |
| Características del Suelo | C.E. | Vol. 1:2 | mS/cm | 0.2 - 0.4 | 0,20 |
| | pH (en H ₂ O) | Vol. 1:2 | | | 7,5 |
| | pH (en KCl) | Vol. 1:2 | | 5.6 - 7.0 | 6,8 |
| Macronutrientes | Nitrato (NO ₃ -N) | CaCl ₂ 0.01 M | mg/kg | | 10,9 |
| | Amonio (NH ₄ -N) | CaCl ₂ 0.01 M | mg/kg | | 6,0 |
| | * (NO ₃ +NH ₄)-N | CaCl ₂ 0.01 M | mg/kg | *10 - 20 | 16,9 |
| | Fósforo (P) | NaHCO ₃ 0.5M | mg/kg | 25 - 40 | 54,2 |
| | Potasio (K) | CaCl ₂ 0.01 M | mg/kg | 130 - 200 | 227 |
| | Magnesio (Mg) | CaCl ₂ 0.01 M | mg/kg | 60 - 120 | 115 |
| | Calcio (Ca) | NaCl 0.05 M | mg/kg | 400 - 1000 | 258 |
| | Azufre (SO ₄ -S) | Extracto Agua | mg/kg | 10 - 15 | 5,3 |
| Micronutrientes | Hierro (Fe) | DTPA/CaCl ₂ | mg/kg | 20 - 50 | 14,9 |
| | Manganeso (Mn) | DTPA/CaCl ₂ | mg/kg | 6 - 30 | 24,2 |
| | Cobre (Cu) | DTPA/CaCl ₂ | mg/kg | 1.0 - 4.0 | 1,9 |
| | Zinc (Zn) | DTPA/CaCl ₂ | mg/kg | 1.2 - 6.0 | 2,1 |
| | Boro (B) | Extracto Agua | mg/kg | 0.15 - 0.60 | 0,71 |
| Peligro salinidad | Sodio (Na) | Extracto Agua | mg/kg | < 140 | 16,4 |
| | Cloruro (Cl ⁻) | Extracto Agua | mg/kg | < 210 | 13,9 |
| | Sales Totales | Extracto Agua | mg/kg | < 2000 | 166 |

*Nivel Óptimo de N: con presencia de nódulos fijadores de nitrógeno (*Rhizobium* spp.)

Anexo 2. Resultado del análisis del abono orgánico



Resultados # 1-2: María José Vega, Abono Orgánico Sólido, 09-01-2018

Contenido Total de macro- y microelementos en Materia Seca (macroelementos en %, microelementos en ppm equivalente a mg/kg o µg/g)

| Parámetro | Unidad | # 1: Muestra 1: Abono Orgánico (cachaza fresca semisólida) | # 2: Muestra 2: Abono Orgánico (cachaza descompuesta sólida) |
|--------------------------|--------|--|--|
| Materia Seca (%) | % | 39.6 | 84.1 |
| Humedad (%) | % | 60.4 | 15.9 |
| pH (Extracto 1:2%, p/v) | | 4.3 | 4.7 |
| C.E. (Extracto 1:5, p/v) | mS/cm | 7.67 | 3.48 |
| Materia Orgánica | % | 89.7 | 94.0 |
| Carbono (C) | % | 52.2 | 54.7 |
| Relación C:N | | 23 : 1 | 10 : 1 |
| Nitrógeno Total (N) | % | 2.27 | 5.25 |
| Fósforo (P) | % | 0.23 | 0.27 |
| Potasio (K) | % | 1.55 | 0.66 |
| Magnesio (Mg) | % | 0.12 | 0.08 |
| Calcio (Ca) | % | 0.14 | 0.07 |
| Sodio (Na) | % | 0.04 | 0.02 |
| Hierro (Fe) | ppm | 376 | 308 |
| Manganeso (Mn) | ppm | 81.6 | 31.6 |
| Cobre (Cu) | ppm | 35.2 | 71.4 |
| Zinc (Zn) | ppm | 606 | 526 |
| Boro (B) | ppm | 26.8 | 26.4 |

Anexo 3. Cálculos de las dosis de cachaza fresca y descompuesta.

CÁLCULOS DE LAS DOSIS DE CACHAZA POR TRATAMIENTO

Requerimiento del cultivo = 40 kg de N/ha

Aporte (N) de la Cachaza

- Cachaza descompuesta (CD) = 1.97%
- Cachaza fresca (CF) = 0.07%

| | |
|---|--|
| <p>1,97 % Nt de CD → 100%</p> <p>40 kg de N/ha → X</p> <p>X= 2 030.5 kg Nt/ha</p> | <p>0.07% Nt de CF → 100%</p> <p>40 kg de N/ha → X</p> <p>X=57 142.9 kg de N/ha</p> |
|---|--|

Tratamiento 1

| | |
|---|---|
| <p>2 030.5 kg de CD → 10 000 m² (ha)</p> <p>X → 28.8 m² (U.E)</p> | <p>X= 5.85 kg de CD/U.E</p> <p>X= 0.73 kg de CD/surco</p> |
|---|---|

Tratamiento 2

| | |
|---|--|
| <p>4 061 kg de CD → 10 000 m² (ha)</p> <p>X → 28.8 m² (U.E)</p> | <p>X= 11.69 kg de CD/U.E</p> <p>X= 1.46 kg de CD/surco</p> |
|---|--|

Tratamiento 3

| | |
|---|---|
| <p>6 091.5 kg de CD → 10 000 m² (ha)</p> <p>X → 28.8 m² (U.E)</p> | <p>X= 17.54 kg de CD/U. E</p> <p>X= 2.19 kg de CD/surco</p> |
|---|---|

Tratamiento 4

| | |
|--|--|
| <p>2030.5 kg/ha de CD → 100%</p> <p>X → 75%</p> <p>X= 1 522.87 kg/ha de CD</p> | <p>1 522.87 kg de CD → 10 000 m² (ha)</p> <p>X → 28.8 m² (U.E)</p> <p>X= 4.39 kg de CD/U.E</p> <p>X= 0.54 kg de CD/surco</p> |
|--|--|

| | |
|--|--|
| <p>5 714.2 kg/ha de CF → 100%</p> <p>X → 25%</p> <p>X= 14 283.72 kg/ha de CF</p> | <p>14 283.72 kg de CF → 10 000 m² (ha)</p> <p>X → 28.8 m² (U.E)</p> <p>X= 41.14 kg de CF/U.E</p> <p>X= 5.14 kg de CF/surco</p> |
|--|--|

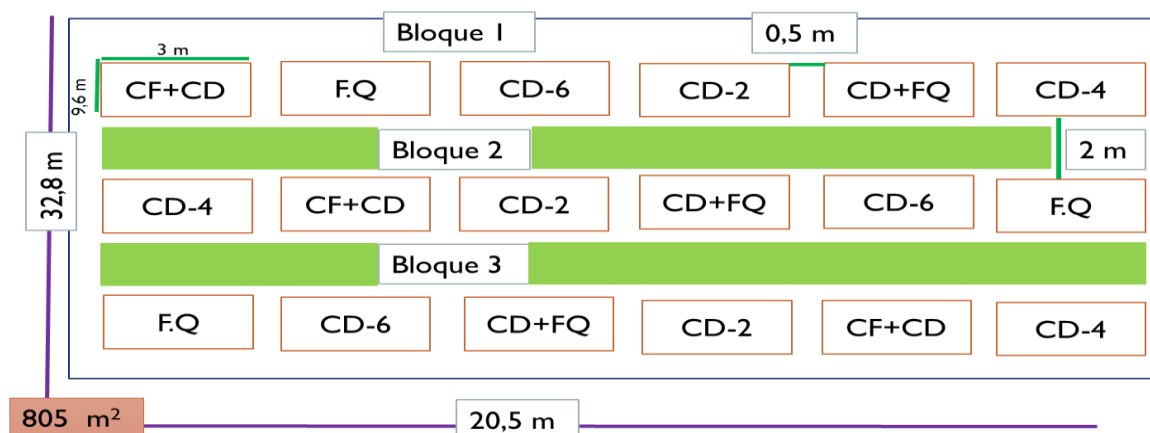
Tratamiento 5

| | |
|---|---|
| <p>2030.5 kg/ha de CD → 100%</p> <p>X → 50%</p> <p>X= 1 015.2 kg/ha de CD</p> | <p>1 015.2 kg de CD → 10 000 m² (ha)</p> <p>X → 28.8 m² (U.E)</p> <p>X= 2.92 kg de CD/U.E</p> <p>X= 0.37 kg de CD/surco</p> |
|---|---|

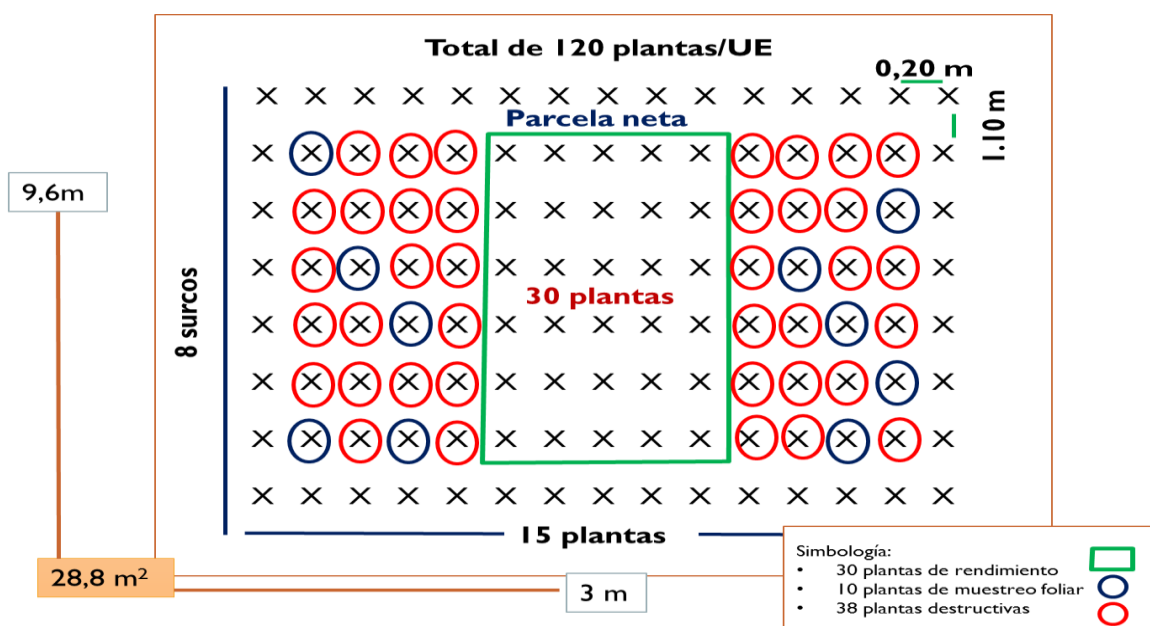
Anexo 4. Tabla resumen del aporte nutricional por tratamiento.

| Nutrientes | N | P | K | Ca | Mg | Na | Fe | Mn | Cu | Zn | B |
|------------|-----|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| CD-1 | 40 | 3.65 | 28.63 | 53.85 | 1.83 | 1.42 | 0.62 | 0.08 | 0.05 | 0.49 | 0.03 |
| CD-2 | 80 | 7.31 | 57.26 | 57.71 | 3.65 | 2.84 | 1.24 | 0.15 | 0.11 | 0.99 | 0.05 |
| CD-3 | 120 | 10.96 | 85.89 | 61.57 | 5.48 | 4.26 | 1.86 | 0.23 | 0.16 | 1.48 | 0.08 |
| CD-1 + CF | 40 | 28.46 | 32.61 | 52.89 | 1.37 | 1.07 | 0.47 | 0.06 | 0.04 | 0.37 | 0.02 |
| CD-1 + FM | 40 | 9.38 | 31.30 | 51.92 | 0.91 | 0.71 | 0.31 | 0.04 | 0.03 | 0.25 | 0.01 |
| FM | 40 | 15.11 | 33.96 | 49.99 | | | | | | | |

Anexo 5. Distribución al azar de los tratamientos en el área experimental.



Anexo 6. Plantas seleccionadas al azar para destrucción, muestreos foliares y rendimiento dentro de cada tratamiento.



Anexo 7. Medias y rangos de la variable altura de planta.

| Frecuencia | Niveles | Medias | E.E. | Rangos |
|------------|---------|--------|------|--------|
| 90 | 3 | 208.57 | 4.53 | A |
| 75 | 3 | 207.57 | 4.53 | A B |
| 90 | 5 | 196.60 | 4.53 | B C |
| 75 | 5 | 192.77 | 4.53 | C D |
| 90 | 1 | 187.44 | 4.53 | C D |
| 75 | 1 | 182.87 | 4.53 | D |
| 60 | 3 | 165.02 | 4.53 | E |
| 90 | 2 | 160.64 | 4.53 | E F |
| 75 | 4 | 159.60 | 4.53 | E F |
| 75 | 2 | 159.03 | 4.53 | E F |
| 90 | 4 | 156.39 | 4.53 | E F |
| 90 | 6 | 154.21 | 4.53 | E F |
| 60 | 5 | 153.04 | 4.53 | F |
| 75 | 6 | 151.37 | 4.53 | F |
| 60 | 1 | 139.03 | 4.74 | G |
| 60 | 6 | 132.13 | 4.74 | G H |
| 60 | 2 | 125.74 | 4.53 | H |
| 60 | 4 | 124.83 | 4.53 | H |
| 45 | 5 | 90.57 | 4.53 | I |
| 45 | 3 | 85.11 | 4.53 | I J |
| 45 | 4 | 76.14 | 4.53 | J K |
| 45 | 1 | 75.39 | 4.53 | J K |
| 45 | 2 | 72.41 | 4.53 | K |
| 45 | 6 | 67.13 | 4.53 | K |
| 30 | 3 | 50.00 | 4.53 | L |
| 30 | 1 | 44.30 | 4.53 | L M |
| 30 | 5 | 43.14 | 4.53 | L M |
| 30 | 4 | 42.02 | 4.53 | L M |
| 30 | 6 | 36.44 | 4.53 | M |
| 30 | 2 | 36.04 | 4.53 | M |
| 15 | 3 | 20.13 | 4.53 | N |
| 15 | 5 | 15.45 | 4.74 | N |
| 15 | 1 | 15.34 | 4.53 | N |
| 15 | 2 | 15.17 | 4.53 | N |
| 15 | 4 | 14.11 | 4.53 | N |
| 15 | 6 | 13.51 | 4.53 | N |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 8. Medias y rangos de la variable diámetro del tallo.

| Frecuencia | Niveles | Medias | E.E. | Rango |
|-------------------|----------------|---------------|-------------|--------------|
| 90 | 5 | 6.16 | 0.24 | A |
| 75 | 5 | 6.04 | 0.24 | A B |
| 90 | 1 | 5.97 | 0.24 | A B C |
| 60 | 5 | 5.79 | 0.24 | A B C |
| 75 | 1 | 5.48 | 0.24 | B C D |
| 45 | 5 | 5.4 | 0.24 | B C D |
| 60 | 1 | 5.29 | 0.26 | C D E |
| 45 | 3 | 5.02 | 0.24 | D E F |
| 60 | 3 | 4.95 | 0.24 | D E F G |
| 90 | 3 | 4.67 | 0.24 | E F G |
| 75 | 6 | 4.57 | 0.24 | F G |
| 75 | 3 | 4.47 | 0.24 | F G |
| 45 | 6 | 4.42 | 0.24 | F G H |
| 90 | 6 | 4.39 | 0.24 | F G H |
| 45 | 1 | 4.29 | 0.24 | G H I |
| 60 | 6 | 3.77 | 0.26 | H I J |
| 90 | 4 | 3.67 | 0.24 | I J K |
| 75 | 2 | 3.48 | 0.24 | J K L |
| 45 | 2 | 3.41 | 0.24 | J K L M |
| 45 | 4 | 3.38 | 0.24 | J K L M |
| 60 | 2 | 3.36 | 0.24 | J K L M |
| 60 | 4 | 3.32 | 0.24 | J K L M |
| 75 | 4 | 3.24 | 0.24 | J K L M N |
| 90 | 2 | 3.16 | 0.24 | J K L M N |
| 30 | 4 | 3.05 | 0.24 | K L M N O |
| 30 | 1 | 3.02 | 0.24 | K L M N O |
| 30 | 3 | 3.01 | 0.24 | K L M N O |
| 30 | 5 | 2.91 | 0.24 | L M N O P |
| 30 | 2 | 2.75 | 0.24 | M N O P Q |
| 30 | 6 | 2.64 | 0.24 | N O P Q R |
| 15 | 3 | 2.44 | 0.24 | O P Q R S |
| 15 | 6 | 2.35 | 0.24 | P Q R S |
| 15 | 4 | 2.22 | 0.24 | Q R S |
| 15 | 5 | 2.10 | 0.26 | Q R S |
| 15 | 1 | 2.05 | 0.24 | R S |
| 15 | 2 | 1.92 | 0.24 | S |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 9. Medias y rangos de la variable área foliar.

| Frecuencia | Niveles | Medias | E.E. | Rango |
|-------------------|----------------|---------------|-------------|---------------|
| 75 | 5 | 7872.15 | 274.81 | A |
| 75 | 1 | 7663.38 | 274.81 | A |
| 75 | 2 | 5559.98 | 274.81 | B |
| 60 | 5 | 3529.83 | 445.97 | C |
| 75 | 3 | 3032.03 | 274.81 | C |
| 75 | 6 | 3011.86 | 274.81 | C |
| 60 | 2 | 2648.16 | 445.97 | C D |
| 60 | 1 | 2595.57 | 473.01 | C D |
| 60 | 3 | 2521.74 | 445.97 | C D |
| 90 | 1 | 2068.92 | 146.89 | D |
| 45 | 5 | 1963.89 | 238.12 | D E |
| 60 | 4 | 1872.57 | 445.97 | D E F |
| 45 | 3 | 1716.02 | 238.12 | D E F |
| 90 | 2 | 1532.65 | 146.89 | E F G |
| 45 | 1 | 1430.52 | 238.12 | E F G H |
| 90 | 5 | 1393.7 | 146.89 | E F G H |
| 90 | 3 | 1342.48 | 146.89 | E F G H I |
| 45 | 4 | 1211.88 | 238.12 | E F G H I J |
| 75 | 4 | 1109.62 | 274.81 | E F G H I J |
| 60 | 6 | 1029.2 | 473.01 | E F G H I J K |
| 45 | 6 | 1024.07 | 238.12 | F G H I J K |
| 90 | 6 | 970.75 | 146.89 | F H I J K |
| 90 | 4 | 852.86 | 146.89 | J K |
| 45 | 2 | 653.84 | 238.12 | J K L |
| 30 | 3 | 464.05 | 59.00 | K L |
| 30 | 5 | 429.26 | 59.00 | K L |
| 30 | 4 | 423.19 | 59.00 | K L M |
| 30 | 1 | 391.73 | 59.00 | K L M N |
| 30 | 6 | 263.21 | 59.00 | K L M N |
| 30 | 2 | 251.99 | 59.00 | K L N |
| 15 | 3 | 121.76 | 15.26 | K O |
| 15 | 5 | 83.74 | 15.83 | P |
| 15 | 2 | 83.73 | 15.26 | P |
| 15 | 6 | 80.25 | 15.26 | P |
| 15 | 1 | 75.31 | 15.26 | P |
| 15 | 4 | 73.41 | 15.26 | P |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 10. Medias y rangos de la variable biomasa radicular.

| Tratamientos | Medias | E. E | Rango |
|--------------|--------|------|-------|
| 3 | 6.78 | 0.26 | A |
| 5 | 6.51 | 0.26 | A |
| 1 | 5.01 | 0.26 | B |
| 2 | 4.55 | 0.26 | B C |
| 6 | 4.10 | 0.26 | C D |
| 4 | 3.47 | 0.26 | D |

Anexo 11. Resultados de los análisis foliares por unidad experimental

RESULTADOS

Código Agrarprojekt: UTN-11-09-18 Pág 2/3

| INFORMACIÓN DE LAS MUESTRAS | | | | | |
|-------------------------------|--|--|--|--|--|
| Información Adicional: | | Granja Experimental "La Pradera", Lote 1 | | | |
| Tipo de Muestra: | | Hojas | | | |
| Cultivo: | | Arveja | | | |
| Número de Muestra: | | # 1 | # 2 | # 3 | |
| Identificación de la Muestra: | | Muestra 1, Nivel 1, Cachaza D - Dosis 1 | Muestra 2, Nivel 2, Cachaza D - Dosis 2 | Muestra 3, Nivel 3, Cachaza D - Dosis 3 | |

Contenido de macro- y microelementos en Materia Seca (macroelementos en %, microelementos en ppm equivalente a mg/kg o µm/g)

| Análisis | Unidades | *Valores considerados como "Normal" para Hojas de Arveja | Resultado | Resultado | Resultado |
|---------------------|----------|--|-----------|-----------|-----------|
| Nitrógeno Total (N) | % | 3.00 – 4.00 | 4.14 | 4.15 | 4.08 |
| Fósforo (P) | % | 0.25 – 0.50 | 0.27 | 0.33 | 0.42 |
| Potasio (K) | % | 2.20 – 3.50 | 2.48 | 2.16 | 2.21 |
| Magnesio (Mg) | % | 0.25 – 0.60 | 0.43 | 0.39 | 0.29 |
| Calcio (Ca) | % | 0.50 – 2.00 | 1.46 | 1.20 | 0.79 |
| Azufre (S) | % | 0.23 - 0.38 | 0.26 | 0.26 | 0.28 |
| Sodio (Na) | % | 0.02 - 0.20 | 0.16 | 0.15 | 0.12 |
| Hierro (Fe) | ppm | 60 – 200 | 189 | 210 | 138 |
| Manganeso (Mn) | ppm | 30 – 100 | 56.4 | 69.4 | 50.0 |
| Cobre (Cu) | ppm | 7 – 15 | 8.3 | 10.1 | 7.4 |
| Zinc (Zn) | ppm | 25 – 70 | 27.4 | 38.6 | 28.0 |
| Boro (B) | pmm | 30 – 70 | 29.0 | 33.6 | 29.6 |

* Fuente: G. Bryson. 2014. Plant Analysis Handbook III. 571 pp.

Código Agrarprojekt: UTN-11-09-18 Pág 3/3

| INFORMACIÓN DE LAS MUESTRAS | | | | | |
|-------------------------------|--|--|--|--|--|
| Información Adicional: | | Granja Experimental "La Pradera", Lote 1 | | | |
| Tipo de Muestra: | | Hojas | | | |
| Cultivo: | | Arveja | | | |
| Número de Muestra: | | # 4 | # 5 | # 6 | |
| Identificación de la Muestra: | | Muestra 4, Nivel 4, Cachaza D+Cachaza F | Muestra 5, Nivel 5, Fertilización Q | Muestra 6, Nivel 6, Fertilización Química | |

Contenido de macro- y microelementos en Materia Seca (macroelementos en %, microelementos en ppm equivalente a mg/kg o µm/g)

| Análisis | Unidades | *Valores considerados como "Normal" para Hojas de Arveja | Resultado | Resultado | Resultado |
|---------------------|----------|--|-----------|-----------|-----------|
| Nitrógeno Total (N) | % | 3.00 – 4.00 | 4.38 | 4.47 | 4.30 |
| Fósforo (P) | % | 0.25 – 0.50 | 0.36 | 0.30 | 0.28 |
| Potasio (K) | % | 2.20 – 3.50 | 2.37 | 1.34 | 2.32 |
| Magnesio (Mg) | % | 0.25 – 0.60 | 0.38 | 0.26 | 0.43 |
| Calcio (Ca) | % | 0.50 – 2.00 | 1.22 | 0.88 | 1.40 |
| Azufre (S) | % | 0.23 - 0.38 | 0.29 | 0.28 | 0.26 |
| Sodio (Na) | % | 0.02 - 0.20 | 0.14 | 0.08 | 0.13 |
| Hierro (Fe) | ppm | 60 – 200 | 193 | 109 | 171 |
| Manganeso (Mn) | ppm | 30 – 100 | 61.2 | 37.0 | 54.8 |
| Cobre (Cu) | ppm | 7 – 15 | 9.2 | 5.5 | 7.4 |
| Zinc (Zn) | ppm | 25 – 70 | 36.0 | 21.2 | 26.8 |
| Boro (B) | pmm | 30 – 70 | 30.4 | 22.0 | 32.6 |

* Fuente: G. Bryson. 2014. Plant Analysis Handbook III. 571 pp.

Anexo 12. Resultado del análisis final del suelo por tratamiento.

RESULTADOS

Código Agrarprojekt: UTN-19-12-18

Pág 2/4

| INFORMACIÓN DE LAS MUESTRAS | | | | | | |
|-------------------------------|----------------------------------|-------------|-------------|---------------|---------------|------------|
| Información Adicional: | Granja Experimental "La Pradera" | | | | | |
| Tipo de Muestra: | Suelo | | | | | |
| Número de Muestra: | # 1 | # 2 | # 3 | # 4 | # 5 | # 6 |
| Identificación de la Muestra: | Lote B1-CD2 | Lote B1-CD4 | Lote B1-CD6 | Lote B1-CD+CF | Lote B1-CD+FM | Lote B1-FM |

Contenido de Nitrato y Amonio en mg/kg de suelo seco

| Análisis | Unidades | Método de Extracción | Resultado | Resultado | Resultado | Resultado | Resultado | Resultado |
|--|----------|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Nitrato (NO ₃) | mg/kg | NaCl 0.05 M | 222 | 162 | 158 | 222 | 203 | 239 |
| Nitrógeno (NO ₃ - N) | mg/kg | - | 50.2 | 36.6 | 35.6 | 50.2 | 45.8 | 53.9 |
| Amonio (NH ₄) | mg/kg | NaCl 0.05 M | 3.6 | 5.2 | 4.4 | 3.1 | 4.1 | 1.4 |
| Nitrógeno (NH ₄ - N) | mg/kg | - | 2.8 | 4.0 | 3.4 | 2.4 | 3.2 | 1.1 |
| *(NO ₃ +NH ₄)-N | mg/kg | - | 53.0 | 40.6 | 39.0 | 52.6 | 49.0 | 55.0 |

RESULTADOS

Código Agrarprojekt: UTN-19-12-18

Pág 3/4

| INFORMACIÓN DE LAS MUESTRAS | | | | | | |
|-------------------------------|----------------------------------|-------------|-------------|---------------|---------------|------------|
| Información Adicional: | Granja Experimental "La Pradera" | | | | | |
| Tipo de Muestra: | Suelo | | | | | |
| Número de Muestra: | # 7 | # 8 | # 9 | # 10 | # 11 | # 12 |
| Identificación de la Muestra: | Lote B2-CD2 | Lote B2-CD4 | Lote B2-CD6 | Lote B2-CD+CF | Lote B2-CD+FM | Lote B2-FM |

Contenido de Nitrato y Amonio en mg/kg de suelo seco

| Análisis | Unidades | Método de Extracción | Resultado | Resultado | Resultado | Resultado | Resultado | Resultado |
|--|----------|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Nitrato (NO ₃) | mg/kg | NaCl 0.05 M | 116 | 109 | 120 | 122 | 93.3 | 112 |
| Nitrógeno (NO ₃ - N) | mg/kg | - | 26.3 | 24.7 | 27.1 | 27.5 | 21.1 | 25.3 |
| Amonio (NH ₄) | mg/kg | NaCl 0.05 M | 2.4 | 5.7 | 3.3 | 5.3 | 4.3 | 2.5 |
| Nitrógeno (NH ₄ - N) | mg/kg | - | 1.8 | 4.4 | 2.5 | 4.1 | 3.4 | 1.9 |
| *(NO ₃ +NH ₄)-N | mg/kg | - | 28.1 | 29.1 | 29.6 | 31.6 | 24.5 | 27.2 |

RESULTADOS

Código Agrarprojekt: UTN-19-12-18

Pág 4/4

| INFORMACIÓN DE LAS MUESTRAS | | | | | | |
|-------------------------------|----------------------------------|-------------|-------------|---------------|---------------|------------|
| Información Adicional: | Granja Experimental "La Pradera" | | | | | |
| Tipo de Muestra: | Suelo | | | | | |
| Número de Muestra: | # 13 | # 14 | # 15 | # 16 | # 17 | # 18 |
| Identificación de la Muestra: | Lote B3-CD2 | Lote B3-CD4 | Lote B3-CD6 | Lote B3-CD+CF | Lote B3-CD+FM | Lote B3-FM |

Contenido de Nitrato y Amonio en mg/kg de suelo seco

| Análisis | Unidades | Método de Extracción | Resultado | Resultado | Resultado | Resultado | Resultado | Resultado |
|--|----------|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Nitrato (NO ₃) | mg/kg | NaCl 0.05 M | 177 | 141 | 148 | 185 | 116 | 206 |
| Nitrógeno (NO ₃ - N) | mg/kg | - | 40.0 | 31.9 | 33.4 | 41.7 | 26.2 | 46.4 |
| Amonio (NH ₄) | mg/kg | NaCl 0.05 M | 2.4 | 6.0 | 4.6 | 4.7 | 3.7 | 2.7 |
| Nitrógeno (NH ₄ - N) | mg/kg | - | 1.9 | 4.6 | 3.6 | 3.7 | 2.8 | 2.1 |
| *(NO ₃ +NH ₄)-N | mg/kg | - | 41.9 | 36.5 | 37.0 | 45.4 | 29.0 | 48.5 |