



1859

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS
NATURALES RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**CORRECCIÓN DE LA ACIDEZ Y SU EFECTO EN LA FIJACIÓN
BIOLÓGICA DEL N Y DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES EN EL
SUELO, EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL LA ARGELIA, LOJA**

Tesis de grado previo a la obtención del título de
INGENIERA AGRÓNOMA

AUTORA

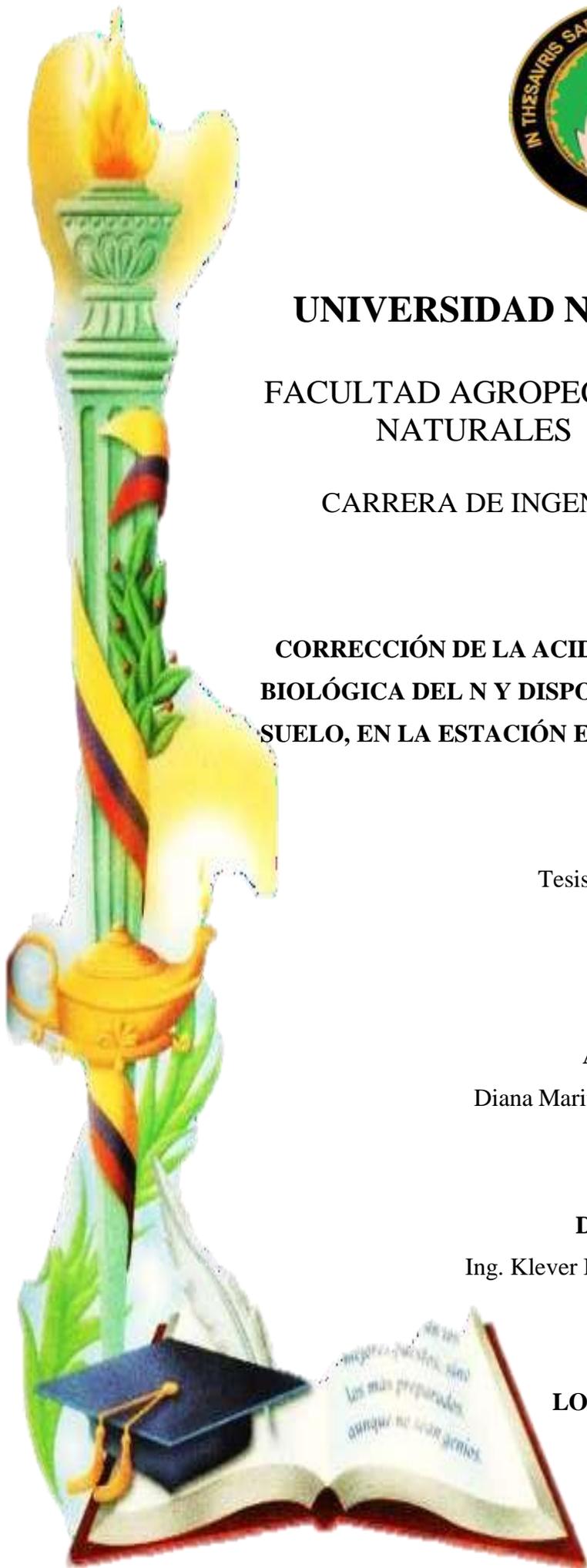
Diana Maritza Ordoñez Aguilar

DIRECTOR

Ing. Klever Iván Granda Mora *PhD.*

LOJA-ECUADOR

2022



CERTIFICACIÓN DE TESIS

Ing. Klever Iván Granda Mora *PhD*.

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICO:

Que luego de haber dirigido y revisado el trabajo de tesis titulado: “**CORRECCIÓN DE LA ACIDEZ Y SU EFECTO EN LA FIJACIÓN BIOLÓGICA DEL N Y DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES EN EL SUELO, EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL LA ARGELIA, LOJA**” previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo, de la señorita egresada: **Diana Maritza Ordoñez Aguilar**, ha sido desarrollado de acuerdo a la planificación y cronograma establecido; por tanto se autoriza su presentación, debido a que el mismo se sujeta a las normas y reglamentos generales de graduación exigido por la carrera de Ingeniería Agronómica.

En mi calidad de Director de Tesis certifico que la investigación realizada ha sido trabajo propio del egresado.

Loja, 09 de septiembre de 2021



Firmado electrónicamente por:
**KLEVER IVAN
GRANDA MORA**

.....
Ing. Klever Iván Granda Mora *PhD*
DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA

Yo, Diana Maritza Ordoñez Aguilar, declaro ser la autora del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Digital Institucional-Biblioteca Virtual.

Firma:



Firmado electrónicamente por:
**DIANA MARITZA
ORDONEZ AGUILAR**

Autora: Diana Maritza Ordoñez Aguilar

Correo electrónico: diana.m.ordonez@unl.edu.ec

Cédula: 1900662089

Celular: 0997579433

Fecha: 18 de febrero de 2022

**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR (A) PARA LA
CONSULTA DE PRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA DE TEXTO COMPLETO**

Yo, Diana Maritza Ordoñez Aguilar, declaro ser la autora de la tesis titulada “**CORRECCIÓN DE LA ACIDEZ Y SU EFECTO EN LA FIJACIÓN BIOLÓGICA DEL N Y DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES EN EL SUELO, EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL LA ARGELIA, LOJA**” como requisito para optar el título de Ingeniera Agrónoma, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la publicación intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RI, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los dieciocho días del mes de febrero del dos mil veintidós, firma el autor:



Firmado electrónicamente por:
**DIANA MARITZA
ORDONEZ AGUILAR**

Firma:

Autora: Diana Maritza Ordoñez Aguilar

Número de cédula: 1900662089

Dirección: Alisos y Eucaliptos, Barrio Yahuarcoma, Cantón Loja, Provincia de Loja.

Correo electrónico: diana.m.ordonez@unl.edu.ec

Celular: 0997579433

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de tesis: Ing. Klever Iván Granda Mora PhD.

Tribunal de grado:

Presidente: Mg.Sc. Edmigio Solifs Valdivieso Caraguay

Vocal: Mg.Sc. Freddy Eliazar Tinoco Tinoco

Vocal: PhD. Jorge Isaac Armijos Rivera

DEDICATORIA

A mis padres Luis Ordoñez y Rosa Aguilar, por ser mi mayor inspiración, mi soporte día a día, quienes, con su ejemplo de esfuerzo, trabajo y responsabilidad, me motivaron a la culminación de mi trabajo de tesis.

A mi compañero de vida y amigo Willian Ochoa, por siempre estar ahí apoyándome en todo lo que necesitaba, por motivarme a culminar mis estudios y especialmente por su entrega y esfuerzo.

A mis hermanas y hermanos por apoyarme de alguna u otra manera en el proceso de culminación de mi carrera.

Gracias de corazón a todos ustedes por su apoyo incondicional.

Con mucho cariño

Diana Maritza Ordoñez Aguilar

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios la Virgen y Jesús por ser mis guías en todo; a la Universidad Nacional de Loja, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables y a la Carrera de Ingeniería Agronómica, mi más sincero agradecimiento por abrirme las puertas y permitirme formarme como un profesional al servicio del país.

Agradezco a mi familia en especial a mis padres Luis Ordoñez y Rosa Aguilar, a mi compañero de vida y amigo Willian Ochoa, y a mis hermanos, quienes fueron el pilar fundamental para poder culminar con mis estudios académicos y lograr una meta más en mi vida, gracias por todo su apoyo incondicional y por la confianza que tuvieron desde un principio en mí.

Agradezco al Ingeniero Iván Granda Mora, director de tesis, por su excelente asesoramiento, apoyo y guía en la culminación de mi proyecto de tesis. A los docentes de la Carrera de Ingeniería Agronómica por haberme brindado sus conocimientos y ayuda en todo el proceso de culminación de la carrera. Agradecer a todo el personal de la Universidad y de la FARNR que de alguna u otra manera me ayudaron en algún momento en el proceso de culminación de mi proyecto de tesis.

Diana Maritza Ordoñez Aguilar

ÍNDICE

CARÁTULA.....	i
CERTIFICACIÓN DE TESIS.....	ii
AUTORÍA.....	iii
CARTA DE AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
1. TÍTULO.....	1
2. RESUMEN.....	2
2.1. Abstract.....	3
3. INTRODUCCIÓN.....	4
4. MARCO TEÓRICO.....	7
4.1. Suelo.....	7
4.2. pH del Suelo.....	7
4.3. Acidez del Suelo.....	7
4.4. Naturaleza de la Acidez del Suelo.....	8
4.5. Efectos de la Acidez del Suelo.....	9
4.6. Movilidad y Disponibilidad de los Elementos Acorde al pH.....	10
4.7. Nitrógeno.....	10
4.8. Fijación Biológica del Nitrógeno (FBN).....	11
4.9. Importancia de la FBN.....	12
4.10. Factores Limitantes de la FBN.....	13
4.11. Frejol.....	13
4.12. Maíz.....	14
4.13. Macronutrientes en el Suelo.....	14
4.14. Micronutrientes en el Suelo.....	14
4.15. Encalado.....	15

4.16. Cal Agrícola	15
4.17. Dolomita	16
4.18. Óxido de Magnesio.....	17
4.19. Óxido de Calcio.....	17
5. METODOLOGÍA	18
5.2. Ubicación del Área de Estudio.....	18
5.3. Materiales.....	18
5.3.1. Materiales de campo	18
5.3.2. Materiales de laboratorio.....	18
5.3.3. Materiales de oficina.....	19
5.4. Diseño Experimental	19
5.4.1. Especificaciones del diseño experimental	20
5.4.2. Tratamientos	20
5.4.3. Variables a evaluar.....	21
5.5. Metodología general.....	21
5.5.1. Análisis de suelo inicial.....	22
5.5.2. Aplicación de enmiendas.....	22
5.5.3. Metodología para el primer objetivo.....	22
5.5.4. Metodología para el segundo objetivo	24
5.5.5. Metodología para el tercer objetivo	25
5.6. Análisis	25
6. RESULTADOS.....	26
6.1. Comportamiento del pH	26
6.3. Fijación Biológica de Nitrógeno	26
6.3.1. Relación entre la FBN y el pH, materia seca, y contenido de nitrógeno, y número de nódulos.....	28
6.4. Disponibilidad de Nutrientes	29

6.4.1. Materia Orgánica (MO), macronutrientes y Capacidad e Intercambio Catiónico (CIC).....	29
6.4.2. Micronutrientes	30
6.4.3. Disponibilidad de nutrientes en función del pH.....	31
6.5. Componentes del Rendimiento	32
6.5.1. Relación entre el rendimiento y el número de vainas por planta, número de granos por vaina y peso de 100 granos.....	33
6.6. Correlación entre Variables	34
7. DISCUSIÓN	36
8. CONCLUSIONES	43
9. RECOMENDACIONES	44
10. BIBLIOGRAFÍA.....	45
11. ANEXOS	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Elementos del diseño experimental implementado en el proyecto.	20
Tabla 2. Resultados del análisis del suelo realizado en el área de estudio previo a la aplicación de las enmiendas	22
Tabla 3. Métodos empleados en el laboratorio para los análisis de suelo.....	24
Tabla 4. pH promedio, luego de la aplicación de enmiendas, sector “Estación Experimental La Argelia” Loja, marzo 2021.	26
Tabla 5. Fijación biológica del nitrógeno (FBN) y sus componentes, en el sector “Estación Experimental La Argelia” Loja, marzo 2021.	27
Tabla 6. Materia orgánica (MO), macronutrientes y CIC en el suelo luego de la corrección de acidez, sector “Estación Experimental La Argelia” Loja, marzo 2021.....	30
Tabla 7. Micronutrientes en el suelo luego de la corrección de acidez, sector “Estación Experimental La Argelia” Loja, marzo 2021.	31
Tabla 8. Rendimiento del frejol y sus componentes en el sector “Estación Experimental La Argelia” Loja, marzo 2021.	32
Tabla 9. Correlaciones entre las variables del estudio.	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio	18
Figura 2. A. Esquema del diseño B. Arreglo de las parcelas	21
Figura 3. Porcentaje de fijación biológica del nitrógeno (FBN) en cada tratamiento, al corregir acidez del suelo.....	28
Figura 4. Relación lineal del % FBN en función de: a) pH; b) Materia seca (g); c) Contenido de nitrógeno (g planta ⁻¹); d) Número de nódulos.....	29
Figura 5. Disponibilidad de nutrientes, respecto al pH presentado por los diferentes tratamientos.	32
Figura 6. Rendimientos de los tratamientos, respecto al pH.	33
Figura 7. Relación lineal del rendimiento en función de: a) pH; b) Número de vainas; c) Número de granos por vaina; d) Peso de 100 granos.....	34

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Resultados de análisis de suelo de las 15 muestras de suelo y de la muestra inicial.	56
Anexo 2. Resultados de análisis bromatológico de 15 muestras de material vegetal de frejol y 15 de maíz.....	59
Anexo 3. Preparación del suelo con el paso de maquinaria con rastra, y preparación de parcelas para los tratamientos.	63
Anexo 4. Toma de muestras de suelo al inicio del ensayo y secado de muestras.	64
Anexo 5. Preparación de muestras de suelo de cada tratamiento, para el respectivo análisis de suelo.	65
Anexo 6. Limpieza de malezas y cuidado de las unidades experimentales.	65
Anexo 7. Toma de muestras de material vegetal y radicular, de frejol y maíz para llevar al laboratorio a los respectivos análisis.....	66
Anexo 8. Preparación de muestras para el análisis de N en el material vegetal de frejol y maíz.....	66
Anexo 9. Siembra de frejol y maíz en cada unidad experimental.	67
Anexo 10. Pesado de granos luego de ser cosechados, para la determinación de rendimiento del frejol.....	67
Anexo 11. Visita del director de tesis al lugar de estudio.	68
Anexo 12. Análisis estadístico ANAVA de cada componente perteneciente a la FBN.	68
Anexo 13. Análisis estadístico ANAVA de macro y micronutrientes en cada tratamiento.....	69
Anexo 14. Análisis estadístico ANAVA de los componentes del rendimiento del cultivo de frejol.	70

**“CORRECCIÓN DE LA ACIDEZ Y SU EFECTO EN LA FIJACIÓN BIOLÓGICA
DEL N Y DISPONIBILIDAD DENUTRIENTES EN EL SUELO, EN LA ESTACIÓN
EXPERIMENTAL LA ARGELIA, LOJA”**

2. RESUMEN

La acidez o acidificación es una de las mayores limitaciones y factores que afectan la fertilidad del suelo, alterando su normal funcionamiento, y de igual manera afectando a la fijación biológica del nitrógeno (FBN) y disponibilidad de macro y micronutrientes esenciales en el suelo, ocasionando en los cultivos una baja productividad. En base a lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de diferentes enmiendas para la corrección de la acidez del suelo sobre la fijación biológica del nitrógeno (FBN), la disponibilidad de nutrientes en el suelo y rendimiento agrícola del frejol. El estudio se llevó a cabo en la Estación Experimental La Argelia, de la ciudad de Loja, barrio La Argelia, estableciéndose un diseño experimental completamente aleatorizado (DCA), con cinco tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos utilizados fueron cal agrícola, óxido de magnesio, dolomita y óxido de calcio más el testigo. Cada unidad experimental constituyó una parcela de 10 m². Se aplicó un análisis de varianza ANAVA con comparaciones de LSD Fisher ($p < 0,05$) en un software estadístico *InfoStat 2019* versión libre. El tratamiento con óxido de calcio presentó incremento de pH de 6,92, seguido de la cal agrícola con 6,78, el tratamiento dolomita con 6,39 y, por último, el óxido de magnesio con 6,31 respectivamente. En cuanto a la fijación biológica del nitrógeno, se evidenció que la corrección de acidez con óxido de calcio y cal agrícola presentaron valores altos 57,5 y 51,9 % respecto a los demás tratamientos. Existió efecto significativo de la corrección de acidez en el nitrógeno (N), calcio (Ca) y hierro (Fe), pH entre 6,4 a 6,7 (óxido de calcio y cal agrícola) presentaron mayor disponibilidad del N y Ca. En pH menores a 6,4 (óxido de magnesio y dolomita) la disponibilidad de hierro (Fe) es mayor. No existió efecto significativo de la corrección de acidez para el fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg), manganeso (Mn) y cobre (Cu). Los valores se mantuvieron altos en todos los tratamientos, al igual que el valor inicial en el fósforo (P) y cobre (Cu). Y siendo valores medios en todos los tratamientos al igual que el valor inicial en el manganeso (Mg). Para el potasio (K) y el magnesio (Mg) los valores se mantuvieron medios al igual que el valor inicial, en pH entre 6,3 y 6,9 (cal agrícola y óxido de calcio). En el rendimiento agrícola del frejol no se evidenció diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos, es decir, no existió efecto significativo de la corrección de acidez sobre el rendimiento del cultivo.

Palabras claves: acidez, FBN, disponibilidad, nutrientes, rendimiento.

2.1. Abstract

Acidity or acidification is one of the greatest limitations and factors that affect soil fertility, altering its normal functioning, and in the same way affecting biological nitrogen fixation (FBN) and availability of essential macro and micronutrients in the soil, causing low productivity in crops. Based on the above, the objective of the present investigation was to determine the effect of different amendments for the correction of soil acidity on biological nitrogen fixation (FBN), the availability of nutrients in the soil and agricultural yield of beans. The study was carried out at the La Argelia Experimental Station, in the city of Loja, La Argelia neighborhood, establishing a completely randomized experimental design (DCA), with five treatments and three repetitions. The treatments used were agricultural lime, magnesium oxide, dolomite and calcium oxide plus the control. Each experimental unit constituted a plot of 10 m². An ANAVA analysis of variance was applied with LSD Fisher comparisons ($p < 0.05$) in InfoStat 2019 free version statistical software. The treatment with calcium oxide presented an increase in pH of 6.92, followed by agricultural lime with 6.78, dolomite treatment with 6.39 and, finally, magnesium oxide with 6.31, respectively. Regarding the biological fixation of nitrogen, it was evidenced that the correction of acidity with calcium oxide and agricultural lime presented high values 57.5 and 51.9 % with respect to the other treatments. There was a significant effect of the acidity correction on nitrogen (N), calcium (Ca) and iron (Fe), pH between 6.4 to 6.7 (calcium oxide and agricultural lime) showed greater availability of N and Ca. At pH below 6.4 (magnesium oxide and dolomite) the availability of iron (Fe) is greater. There was no significant effect of acidity correction for phosphorus (P), potassium (K), magnesium (Mg), manganese (Mn) and copper (Cu). The values remained high in all treatments, as well as the initial value in phosphorus (P) and copper (Cu). And being mean values in all treatments as well as the initial value in manganese (Mg). For potassium (K) and magnesium (Mg), the values remained medium, as well as the initial value, at pH between 6.3 and 6.9 (agricultural lime and calcium oxide). In the agricultural yield of beans, there was no statistically significant difference between treatments, that is, there was no significant effect of acidity correction on crop yield.

Keywords: acidity, BNF, availability, nutrients, yield.

3. INTRODUCCIÓN

La acidez es una de las mayores limitaciones y factores que afectan la fertilidad el suelo, alterando su normal funcionamiento, principalmente con la disminución de la reserva de los nutrientes básicos y su desbalance, afectando las propiedades físicas y químicas y presentando en los cultivos una baja productividad. Aunque la acidificación es un proceso natural, la agricultura, la polución y otras actividades humanas aceleran este proceso (Ribadulla & Bruballa, 2018; Vázquez, 2013; Zapata, 2004).

Se sabe desde hace tiempo que la FBN (Fijación Biológica de Nitrógeno) representa una alternativa a la fertilización nitrogenada, disminuyendo efectos negativos a nivel medioambiental ocasionado por los fertilizantes químicos de síntesis. Un factor limitante a la FBN es la acidez del suelo, pues, reduce la nodulación en las raíces, afectando negativamente el crecimiento y el rendimiento, principalmente en plantas que dependen exclusivamente de la simbiosis para adquirir nitrógeno (Intagri, 2018; Bekere *et al.*, 2013; Mohammadi *et al.*, 2012). En el caso de las leguminosas, la fijación biológica del nitrógeno se ve reducida a través de la depresión de la nodulación en las raíces, afectando negativamente el crecimiento y el rendimiento, principalmente en plantas que dependen exclusivamente de la simbiosis para adquirir nitrógeno (Bekere *et al.*, 2013; Mohammadi *et al.*, 2012). A más de las bajas tasas de la FBN en la producción de cultivos leguminosos en suelos ácidos, los rendimientos potenciales están condicionados por la poca disponibilidad de nutrientes básicos en el suelo, ya que no se encuentran disponibles para las plantas en determinadas condiciones de pH (Castellanos, 2014; Quiroga & Bono, 2012).

Cuando un suelo presenta un pH bajo, la presencia de bacterias responsables de procesos microbianos como la fijación biológica de N que es la asociación entre planta y las bacterias del suelo, se ven afectados, obstaculizando así el crecimiento y la producción de cultivos, debido a las condiciones infértiles predominantes en el suelo ácido (Ferreira *et al.*, 2016; Karthika *et al.*, 2018). La elevación de pH a un rango ideal mediante técnicas como el encalado es crucial para impulsar la producción y la productividad de la agricultura, favoreciendo la disponibilidad de nutrientes y la actividad microbiana (Karthika *et al.*, 2018; Bulta *et al.*, 2016). Corrigiendo la acidez, la FBN reducirá el N atmosférico (N_2) convirtiéndolo en amoníaco (NH_3), posteriormente este compuesto se transformará en NH_4^+ y el NO_3^- compuestos nitrogenados importantes en cultivos de leguminosas; de lo contrario el rendimiento promedio especialmente del frejol disminuirá debido a su susceptibilidad a la

acidez del suelo, afectando a los productores del cultivo (Gemechu *et al.*, 2016).

El crecimiento de las plantas está determinado de forma directa o indirecta por la disponibilidad de nutrientes, siendo los macro y micronutrientes esenciales para los cultivos, estos llevan a cabo funciones transcendentales para el adecuado crecimiento y desarrollo de la planta, y cualquier deficiencia o baja disponibilidad ocasionada por factores como lo es la acidez del suelo, producirá un decremento en la productividad del cultivo e incluso la muerte de la planta (Cooper & Ghanem, 2017; Rodríguez, 2013). Los macronutrientes como el nitrógeno, es uno de los principales nutrientes para el crecimiento de las plantas es así, que, en suelos carentes del mismo, los rendimientos de los cultivos son bajos (García, 2011). Algunos macronutrientes como el calcio y magnesio desempeñan un papel fundamental para contrarrestar la acidificación del suelo, de igual forma son esenciales en la vida microbiana y para las plantas debido a que les ayuda a superar una amplia gama de estrés ambiental (Weil & Brady, 2017). El conjunto de micronutrientes tiene vital importancia en los procesos biológicos de la planta, al igual que los macronutrientes, su escasa disponibilidad afecta de manera negativa en el rendimiento de los cultivos al no contar con los nutrientes esenciales para su crecimiento y desarrollo, afectando la rentabilidad y los ingresos del agricultor. Es clave conocer la dinámica de los micronutrientes en los agroecosistemas para mantener la productividad de los cultivos (Ríos, 2020).

El frejol es uno de los alimentos predilectos de la población del Ecuador y de la provincia de Loja, debido a su valor accesible y alto contenido en grasa y proteínas, que lo hacen similar a otros productos como lo es la carne roja (Garcés, 2013). Algunos factores que afectan al rendimiento del frejol provocando una disminución y alteración del crecimiento y desarrollo del cultivo, es la acidez del suelo y la sequía. La acidificación ocasiona una disminución de la reserva de los nutrientes básicos y su desbalance, alterando la dinámica de otros nutrientes como son el N, P, Mo y también las propiedades físicas y químicas del suelo, afectando la productividad de los cultivos (Morales, 2015; Vásquez *et al.*, 2009).

Es por ello que el presente trabajo contribuirá con estudios de utilización de enmiendas que permitan corregir la acidez del suelo, permitiendo dilucidar el efecto sobre la fijación biológica de nitrógeno, disponibilidad de nutrientes en el suelo y el rendimiento del cultivo de frejol. Teniendo en cuenta lo anteriormente descrito, los objetivos que se cumplieron en el presente estudio, fueron los siguientes:

Objetivos

Objetivo general

-Determinar el efecto de diferentes enmiendas para la corrección de la acidez del suelo sobre la Fijación Biológica del Nitrógeno (FBN) y la disponibilidad de nutrientes en el suelo, en la Estación Experimental La Argelia, Loja.

Objetivos específicos

-Demostrar el efecto de la corrección del suelo sobre la Fijación Biológica del Nitrógeno.

-Evaluar la disponibilidad de nutrientes mediante la corrección de la acidez del suelo.

-Determinar los componentes del rendimiento agrícola en el cultivo de referencia frejol (*Phaseolus vulgaris* L.) al aplicar enmiendas correctivas para la acidez del suelo.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Suelo

El suelo (del latín *solum* = piso) constituye un recurso único, irremplazable y esencial para todos los organismos terrestres, incluido el hombre. El suelo no es simplemente la fina capa exterior de la corteza terrestre de unos pocos centímetros a varios metros, explorada por las raíces de las plantas en busca de anclaje, agua y nutrientes, es un cuerpo complejo, formado en la roca sólida o en sedimentos no consolidados bajo la influencia de plantas, microorganismos y animales del suelo, agua y aire (Navarro & Navarro, 2013; Porta *et al.*, 2013).

El suelo independientemente de su origen tiene una función: soportar una vegetación, y en él se deben dar las condiciones necesarias para el desarrollo de las plantas. El suelo es considerado como substrato del desarrollo vegetal, pues intenta analizar, mejorar, organizar y predecir el desarrollo vegetal sobre la base de la aptitud y manejo de los suelos frente a diversos usos (Navarro & Navarro, 2013).

4.2. pH del Suelo

El potencial de hidrógeno (pH) del suelo expresa el grado de adsorción de iones (H^+) por las partículas e indica si está ácido o alcalino. Es el indicador principal muy importante ya que de esta propiedad dependen una serie de funciones, entre ellas, la disponibilidad de nutrimentos para las plantas, influye en su solubilidad, movilidad y disponibilidad; además, interviene en el desarrollo de la microflora y la generación de iones que pueden resultar tóxicos para las plantas, como el aluminio. Es el factor que ejerce influencia sobre los contaminantes metálicos que se depositan en el suelo, su magnitud oscila entre 3.5 (muy ácido) a 9.5 (muy alcalino). (Bernal *et al.*, 2015; Cruz & López, 2015). Aunque las especies de plantas cultivadas tienen ciertas diferencias en cuanto al pH en que se desarrollan mejor, se acepta que, en general, habrá mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas a pH del suelo entre 6.0 y 7.0 (Toledo, 2016).

4.3. Acidez del Suelo

La acidez del suelo es un problema conocido desde hace muchos años, siendo de los principales criterios empleados en los sistemas de clasificación de suelos, sea estimado como pH, saturación de bases, o simplemente dominancia de elementos como Al y Fe. La acidez de una solución está determinada por la actividad de los iones hidrogeno (H^+) y se determina

mediandola actividad del H^+ en la solución del suelo y se expresa con un parámetro denominado potencialhidrogeno (pH) (Alvarado & Fallas, 2004; Espinosa & Molina, 1999).

La acidez del suelo es un proceso natural en el que se liberan elementos tóxicos, para las plantas, desde los minerales del suelo, por la ocurrencia de reacciones bioquímicas que producen ácido (H^+). Los elementos tóxicos se acumulan en las partículas de suelo, desplazando a las bases intercambiables, que pueden ser susceptibles a pérdidas por lixiviación a través del perfil de suelo (Vistoso & Martínez, 2019).

La acidificación del suelo puede ser considerada como la suma de procesos naturales y antrópicos que acaban produciendo un suelo ácido. Los procesos naturales de acidificación incluyen la absorción de cationes básicos por las plantas, el lavado natural por ácidos tales como ácidos carbónico o nítrico y principalmente a partir de compuestos orgánicos procedentes de la formación de humus, toxicidad generada, principalmente, por el aluminio de cambio y en otros casos, como en los suelos sulfatados ácidos improductivos (SSAI), por la demanda de ácido sulfúrico y hierro. Mientras que los procesos antropogénicos incluyen la extracción a través de la biomasa, el cambio de usos (especies, aportes fertilizantes, etc.) y los aportes de origen atmosférico (Jiménez, 2017; Castro & Munevar, 2013).

4.4. Naturaleza de la Acidez del Suelo

Existen varios procesos en el suelo que promueven la reducción del pH. Todos estos procesos ocurren naturalmente dependiendo del tipo de suelo, del cultivo y las condiciones de manejo.

- Los fertilizantes empleados de manera continua ricos en amoníaco pueden provocar condiciones ácidas mediante la intervención de microorganismos que propician la reacción (Cruz & López, 2015). Los fertilizantes nitrogenados que contienen o forman amonio (NH_4^+) incrementan la acidez del suelo a menos que la planta absorba NH_4^+ . Ejemplos de estos fertilizantes son el sulfato de amonio $[(NH_4)_2SO_4]$, nitrato de amonio (NO_3NH_4) y la urea $[CO(NH_2)_2]$ (Espinosa & Molina, 1999).
- Remoción de nutrientes: Un suelo con pH neutro tiene saturada la fase de intercambio con cationes básicos (K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+). Estos cationes satisfacen la carga eléctrica de la superficie de los coloides del suelo y al momento de la pérdida

debido a la acción de las raíces, empieza el proceso de acidificación. La planta, al absorber cationes, liberar H^+ para mantener el equilibrio en su interior, lo que contribuye a la reducción del pH del suelo (Espinosa & Molina, 1999).

- Aluminio intercambiable: es reconocido ampliamente que uno de los principales factores en el desarrollo de la acidez del suelo es la presencia de aluminio (Al^{3+}) en la solución del suelo (Espinosa & Molina, 1999).
- Lluvia ácida: el agua de lluvia cerca de las ciudades tiende a tener pH muy bajos por la presencia de gases tales como CO_2 , NO_2 , SO_2 , que generan ácidos y al momento de infiltrarse en los suelos generan acidez (Osorio, 2012).
- Altos contenidos de materia orgánica (MO) y laboreo de suelo: La MO se descompone con la vida de microorganismos produciendo constantemente anhídrido carbónico (CO_2) que fácilmente se transforma en bicarbonato (HCO_3), ocasionando H^+ , incrementando la acidez (Bernier & Alfaro, 2006).

4.5.Efectos de la Acidez del Suelo

El grado de acidez o alcalinidad del suelo, es una variable que afecta una amplia gama de propiedades químicas y biológicas del suelo. Esta variable química influye en gran medida en la probabilidad de que las raíces de las plantas absorban elementos tanto nutrientes como tóxicos y afecta las comunidades de microorganismos del suelo y sus actividades (Weil & Brady, 2017).

- Reducen la actividad de bacterias fijadoras de nitrógeno y de aquellas que descomponen los restos de plantas y animales, generando una disminución del aporte de nutrientes esenciales.
- Disminuyen la disponibilidad de nutrientes esenciales, como fósforo y molibdeno.
- Solubiliza aluminio y manganeso. La fitotoxicidad por aluminio reduce la longitud de raíces afectando la absorción de agua y nutrientes y, por ello, disminuye el rendimiento.
- Disminuye la efectividad de algunos herbicidas y nematicidas (Vistoso & Martínez, 2019).

4.6.Movilidad y Disponibilidad de los Elementos Acorde al pH

El pH de la solución del suelo es un buen indicador de la disponibilidad de nutrientes debido a que influye directamente en la disponibilidad de nutrientes del suelo, ya que estos cuentan con un rango óptimo de pH para estar disponibles (Beltrán, 2017; Osorio, 2012). Esto se debe a que la presencia de los iones de aluminio (Al^{3+} , $Al(OH)^{2+}$), H^+ y OH^- son determinantes de la solubilidad de los nutrientes en el suelo (fosfato, sulfato, molibdatos, hierro, manganeso, cobre, zinc) o son indicadores de la escasez de las formas disponibles de algunos de ellos en el suelo (calcio, magnesio, potasio, sodio). Cuando el suelo tiene un pH cercano a la neutralidad o alcalino ($pH \geq 6.5$), la abundancia de iones OH^- produce la precipitación de compuestos insolubles de hierro, manganeso, cobre y zinc, de esta manera estos micronutrientes se vuelven no-disponibles para su absorción por las raíces de las plantas (Osorio, 2012).

Cuando el pH se reduce por debajo de 5.5, los niveles de acidez son tan altos que nutrientes como el calcio, magnesio, molibdeno y fósforo pueden no estar tan disponibles para las plantas, las que sufrirán deficiencia nutricional. Además, algunos nutrientes y otros elementos del suelo llegan a volverse tóxicos para las plantas como el hierro, aluminio y manganeso. En la medida en que el pH se incrementa por arriba de 7, volviéndose más alcalino, la disponibilidad de nutrientes como hierro, zinc, boro, manganeso y fósforo se reduce, limitándose fuertemente el crecimiento de las plantas. Además, cuando el pH se encuentra entre 6 y 7 existe mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas (Toledo, 2016).

4.7.Nitrógeno

El nitrógeno (N) es un elemento necesario en los procesos químicos vitales y forma parte de las macromoléculas informacionales, como los ácidos nucleicos y las proteínas, encontrándose presente en el 80 % de los gases que conforman la atmósfera siendo su asimilación el proceso más importante, después de la fotosíntesis. El nitrógeno entra en la biosfera por fijación química y biológica del nitrógeno molecular (N^2) y se remueve de la misma por desnitrificación. Los procesos de fijación los llevan a cabo una gran variedad de bacterias que poseen nitrogenasas, enzimas que rompen el triple enlace del nitrógeno molecular y producen amonio.

La necesidad del nitrógeno y su presencia ambiental se convierte en un proceso paradójico, porque su fijación sólo puede ser realizada por un selecto grupo de bacterias en simbiosis con

las plantas, esto debido a la incapacidad de las plantas y los animales para asimilar el nitrógeno atmosférico. Existen dos formas de proveerlo a los cultivos: mediante fertilizantes o utilizando el nitrógeno atmosférico (fijación biológica del nitrógeno) (Rincón & Aristizábal, 2012; Arias *et al*, 2007).

Según Aldaroso, (2017), a pesar de ser un elemento muy abundante en la atmósfera, el nitrógeno atmosférico es inerte, no estando disponible para las plantas y los animales de forma directa. Por lo tanto, tiene que sufrir algún tipo de transformación para entrar en el ciclo del nitrógeno de la biosfera, y estar disponible para los cultivos. El nitrógeno atmosférico puede ser fijado por oxidación debido a descargas eléctricas provocadas por tormentas, transformarse en óxido nítrico en presencia de oxígeno y vapor de agua, o puede ser fijado por microorganismos. Al proceso de fijación del nitrógeno atmosférico por parte de microorganismos se le denomina fijación biológica de nitrógeno (FBN), que lo pueden llevar a cabo microorganismos de vida libre, o formando simbiosis con algunas familias de plantas. La fijación biológica del nitrógeno, consiste en un proceso de conversión del nitrógeno atmosférico a formas metabolizables, que puedan ser incorporadas por los seres vivos (García, 2011).

4.8. Fijación Biológica del Nitrógeno (FBN)

La fijación biológica de nitrógeno es la reacción bioquímica más importante para la vida en la Tierra, pues, convierte el di-nitrógeno inerte gas de la atmósfera (N_2) a nitrógeno reactivo volviéndolo disponible para todas las formas de vida a través del ciclo del nitrógeno. El proceso lo llevan a cabo un número limitado de bacterias, incluyendo varias especies de *Rhizobium*, actinomicetos y cianobacterias. En la agricultura sustentable, las bacterias fijadoras de nitrógeno son fundamentales para los diferentes procesos de aprovechamiento de los ecosistemas, puesto a que permiten que el ciclo de nitrógeno sea cerrado y que se evite la interferencia de sustancias químicas externas (agroquímicos) que adicionalmente alteran las propiedades fisicoquímicas del suelo (Rojas & Valencia, 2018; Weil & Brady, 2017). La fijación biológica del nitrógeno, consiste en un proceso de conversión del nitrógeno atmosférico a formas metabolizables, que puedan ser incorporadas por los seres vivos. El proceso que se lleva a cabo para la obtención del ion amonio (NH_4^+) o los iones nitrito (NO^-) o nitrato (NO_3^-), es la simbiosis entre bacterias presentes en la rizosfera del suelo con una plantahospedante, que fijan el nitrógeno del aire, originando los compuestos solubles antes mencionados. Otras sustancias como el dióxido de nitrógeno (NO_2) reaccionan fácilmente

para originar algunas de las anteriores. (García, 2011). Las cantidades de N fijadas en el proceso simbiótico son muy diversas, con valores de 20 a 1000 Kg de N.ha⁻¹ en un ciclo de producción (Paredes, 2013).

4.9.Importancia de la FBN

A medida que la creciente población humana de la Tierra pone en circulación cada vez más nitrógeno reactivo, su deposición no deseada se está convirtiendo en un problema ambiental mundial cada vez más grave (Weil & Brady, 2017). Los altos costos de la urea y los fertilizantes utilizados en el campo para la siembra, además la pérdida de moléculas nitrogenadas tanto por lixiviación como por volatilización que ocasionan contaminación al ambiente, ha sido razones claves para analizar una alternativa de incrementar el nitrógeno en el suelo, mediante diferentes técnicas, siendo una de ellas la fijación biológica de nitrógeno (Fonseca *et al.*, 2019).

La FBN representa un papel de suma importancia para las plantas. En la atmósfera, el nitrógeno se encuentra en forma molecular (N₂), las plantas solamente pueden asimilar el nitrógeno mayormente en forma de nitratos (NO₃⁻) y en forma de amonio (NH₄⁺). Para poder convertir el nitrógeno de su forma no asimilable (N₂) por las plantas a una que sí lo sea, las bacterias realizan la FBN (Paredes, 2013).

La FBN representa una alternativa a la fertilización nitrogenada, ya que puede disminuir efectos negativos a nivel medioambiental y sanitario ocasionado por los fertilizantes químicos de síntesis (Intagri, 2018). Las plantas de la familia de las leguminosas (Fabaceae) son famosas por su capacidad distintiva para proporcionar la principal fuente biológica de nitrógeno fijo en suelos agrícolas (Weil & Brady, 2017).

Las bacterias fijadoras de nitrógeno son rizobios que tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico mediante la simbiosis intracelular que establecen con las leguminosas, las estructuras donde se da la simbiosis se llaman nódulos (Bécquer & Prévost, 2014). Los nódulos son unas estructuras radiculares resultantes de la simbiosis entre la planta y la bacteria. Las bacterias en simbiosis con una planta hospedante fijan el nitrógeno del aire, es decir, originan compuestos solubles por las plantas, como amoníaco. Con posterioridad, el amoníaco entra en la cadena alimenticia mediante su incorporación a los aminoácidos y proteínas. El enlace que une los dos átomos de nitrógeno tiene un alto coste energético de rotura. Para romper este triple enlace son necesarias grandes cantidades de energía. La enzima

nitrogenasa es la encargada de romper dicho enlace, para lo cual necesita 16 moléculas de ATP por N₂ reducido (García, 2011).

4.10. Factores Limitantes de la FBN

Un factor limitante a la FBN es la acidez del suelo, pues, reduce la nodulación en las raíces, afectando negativamente el crecimiento y el rendimiento, principalmente en plantas que dependen exclusivamente de la simbiosis para adquirir nitrógeno (Bekere *et al.*, 2013; Intagri, 2018; Mohammadi *et al.*, 2012)

La tasa de fijación biológica depende en gran medida del suelo y condiciones climáticas. Sin embargo, los altos niveles de nitrógeno disponible, ya sea del suelo o agregado en fertilizantes, tienden a deprimir la fijación biológica de nitrógeno. Aparentemente, las plantas realizan la gran inversión de energía necesaria para la fijación simbiótica de nitrógeno solo cuando los suministros de nitrógeno mineral del suelo son bastante limitados (Weil & Brady, 2017).

4.11. Frejol

Los frejoles (*Phaseolus vulgaris* L.) pertenecen a la familia Fabacea, al orden Fabales y al género *Phaseolus* (Vargas, 2011), son plantas anuales originarias de Mesoamérica y Suramérica que hoy se cultivan en todo el mundo. Son uno de los alimentos más antiguos que el hombre conoce y fueron cultivados desde hace miles de años. Hoy en día los frejoles forman una parte muy importante en la nutrición humana, sobre todo por el alto contenido de proteínas y vitaminas que aportan (Muschler *et al.*, 2008). En la actualidad, los frejoles encabezan la lista de cultivos de legumbre que representan en promedio 38 y 32 % de la superficie y la producción mundial de legumbres, respectivamente (Campos *et al.*, 2018). En el Ecuador, la importancia del fréjol, radica en que es uno de los alimentos predilectos de la población, por su valor accesible y el contenido de grasas y proteínas, incluso su valor nutritivo es comparado con la carne roja (Garcés, 2013).

El cultivo de frejol hasta el año 2018 a nivel mundial obtuvo un área cosechada de 34 495 662 ha, con una producción de 30 434 280 toneladas, y un rendimiento de 8,823 hg/ha. Para el Ecuador, en el año 2018 el área cosecha de frejol fue de 17 683 ha, una producción de 11 095 hg/ha y un rendimiento del cultivo de 6 274 toneladas (FAO, 2020). Este cultivo es importante en la investigación debido a su capacidad para obtener nitrógeno atmosférico (N₂) por medio del proceso denominado fijación biológica del nitrógeno (FBN) (Zamora *et al.*,

2019).

4.12. Maíz

El maíz junto con el trigo y el arroz, es uno de los cereales más importantes del mundo (Rodríguez, 2013). El maíz pertenece a la familia Poaceae, orden Poales y al género *Zea* (Valladares, 2010). En todos los casos de determinación de FBN, se emplean plantas de referencia no fijadoras, con semejante capacidad de extracción de N del suelo, para diferenciar las diferentes fuentes del elemento en el sistema agrícola que se estudia. Es por ello que el maíz se usa como planta de referencia para la determinación de FBN como planta no fijadora de N (Martín *et al.*, 2017).

4.13. Macronutrientes en el Suelo

La nutrición de las plantas y otras funciones del ecosistema están influenciadas por una serie de elementos químicos, además de los (C, N, S, P y K). Los elementos minerales como el fósforo (P), nitrógeno (N), calcio (Ca) y potasio (K), entre otros, desempeñan funciones esenciales en todos los organismos vivos, por lo que deben estar continuamente disponibles para la absorción de las plantas (Weil & Brady, 2017; Hossain *et al.*, 2017).

Las plantas absorben calcio, magnesio y silicio en grandes cantidades y son importantes constituyentes de minerales en la mayoría de los suelos. El ciclo biogeoquímico de cada uno de estos elementos juega un papel importante en la función del suelo y del ecosistema (Weil & Brady, 2017). Las plantas absorben cantidades relativamente grandes de macronutrientes: P, N, K, Ca, azufre (S) y magnesio (Mg), que normalmente representan entre el 0,2 % y el 4 % del peso seco total de la planta, mientras que los micronutrientes (boro, cloro, hierro, níquel, zinc, cobre, manganeso y molibdeno) son necesarios en pequeñas cantidades por las plantas y representan menos del 0,01 % de su peso seco (Hossain *et al.*, 2017).

4.14. Micronutrientes en el Suelo

Las plantas solo los necesitan en cantidades muy bajas, además, a cuando son cantidades muy altas suelen ser tóxicos. La mayoría de los micronutrientes son componentes enzimáticos y son requeridos por las plantas en pequeñas cantidades, pero al igual que los macronutrientes son indispensables, pues su deficiencia ocasiona en la mayoría de los casos desórdenes fisiológicos en las plantas. Muchos de ellos existen en la naturaleza de diferentes formas, bien como minerales específicos en algunos casos, bien sustituyendo isomórficamente a otros

elementos (como el boro, el cobre o el zinc), coprecipitando con minerales secundarios o como inclusiones de sulfuros (FAO, 2013; Santos, 2010). Los principales micronutrientes son:

- Hierro (Fe): Ayuda a la formación de proteínas, crecimiento de la raíz y puntos aéreos y transferencia de energía.
- Manganeso (Mn): importante en el transporte de electrones, germinación de polen y crecimiento del tubo de polen.
- Zinc (Zn): junto con el boro cumplen un papel importante en la formación de los frutos y el transporte de electrones.
- Boro (B): ayuda al metabolismo de carbohidratos en la síntesis de la pared celular.
- Cobre (Cu): componente de varias sustancias (hormonas), que permite el desarrollo de las plantas.
- Azufre (S): transfiere energía a la planta (Arévalo & Castellano, 2009).

4.15. Encalado

Para corregir la acidez de los suelos, y con eso aumentar el rendimiento de los cultivos, el hombre ha usado materiales alcalinos: calcáreos, yeso, conchas molidas, cenizas y otros. El encalado junto con la siembra de especies tolerantes a la acidez del suelo, constituye las prácticas más apropiadas y económicas para corregir los problemas de acidez (Goto & Paniagua, 2014; Molina, 1998). Con el encalado no solo se corregirá la acidez sino también se aumentará la disponibilidad de algunos elementos (Osorno & Osorno, 2010).

Las principales características del suelo que modifican las sales o enmiendas con el encalado son: pH (acidez del suelo), aluminio, manganeso, calcio, magnesio, azufre, entre otras, estas difieren de acuerdo a la naturaleza química de las sales. Los OH^- generados por carbonatos, hidróxidos y silicatos son los que neutralizan la acidez del suelo al propiciar la precipitación del Al como $\text{Al}(\text{OH})_3$ y la formación de agua (Osorno & Osorno, 2010).

4.16. Cal Agrícola

Es la piedra caliza molida que es usada para mejorar el pH del suelo. Esta cal puede estar contaminada con tierra, por lo tanto, el contenido de carbonato (CaCO_3) no debería ser menor del 75 %. Una buena distribución de la cal en el suelo es esencial para su reacción, por lo que

la distribución al voleo en cobertura y el mezclado en la capa arable con implementos de discos, luego de la aplicación, asegura la efectividad del trabajo de encalado. El arado tiende a ubicar el producto de encalado en el fondo de la capa arable, por lo que no resulta un implemento adecuado. En sistemas de no remoción de suelo, como la siembra directa o la labranza mínima, la alternativa es la aplicación en bandas o al voleo en superficie, siendo en este caso la reacción más lenta y no tan completa (Arévalo & Castellano, 2009).

El encalado ha demostrado ser una alternativa para el mejoramiento de los suelos ácidos, debido a que mejora sus principales características como, pH aluminio, calcio, azufre, manganeso, entre otras, proporcionando condiciones óptimas para un conjunto de actividades biológicas, además, aumentan la materia orgánica y mejoran su calidad (Gudeta & Damtew, 2019; Osorno & Osorno, 2010).

En el municipio de Puerto Rico, Colombia, se realizó un estudio utilizando cal agrícola y cal dolomita como material encalante, donde se determinó que los resultados presentaron diferencias significativas en la disponibilidad de nutrientes del suelo. El pH aumentó por el encalado, disminuyendo la disponibilidad de K, Fe, Cu, Mn y Al, y se incrementó la disponibilidad de Ca, Mg, P y Zn. Con respecto al N, no se encontró efecto significativo del encalado (Rosas-Patiño *et al.*, 2017).

4.17. Dolomita

El carbonato doble de calcio y magnesio ($\text{CaCO}_3 \text{MgCO}_3$) se denomina dolomita, reacciona más lentamente en el suelo que la calcita y tiene la ventaja de que suministra Mg, elemento con frecuencia deficiente en suelos ácidos. Existen otros materiales menores de Mg que se usan frecuentemente para encalar el suelo. Al igual que otros materiales de encalado, la calidad de la dolomita depende del contenido de impurezas como arcillas y material orgánico (Espinosa & Molina, 1999).

En el cantón Loreto provincia de Orellana en Ecuador, se realizó un trabajo de investigación utilizando materiales encalantes como la dolomita $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$ y el óxido calcio (CaO) para corrección de acidez, donde se determinó que dosis de 1.0 a 1.5 t ha⁻¹ de dichas enmiendas, elevaron el pH a valores de alrededor de 6.0 permitiendo eliminar los problemas de acidez y precipitando el Al⁺³ tóxico que causa un efecto nocivo en la planta indicadora (Calva & Espinosa, 2017).

4.18. Óxido de Magnesio

El óxido de magnesio (MgO) es un material de encalado que contiene solamente Mg en una concentración de 60 %. Su capacidad de neutralizar la acidez es mucho más elevada que la de otros materiales, pero, por su poca solubilidad en agua, debe ser molido finamente para que controle adecuadamente la acidez del suelo. Es una fuente excelente de Mg en suelos ácidos que frecuentemente tienen también deficiencia de este nutriente (Espinosa & Molina, 1999).

4.19. Óxido de Calcio

El óxido de calcio (CaO), también conocido como cal viva o cal quemada, es un polvo blanco muy difícil y desagradable manejar, se obtiene por la calcinación del carbonato de calcio. Su reacción es rápida en el suelo, pues, la velocidad de reacción se debe a que, por ser un óxido, reacciona rápidamente al ponerse en contacto con el agua provocando una fuerte reacción exotérmica que libera iones OH. Además, su manejo debe ser cuidadoso debido a su alta alcalinidad y reactividad (Osorno & Osorno 2010; Espinosa & Molina, 1999).

5. METODOLOGÍA

5.2. Ubicación del Área de Estudio

La presente investigación se desarrolló en los campos de la estación experimental La Argelia, de la Universidad Nacional de Loja, sector Los Molinos, ubicada en la parroquia Punzara al surde la ciudad. Geográficamente, se encuentra ubicado a 04°02'19'' latitud Sur y 79°11'59'' latitud Oeste, a una altitud de 2139 msnm. El área cuenta con un clima mesotérmico Semi-Húmedo, con una precipitación de 956,4 mm/año, temperaturas de 16,1 °C y humedad relativade 75 % (PDOT Loja, 2014).

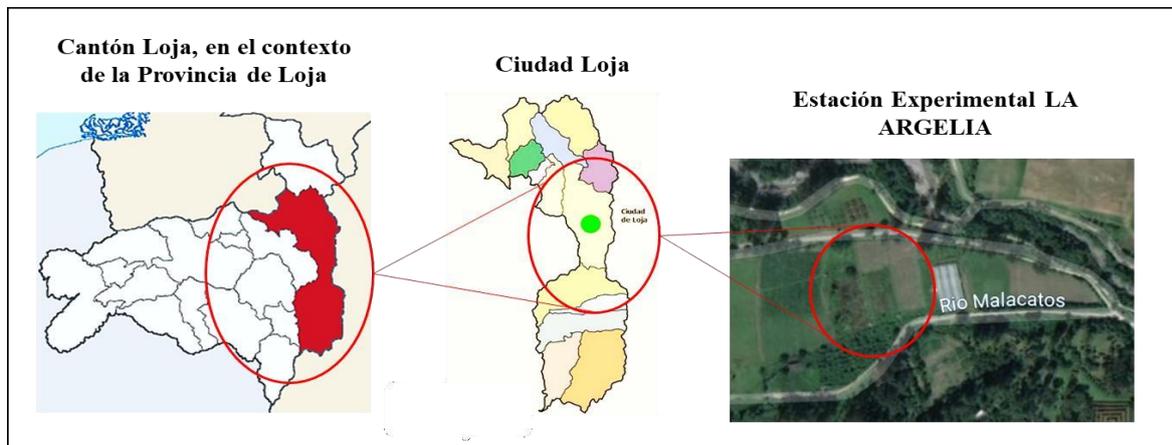


Figura 1. Ubicación del área de estudio

Fuente: Google Earth, 2021. Flores A, Maldonado C, Tierra N, Gallegos P, 2019. https://es.wikipedia.org/wiki/Cant%C3%B3n_Loja.

5.3. Materiales

5.3.1. Materiales de campo

Se utilizó cal agrícola (CaCO_3), dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), óxido de calcio (CaO), óxido de magnesio (MgO), maíz (*Zea mays*), frejol blanco (*Phaseolus vulgaris*). Para el control de enfermedades y plagas se usó TILT (fungicida agrícola), SHY (insecticida agrícola). Pala, rastrillo, azadón, estacas, piola, machete, manguera, cortadora.

5.3.2. Materiales de laboratorio

- ❖ pH metro ORION 4 STAR.
- ❖ Espectrofotómetro de absorción atómica
- ❖ Diluidores
- ❖ Pipetas volumétricas
- ❖ Bandejas de extracción

- ❖ Balanza analítica, 1/10 mg.
- ❖ Erlenmeyers de 500 ml.
- ❖ Buretas de precisión de 25 ml.
- ❖ Cronómetro
- ❖ Pipetas volumétricas
- ❖ Vasos plásticos
- ❖ Vasos de precipitación
- ❖ Probetas
- ❖ Tubos de ensayo
- ❖ Embudos
- ❖ Sulfato de cobre
- ❖ Sulfato ferroso amoniacal
- ❖ Zinc metálico
- ❖ Sulfato de manganeso
- ❖ Ácido nítrico diluido
- ❖ Ácido clorhídrico

5.3.3. Materiales de oficina

- ❖ Libreta
- ❖ Esferográfico

5.4. Diseño Experimental

Se utilizó el diseño completamente al azar (DCA), conformado por 4 tratamientos, más el testigo, cada uno con tres repeticiones. El modelo estadístico para el diseño DCA fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

i: 1, 2, 3, 4, ...tratamientos

j: 1, 2, 3, ...repeticiones

y_{ij}: Variable respuesta, es la *j*-ésima observación del *i*-ésimo tratamiento

μ : es la media general común a todos los tratamientos

τ_i : es el efecto fijo del tratamiento *i*-ésimo

ε_{ij} : es una variable aleatoria normal (error) independientemente distribuida con esperanza 0 y varianza σ^2 , que representa la variabilidad.

5.4.1. Especificaciones del diseño experimental

Tabla 1. Elementos del diseño experimental implementado en el proyecto.

Área del ensayo	304 m²
Longitud del ensayo	19 m
Ancho del ensayo	16 m
Número de tratamientos	5
Número de repeticiones	3
Número de unidades experimentales	15
Ancho de la unidad experimental	2 m
Largo de la unidad experimental	5 m
Área de la unidad experimental	10 m²
Distancia entre tratamientos	1 m
Distancia entre repeticiones	1 m
Plantas por unidad experimental	24 plantas
Distancia entre plantas	0,60 m
Distancia entre hileras	0,50 m
Número de hileras	3
Número de semillas por hoyo	3
Número de plantas por unidad experimental	72 plantas

Elaboración: Autor, 2021.

5.4.2. Tratamientos

Los tratamientos utilizados fueron los siguientes:

T0: Testigo

T1: Cal agrícola

T2: Óxido de magnesio

T3: Dolomita

T4: Óxido de calcio

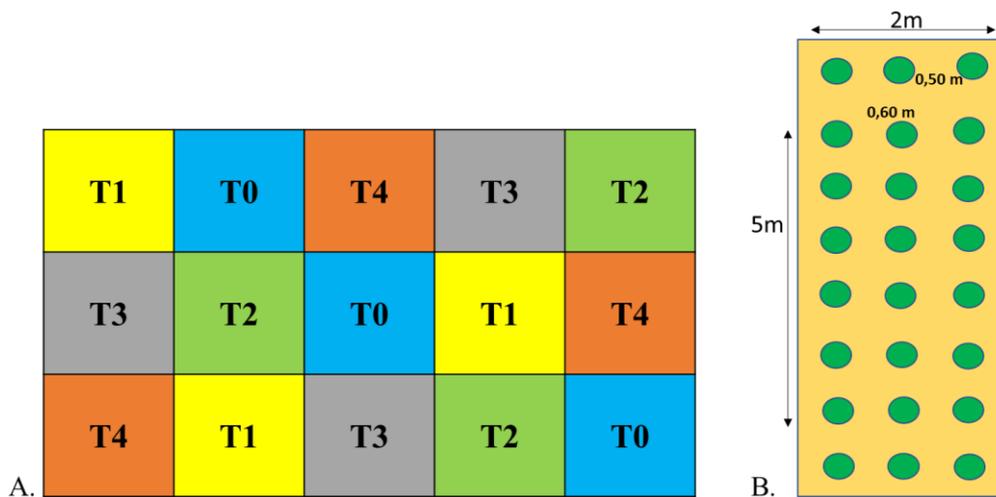


Figura 2. A. Esquema del diseño B. Arreglo de las parcelas

Elaboración: Autor, 2021.

5.4.3. Variables a evaluar

- Materia orgánica (MO), pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn).
- Porcentaje de Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN).
- Rendimiento.

5.5. Metodología general

Previo a la ejecución del proyecto de investigación, se realizó un análisis de suelo de la zona de estudio, mediante un muestreo aleatorio simple, se colectaron 15 submuestras a una profundidad de 0,20 m desde la superficie, y luego se homogenizaron para obtener una muestracompuesta de 1 kg en representación del área total (304 m²). La muestra de suelo fue llevada al laboratorio de análisis físico-químico de Suelos, Aguas y Bromatología (LASAB) de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables perteneciente a la Universidad Nacional de Loja (UNL), donde se realizó análisis de determinación de pH, materia orgánica (MO), capacidad e intercambio catiónico (CIC), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn) (Tabla 2). Posteriormente se realizaron parcelas de 5 x 2 m (10m²) dando un total de 15 parcelas, a las cuales se les aplicó las diferentes enmiendas. Luego de dos meses (60 d) de aplicación de las enmiendas, se realizó la siembra de frejol y maíz con una distancia de 0,60 m entre planta y de 0,50 entre hilera. A los 46 días luego de la siembra de los cultivos, se tomaron muestras de

material vegetal del frejol y de maíz, se almacenaron en bolsas plásticas con su respectiva identificación y se llevaron al laboratorio de bromatología de la UNL, para determinar materia seca, contenido de nitrógeno y posteriormente mediante una ecuación determinar la fijación biológica de nitrógeno y el nitrógeno fijado. Cuando el cultivo llegó a madurez de cosecha, se procedió a tomar datos para determinar los componentes del rendimiento del cultivo como, vainas por planta, número de granos por vaina, peso de 100 granos y rendimiento.

5.5.1. Análisis de suelo inicial

Tabla 2. Resultados del análisis del suelo realizado en el área de estudio previo a la aplicación de las enmiendas

pH	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Cu	Fe	CIC	M.O
	ppm			meq/100ml		ppm			meq/100gs	%
6,24Lac	105,66A	307,25A	250,04A	7,36M	1,33M	13,54M	6,23A	392,16A	11,4B	2,31B

Fuente: Laboratorio de suelos (LASAB), 2021.

Interpretación: Lac: Ligeramente ácido; A: alto; M: medio; B: bajo.

5.5.2. Aplicación de enmiendas

Luego de la distribución de las parcelas, se procedió a la aplicación de 1, 5 kg de material sólido de óxido de calcio, cal agrícola, y dolomita en cada parcela (5x2m) de manera manual, espolvoreando y mezclándolo con el suelo con la ayuda de una pala. Para el óxido de magnesio se utilizó 200 ml y se mezcló con 20 l de agua y se lo aplicó con mochila fumigadora. Se esperó dos meses como tiempo requerido para conocer la reacción de las enmiendas (Osorno & Osorno, 2010), y se tomó muestras de suelo para realizar el mismo análisis de suelo que se realizó inicialmente. Las dosis de enmienda fueron aplicadas en base al análisis de suelo inicial y estudios realizados por Díaz (2016), Vélez (2015), Calva & Espinosa (2017), donde utilizaban la misma dosis empleada.

5.5.3. Metodología para el primer objetivo

“Demostrar el efecto de la corrección del suelo sobre la Fijación Biológica del Nitrógeno”.

Para la determinación de la FBN se utilizó el método de la diferencia de N total propuesto por Martín *et al.*, 2007, Martín *et al.*, 2017, que utilizaron plantas fijadoras y no fijadoras de nitrógeno. Cuando las plantas de frejol se encontraron en etapa de prefloración (46 dds), se recolectaron de la hilera central 5 plantas al azar por cada unidad experimental, de igual

manerense tomaron 5 muestras de plantas de maíz, como planta no fijadora de N. Además, en la recolección de las plantas de frejol, se extrajo cuidadosamente el sistema radical, con el propósito de contar los nódulos por planta y observar su coloración. Las raíces se lavaron y secaron para eliminar restos de tierra y facilitar el conteo, se tomaron 10 nódulos de cada unidad experimental, se partieron por la mitad y de cada uno se observó su coloración (heghemoglobina).

- **Masa seca de la parte aérea (t ha⁻¹):** se tomaron muestras de órganos de la parte aérea (hojas y tallos). Se pesó la biomasa fresca, y se colocó a secar en una estufa (70 °C) por 72hrs, hasta obtener un peso constante y se expresó en t ha⁻¹.
- **Análisis de N (% N):** la concentración de N se determinó como porcentaje de la masa seca de la parte aérea mediante la metodología de Kjeldahl (Nelson & Sommers, 1973) para determinación de nitrógeno, tanto la materia seca de las plantas, así como en las muestras de las semillas utilizadas en la siembra, debido a que constituye la principal fuente inicial de nitrógeno para la planta (Zapata, 2015).
- **Contenido de N (g planta⁻¹):** se calculó a partir de los datos de la masa seca de la parte aérea y la concentración de N aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Contenido N} = \frac{\text{MS PA} \times (\% \text{ nitrógeno total})}{100}$$

Donde:

MS PA: masa seca de la parte aérea de la planta (g)

% N total de la planta: Concentración de N (%) en la masa seca de la parte aérea

- **Porcentaje de FBN:** se calculó el porcentaje de FBN por el método de la diferencia de N total mediante la siguiente fórmula propuesta por Martín et al., 2007:

% FBN

$$= \frac{(\text{ContenidoN Fix} - \text{ContenidoN semilla Fix}) - (\text{ContenidoN control} - \text{ContenidoN semilla control})}{\text{ContenidoN Fix} - \text{ContenidoN semilla Fix}} \times 100$$

Donde:

Contenido N fix: contenido de nitrógeno de la planta fijadora (frejol)

Contenido N control: contenido de nitrógeno de la planta no fijadora (maíz)

- **Nitrógeno fijado**

$$\text{Nitrógeno fijado (kg. ha}^{-1}\text{)} = \frac{(\text{Contenido de N total}) \times (\% \text{FBN})}{100}$$

5.5.4. Metodología para el segundo objetivo

“Evaluar la disponibilidad de nutrientes mediante la corrección de la acidez del suelo”.

Antes de iniciar con el experimento, se tomaron muestras de suelo a una profundidad de 0,20 m, del área total a utilizar para determinar pH, materia orgánica (MO), capacidad de intercambio catiónico (CIC), y nutrientes N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, y de esta manera conocer las condiciones en las que se encontraba inicialmente el suelo. A los dos meses después de aplicar los tratamientos de corrección de pH, se tomaron nuevamente muestras de suelo en la zona central de cada unidad experimental, se almacenaron en bolsas de plástico y se llevaron al laboratorio de suelos de la UNL para realizar un análisis de suelo, y determinar pH, MO, CIC y nutrientes N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn. Los valores calculados fueron comparados con los valores iniciales del experimento para determinar de qué manera afectó la corrección de acidez en cada uno de los nutrientes en el suelo.

Tabla 3. Métodos empleados en el laboratorio para los análisis de suelo.

ANÁLISIS	MÉTODOS	UNIDAD
pH	Potenciómetro	----
Materia Orgánica (MO)	Método de Walkley & Black	
	Volumétrico	%
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	Método de Formaldehído Volumétrico	meq/100gs
Nitrógeno (N)	UV Visible	Ppm
Fosforo (P)	UV Visible	Ppm
Potasio (K)	Espectrometría de Absorción Atómica	Ppm
Calcio (Ca)	Espectrometría de Absorción Atómica	meq/100ml
Magnesio (Mg)	Espectrometría de Absorción Atómica	meq/100ml
Cobre (Cu)	Espectrometría de Absorción Atómica	Ppm
Hierro (Fe)	Espectrometría de Absorción Atómica	Ppm
Manganeso (Mn)	Espectrometría de Absorción Atómica	Ppm

Fuente: Laboratorio (LASAB), 2021.

5.5.5. Metodología para el tercer objetivo

“Determinar los componentes del rendimiento agrícola en el cultivo de referencia fréjol (*Phaseolus vulgaris L.*) al aplicar enmiendas correctivas para la acidez del suelo”

Al momento de la cosecha del fréjol se tomaron plantas de cada unidad experimental y se determinó los siguientes componentes:

- **Número de vainas por planta:** al momento de la cosecha, se contó en las plantas de cada unidad experimental, el número de vainas y se determinó un promedio.
- **Número de granos por vaina:** se tomó una muestra de 20 vainas al azar por unidad experimental, se contó el total de granos y se dividió entre un número de vainas para obtener el promedio.
- **Peso de 100 granos:** una vez cosechados y desgranados se tomó al azar 100 granos de cada unidad experimental, se pesó en una balanza digital y su valor se expresó en gramos.
- **Rendimiento:** cuando las plantas llegaron a madurez de cosecha se recolectaron todas las vainas de cada unidad experimental, se realizó el desgrane y se registró el peso en kilogramos por hectárea (Checa et al., 2011).

5.6. Análisis

Las variables fueron sometidas a un análisis de varianza (ANAVA) de acuerdo al diseño experimental planteado (DCA), con comparaciones de LSD Fisher ($p < 0,05$) con la finalidad de mostrar las diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, en un software estadístico *InfoStat* versión libre (Di Rienzo *et al.*, versión 2019). Además, se exploraron asociaciones entre los componentes de algunas variables respuestas y también pruebas de Correlación de Pearson (95 %).

6. RESULTADOS

6.1. Comportamiento del pH

En la tabla 4, se muestra que el pH inicial varió al aplicar los diferentes correctores de acidez a los 60 días desde su aplicación. Estos, indicaron que el pH entre los tratamientos mostró diferencias significativas siendo el óxido de calcio (T4) el de mejores resultados obteniendo un mayor incremento de pH (6,92) con respecto al tratamiento donde se aplicó óxido de magnesio, dolomita, cal agrícola y el valor inicial.

Tabla 4. pH promedio, luego de la aplicación de enmiendas, sector “Estación Experimental La Argelia” Loja, marzo 2021.

Código	TRATAMIENTO	pH final	Interpretación
Inicio	INICIO*	6,24*	Ligeramente ácido*
T0	Testigo	6,47b	Ligeramente ácido
T1	Cal agrícola	6,78ab	Prácticamente neutro
T2	Óxido de magnesio	6,31b	Ligeramente ácido
T3	Dolomita	6,39b	Ligeramente ácido
T4	Óxido de calcio	6,92a	Prácticamente neutro

Fuente: Análisis del laboratorio LASAB (UNL), 2021. Medias con letras en común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

*Valores antes del ensayo.

Elaboración: Autor, 2021.

6.3. Fijación Biológica de Nitrógeno

En la tabla 5 figura 3, para la FBN tanto como para el nitrógeno fijado, donde se aplicó óxido de calcio y cal agrícola presentaron los valores más altos, siendo significativos con respecto a los demás tratamientos con 57,5 y 51,9 % y un nitrógeno fijado de 57,0 y 46,3 kg ha⁻¹ respectivamente.

En la materia seca (g), se presentó diferencias significativas entre tratamientos, los valores conseguidos fueron altos cuando se aplicó óxido de calcio (14,6 g) y cal agrícola (14,5 g) respectivamente. En cuanto al contenido de N (g planta⁻¹), existieron diferencias significativas entre tratamientos logrando evidenciar un incremento en el óxido de calcio y

cal agrícola de 99,26 y 89,10 g planta⁻¹ respecto al testigo, siendo más representativos a diferencia de los demás tratamientos.

Con respecto al número de nódulos por planta, no presentó diferencias significativas entre tratamientos, los valores conseguidos fueron altos donde se aplicó óxido de calcio, óxido de magnesio y dolomita. El tratamiento con menor número de nódulos, fue el testigo con un promedio de 126 nódulos por planta.

Tabla 5. Fijación biológica del nitrógeno (FBN) y sus componentes, en el sector “Estación Experimental La Argelia” Loja, marzo 2021.

Código	Tratamiento	pH	Materia seca (g)	Contenido de N (g planta ⁻¹)	FBN (%)	N fijado (kg ha ⁻¹)	N° nódulos	Color
T0	Testigo	6,47b	12,9b	73,28bc	23,1c	17,0c	126a	Rojo oscuro
T1	Cal agrícola	6,78ab	14,5a	89,10ab	51,9ab	46,3ab	134a	Rojo claro
T2	Óxido de magnesio	6,31b	12,2b	68,10c	41,7b	28,4c	149a	Rojo claro
T3	Dolomita	6,39b	13,4ab	82,67abc	37,4bc	30,9bc	138a	Rojo claro
T4	Óxido de calcio	6,92a	14,6a	99,26a	57,5a	57,0a	150a	Rojo claro

Fuente: Análisis del laboratorio de bromatología (UNL), 2021. Medias con letras en común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Elaboración: Autor, 2021.

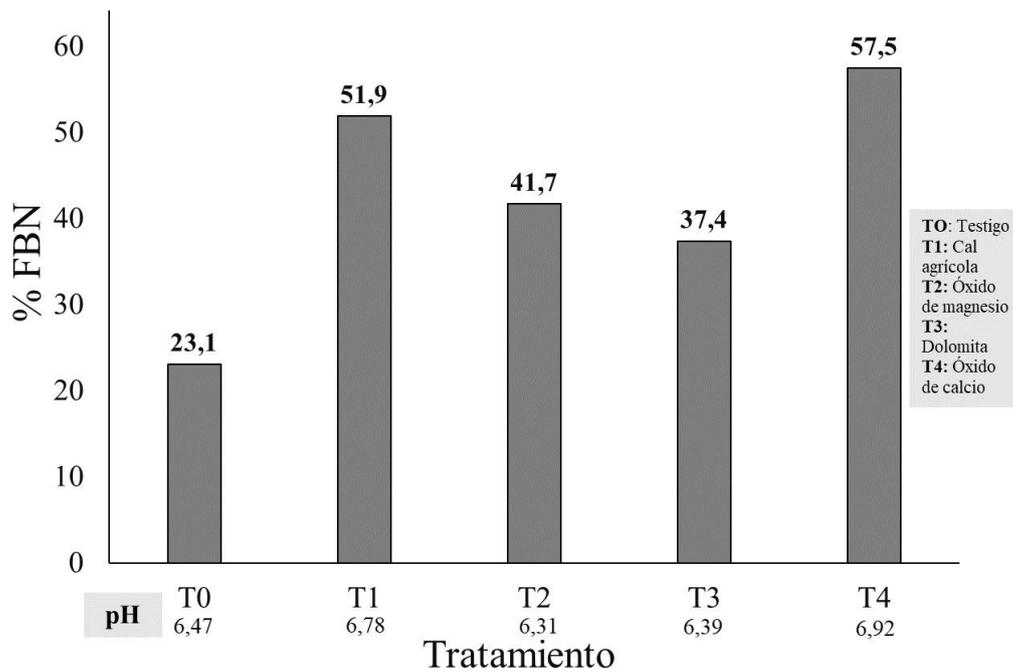


Figura 3. Porcentaje de fijación biológica del nitrógeno (FBN) en cada tratamiento, al corregir acidez del suelo.

Elaboración: Autor, 2021.

6.3.1. Relación entre la FBN y el pH, materia seca, y contenido de nitrógeno, y número de nódulos.

En la figura 4 se evidencia que existe una relación lineal del pH, materia seca y contenido de nitrógeno sobre la FBN, mostrando un $R^2 = 0,70$; $0,49$ y $0,68$ ($p < 0,05$) respectivamente, de este modo a medida que aumenta el pH, materia seca y contenido de nitrógeno, la FBN se incrementa significativamente. En cambio, no existe una relación lineal del número de nódulos sobre FBN, mostrando un $R^2 = 0,08$ ($p > 0,05$) (Figura 4).

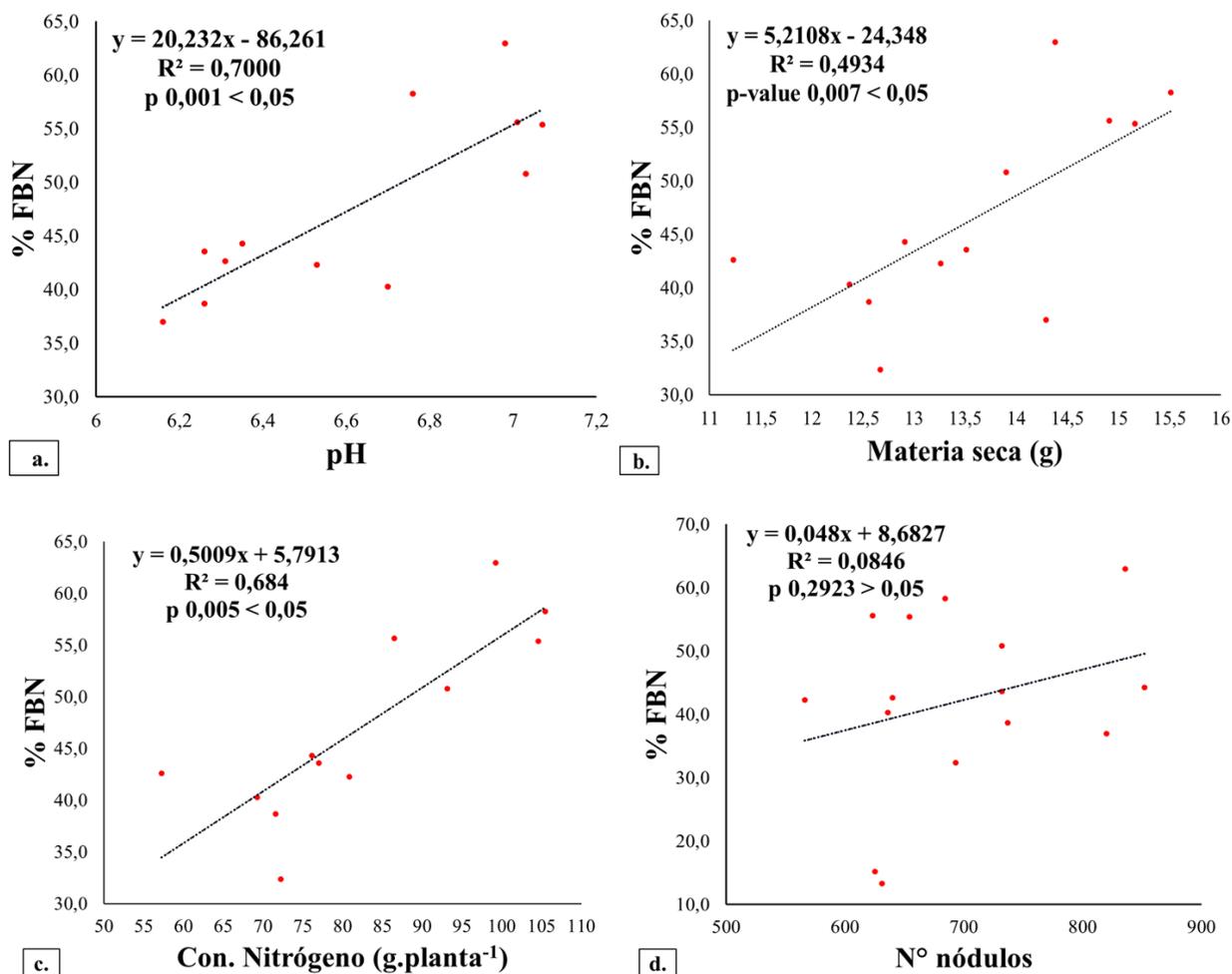


Figura 4. Relación lineal del % FBN en función de: a) pH; b) Materia seca (g); c) Contenido de nitrógeno (g planta⁻¹); d) Número de nódulos.

Elaboración: Autor, 2021.

6.4. Disponibilidad de Nutrientes

6.4.1. Materia Orgánica (MO), macronutrientes y Capacidad e Intercambio Catiónico (CIC).

En la tabla 6, los valores conseguidos para MO y para CIC en el suelo, en todos los tratamientos no existieron diferencias estadísticamente significativas. Los valores se mantuvieron bajos al igual que el valor inicial.

El nitrógeno (N) en el suelo, luego de la corrección de acidez, presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos siendo más significativo el testigo absoluto, seguido del óxido de magnesio y cal agrícola con 82,75 y 81,58 ppm respectivamente. Sin embargo, en todos los tratamientos los valores fueron altos al igual que el valor inicial.

En el caso del fósforo (P) y potasio (K) en el suelo, no evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, los valores encontrados fueron altos en todos los casos evaluados, al igual que el valor inicial.

En el calcio (Ca), luego de la corrección de acidez, los tratamientos a base de óxido de calcio y cal agrícola presentaron valores significativos a diferencia de los demás tratamientos y del valor inicial, los valores en todos los tratamientos fueron medios. Para el magnesio (Mg) no se presentó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, los valores se mantuvieron medios al igual que el valor inicial, cuando existió mayor corrección de pH (cal agrícola y óxido de calcio).

Tabla 6. Materia orgánica (MO), macronutrientes y CIC en el suelo luego de la corrección de acidez, sector “Estación Experimental La Argelia” Loja, marzo 2021.

Tratamiento	pH	%				meq/100ml		
		MO	N	P	K	Ca	Mg	CIC
INICIO*	6,24*	2,31*B	105,66*A	307,25*A	250,04*A	7,36*M	1,33*M	11,4*B
Testigo	6,47b	2,47a	101,99a	320,50a	187,60a	6,38ab	1,00a	12,40a
Cal agrícola	6,78ab	2,20a	81,58ab	321,89a	209,96a	7,58ab	1,07a	11,27a
Óxido de magnesio	6,31b	2,63a	82,75ab	283,78a	224,71a	5,07b	0,89a	11,67a
Dolomita	6,39b	2,02a	76,22ab	284,88a	159,15a	6,10ab	0,91a	10,93a
Óxido de calcio	6,92a	2,10a	67,29b	282,32a	198,05a	8,41a	1,07a	11,67a

Fuente: Análisis del laboratorio LASAB (UNL), 2021. Medias con letras en común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

*Valores antes del ensayo. A: alto M: medio B: bajo

Elaboración: Autor, 2021.

6.4.2. Micronutrientes

En la tabla 7, los valores para manganeso (Mn) y cobre (Cu), no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Para cobre (Cu) los valores en todos los tratamientos se mantuvieron altos y para el manganeso (Mn) los valores se mantuvieron medios, al igual que sus valores iniciales.

Para hierro se evidenció diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, siendo más significativo el tratamiento óxido de magnesio con 433,85 ppm a diferencia de los demás tratamientos, los valores en todos los tratamientos se mantuvieron altos.

Tabla 7. Micronutrientes en el suelo luego de la corrección de acidez, sector “Estación Experimental La Argelia” Loja, marzo 2021.

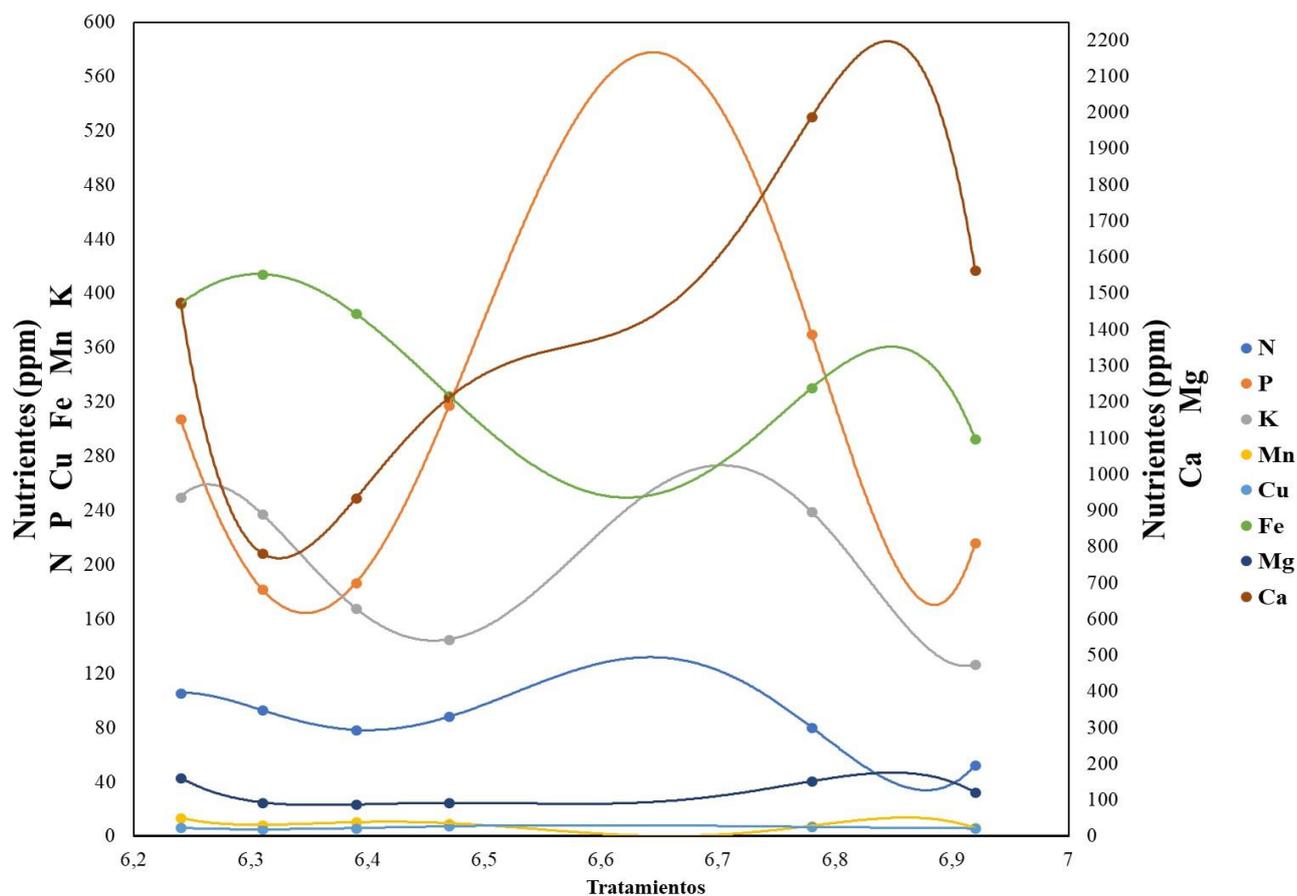
Código	Tratamiento	pH	ppm		
			Mn	Cu	Fe
Inicio	INICIO*	6,24*	13,54*M	6,23*A	392,16*A
T0	Testigo	6,47b	8,76a	6,49a	363,42b
T1	Cal agrícola	6,78ab	8,35a	6,21a	349,68b
T2	Óxido de magnesio	6,31b	10,84a	6,36a	433,85a
T3	Dolomita	6,39b	9,16a	6,12a	355,49b
T4	Óxido de calcio	6,92a	8,06a	6,03a	314,67b

Fuente: Análisis del laboratorio LASAB (UNL), 2021. Medias con letras en común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

*Valores antes del ensayo. A: alto M: medio B: bajo **Elaboración:** Autor, 2021.

6.4.3. Disponibilidad de nutrientes en función del pH.

En la figura 5, para el nitrógeno (N) fósforo (P) potasio (K) y calcio (Ca), la línea de tendencia muestra una disminución en la disponibilidad del nutriente, cuando el pH se encuentra en valores menores a 6,4 (óxido de magnesio, dolomita) y en pH cercano a valores neutros como 6,9 (óxido de calcio); y tienden a presentar una mayor disponibilidad entre pH de 6,5 hasta 6,8 (cal agrícola). El magnesio (Mg) tiende a disminuir la disponibilidad entre valores menores a 6,3 de pH (Inicio, óxido de magnesio) y un aumento de la disponibilidad en pH de 6,4 hasta 6,9 (cal agrícola y óxido de calcio). El cobre (Cu) hierro (Fe) y manganeso (Mn), tienden a incrementar su disponibilidad en pH menores a 6,4 (Testigo, óxido de magnesio, dolomita) y una disminución en pH mayores a 6,4 (cal agrícola y óxido de calcio) respectivamente.



INICIO=6,24 Óxido de magnesio=6,31 Dolomita=6,39 Testigo=6,47 Cal agrícola=6,78 Óxido de calcio=6,92

Figura 5. Disponibilidad de nutrientes, respecto al pH presentado por los diferentes tratamientos.

Elaboración: Autor, 2021.

6.5. Componentes del Rendimiento

A continuación, se evidencia los datos evaluados y el análisis de los diferentes componentes del rendimiento de frejol con respecto a la corrección de pH.

Tabla 8. Rendimiento del frejol y sus componentes en el sector “Estación Experimental La Argelia” Loja, marzo 2021.

Código	Tratamiento	pH	N° vaina	N° granos por vaina	Peso 100 granos	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
T0	Testigo	6,47b	19a	4,4ab	100,5a	450a
T1	Cal agrícola	6,78ab	19a	4,03b	112,9a	688a
T2	Óxido de magnesio	6,31b	19a	4,53a	104,6a	583a

T3	Dolomita	6,39b	15a	4,0b	107,1a	478a
T4	Óxido de calcio	6,92a	19a	4,27ab	112,0a	636a

Elaboración: Autor, 2021. Medias con letras en común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

En la tabla 8 figura 6, el rendimiento agrícola del frejol no presentó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, igualmente para el N° de vainas y peso de 100 granos no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados. Sin embargo, para el número de granos se encontró diferencia estadísticamente significativa, siendo el tratamiento óxido de magnesio quien presentó incremento en la cantidad de granos respecto al testigo.

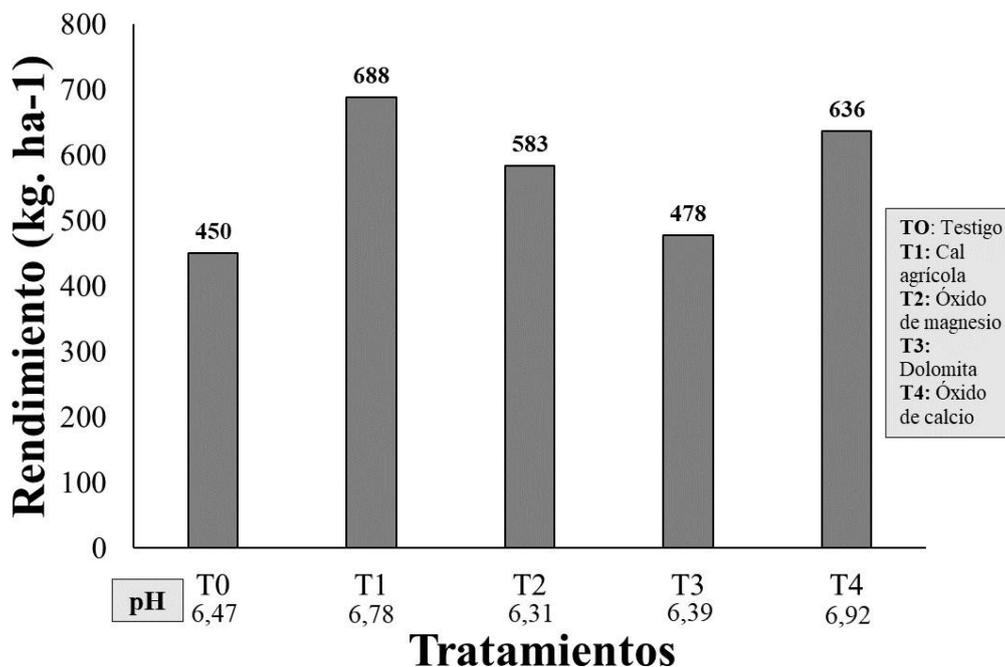


Figura 6. Rendimientos de los tratamientos, respecto al pH.

Elaboración: Autor, 2021.

6.5.1. Relación entre el rendimiento y el número de vainas por planta, número de granos por vaina y peso de 100 granos.

Existe un efecto lineal del pH y el número de vainas por planta sobre el rendimiento agrícola del frejol, mostrando un $R^2 = 0,61$ y $0,82$ ($p < 0,05$) respectivamente, de este modo a medida que aumenta el pH y el número de vainas por planta, el rendimiento del frejol se incrementa significativamente. En cambio, no existe efecto lineal del número de granos y peso de 100 granos sobre el rendimiento, $R^2 = 0,16$ y $0,07$ ($p > 0,05$) (Figura 7).

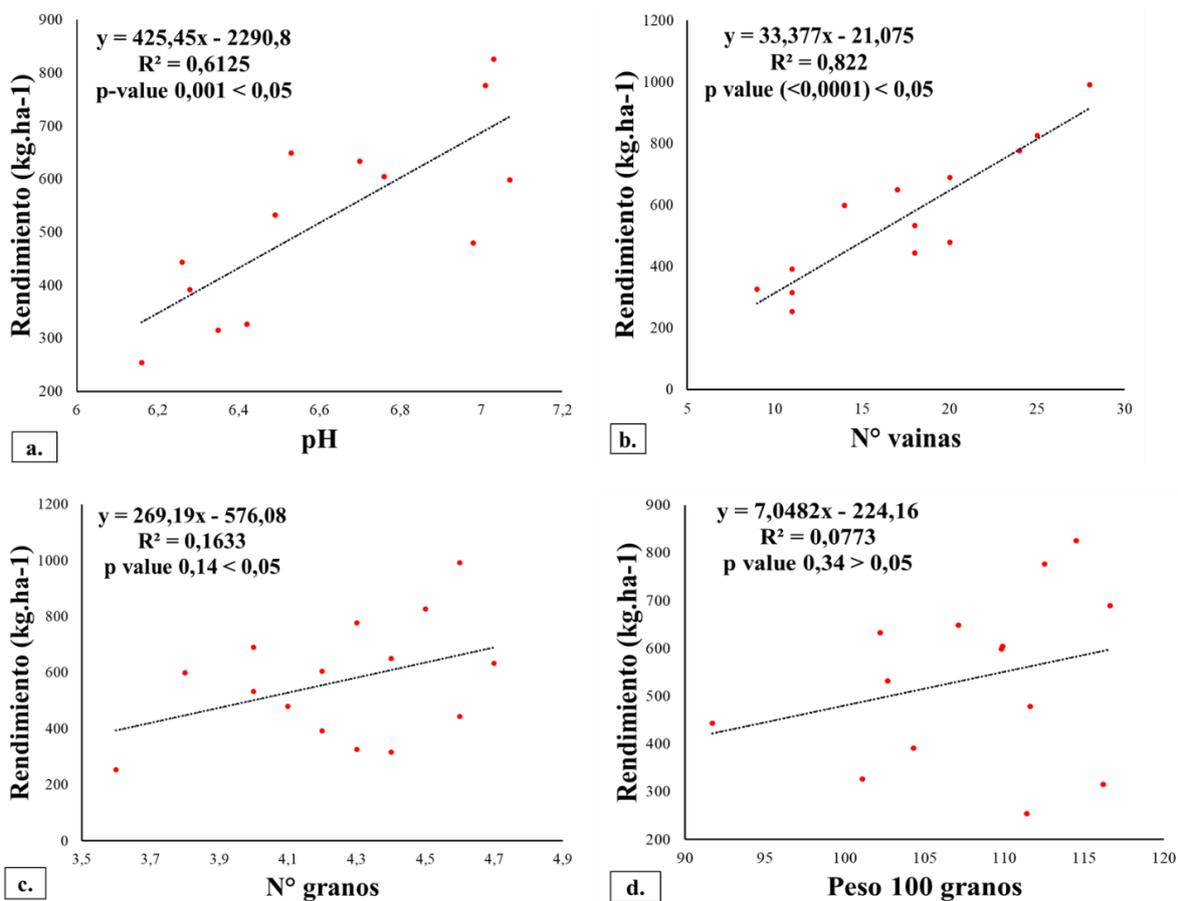


Figura 7. Relación lineal del rendimiento en función de: a) pH; b) Número de vainas; c) Número de granos por vaina; d) Peso de 100 granos.

Elaboración: Autor, 2021.

6.6. Correlación entre Variables

Se realizó un análisis de correlación entre los componentes correspondientes a la variable FBN y rendimiento del cultivo de frejol y las variables de estudio, mostrando aquellas correlaciones que tienen un coeficiente de Pearson $> 0,60$ y un $p < 0,05$.

Tabla 9. Correlaciones entre las variables del estudio.

Variable (1)	Variable (2)	n	Pearson	p-valor
Materia seca (g)	pH	5	0,60	0,0171
	Cont. Nitrógeno	5	0,95	0,0000001
pH	Cont. Nitrógeno	5	0,61	0,0157
% FBN	pH	5	0,67	0,00661
	Cont. Nitrógeno	5	0,57	0,02774

N° vainas	Rendimiento	5	0,68	0,00532
	N° granos	5	0,63	0,01198
Peso 100 granos	Número de granos	5	-0,61	0,01612
Cu	P	11	0,62	0,0128
Fe	pH	11	-0,71	0,0028
	pH	11	0,87	0,000029
Ca	Fe	11	-0,60	0,0191
	Mg	11	0,68	0,005

Los valores representados están descritos por un análisis de correlación de Pearson

La tabla 9 muestra las correlaciones positivas entre las variables, de carácter muy significativas: entre la materia seca y pH ($r = 0,60$) y contenido de nitrógeno ($r = 0,95$); entre el pH y contenido de nitrógeno ($r = 0,61$); entre la fijación biológica del nitrógeno con pH ($r = 0,67$) y contenido de nitrógeno ($r = 0,57$); entre el número de vainas con el rendimiento ($r = 0,68$) y número de granos ($r = 0,63$); entre cobre y fósforo ($r = 0,62$); entre calcio con pH ($r = 0,87$) y magnesio ($r = 0,68$). Caso contrario ocurrió con el peso de 100 granos que se correlacionó negativamente con el número de granos ($r = -0,61$); entre hierro y pH ($r = -0,71$); entre calcio y hierro ($r = -0,60$).

7. DISCUSIÓN

Comportamiento de pH

Al analizar el comportamiento de pH del suelo se logró determinar que varió aplicando la enmienda óxido de calcio (CaO) y cal agrícola (CaCO₃) a los 60 días luego de su aplicación, evidenciándose un incremento en el pH de 6,92 y 6,78 con respecto al valor inicial que fue 6,24. Valores similares fueron reportados por Ramírez (2020), el cual registró incremento de 5,87 (CaO) y 5,65 (CaCO₃) respecto al valor inicial 5,15 al aplicar óxido de calcio y cal agrícola como enmienda.

Así mismo, Vélez (2015), al aplicar dosis altas de cal agrícola (1,5-3-4,5 t ha⁻¹), el incremento de pH, fue mayor en el suelo. Calva & Espinosa (2017), reportaron que al usar carbonato de calcio o cal agrícola (CaCO₃), el pH se incrementó a valores de 6,8 a 7 llegando a ser neutro, con dosis de enmienda de 1,5 y 2 t-ha⁻¹. Osorno (2012), Osorno & Osorno (2010), Espinosa & Molina (1999), explican que, al aplicar cales o enmiendas, al disociarse en la solución del suelo forma bicarbonatos, hidróxidos y silicatos, generando OH⁻, que neutralizan el aluminio mediante la precipitación a Al(OH)₃ que es un compuesto insoluble, eliminando el efecto tóxico del aluminio y la principal fuente de iones H⁺, aumentando el pH de los suelos, atribuyendo lo anteriormente descrito.

El tratamiento óxido de magnesio, fue el que presentó menor incremento de pH, respecto al testigo, según COSMOCEL (2014), el producto utilizado es fuente total de magnesio, aporta exclusivamente magnesio a la planta como fertilizante inorgánico, es por ello que en esta investigación actuó más como fertilizante que como enmienda y no presentó mayor incremento en el pH. Igualmente, la dolomita, no presentó mayor incremento de pH, concordando con los resultados reportados por Medina (2017), al aplicar dolomita como enmienda, el resultado fue un pH 5,15, con una diferencia de 0,24 pH, respecto al testigo de 4,91, presentando un menor incremento de pH.

Pinochet *et al.*, (2018), Espinosa & Molina (1999), explican que la fineza de las partículas individuales de la enmienda determina su velocidad de reacción. Dado que el material en calante afecta un pequeño volumen de suelo alrededor de la partícula, a medida que se reduce el tamaño de la partícula, se aumenta el área o superficie de contacto para neutralizarlo y reacciona más rápido. Posiblemente la enmienda dolomita, no presentó la fineza requerida para que la reacción sea más rápida en el suelo, por ende, el tiempo esperado para su reacción no fue suficiente y no presentó mayor incremento en el pH. Además, Calva & Espinosa (2017),

Pinochet *et al.*, (2018), menciona que, la calidad de la fuente de la enmienda y las dosis de enmienda utilizadas, influye en la disminución de aluminio en el suelo y por tanto la disminución de acidez.

Fijación Biológica del Nitrógeno

Con respecto a la fijación biológica del nitrógeno (FBN) entre los tratamientos existió una diferencia significativa, siendo representativo el óxido de calcio con 57,5 % es decir, 57,0 kg ha⁻¹ de nitrógeno fijado, derivado de la FBN y la cal agrícola con 51,9 % y fijando 46,3 kg ha⁻¹ respectivamente. Resultados similares fueron reportados por Bakari *et al.*, (2020), quienes demostraron que en los suelos moderados y ligeramente ácidos tuvieron el nivel más alto de fijación de N en comparación con los suelos fuertemente ácidos. Además, en el análisis de regresión lineal y correlación existió una relación lineal de la variable pH, sobre la FBN ($R^2 = 0,7$; $r = 0,7$), demostrando que a medida que el pH incrementa, la variable FBN incrementa.

Calero *et al.*, (2019); Santillana *et al.*, (2005), la agricultura sustentable en la actualidad, plantea mejorar la asociación simbiótica de plantas leguminosas y rizobios, capaces de mejorar la fijación biológica del nitrógeno y también la biorremediación y fitorremediación, con el fin de incrementar los rendimientos de los cultivos con bajos costos. Sin embargo, una de las principales limitantes para que se dé la simbiosis entre la leguminosa y las bacterias del género *Rhizobium* es la acidez del suelo, ocasionando un bajo crecimiento de los rizobios en la rizosfera del suelo y de esa manera la capacidad de infectar a la planta y llevar a cabo la fijación biológica de nitrógeno (Soares *et al.*, 2014). Una alternativa a esta limitante es el uso de materiales encalantes de diferente origen, composición y reactividad, orientados al mejoramiento químico integral de la fertilidad del suelo, disminuyendo la acidez (Castro & Munevar, 2013).

Un estudio realizado por Alves *et al.*, (2021), reportaron que la contribución de N de la atmósfera a la soja, fue en promedio 62 y 66 % en parcelas sin y con encalado, siendo estos valores allegados a los encontrados en el estudio utilizando óxido de calcio y cal agrícola con 57,5 y 51,9 % respectivamente. El N fijado, fue un 27 % mayor en condiciones de baja acidez del suelo debido a la aplicación de cal. Las propiedades químicas del suelo más relevantes que influyen en la fijación de N son el pH del suelo y la saturación de Al. García *et al.*, (2003), presentaron que la adición de cal, incrementó la fracción de N derivado del aire en diferentes genotipos del frijol común, asociando este efecto a la corrección de acidez del

suelo. Además, mencionan que, la fijación biológica de nitrógeno se da en simbiosis entre las raíces de la plantahospedante y las bacterias *Rhizobium* del suelo, por lo tanto, el pH del suelo no debe ser ácido, para que exista el buen crecimiento de las raíces y se dé la nodulación y la FBN.

Casa (2014), menciona que datos de biomasa y contenido de nitrógeno en las plantas son buenos parámetros de evaluación de FBN. Cabe recalcar que la cal agrícola y óxido de calcio ($\text{pH} > 6,5$), presentaron valores altos en cuanto a materia seca y contenido de nitrógeno y en la regresión lineal presentaron una relación lineal con la FBN ($R^2 = 0,6$ y $0,7$) y un coeficiente de correlación de $0,57$; a medida que la materia seca y contenido de nitrógeno incrementen, la FBN se incrementa significativamente, sin embargo, Paredes (2013), explica que el porcentaje de fijación, depende de la etapa vegetativa en que se encuentre la planta previa a la etapa de floración. Una especie que produce mayor cantidad de biomasa seca respecto a otra puede proporcionar mayor cantidad de nitrógeno (kg ha^{-1}), a medida que se van desarrollando y se acercan a la etapa de floración, el aporte de nitrógeno irá en decadencia, debido al efecto de dilución del N que demuestra la reducción del porcentaje de nitrógeno a medida que aumenta con el desarrollo de la especie (Mengel & Kirkby, 2000).

Lo anteriormente descrito, explica por qué los resultados son significativos en la investigación, con respecto a la materia seca y el contenido de N en la planta en aquellos tratamientos donde existió incremento de pH, pues, el muestreo se realizó en prefloración, antes de que existiera el crecimiento avanzado de las plantas.

Paredes (2013), explica, que, a mayor presencia de N en el suelo, menores posibilidades hay para la FBN y, a la inversa, a menor presencia de N del suelo, hay más N de la FBN, es por ello que, en los tratamientos con óxido de calcio, dolomita y óxido de magnesio, presentaron una menor concentración del N en el suelo, y a la vez son los tratamientos que presentaron los valores más significativos de FBN, atribuyendo a lo anteriormente mencionado.

Según Ariza *et al.*, (2020), la influencia de las características del suelo tales como, la baja cantidad de materia orgánica y baja disponibilidad de nutrientes, afectan el crecimiento de las plantas debido a las malas condiciones que se tienen para que los microorganismos se logren establecer y formar nódulos. En la investigación, la regresión lineal, demostró que no hubo relación entre la variable número de nódulos con la FBN ($R^2 = 0,08$) y tampoco correlación. Fonseca *et al.*, (2019) mencionan que los nódulos se desarrollan como consecuencia de la asociación simbiótica entre planta y bacterias, de modo que alta actividad de la nitrogenasa se asocia a un buen estado nodular y su coloración rojiza.

Respecto a la coloración de nódulos Paredes (2013) menciona, el nódulo fija nitrógeno atmosférico por un periodo de tiempo determinado después del cual esta actividad decrece dando lugar a la lisis y luego la muerte del mismo. Los nódulos activos pueden diferenciarse de los no activos, debido a su coloración rosada en el exterior y rojiza en su interior debido a la presencia de leghemoglobina. Villalobos (2006) menciona, la leghemoglobina es una proteína de composición química semejante a la hemoglobina del reino animal, que se encuentra en el interior de los nódulos y confiere el color rosa o rojizo, indicando fijación de nitrógeno. En la investigación, se evidenció que la coloración en todos los tratamientos fue rojiza, demostrando que efectivamente fijaban nitrógeno, excepto el testigo.

Disponibilidad de Nutrientes

Se encontró diferencia estadísticamente significativa para la concentración de nitrógeno (N) siendo significativo el tratamiento testigo y seguido de los demás tratamientos, estos resultados concuerdan con datos reportados por Caire *et al.*, (2015) en su estudio demostraron que la incorporación de enmiendas de cal, no afectan las tasas anuales de nitrógeno en la superficie del suelo. Sin embargo, otro estudio realizado por Ramírez (2020), demostró que usando como enmienda al óxido de calcio (CaO) y cal agrícola (CaCO₃), ambos presentaron incremento de pH, y los valores de N para CaO fue 28 ppm y para CaCO₃ de 29,50 ppm no presentando mayor incremento comparado al testigo que fue de 26,50 ppm. Paredes (2013), menciona que la pérdida del N del suelo ocurre por la lixiviación, ésta ocurre cuando el nitrógeno se encuentra en forma de nitratos o amonio, los cuales se encuentran en la solución del suelo, la que a su vez percola por gravedad pasando a la capa freática.

Según Sadeghian, González, & Arias, (2015) el principal componente que afecta la lixiviación de nutrientes es la lluvia, pues además de disolver los fertilizantes y favorecer las reacciones químicas y bioquímicas que tiene lugar en el suelo, es el vehículo que arrastra los nutrientes del perfil, entre mayor sea la cantidad de la lluvia, mayores serán las pérdidas. Las precipitaciones que se presentaron en el mes de marzo del 2021, con promedio de 168 mm al mes, según datos reportados por la estación meteorológica La Argelia, Loja, pudieron influir en la lixiviación del elemento. García (2011), explica que, en lugares con elevadas precipitaciones los procesos de lixiviado producen escasez de nutrientes.

Rosas-Patiño *et al.*, (2017) en su estudio, no encontraron efectos significativos del encalado usando cal agrícola (CaCO₃) y dolomita (CaMg(CO₃)₂) sobre el N, concordando con la

investigación. Además, la baja concentración del N en los tratamientos fue favorable para el proceso de FBN, pues Paredes (2013), explica que, a mayor presencia de N en el suelo, menores posibilidades hay para la FBN y, a la inversa, a menor presencia de N del suelo, hay más N de la FBN.

Con referencia al fósforo (P) no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, sin embargo, al aplicar cal agrícola (CaCO_3), el pH se incrementó y la concentración del nutriente (321,89 ppm) fue mayor respecto a los demás tratamientos y al valor inicial (307,25 ppm). Estos valores concuerdan con los resultados de Ramírez (2020) y Villamagua *et al.*, (2021) quienes reportaron un mayor incremento en el pH y el fósforo, al aplicar carbonato de calcio o cal agrícola (CaCO_3) respecto al valor inicial del estudio, 18 ppm y 185,6 ppm respectivamente; en tanto, que para los demás tratamientos, existió una leve disminución en los valores del P, posiblemente por las fuertes precipitaciones dadas en el lugar de estudio, así lo menciona Chapa, (2014), en su estudio evidenció que las altas precipitaciones ocasionan una disminución en la concentración de este elemento (P).

Para el potasio (K) no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, sin embargo, los valores presentaron una leve disminución en su concentración en todos los tratamientos, siendo similares a valores reportados por Sadeghian & Díaz (2020), al aplicar enmiendas a base de cal, los cambios fueron leves o no ocurrieron en la disponibilidad de K y P del suelo. Además, en el óxido de calcio y cal agrícola, el pH incrementó, y los valores de K fueron bajos respecto al testigo, concordando con resultados obtenidos por Ramírez (2020), el pH se incrementó al aplicar óxido de calcio, siendo baja la disponibilidad del K 226,76 ppm respecto al testigo 265,85 ppm. Esto puede explicar que la disminución o menor incremento del K en el suelo, estuvo en relación al incremento de Ca y/o Mg en el complejo de intercambio (Chatzistathis, Alifragis, & Papaioannou, 2015).

El calcio (Ca) presentó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, siendo el tratamiento óxido de calcio el que destacó con un mayor incremento de 8,41 meq/100 ml respecto al inicial con 7,36 meq/100 ml. Datos similares fueron reportados por Giraldo, Ramírez, & Castro, (2020), al aplicar óxido de calcio (CaO) el valor de Ca incremento respecto al valor inicial pasando de 1,6 a 6,68 cmol/Ca/kg, corrigiendo de esta manera la deficiencia del elemento y mejorando la fertilidad del suelo. La cal agrícola igualmente presentó un incremento del nutriente con 7,58 meq/100 ml. Datos similares fueron reportados por Rosas-Patiño *et al.*, (2017) y Vélez, (2015) al aplicar cal agrícola los valores presentaron

un incremento altamente significativo de Ca.

De acuerdo al magnesio (Mg) no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, sin embargo, existió una leve disminución en su disponibilidad en todos los tratamientos, concordando con resultados reportados por Garbanzo *et al.*, (2016), quienes aplicaron diferentes enmiendas al suelo corrigiendo la acidez, y no encontraron efecto de las mismas sobre el Mg. Castellanos, (2014), explica que cuando existe pH ácidos, afecta la disponibilidad y asimilación de nutrientes. En la investigación, cuando existió aumento de pH, el nutriente presentó mayor concentración, a diferencia de cuando el pH era menor a 6,4.

En cuanto a los micronutrientes, Ríos (2020), explica que, estos nutrientes tienen gran importancia en los procesos biológicos de la planta. La escasa disponibilidad de los mismos puede afectar negativamente el rendimiento y calidad de las cosechas, situación que podría afectar directamente la rentabilidad y nivel de ingreso del productor. Intagri, (2018) menciona, que la mayor disponibilidad de micronutrientes se da en $\text{pH} < 6,5$, y su baja disponibilidad en $\text{pH} > 6,5$. Los resultados obtenidos en la investigación, concuerdan con lo mencionado anteriormente, debido a que el manganeso (Mn) hierro (Fe) y cobre (Cu), presentaron mayor concentración, cuando en pH fue menor (dolomita y óxido de magnesio); en tanto, que su baja concentración del elemento se dio con pH altos (óxido de calcio y cal agrícola). Estudios realizados por Rosas-Patiño *et al.*, (2017) corroboran lo anteriormente mencionado, en el estudio aplicaron cal agrícola, incrementando el pH del suelo, ocasionando una disminución en la disponibilidad de los micronutrientes Mn, Fe, Cu.

Rendimiento

No existió efecto significativo de la corrección de acidez sobre el rendimiento del cultivo del frejo. Li *et al.*, (2019) menciona, es importante destacar que la efectividad del encalado sobre el rendimiento también depende de la especie de cultivo, el tipo de cal aplicada, dosis, método de aplicación y textura del suelo. Alemu (2017), menciona que, los suelos ácidos provocan un crecimiento deficiente de las plantas debido a la toxicidad del aluminio (Al^{+3}) y manganeso (Mn^{+2}) o la deficiencia de nutrientes esenciales como fósforo, calcio y magnesio. Es por ello que, sosteniendo lo anteriormente mencionado, en los tratamientos con aplicación de dolomita y óxido de magnesio, no se evidenciaron mayores incrementos de pH por tanto los nutrientes del suelo no se encontraban disponibles para las plantas presentando menores rendimientos en el cultivo. Córdova, *et al.*, (2013) menciona que, el nitrógeno (N) es uno de los nutrimentos más importantes para las plantas, ya que es parte fundamental de proteínas,

aminoácidos y de la clorofila. Este nutriente presentó valores altos en todos los tratamientos, sin embargo, presentó una disminución respecto al inicial.

Dentro de la provincia de Loja, según INEC (2020), la producción del frejol está en 580 kg ha⁻¹ siendo un rendimiento aproximado a los valores encontrados en la investigación. Según Morales (2015) algunos factores que afectan al rendimiento del frejol provocando una disminución, es la acidez del suelo y la sequía. La acidificación ocasiona una disminución de la reserva de los nutrientes básicos y su desbalance, alterando la dinámica de otros nutrientes como son el N, P, Mo y también las propiedades físicas y químicas del suelo, originando una alteración en el buen crecimiento y desarrollo de los cultivos (Vásquez *et al.*, 2009).

Gudeta & Damtew (2019), menciona que, al aplicar diferentes compost y cal al suelo, se hará frente al problema de acidez, elevando el pH del suelo mejorando la producción de legumbres, disponibilidad de nutrientes y fijación del nitrógeno. Ribadulla & Bruballa (2018) en su estudio, utilizaron alfalfa como planta indicadora y dolomita como enmienda, obteniendo como resultados que el rendimiento de la alfalfa incrementó significativamente con la incorporación de dolomita obteniendo un 24 y 33 %, conforme las dosis de enmienda aumentaron. Otro estudio realizado por Fekadu *et al.*, (2018), reportaron que al aplicar la enmienda cal, el rendimiento del grano de haba se incrementó con respecto al valor del testigo. Alves *et al.*, (2021), el rendimiento de soja aumentó un 11 % respecto al testigo, cuando se añadió cal y existió corrección de pH; en tanto que, al aplicar dolomita no existió mayor incremento de pH y los valores fueron bajos. Tadele(2020), menciona, que la acidez del suelo tiene un impacto comprobado en el rendimiento del crecimiento de las leguminosas, agravando la susceptibilidad a las enfermedades y también reduciendo el vigor de la planta, lo que conduce a un bajo rendimiento del cultivo.

8. CONCLUSIONES

La corrección de acidez del suelo influyó significativamente sobre la fijación biológica de nitrógeno y disponibilidad de nutrientes nitrógeno (N), calcio (Ca), hierro (Fe).

La corrección de acidez del suelo utilizando cal agrícola y óxido de calcio (6,78 y 6,92 pH), permitió obtener mayor porcentaje de fijación biológica de N (52 y 58 %), materia seca (14,5; 14,6 g), contenido de nitrógeno (89,10; 99,26 g planta⁻¹) y por consiguiente el nitrógeno fijado en el suelo (46,3; 57 kg ha⁻¹), por lo que se concluye que la corrección de acidez tuvo influencia en la fijación biológica de nitrógeno en el frejol.

Existió efecto significativo de la corrección de acidez sobre la disponibilidad del nitrógeno (N), calcio (Ca) y hierro (Fe). Para N y Ca, la mayor disponibilidad del nutriente se da en pH de 6,4 a 6,9 (cal agrícola y óxido de calcio), y tiende a disminuir su disponibilidad en pH menores a 6,4 (óxido de magnesio y dolomita) y mayores a 6,9. El hierro tiende a disminuir su disponibilidad al existir corrección de pH > 6,4, y aumentar su disponibilidad en pH < 6,4. En todos los tratamientos los valores fueron altos para N y Fe y medios para Ca, al igual que el valor inicial.

No existió influencia de la corrección de acidez del suelo sobre el fósforo (P), potasio (K), cobre (Cu), magnesio (Mg) y manganeso (Mn) en el suelo, los valores encontrados fueron altos en todos tratamientos, al igual que el valor inicial para P, K y Cu y medios para Mn. Para Mg los valores se mantuvieron medios al igual que el valor inicial cuando el valor de pH era > 6,2 y siendo bajo su valor en pH < 6,2.

La corrección de acidez no presentó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, sobre el rendimiento, por lo tanto, no existió efecto de la corrección de acidez del suelo sobre el rendimiento del cultivo de frejol.

9. RECOMENDACIONES

Analizar otras enmiendas del suelo utilizando diferentes dosis y por un periodo de tiempo prolongado, con la finalidad de evaluar el comportamiento de pH a largo plazo y con mayores dosis de enmienda.

Utilizar una planta no fijadora de nitrógeno, diferente a la que se utilizó en el estudio y emplear otros métodos de determinación y cuantificación biológica de nitrógeno.

Determinar la fijación biológica de nitrógeno utilizando otro tipo de leguminosa, con el fin de conocer si existe diferencia entre los diferentes tipos de leguminosas para fijar nitrógeno y también conocer cómo afectan a su rendimiento y componentes.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Aldaroso, J. (2017). Disponibilidad hídrica y fijación de nitrógeno en leguminosas: fisiología, metabolismo y proteómica. Retrieved from [https://academic.e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/27782/Aldaroso Galán Tesis MA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://academic.e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/27782/Aldaroso_Galán_Tesis_MA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Alvarado, A., Fallas, J. (2004). La saturación de acidez y el encalado sobre el crecimiento de la teca (*tectona grandis* l.f.) en suelos ácidos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, vol. 28, núm. 1, enero-junio, 2004, pp. 81-87
- Alemu, H. (2017). Review Paper On Breeding Common Bean (*Phaseolus Vulgaris* L.) Genotypes For Acidic Soil Tolerance. *International Journal of Advanced Research and Publications*, 1(3). Retrieved from www.ijarp.org
- Alves, L. A., Ambrosini, V. G., Denardin, L. G. de O., Flores, J. P. M., Martins, A. P., Filippi, D., ... Tiecher, T. (2021). Biological N₂ fixation by soybeans grown with or without liming on acid soils in a no-till integrated crop-livestock system. *Soil and Tillage Research*, 209(2). Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/J.STILL.2020.104923>
- Arévalo, G., & Castellano, M. (2009). Manual Fertilizantes y Enmiendas. El Zamorano, HONDURAS.
- Arias, J., Martínez, T., & Jaramillo, M. (2007). Buenas prácticas agrícolas en la producción de frijol voluble. Retrieved August 20, 2021, from <http://www.fao.org/3/a1359s/a1359s.pdf>
- Ariza Rodríguez, S., González Murillo, O., & López Sánchez, J. (2020). Evaluación de fijadores biológicos de nitrógeno libres sobre el crecimiento de gramíneas en suelo degradado. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 22(1), 87–97. <https://doi.org/10.15446/REV.COLOMB.BIOTE.V22N1.78019>
- Bakari, R., Mungai, N., Thuita, M., & Masso, C. (2020). Impact of soil acidity and liming on soybean (*Glycine max*) nodulation and nitrogen fixation in Kenyan soils. *Acta Agriculturae Scandinavica, Sección B - Ciencia Del Suelo y Las Plantas*, 70(8), 667–678. <https://doi.org/10.1080/09064710.2020.1833976>
- Bécquer, C., Prévost, D. (2014). Potencial de formación de nódulos en leguminosas

- forrajeras y de granos de rizobios, nativos de Sancti Spíritus, Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, Tomo 48, Número 3, pp. 301-307.
- Bekere, W., Kebede, T., & Dawud, J. (2013). Growth and nodulation response of soybean (*Glycine max L.*) To lime, *Bradyrhizobium japonicum* and nitrogen fertilizer in acid soil at Melko, South Western Ethiopia. *International Journal of Soil Science*, 8(1), 25–31. <https://doi.org/10.3923/ijss.2013.25.31>
- Beltrán,, O. (2017). Dinámica de nutrientes del suelo bajo cultivo intensivo de alfalfa en la región ganadera del valle de Cuatro Ciénegas, Coahuila. U.M.S.N.H. http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/1951/FMVZ-M-2017-0152.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bernier, R., & Alfaro, M. (2006). Acidez de los suelos y efectos del encalado. *Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA)*. Retrieved from <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/7075/NR33824.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Berna, A., Hernández, A., Mesa, M., Rodríguez, P., González, J., Reyes, R. (2015). Características de los suelos y sus factores limitante de la región de Murgas, provincia LaHabana. *Cultivos Tropicales*, vol. 36. no 2, pp 30-40.
- Bulta, Alemu; Mamo, Tekalign; Haile, W. S. H. (2016). Assessment and Mapping of Status and Spatial Distribution of Soil Macronutrients in Kambata Tembaro Zone, Southern Ethiopia. *Advances in Plants & Agriculture Research*, 4(4). <https://doi.org/10.15406/apar.2016.04.00144>
- Calero, A., Pérez, Y., Quintero, E., Olivera, D., Peña, K. (2019). Efecto de la aplicación asociada entre *Rhizobium leguminosarum* y microorganismos eficientes sobre la producción de fríjol común. *Ciencia Tecnología Agropecuaria*, Mosquera (Colombia), 20(2); 295-308. ISSN 0122-8706
- Caires, E., Haliski, A., Bini, A., & Scharr, D. (2015). Surface liming and nitrogen fertilization for crop grain production under no-till management in Brazil. *European Journal of Agronomy*, 66, 41-53.
- Calva, C., & Espinosa, J. (2017). Efecto de la aplicación de cuatro materiales de encalado en control de la acidez de un suelo de Loreto, Orellana. *Siembra*, 4(1), 110–120. <https://doi.org/10.29166/siembra.v4i1.505>

- Casa Tipán, B. (2014). Evaluación de la fijación de nitrógeno de cepas de *Rhizobium spp.* en invernadero, para arveja (*Pisum sativum*), chocho (*Lupinus mutabilis*), fréjol (*Phaseolus vulgaris*), haba (*Vicia faba*) y vicia (*Vicia sp.*), Cutuglagua-Pichincha. Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ciencias Agrícolas. Quito-Ecuador. Retrieved from: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2856/1/T-UCE-0004-92.pdf>
- Castro, H., Munevar, O. (2013). Mejoramiento químico de suelos ácidos mediante el uso combinado de materiales encalantes. Revista U.D.C.A Actualidad &Divulgación Científica 16 (2): 409-416. Retrieved from: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v16n2/v16n2a15.pdf>
- Campos Vega, R., Bassinello, P. Z., & Oomah, B. D. (B. D. (2018). *Phaseolus vulgaris*: cultivars, production and uses. 355. Retrieved from https://books.google.com/books/about/Phaseolus_Vulgaris.html?id=onDwuQEACA-AJ
- Castellanos, J. (2014). Manejo y Corrección de la Acidez de los Suelos | Intagri S.C. Retrieved September 23, 2021, from Hojas Técnicas de Fertilab website: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/manejo-y-correccion-de-acidez-de-suelo>
- Chapa, J. F. (2014). Evaluación de la lixiviación de nutrientes en la cuenca de páramo andino del Rio Zhurucay. Universidad de Cuenca , Cuenca-Ecuador.
- Chatzistathis, T., Alifragis, D., Papaioannou, A. (2015). La influencia del encalado en las propiedades químicas del suelo y en el alivio de la toxicidad del manganeso y el cobre en *Juglans regia*, *Robinia pseudoacacia*, *Eucalipto sp.* y *Populus sp.* plantaciones. El Sevier.Revista de Gestión Ambiental.
- Checa, O., Yama, V., & Fuel, T. (2011). Evaluación por componentes de rendimiento de nueve genotipos y un testigo de fríjol arbustivo *Phaseolus vulgaris* L. *Ciencias Agrícola*, 28(1), 73–90. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5104122>
- Cooper, L., & Ghanem, R. (2017). Los micronutrientes son la clave para mejorar la producción. *CropLife & Fluid Journal*. Retrieved from <https://humagro.com/wp-content/uploads/2017/07/Los-micronutrientes-son-la-clave-para-mejorar-la-produccion- White-Paper-HG-SP.pdf>

- Córdova, S., Cárdena, R., Peña, J., Salgado, S., Castelán, M., Lobbit, C., Vera, J. (2013). Fijación biológica de nitrógeno por cuatro fabáceas en suelos ácidos de Tabasco, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, vol. 45, num. 1, pp 1-9.
- COSMOCEL. (2014). Mmainstay Magnesio. *Hoja Técnica*. Retrieved from <https://www.agrozar.com/files/personalizacion/agrozar/190091/190091-ficha-tecnica.pdf>
- Cruz, G., & López, A. (2015). Re-descubriendo el suelo: su importancia ecológica y agrícola. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Espinosa-hernandez_Vicente/publication/296657644_Propuesta_legislativa_de_los_suelos_Agrico_las_en_Mexico_manejo_sustentable_e_impacto_ambiental/links/56ee1b9808ae59dd41c6549f.pdf#page=163
- David Giraldo, R., Ramírez, M. C., & Castro, D. (2020). Efecto de la aplicación de las fuentes convencionales de calcio (cales) en el suelo, en la concentración de Ca en tejido y en la biomasa del pasto kikuyo. *Universidad Católica Del Oriente*, 31(46), 113–126. Retrieved from <http://200.9.158.34/index.php/uco/article/view/321/399>
- Díaz, J. (2016). “Determinación del efecto de la aplicación de nueve materiales de encalado en muestras de cinco suelos ecuatorianos de diferente material parental” (Universidad Central del Ecuador). Retrieved from <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/8225/1/T-UCE-0004-51.pdf>
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M., Robledo, C., & InfoStat versión. (2019). Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- Espinosa, J., & Molina, E. (1999). Acidez y encalado de los suelos.
- FAO. (2013). El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas. Retrieved from www.fao.org/publications
- Fekadu, E., Kibret, K., Melese, A., & Bedadi, B. (2018). Yield of faba bean (*Vicia faba* L.) as affected by lime, mineral P, farmyard manure, compost and rhizobium in acid soil of Lay Gayint District, northwestern highlands of Ethiopia. *Agriculture & Food Security*, 7(16). <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0168-2>
- Ferreira, T. C., Aguilar, J. V., Souza, L. A., Justino, G. C., Aguiar, L. F., & Camargos, L. S.

- (2016). pH effects on nodulation and biological nitrogen fixation in *Calopogonium mucunoides*. *Revista Brasileira de Botânica*, 39(4), 1015–1020. <https://doi.org/10.1007/s40415-016-0300-0>
- Fonseca, D., Vivas, N., Balaguera, E. (2019) Techniques applied in agricultural research to quantify nitrogen fixation: a systematic review. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 21(1), e1342. https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num1_art:1342
- Garbanzo-León, G., Molina-Rojas, E., & Cabalceta-Aguilar, G. (2016). Efecto de la aplicación de enmiendas líquidas en el suelo y en el crecimiento de maíz bajo condiciones de invernadero. *Agronomía Costarricense*, 40(2). <https://doi.org/10.15517/RAC.V40I2.27360>
- García, A., Dueñas, G., Hernández, G., Herrero, G., Nuviola, A., Méndez, N., & Zapata, F. (2003). Efecto del encalado en la respuesta vegetal y fijación simbiótica del nitrógeno en frijol común. *Agronomía Mesoamericana*, 14(2), 207–214. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/437/43714211.pdf>
- García, S. C. (2011). Bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno. *Ct*, 3, 173–186.
- Garcés, F. (2013). Cuantificación de enfermedades en líneas promisorias y variedades de fréjolen Quevedo, Ecuador. *Rev.Bio.Agro vol.11 no.1 Popayán*. ISSN 1692-3561
- Gemechu, K., Asnake, F., & Million, E. (2016). Reflexiones sobre la investigación sobre lamejora de las legumbres de las tierras altas en Etiopía: logros pasados y dirección futura. *Ethiopian journal of agricultural sciences*, 17–50. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/304657273_Reflections_on_highland_pulses_improvement_research_in_Ethiopia_Past_achievements_and_future_direction
- Goto, Y., Paniagua, J. (2014). Efecto de la dosis, forma de aplicación y la granulometría de la cal agrícola en los parámetros químicos de un untisol arcilloso, cultivado con soja bajo el sistema de siembra directa. *Investigación Agraria, (S.I)*, v. 5, n. 1, p. 29-32.
- Gudeta, D., Damtew, E. (2019). Effect of Lime and Compost Application on the growth and yield of Common Bean (*Phaseolus Vulgaris L.*). *Review Ad Oceanogr & Marine Biol.* 1(3).
- Instituto Nacional de Estadística y Censos INEC. (2020). Tabulados de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC. Loja.

- Intagri. (2018). Fijación Biológica de Nitrógeno Atmosférico | Intagri S.C. *Serie Nutrición Vegetal Númm. 126. Artículos Técnicos de INTAGRI*, 4. Retrieved from <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/fijacion-biologica-de-nitrogeno-atmosferico>
- Jiménez Ballesta, R. (2017). Introducción a la contaminación de suelos (Mundi-Prensa; I. Hernández, Ed.). Retrieved from https://books.google.com.ec/books?id=iZg6DwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Introducción+a+la+contaminación+de+los+suelos.&hl=es419&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=Introducción+ala+contaminación+de+los+suelos.&f=false
- Karthika, K. S., Rashmi, I., Srinivasan, R., Neenu, S., & Philip, P. S. (2018). Acidification of soils and amelioration. In *Soil Health/Fertility Management* (Vol. 1).
- Li, Y., Cui, S., Chang, S. X., & Zhang, Q. (2019). Liming effects on soil pH and crop yield depend on lime material type, application method and rate, and crop species: a global meta-analysis. *Journal of Soils and Sediments*, 19(3), 1393–1406. <https://doi.org/10.1007/S11368-018-2120-2>
- Martín, G. M., Rivera, R. A., & Mujica, Y. (2007). Estimación de la fijación biológica del nitrógeno de la *Canavalia ensiformis* por el método de la diferencia de n total. *Cultivos Tropicales*, 28(4), 75–78.
- Martín, G. M., Tamayo, Y., Hernández, I., Varela, M., & Silva, E. (2017). Cuantificación de la fijación biológica de nitrógeno en *Canavalia ensiformis* crecida en un suelo pardo mullido carbonatado mediante los métodos de abundancia natural de 15 n y diferencia de N total. *Cultivos Tropicales*, 38(1), 122–130. Retrieved from <http://ediciones.inca.edu.cu>
- Medina, D. (2017). Efecto de la aplicación de enmiendas de origen mineral en el pH del suelo en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao*), distrito de Pólvora – Tocache – San Martín (Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto). Retrieved from <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3758/AGRONOMIA-Deygar-Luis-Cruzado-Medina.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mengel, K., & Kirkby, E. (2000). Principios de nutrición vegetal. (4). Retrieved from https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/66737/mod_resource/content/2/PRINCIPIOS_DE_NUTRICION_VEGETAL.pdf

- Mohammadi, K., Sohrabi, Y., Heidari, G., Khalesro, S., & Majidi, M. (2012). Effective factors on biological nitrogen fixation. *African Journal of Agricultural Research*, 7(12), 1782– 1788. <https://doi.org/10.5897/AJARX11.034>
- Molina, E (1998). Encalado para la corrección de la acidez del suelo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 45 p.
- Morales, A., López, C., Kohashi, J., Miranda, S., García, A. (2015). Comparación de los componentes del rendimiento en variedades de frijol en condiciones de acidez y humedad residual del suelo en el Sur de Veracruz. *Tierra Latinoamericana*, vol 33 (4).
- Muschler, R., Gutiérrez, I., & Rivas, G. (2008). Producción ecológica de cultivos anuales básicos: maíz, frijol y calabaza. Retrieved August 20, 2021, from https://www.researchgate.net/publication/235340843_Produccion_ecologica_de_cultivos_anuales_basicos_maiz_frijol_y_calabaza
- Navarro, G., & Navarro, S. (2013). Química agrícola: química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas (3rd ed.). Retrieved from https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=RSs6AgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP18&dq=Química+agrícola:+química+del+suelo+y+de+los+nutrientes+esenciales+para+las+plantas.+&ots=UQBbigVwJ1&sig=uBkJ3nmTKN2VG712GLb_xfpc8Gw#v=onepage&q=Química+agrícola%3A+química+del+suelo
- Nelson, D.W & Sommers, L.E. (1973). Determination of total nitrogen in plant material. *Agronomy Journal* 65: 109-112
- Osorio, N. W. (2012). pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. *Manejo Integral Del Suelo y Nutrición Vegetal*, 1(4).
- Osorno Henao, H. (2012). Mitos y realidades de las cales y enmiendas en Colombia (Universidad Nacional de Colombia). Retrieved from <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/9810/70660741.2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Osorno, L., & Osorno, H. (2010). Determinación de los requerimientos de cal . *Suelos Ecuatoriales*, 40(1), 29–33. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/317303413>

- Paredes, M. (2013). Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas. Retrieved from <https://core.ac.uk/download/pdf/32621045.pdf>
- Pinochet, D., Ramírez, F., Suárez, D. (2018). Evaluación de la calidad agrícola de cultivos enmiendas calcáreas en un suelo ácido derivado de cenizas volcánicas. *Agro Sur* 33(1) 29-35. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2005.v33n1-04>
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Loja (PDOT) (2014). Municipio de Loja. obtenido de: <http://www.loja.gob.ec/files/image/LOTAIP/podt2014.pdf>
- Porta, J., López-Acevedo, M., & Poch, R. (2013). Edafología: uso y protección de suelos (3ra ed.). Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=7x1fAwAAQBAJ&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>
- Quiroga, A., & Bono, A. (2012). Manual de fertilidad y evaluación de suelos. 19–24.
- Ramírez, N. (2020). “Eficiencia de enmiendas floables y sólidas en corrección de ph en el cultivo de palma aceitera (*Elaeis guineensis Jacq.*)” Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo-Los Ríos-Ecuador.
- Ribadulla, S., & Bruballa, G. (2018). Efectos del encalado sobre propiedades químicas en un hapludol del partido de 25 de mayo, provincia de Buenos Aires (Universidad Nacional de la Plata (UNLP). Retrieved from http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/70161/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rincón, L., Aristizábal, F. (2012). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. *Revista Colombiana de Biotecnología*, vol. XIV, núm. 1, pp. 285-295. Bogotá, Colombia.
- Ríos, D. (2020). Disponibilidad de micronutrientes en suelos del orden ultisol bajo diferentes usos y profundidades en Caaguazú, Paraguay. Universidad Nacional de Asunción. San Lorenzo, Paraguay. Retrieved from <https://www.conacyt.gov.py/sites/default/files/Tesis- Danny Ríos.pdf>
- Rojas, L., & Valencia, A. (2018). Caracterización de bacterias fijadoras de nitrógeno y su relación con suelos agrícolas en el distrito de riego de repelón, Departamento del Atlántico. Barranquilla-Colombia. Universidad de la Costa CUC. Departamento Civil y Ambiental. Retrieved from:

<https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/70/1140883533%20-%20201143153645.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Rodríguez, I. (2013). Evaluación de propiedades fisicoquímicas y nutraceuticas de harina y tortilla elaboradas con un proceso de nistamalización ecológica. Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro.
- Rosas-Patiño, G., Puentes-Páramo, Y. J., & Menjivar-Flores, J. C. (2017). Relación entre el pH y la disponibilidad de nutrientes para cacao en un entisol de la Amazonia colombiana. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(3), 529–541. https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num3_art:742
- Sadeghian Khalajabadi, S., González Osorio, H., & Arias Suárez, E. (2015). Lixiviación de nutrientes en suelos de la zona cafetera Prácticas que ayudan a reducirla. *Boletín Técnico CENICAFE*. Retrieved from <https://www.cenicafe.org/es/publications/BT403.pdf>
- Sadeghian, S., & Díaz, C. (2020). Corrección de la acidez del suelo: alteraciones químicas del suelo. *CENICAFÉ*, 71(1), 7–20. Retrieved from <https://publicaciones.cenicafe.org/index.php/cenicafe/article/view/1/12>
- Santillana, N., Arellano, C., Zúñiga, D. (2005). Capacidad del *Rhizobium* de promover el crecimiento en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Miller). *Ecología Aplicada*. v.4 n.1-2 Lima. ISSN 1726-2216
- Santos, S. (2010). Química Y Cultura Científica (Octubre 2010). Retrieved from https://books.google.com.ec/books?id=z09Vyr9DBEC&printsec=frontcover&dq=Química+y+cultura+científica&hl=es-419&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=Química+y+cultura+científica&f=false
- Soares, B., Ademar, P., Oliveira, S., Marra, L., Rufini, M., Bastos, M., Souza, F. (2014). Cowpea symbiotic efficiency, pH and aluminum tolerance in nitrogen-fixing bacteria. *Agricultural Microbiology* 71 (3). <https://doi.org/10.1590/S0103-90162014000300001>
- Tadele, M. (2020). Impactos de la acidez del suelo en el rendimiento del crecimiento de la haba (*Vicia faba* L.) y las opciones de manejo. <https://doi.org/10.14662/ARJASR2020.275>

- Toledo, M. (2016). Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de Honduras Conceptos y Métodos. Tegucigalpa, Honduras.
- Vásquez, M., Terminiello, A., Duhour, A., García, M., Guilino, F. (2009). Efecto del encalado sobre propiedades físicas de un suelo de la Pradera Pampeana. Asociación con propiedades químicas. CI. SUELO (ARGENTINA) 27(1): 67-76
- Valladares, C. (2010). Taxonomía y Botánica de los Cultivos de Grano.
- Vargas, G. (2011). Botánica General. Desde Los Musgos Hasta Los Árboles. Retrieved from:
https://books.google.com.ec/books?id=Ss_VwMLNu7sC&pg=PA32&dq=phaseolus+vulgaris+clasificacion+taxonomica&hl=es419&sa=X&ved=2ahUKEwjz94PeyYrrAhWid98KHfakBaUQ6AEwAXoECAIQAg#v=onepage&q=phaseolus+vulgaris+clasificacion+taxonomica&f=false
- Vélez, M. (2015). “Efecto de la corrección de la acidez del suelo, y la aplicación de herbicidas en la erradicación de la llashipa “*Pteridium arachnoideum (Kaulf.) Maxon*” (Universidad Nacional de Loja). Retrieved from
https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/10090/1/TESIS_MIGUEL_VELEZ%28ING.AGRONOMIA%29.pdf
- Villamagua, M., Guayanay, M., Sarango, R., Vásquez, E., Valarezo, C., & Erraez, R. (2021). Efecto del encalado sobre la acidez del suelo, la disponibilidad de nutrientes y el crecimiento del cafeto (*Coffea arabica* L.) en Pueblo Nuevo, cantón Loja, Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 11(1), 166–180. Retrieved from
<https://drive.google.com/file/d/1-AbST285ieeLtt37vazqFdjyJj9x28PE/view>
- Villalobos, E. (2006). Fijación simbiótica del nitrógeno. 1 ed. San José-Costa Rica. Universidad de Costa Rica. ISBN 9968-936-05-7
- Vistoso, E., & Martínez, J. (2019). Encalado de suelo. Retrieved from www.inia.cl
- Weil, R., & Brady, N. (2017). La naturaleza y propiedades de los suelos. (Pearson Education, Ed.). Retrieved from:
https://www.researchgate.net/publication/301200878_The_Nature_and_Properties_of_Soils_15th_edition

- Zamora Natera, J. F., Zapata Hernández, I., & Villalvazo Hernández, A. (2019). Fijación biológica del nitrógeno en tres especies silvestres del género *Lupinus* (Leguminosae, Papilionoideae) en México. *Acta Botánica Mexicana*, (126), 1–11. <https://doi.org/10.21829/ABM126.2019.1543>
- Zapata Hernández, I. (2015). Acumulación de materia seca y fijación biológica de Nitrógeno en diferentes especies del género *Lupinus* cultivadas en suelos de Zapopan, Jalisco. Universidad de Guadalajara. Centro de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Zapopan, Jalisco. Retrieved from: http://repositorio.cucba.udg.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5926/Zapata_Hernandez_Isidro.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Zapata, R. (2004). Acidez del Suelo. Retrieved from https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/32720112/AcidezdelSuelo-with-cover-pagev2.pdf?Expires=1632038147&Signature=CdQGqLzPgP64BO1Eq9p90LHMfCQqzxxT21ej114ffpNmksXfwfvuG0cLIVKK3KSCvs935iGAtt6PJIGBtR-VCwO7xHvR4iN6K6puGx7tJzybDhQ4bfOsqwIdEuywAioseVgZdZwKVQJYv9YGqV74~BYIUFMoTJnUfG8zMZ6IRs0eNmlWbGIhx507ZRGgTQ~i~4QxvT32HSJm3swxqgINfu6WmqHoz3IsG8UynoBLKrJ2oPkGgwZesD3tlLk3FIG3erb4fZ7AiSjNgypEXpHB1S2CxVZBSg0W8rBj-7WKKvpBzAxdnwJV~6vxr9z9ZYNUc0uFC7Qw29bxMMNkaIA1IQ__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

11. ANEXOS

Anexo 1. Resultados de análisis de suelo de las 15 muestras de suelo y de la muestra inicial.

Provincia:	Loja	FECHA DE INGRESO:	04-05-2021
Cantón:	Loja	FECHA DE EGRESO:	07-06-2021
Parroquia:	San Sebastián	TESISTA:	Diana Maritza Ordóñez Aguilar
Sector:	Quinta Experimental La Argelia		
CONVENIO TESIS:	"CORRECCIÓN DE LA ACIDEZ Y SU EFECTO EN LA FIJACIÓN BIOLÓGICA DEL N Y DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES EN EL SUELO, EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL LA ARGELIA, LOJA"		

1. RESULTADOS DE ANÁLISIS

Cód. Lab.	Cód. Cam.	pH	M.O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Mn	Cu	Fe ⁺⁺⁺	CIC
			%	ppm			meq/100ml		ppm			meq/100gs
2506	INICIA L	6.24	2,31	105,66	307,25	250,04	7,36	1,33	13,54	6,23	392,16	11,4
2548	T0R1	6.42	2,06	88,15	317,77	145,17	6,05	0,76	9,63	7,32	324,73	12,8
2549	T0R2	6.28	1,94	110,53	293,71	122,22	5,58	0,75	6,53	6,30	381,17	10,2
2550	T0R3	6.70	3,40	107,28	350,01	295,41	7,52	1,50	10,12	5,85	384,36	14,2
2551	T1R1	7.07	2,30	80,27	370,17	239,17	9,92	1,25	7,72	6,86	330,33	11,8
2552	T1R2	6.26	2,43	66,59	279,98	244,91	5,84	1,10	10,30	5,52	487,84	10,8
2553	T1R3	7.01	1,88	97,89	315,53	145,81	6,98	0,87	7,03	7,04	307,84	11,2

2554	T2R1	6.35	2,19	92,91	181,89	237,26	3,90	0,77	8,44	5,13	414,26	11,0
2555	T2R2	6.26	2,36	71,00	363,45	187,59	5,49	0,90	12,17	7,30	441,98	12,0
2556	T2R3	6.31	3,33	84,33	305,99	249,29	5,83	1,01	11,92	6,66	445,30	12,0
2557	T3R1	6.16	1,88	78,42	186,76	168,08	4,66	0,72	10,37	5,95	432,65	10,6
2558	T3R2	6.53	2,12	64,51	374,75	170,44	7,15	0,97	10,12	8,01	403,53	11,2
2559	T3R3	6.49	2,06	85,72	293,13	138,92	6,49	1,04	7,00	5,84	319,46	11,0
2560	T4R1	6.76	1,87	52,22	215,99	126,78	7,81	1,00	6,14	5,80	272,84	10,2
2561	T4R2	6.98	2,79	91,63	290,21	315,77	7,68	1,06	9,78	6,20	405,86	12,6
2562	T4R3	7.03	1,64	58,01	340,76	151,59	9,73	1,16	8,27	8,28	316,02	12,2

2. INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS

Cód. Lab.	Cód. Cam.	pH	M.O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Mn	Cu	Fe ⁺⁺⁺	CIC
			%	ppm			meq/100ml		ppm			meq/100gs
2506	INICIA L	LAc	B	A	A	A	M	M	M	A	A	B
2548	T0R1	LAc	B	A	A	M	M	B	M	A	A	B
2549	T0R2	LAc	B	A	A	M	M	B	M	A	A	B
2550	T0R3	PN	M	A	A	A	M	M	M	A	A	B
2551	T1R1	PN	B	A	A	A	A	M	M	A	A	B
2552	T1R2	LAc	B	A	A	A	M	M	M	A	A	B
2553	T1R3	PN	B	A	A	M	M	B	M	A	A	B

2554	T2R1	LAc	B	A	A	A	B	B	M	A	A	B
2555	T2R2	LAc	B	A	A	M	M	B	M	A	A	B
2556	T2R3	LAc	M	A	A	A	M	M	M	A	A	B
2557	T3R1	LAc	B	A	A	M	M	B	M	A	A	B
2558	T3R2	PN	B	A	A	M	M	B	M	A	A	B
2559	T3R3	LAc	B	A	A	M	M	M	M	A	A	B
2560	T4R1	PN	B	M	A	M	M	M	M	A	A	B
2561	T4R2	PN	B	A	A	A	M	M	M	A	A	B
2562	T4R3	PN	B	M	A	M	A	M	M	A	A	B

LAc = Ligeramente Ácido
B = Bajo

PN = Prácticamente Neutro
M= Medio

A = Alto



Ing. Omar Ojeda Ochoa, Mg. Sc.

**RESPONSABLE DEL
LABORATORIO**

Anexo 2. Resultados de análisis bromatológico de 15 muestras de material vegetal de frejol y 15 de maíz.

ANÁLISIS BROMATOLÓGICO

Laboratorio de Suelos Aguas y Bromatología

<p>INSTITUCIÓN: Universidad Nacional de Loja</p> <p>ATENCIÓN: DIANA MARITZA ORDOÑEZ AGUILAR</p> <p>TESIS: "CORRECCIÓN DE LA ACIDEZ Y SU EFECTO EN LA FIJACIÓN BIOLÓGICA DEL N Y DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES EN EL SUELO, EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL LA ARGELIA, LOJA"</p> <p>DIRECTOR DE TESIS: Ing. Klever Iván Granda Mora, PhD.</p>	<p>CLASE DE MUESTRA: material vegetal (hojas y tallos) de frejol y maíz en prefloración (46 días).</p> <p>FECHA DE INGRESO DE LAS MUESTRAS: 04 de mayo de 2021</p> <p>FECHA DE ENTREGA: 11 de junio de 2021</p>
--	--

RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS:

MAIZ					
Nro. Lab.	Nro. Mues.	Clase de muestra	Base de Cálculo	M.S.	N.
7233	1	TOR3	BS	100,00%	3,91%
			TCO	10,16%	0,40%
7234	2	TOR1	BS	100,00%	4,01%
			TCO	12,97%	0,52%
7235	3	TOR2	BS	100,00%	4,22%
			TCO	11,76%	0,50%
7236	4	T1R3	BS	100,00%	4,12%
			TCO	10,62%	0,44%
7237	5	T1R1	BS	100,00%	4,17%
			TCO	11,09%	0,46%
7238	6	T1R2	BS	100,00%	3,84%
			TCO	10,82%	0,42%
7239	7	T2R1	BS	100,00%	3,23%
			TCO	11,31%	0,37%
7240	8	T2R2	BS	100,00%	4,14%
			TCO	10,27%	0,42%
7241	9	T2R3	BS	100,00%	4,06%
			TCO	8,95%	0,36%
			BS	100,00%	4,24%

7242	10	T3R1	TCO	11,90%	0,50%
7243	11	T3R2	BS	100,00%	4,23%
			TCO	10,46%	0,44%
7244	12	T3R3	BS	100,00%	4,26%
			TCO	10,64%	0,45%
7245	13	T4R1	BS	100,00%	3,63%
			TCO	10,97%	0,40%
7246	14	T4R2	BS	100,00%	3,54%
			TCO	10,21%	0,36%
7247	15	T4R3	BS	100,00%	4,42%
			TCO	10,10%	0,45%

FREJOL					
Nro. Lab.	Nro. Mues.	Clase de muestra	Base de Cálculo	M.S.	N.
7248	16	T1R1	BS	100,00%	4,52%
			TCO	12,33%	0,56%
7249	17	T1R2	BS	100,00%	4,45%
			TCO	11,58%	0,52%
7250	18	T1R3	BS	100,00%	4,46%
			TCO	13,02%	0,58%
7251	19	T0R1	BS	100,00%	4,40%
			TCO	13,50%	0,59%
7252	20	T0R2	BS	100,00%	4,38%
			TCO	12,70%	0,56%
7253	21	T0R3	BS	100,00%	4,51%
			TCO	12,37%	0,56%
7254	22	T2R1	BS	100,00%	4,54%
			TCO	12,91%	0,59%
7255	23	T2R2	BS	100,00%	4,54%
			TCO	12,56%	0,57%
7256	24	T2R3	BS	100,00%	4,58%
			TCO	11,23%	0,51%
7257	25	T3R1	BS	100,00%	4,67%
			TCO	14,29%	0,67%
7258	26	T3R2	BS	100,00%	4,63%
			TCO	13,26%	0,61%
7259	27	T3R3	BS	100,00%	4,46%
			TCO	12,67%	0,57%

7260	28	T4R1	BS	100,00%	4,41%
			TCO	15,51%	0,68%
7261	29	T4R2	BS	100,00%	4,80%
			TCO	14,38%	0,69%
7262	30	T4R3	BS	100,00%	4,80%
			TCO	13,90%	0,67%
Nota: TCO = Tal Como Ofrecido, BS = Base Seca, M.S. = Materia Seca, N = Nitrógeno Total.					



firmado electrónicamente por:
OMAR AUGUSTO
OJEDA OCHOA

Ing. Omar Ojeda Ochoa Mg. Sc.
**RESPONSABLE LABORATORIO
DE SUELOS AGUAS Y
BROMATOLOGÍA**

**BEATRIZ
ALEXANDRA
GUERRERO LEON**

Ing. Beatriz Guerrero León Mgs.
**TÉCNICA DEL LABORATORIO
DE BROMATOLOGÍA**

ANÁLISIS BROMATOLÓGICO

Laboratorio de Suelos Aguas y Bromatología

INSTITUCIÓN: Universidad Nacional de Loja ATENCIÓN: DIANA MARITZA ORDOÑEZ AGUILAR TESIS: "CORRECCIÓN DE LA ACIDEZ Y SU EFECTO EN LA FIJACIÓN BIOLÓGICA DEL N Y DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES EN EL SUELO, EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL LA ARGELIA,	CLASE DE MUESTRA: SEMILLAS FECHADEINGRESODELASMUESTRAS:01dejulio de 2021. FECHA DE ENTREGA: 14 de julio de 2021
--	---

RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS:

Nro. Laboratorio	Nro. Muestra	Clase de muestra	Base de Cálculo	M.S.	N
735 1	1	SEMILLA DE MAIZ	BS	100,00 %	1,60 %
			TCO	86,45%	1,38 %
735 2	2	SEMILLA DE FREJOL	BS	100,00 %	4,26 %
			TCO	86,72%	3,70 %

Nota: TCO = Tal Como Ofrecido, BS = Base Seca, M.S. = Materia Seca, N = Nitrógeno Total.



firmado electrónicamente por:
OMAR AUGUSTO

OJEDA OCHOA

Ing. Omar Ojeda Ochoa Mg. Sc.
RESPONSABLE LABORATORIO DE
SUELOS AGUAS Y BROMATOLOGÍA

BEATRIZ Fecha:
ALEXANDRA
2021.07.13
GUERRERO 22:17:37
LEON -05'00'

Ing. Beatriz Guerrero León
Mgs. TÉCNICA DEL
LABORATORIO DE
BROMATOLOGÍA

Anexo 3. Preparación del suelo con el paso de maquinaria con rastra, y preparación de parcelas para los tratamientos.



Anexo 4. Toma de muestras de suelo al inicio del ensayo y secado de muestras.



Anexo 5. Preparación de muestras de suelo de cada tratamiento, para el respectivo análisis de suelo.



Anexo 6. Limpieza de malezas y cuidado de las unidades experimentales.



Anexo 7. Toma de muestras de material vegetal y radicular, de frejol y maíz para llevar al laboratorio a los respectivos análisis.



Anexo 8. Preparación de muestras para el análisis de N en el material vegetal de frejol y maíz.



Anexo 9. Siembra de frejol y maíz en cada unidad experimental.



Anexo 10. Pesado de granos luego de ser cosechados, para la determinación de rendimiento del frejol.



Anexo 11. Visita del director de tesis al lugar de estudio.



Anexo 12. Análisis estadístico ANAVA de cada componente perteneciente a la FBN.

Análisis de la varianza

MS (g)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MS (g)	15	0,66	0,53	5,98

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	12,84	4	3,21	4,91	0,0189
Tratamiento	12,84	4	3,21	4,91	0,0189
Error	6,54	10	0,65		
Total	19,38	14			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,47115

Error: 0,6539 gl: 10

Tratamiento Medias n E.E.

T4	14,60	3	0,47	A
T1	14,53	3	0,47	A
T3	13,41	3	0,47	A B
T0	12,86	3	0,47	B
T2	12,23	3	0,47	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Cont. Nitrógeno

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Cont. Nitrógeno	15	0,65	0,50	12,15

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1838,01	4	459,50	4,56	0,0236
Tratamiento	1838,01	4	459,50	4,56	0,0236
Error	1008,11	10	100,81		
Total	2846,13	14			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=18,26634

Error: 100,8115 gl: 10

Tratamiento Medias n E.E.

T4	99,27	3	5,80	A
T1	89,36 <td>3 <td>5,80</td> <td>A B</td> </td>	3 <td>5,80</td> <td>A B</td>	5,80	A B
T3	82,95 <td>3 <td>5,80</td> <td>A B C</td> </td>	3 <td>5,80</td> <td>A B C</td>	5,80	A B C
T0	73,35 <td>3 <td>5,80</td> <td>B C</td> </td>	3 <td>5,80</td> <td>B C</td>	5,80	B C
T2	68,34 <td>3 <td>5,80</td> <td>C</td> </td>	3 <td>5,80</td> <td>C</td>	5,80	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

% FBN

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% FBN	15	0,76	0,66	19,70

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2136,28	4	534,07	7,74	0,0041
Tratamiento	2136,28	4	534,07	7,74	0,0041
Error	689,92	10	68,99		
Total	2826,19	14			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=15,11106

Error: 68,9917 gl: 10

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T4	57,33	3	4,80 A
T1	51,51	3	4,80 A B
T2	41,85	3	4,80 B
T3	37,21	3	4,80 B C
T0	22,93	3	4,80 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

N Fijado

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
N Fijado	15	0,80	0,72	24,50

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3050,55	4	762,64	9,85	0,0017
Tratamiento	3050,55	4	762,64	9,85	0,0017
Error	774,36	10	77,44		
Total	3824,91	14			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=16,00914

Error: 77,4360 gl: 10

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T4	57,07	3	5,08 A
T1	46,52	3	5,08 A B
T3	30,99	3	5,08 B C
T2	28,60	3	5,08 C
T0	16,44	3	5,08 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Anexo 13. Análisis estadístico ANAVA de macro y micronutrientes en cada tratamiento.

Análisis de la varianza

N

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
N	15	0,47	0,26	17,96

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1950,36	4	487,59	2,25	0,1360
Tratamiento	1950,36	4	487,59	2,25	0,1360
Error	2166,55	10	216,66		
Total	4116,91	14			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=26,77818

Error: 216,6551 gl: 10

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T0	101,99	3	8,50 A
T2	82,75	3	8,50 A B
T1	81,58	3	8,50 A B
T3	76,22	3	8,50 A B
T4	67,29	3	8,50 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

LN_K

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LN K	15	0,16	0,00	6,48

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,22	4	0,05	0,47	0,7551
Tratamiento	0,22	4	0,05	0,47	0,7551
Error	1,15	10	0,11		
Total	1,37	14			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,61673

Error: 0,1149 gl: 10

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T2	5,41	3	0,20 A
T1	5,32	3	0,20 A
T4	5,21	3	0,20 A
T0	5,16	3	0,20 A
T3	5,07	3	0,20 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Cu

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Cu	15	0,08	0,00	10,98

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,41	4	0,10	0,22	0,9224
Tratamiento	0,41	4	0,10	0,22	0,9224
Error	4,70	10	0,47		
Total	5,11	14			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1,24686

Error: 0,4697 gl: 10

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T0	6,49	3	0,40 A
T2	6,36	3	0,40 A
T1	6,21	3	0,40 A
T3	6,12	3	0,40 A
T4	6,03	3	0,40 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

P

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
P	15	0,09	0,00	23,34

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5085,07	4	1271,27	0,26	0,8960
Tratamiento	5085,07	4	1271,27	0,26	0,8960
Error	48595,39	10	4859,54		
Total	53680,46	14			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=126,82184

Error: 4859,5397 gl: 10

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T1	321,89	3	40,25 A
T0	320,50	3	40,25 A
T3	284,88	3	40,25 A
T2	283,78	3	40,25 A
T4	282,32	3	40,25 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Mn

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Mn	15	0,28	0,00	20,99

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	14,33	4	3,58	1,00	0,4533
Tratamiento	14,33	4	3,58	1,00	0,4533
Error	35,96	10	3,60		
Total	50,28	14			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=3,44974

Error: 3,5957 gl: 10

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T2	10,84	3	1,09 A
T3	9,16	3	1,09 A
T0	8,76	3	1,09 A
T1	8,35	3	1,09 A
T4	8,06	3	1,09 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Fe

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Fe	15	0,65	0,51	9,57

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	22763,90	4	5690,98	4,70	0,0215
Tratamiento	22763,90	4	5690,98	4,70	0,0215
Error	12106,87	10	1210,69		
Total	34870,77	14			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=63,30128

Error: 1210,6872 gl: 10

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T2	433,85	3	20,09 A
T0	363,42	3	20,09 B
T3	355,49	3	20,09 B
T1	349,69	3	20,09 B
T4	314,67	3	20,09 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Mg

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Mg	15	0,14	0,00	23,50

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,09	4	0,02	0,41	0,7959
Tratamiento	0,09	4	0,02	0,41	0,7959
Error	0,54	10	0,05		
Total	0,63	14			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,42349

Error: 0,0542 gl: 10

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T4	1,07	3	0,13 A
T1	1,07	3	0,13 A
T0	1,00	3	0,13 A
T3	0,91	3	0,13 A
T2	0,89	3	0,13 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Ca

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ca	15	0,52	0,32	20,55

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	20,38	4	5,09	2,68	0,0938
Tratamiento	20,38	4	5,09	2,68	0,0938
Error	19,00	10	1,90		
Total	39,38	14			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=2,50756

Error: 1,8998 gl: 10

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T4	8,41	3	0,80 A
T1	7,58	3	0,80 A B
T0	6,38	3	0,80 A B
T3	6,10	3	0,80 A B
T2	5,07	3	0,80 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Tratamiento	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Mn	T1	3	8,35	1,72	7,72	3,93	0,4153
Mn	T2	3	10,84	2,09	11,92		
Mn	T3	3	9,16	1,88	10,12		
Mn	T4	3	8,06	1,83	8,27		
Mn	TO	3	8,76	1,95	9,63		

Variable	Tratamiento	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Mg	T1	3	130,53	23,27	133,80	3,17	0,5303
Mg	T2	3	108,60	14,62	109,40		
Mg	T3	3	110,70	20,45	118,00		
Mg	T4	3	130,53	9,85	128,90		
Mg	TO	3	122,00	52,31	92,40		

Anexo 14. Análisis estadístico ANAVA de los componentes del rendimiento del cultivo de frejol.

Rendimiento ha

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento ha	15	0,21	0,00	38,22

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	123792,87	4	30948,22	0,66	0,6343
Tratamiento	123792,87	4	30948,22	0,66	0,6343
Error	469676,57	10	46967,66		
Total	593469,44	14			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=394,27205

Error: 46967,6567 gl: 10

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T1	688,10	3	125,12 A
T4	636,13	3	125,12 A
T2	582,97	3	125,12 A
T3	478,17	3	125,12 A
T0	450,07	3	125,12 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

N° vainas

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
N° vainas	15	0,04	0,00	50,31

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	34,67	4	8,67	0,10	0,9793
Tratamiento	34,67	4	8,67	0,10	0,9793
Error	850,67	10	85,07		
Total	885,33	14			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=16,77939

Error: 85,0667 gl: 10

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T0	19,33	3	5,32 A
T1	19,33	3	5,32 A
T2	19,00	3	5,32 A
T4	18,67	3	5,32 A
T3	15,33	3	5,32 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

N° granos

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
N° granos	15	0,48	0,27	6,23

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,64	4	0,16	2,28	0,1329
Tratamiento	0,64	4	0,16	2,28	0,1329
Error	0,70	10	0,07		
Total	1,34	14			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,48133

Error: 0,0700 gl: 10

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T2	4,53	3	0,15 A
T0	4,40	3	0,15 A B
T4	4,27	3	0,15 A B
T1	4,03	3	0,15 B
T3	4,00	3	0,15 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Peso 100 g

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso 100 g	15	0,39	0,15	5,72

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	247,89	4	61,97	1,63	0,2418
Tratamiento	247,89	4	61,97	1,63	0,2418
Error	380,33	10	38,03		
Total	628,22	14			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=11,21954

Error: 38,0327 gl: 10

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T1	112,97	3	3,56 A
T4	112,00	3	3,56 A
T3	107,07	3	3,56 A
T2	104,63	3	3,56 A
T0	102,53	3	3,56 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)