

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
UNIDAD DE POSTGRADO**

**MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN VEGETAL**



**TESIS DE MAESTRÍA**

**EVALUACIÓN DE NIVELES DE ZEOLITA NATURAL EN EL COMPORTAMIENTO  
AGRONÓMICO DEL CULTIVO DE LA RÚCULA (*Eruca sativa* Mill) EN AMBIENTE  
CONTROLADO EN LA COMUNIDAD DE KALLUTACA**

**Postulante:**

Ing. Agr. Inés APAZA ESPINOZA

**Asesora:**

Ing. Ph.D. Carmen Rosa DEL CASTILLO GUTIÉRREZ

**La Paz – Bolivia**

**2017**

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**POSTGRADO**

EVALUACIÓN DE NIVELES DE ZEOLITA NATURAL EN EL COMPORTAMIENTO  
AGRONÓMICO DEL CULTIVO DE LA RÚCULA (*Eruca sativa* Mill) EN AMBIENTE  
CONTROLADO EN LA COMUNIDAD DE KALLUTACA

*Tesis de Maestría presentada como requisito parcial para optar  
el Título de Maestro en PRODUCCIÓN VEGETAL*

**INES APAZA ESPINOZA**

**Asesor:**

Ing. Ph.D. Carmen Rosa del Castillo Gutiérrez .....

**Tribunal Examinador:**

Ing. M.Sc. Estanislao Poma Loza .....

Ing. M.Sc. Rubén Jacobo Trigo Riveros .....

Ing. Ph.D. Alberto Leandro Figueroa Soliz .....

**Aprobado**

**Presidente Tribunal Examinador** .....

**La Paz – Bolivia**

**2017**

DEDICATORIA

**A mi Madrina:**

María Teresa Paz

Quien siempre me motivó a seguir adelante.

**A mi Padre Adoptivo:**

Antonio Bustios Villarroel (Q.E.P.D.)

Quien siempre me protegió, me dejó sus enseñanzas y su confianza en mi futuro.

**A mi Amiga:**

Verónica Caballero

Quien siempre me oriento y estuvo ahí para aconsejarme.

**A mi amigo:**

Horacio Rosso

Quien me brindo su cariño y su apoyo constante.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi Dios padre: Por darme la fortaleza para afrontar los problemas con una sonrisa y con buen humor, por permitirme vivir al día de hoy y aprender que la paciencia es una espera constante, del que nada desea porque todo lo tiene y detrás de cada gran logro siempre hay personas que nos respaldan y confían en nosotros.

A mi tutora, Ing. Ph.D. Carmen Rosa del Castillo, por su perseverancia y dedicación en este trabajo.

A mi padre adoptivo, a mi madrina y a mi amigo especial. Ellos permiten que conciba la vida sin imposibles.

A mis revisores: al Ing. Ph.D. Alberto Leandro Figueroa Soliz, Ing. M.Sc. Estanislao Poma Loza y al Ing. M.Sc. Rubén Jacobo Trigo Riveros por su tiempo.

Al Posgrado de la Facultad de Agronomía dependiente de la Universidad Mayor San Andrés, por darme la oportunidad de continuar con mis estudios preparándome en la Maestría de Producción Vegetal.

A mi Madrina, María T. Paz por el apoyo incondicional en cada paso de mi carrera.

A la Ing. Ms.C. Celia Fernández por motivarme a continuar los estudios y estar siempre pendiente de mi persona.

Al Ing. Ms.C. Víctor Paye por apoyarme y colaborar en mis actividades de campo.

A todos las/os compañeras/os de la maestría, por los gratos momentos y las experiencias vividas.

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de investigación es determinar el rendimiento de la producción de Rúcula en ambiente controlado con el uso de zeolita natural de roca fosfórica. La investigación fue efectuada en la comunidad Kallutaca en el municipio de Laja, Provincia Los Andes del Departamento de La Paz. Durante el periodo de enero a febrero de 2015; con un Diseño Completamente al Azar (DCA), los factores de estudio fueron los tres niveles de zeolita natural y uno de testigo, con cuatro repeticiones. La aplicación de zeolita se realizó antes de la siembra para homogeneizar el sustrato, haciendo uso por  $m^2$  de 100 g, 60 g, 20 g. y finalmente 0 g.

En los resultados: con el nivel de zeolita de 100 g emergieron un 96% de las semillas, siendo el mejor resultado, con 60 g de zeolita emergieron el 90%, asimismo con 20 g de zeolita fue regular el resultado arrojando un 85% de semillas que emergieron y finalmente el testigo con 0 g de zeolita tuvo un resultado del 50% de las semillas que emergieron con baja viabilidad. El uso de zeolita en el cultivo de Rúcula para la altura fue: con el T1 la altura de la planta fue de 28,05 cm, con el T2, la altura de 24,45 cm, con el T3 la altura de 19,8 cm y finalmente con el T4 o de testigo la altura fue de 17,2 cm, demostrando que la zeolita favorece el crecimiento del cultivo de la Rúcula.

El peso de la Rúcula que obtuvo mayor rendimiento con el uso de niveles de zeolita de 100  $g\ m^{-2}$  se obtuvo 2,27  $kg\ m^{-2}$ , seguidamente con 60  $g\ m^{-2}$  de zeolita se logró obtener 2,02  $kg\ m^{-2}$ , asimismo con 20  $g\ m^{-2}$  de zeolita se logró obtener 1,91  $kg\ m^{-2}$  y el testigo fue el más inferior ya que con 0 de zeolita se obtuvo el resultado de 0, 57  $kg\ m^{-2}$ . Esto muestra que, el testigo por la falta de zeolita, ocupa el último lugar en el rendimiento por  $kg\ m^{-2}$  y económicamente no es rentable sin la aplicación de la misma.

Los resultados de la exportación de N, P y K, muestran claras diferencias entre los tratamientos. En el T1 con la aplicación de 100  $g\ m^{-2}$  de zeolita se observa que la planta exporta menos cantidad de N, mayor cantidad de P y menor cantidad de K, según el análisis que muestra un 4,266% de N, 0,466% de P y 4,893% K; en el T2 con aplicación de 60  $g\ m^{-2}$  de zeolita se retiene 4,423% N, 0,445 de P y 5,328% de K; en el T3 con 20

g m<sup>-2</sup> de zeolita 4,716% N, 0,440 de P y 5,764% de K, finalmente con el T se exporta mayor cantidad de N 4,413%, de P 0,449 y de K 5,764%. En el presente estudio se tomaron muy en cuenta los análisis de suelo, agua, partes del órgano de la planta, fertilizantes o abonos orgánicos ya que estos pueden alterar los resultados.

El análisis económico demostró una alta rentabilidad en el cultivo de Rúcula al efectuar la aplicación de Zeolita de 100 g m<sup>-2</sup> con un beneficio neto de 357.101 Bs ha<sup>-1</sup>, con 60 g m<sup>-2</sup> 317.621 Bs ha<sup>-1</sup>, con 20 g m<sup>-2</sup> 305.581 Bs ha<sup>-1</sup> y el T es 47.700 Bs ha<sup>-1</sup>.

**Palabras clave:** Rúcula *Eruca sativa* Mill., zeolita granulada, zeolita en la agricultura, clinoptilolita, fertilización ecológica, roca fosfórica.

## ABSTRACT

The objective of the present research work is to determine the yield of the Arugula production in **controlled** environment with the use of natural zeolite of phosphoric rock. The research was carried out in the community Kallutaca in the municipality of Laja, Province Los Andes of the Department of La Paz. During the period from January to February 2016; with a Full Random Design (FRD), the study factors were the three levels of natural zeolite and one **control**, with four replicates. The application of zeolite was done before sowing to homogenize the substrate, using of 100 g, 60 g, 20 g per m<sup>2</sup> and finally 0 g.

The results: in the emergence stage of the arugula in the first week the seeds germinated and the percentage of seedlings per treatment in the **controlled** environment were clearly observed, the viability of the seeds with the treatments in the research trial; were: with the zeolite level of 100 g emerged 96% this is the best result; with 60 g of zeolite was good with a viability of 90% of seedlings that emerged, and with 20 g of zeolite the result was regular with a 85% of seeds that emerged and finally the **control** with 0 g of zeolite resulted in 50% of the seeds that emerged with low viability.

The results demonstrate the accumulation of leaf area and the growth in the cultivation of arugula, which depends on the set of requirements such as climate, water, nutrients, light, CO<sub>2</sub>, agronomic management, so that there is adequate growth of commercial organs destined to the harvest and finally to the market. The use of zeolite in the cultivation of arugula for heigh altitude was: with treatment 1 the heigh of the leaves of the plant was 28.05 cm, with treatment 2, the heigh was 24.45 cm, with treatment 3 the heigh was 19.8 cm and finally with the treatment 4 or **witness** the heigh was 17.2 cm, which shows that zeolite eases the growth of arugula culture.

In the results in the weight of the plant, the weight that obtained the highest yield was that in which were zeolite levels with 100 gr per m<sup>2</sup> obtained 2.27 kg/m<sup>2</sup>, followed by 60 g/m<sup>2</sup> of zeolite which able to obtain 2.02 kg/m<sup>2</sup>, also with 20 g/m<sup>2</sup> of zeolite was possible to obtain 1.91 kg/m<sup>2</sup> and the **control** was the lower one because with 0 of zeolite the

result obtained was 0,57 kg/m<sup>2</sup>. This shows that the **control** by the lack of zeolite occupies the last place in the yield per kg/m<sup>2</sup> and economically it is not profitable without the no use of zeolite.

In general with the results in the N, P y K extraction, the yield is observed, with the first treatment being 100 g m<sup>-2</sup> with the application of zeolite the plant extracts less amount of N, P y K according to the analysis showing a 4.266% N, the of 60 g of zeolite still retains 4,423%, but with 20 g of zeolite 4.710% N, which allows to observe that in this case this level of treatment does not influence and finally with the **control**, more quantity of N from the soil is extracted with a 4, 4100% N. In the present study, soil, water, parts of the organ of plants, fertilizers or organic fertilizers were taken into account as they can alter the results.

**KEY WORDS:** *Arugula Eruca sativa* Mill., Granulated Zeolite, zeolite in agriculture, clinoptilolite, ecological fertilization, phosphoric rock.



## ÍNDICE

ÍNDICE GENERAL.....	ii-v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	viii

**ÍNDICE GENERAL**

<b>Contenido</b>	<b>pág.</b>
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	3
1.2 Justificación	3
1.3 Planteamiento de problema	4
1.4 Objetivos	5
1.4.1 Objetivo general	5
1.4.2 Objetivos específicos	5
2. REVISIÓN LITERATURA O BIBLIOGRAFÍA	6
2.1 Zeolita	6
2.1.1 Origen de Zeolita	6
2.1.2 Composición mineralógica de la zeolita	7
2.1.3 Estructura cristalográfica de la zeolita	9
2.1.4 Usos de la zeolita	9
2.1.5 Zeolita en la agricultura	12
2.2 Rúcula	14
2.2.1 Origen de la Rúcula	14
2.2.2 Aspecto económico de la Rúcula a nivel Mundial	15
2.2.3 Clasificación Taxonómica	16
2.2.4 Características y Clasificación Botánica	16
2.2.5 Variabilidad Genética	17
2.2.6 Ciclo del cultivo de la Rúcula	20
2.2.7 Cuidados de Plagas y Enfermedades del cultivo de Rúcula	20
2.2.8 Cosecha y Rendimiento	21
2.2.9 Características Climáticas para el cultivo de la Rúcula	22

2.2.10	Características del Suelo para el Cultivo de la Rúcula	23
2.2.11	Necesidades hídricas	23
2.2.12	Carpas solares o invernaderos	24
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.1	Localización	25
3.2	Características Edafológicas de la Zona de la Investigación	25
3.3	Materiales	26
3.3.1	Material Vegetal	26
3.3.2	Material para la Carpa Solar	26
3.3.3	Material de Laboratorio	26
3.3.4	Insumos Empleados	26
3.3.5	Materiales de Campo	27
3.3.6	Equipos e Instrumentos de Medición	27
3.3.7	Material de Gabinete	27
3.4	Metodología	27
3.4.1	Tratamientos en Estudio	28
3.5	Características de las Unidades Experimentales	28
3.5.1	Toma de Muestras del Suelo para Laboratorio	29
3.5.2	Fertilización del Suelo para el Ensayo de la Investigación	29
3.5.3	Preparación del Sustrato para el Cultivo de la Rúcula	29
3.5.4	Sistema de Riego	30
3.5.5	Siembra directa	30
3.5.6	Manejo del Ambiente Controlado	30
3.5.7	Raleo	31
3.5.8	Labores Culturales	31
3.5.9	Toma de Datos Climáticos	32
3.6	Variables de Respuesta	32

3.6.1	Porcentaje de Emergencia	32
3.6.2	Altura de la Planta de Rúcula	33
3.6.3	Número de Hojas de Rúcula	33
3.6.4	Ancho de la Hoja de Rúcula	33
3.6.5	Diámetro del Tallo de Rúcula	33
3.6.6	Peso de las Hojas de la Rúcula	34
3.6.7	Materia Fresca de la Rúcula	34
3.6.8	Análisis Económico	34
4.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	35
4.1	Condiciones Climáticas y Edáficas	35
4.2	Comportamiento de la Temperatura en Ambiente Controlado	35
4.3	Humedad Relativa en Ambiente Controlado	36
4.4	Muestreo y Análisis del Suelo del Ambiente Controlado	38
4.5	Análisis de Características Agronómicas	38
4.5.1	Emergencia	38
4.5.2	Análisis de Varianza para Número de Hojas	42
4.5.3	Análisis de Varianza para Ancho de Hojas	45
4.5.4	Análisis de Varianza del Diámetro del Tallo	47
4.5.5	Análisis de Varianza de la Altura de la Planta	50
4.5.6	Análisis de Varianza del Peso de la Rúcula	53
4.5.7	Materia Seca Total de la Rúcula	55
4.5.8	Comparación del Análisis físico químico de Nitrógeno, Fósforo y Potasio	56
4.5.9	Comparación del Análisis físico químico del Fosforo en el Suelo Inicial y Final, en el agua y en las hojas	58
4.5.10	Comparación del Análisis físico químico del Potasio en el Suelo Inicial y Final, en el agua y en las hojas	60
4.6	Análisis Económico	62

5. CONCLUSIONES	65
6. RECOMENDACIONES	67
7. BIBLIOGRAFÍA	69
8. ANEXO	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Planta de la Rúcula	18
Figura 2. Ubicación del Departamento de La Paz, Provincia Los Andes Segunda Sección Laja, Comunidad Kallutaca	25
Figura 3. Croquis experimental de la investigación.	28
Figura 4. Zeolita en forma de harina lista para aplicar al suelo	29
Figura 5. Siembra de Rúcula en las bolsas	30
Figura 6. Humedad del medio ambiente	31
Figura 7. Toma de temperatura en el ambiente controlado de investigación	32
Figura 8. Porcentaje de emergencia de Rúcula	33
Figura 9. Temperatura máxima, media y mínima semanal en ambiente controlado	36
Figura 10. Humedad Relativa semanal máxima, media y mínima en el ambiente controlado	38
Figura 11. Porcentaje de emergencia de la Rúcula con efecto de Zeolita	42
Figura 12. Número de hojas de la Rúcula	44
Figura 13. Ancho de hojas de la Rúcula	47
Figura 14. Diámetro del cuello de la Rúcula con la Aplicación de Zeolita	49
Figura 15. Altura de la Planta de Rúcula	53
Figura 16. Peso de la Rúcula ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) por Tratamientos	55
Figura 17. Rendimiento de la materia seca y fresca de la rucula	56
Figura 18. Comparación del Nitrógeno en Diferentes Análisis Físicos Químicos	58
Figura 19. Comparación del fósforo en diferentes análisis físicos químicos	59
Figura 20. Comparación del potasio en diferentes análisis físicos químicos	60
Figura 21. Utilidad de la Producción de la Rúcula por $\text{ha}^{-1}$	63

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características Físico-químico de la Zeolita de Maule	8
Tabla 2. Características mineralógicas	8
Tabla 3. Se presenta la clasificación taxonómica de la Rúcula	16
Tabla 4. Cálculo de nutrientes para investigación	29
Tabla 5. Análisis de Varianza para la Emergencia de la Rúcula	39
Tabla 6. Prueba de Duncan para Niveles de Zeolita en la Emergencia de Rúcula	40
Tabla 7. Prueba para las Medias de Emergencia de la Rúcula	41
Tabla 8. Análisis de Varianza para Número de Hojas de Rúcula	43
Tabla 9. Prueba de Duncan rangos para número total de hojas por tratamientos.	43
Tabla 10. Prueba de Duncan para repeticiones	44
Tabla 11. Análisis de Varianza para el ancho de la hoja	45
Tabla 12. Prueba de Duncan para Ancho de la Hoja por Tratamientos	46
Tabla 13. Pruebas de múltiples rangos para ancho de la hoja	46
Tabla 14. Análisis de Varianza para Diámetro del Cuello de la Planta	47
Tabla 15. Prueba de Duncan para Diámetro del cuello de la planta de Rúcula	48
Tabla 16. Prueba de Media para el Diámetro del Cuello de la Planta.	49
Tabla 17. Análisis de Varianza para Altura de la Planta	50
Tabla 18. Prueba de Duncan para la altura de la planta	51
Tabla 19. Prueba de Múltiple rango para Números de Hojas por Tratamientos.	51
Tabla 20. Análisis de Varianza para el Peso de la Hoja	53
Tabla 21. Prueba de Duncan para el Peso de la Hoja por Tratamientos	54
Tabla 22. Prueba de Múltiples rangos para Números de Hojas	55
Tabla 23. Costo de producción de Rúcula en ambiente controlado (carpa solar)	62

**ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo 1. Figura de la Rúcula	79
Anexo 2. Producción Mundial de Zeolita	80
Anexo 3. Análisis Físico Químico de Suelos	81
Anexo 4. Análisis Físico Químico de Aguas	82
Anexo 5. Análisis Químico de Suelos: Tratamiento 1	83
Anexo 6. Análisis Químico de Suelos: Tratamiento 2	84
Anexo 7. Análisis Químico de Suelos: Tratamiento 3	85
Anexo 8. Análisis Químico de Suelos: Tratamiento 4	86
Anexo 9. Análisis Físico-químico de Vegetales: Tratamiento 1	87
Anexo 10. Análisis Físico-químico de Vegetales: Tratamiento 2	88
Anexo 11. Análisis Físico-químico de Vegetales: Tratamiento 3	89
Anexo 12. Análisis Físico-químico de Vegetales: Tratamiento 4	90
Anexo 13. Costo Económico de Producción de Rúcula -16 m <sup>2</sup>	91
Anexo 14. Costo Económico de Producción de Rúcula – Costo/ha	92



**LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS Y EQUIVALENCIAS**

CIC = Capacidad de Intercambio Catiónico

g = Gramos

% = Porcentajes

N = Nitrógeno

P = Fósforo

K = Potasio

m<sup>2</sup> = Metro cuadrado

ha = hectárea

hr = hora

L = Litro

t = toneladas

RF = Roca fosfórica

T1 = Tratamiento 1

T2 = Tratamiento 2

T3 = Tratamiento 3

T = Testigo

kg = kilogramos

HR = humedad relativa

\* indica una diferencia significativa.

**LISTA DE SIGLAS**

CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CR
CIMMYT	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, ME
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Food and agriculture Organization of the United Nations, IT
FERTOSA	Zeolita de Chile
IPGRI	International Plants Genetic Resources Institute
NCBI	National Center for Biotechnology Information United States Department of Agriculture
UMSA	Universidad Mayor de San Andrés
USDA	Departamento de Agricultura de Estados Unidos

## 1. INTRODUCCIÓN

La zeolita a nivel mundial se ha utilizado en la agricultura desde los años 60 principalmente en países como Japón y Estados Unidos. A través de numerosos ensayos de campo, se ha demostrado hasta un 60% de ahorro de nutrientes, sobre todo en los suelos altamente permeables, debido a su alta capacidad de intercambio catiónico (CIC). La zeolita se emplea para mejorar o corregir el suelo, es fácil de usar e inocua para el medio ambiente (Quilambaqui et al., s.a.).

Las propiedades físicas y químicas de las rocas fosfóricas inciden en la reducción de las pérdidas del nitrógeno en los suelos, incrementan el aprovechamiento de este elemento por los cultivos. Debido a la necesidad de maximizar el uso eficiente de los fertilizantes nitrogenados, conjuntamente con la preocupación por minimizar la contaminación ambiental, es de vital importancia la realización de estudios con el empleo de nitrógeno porque permiten obtener resultados cuantitativos más exactos y en un corto plazo (FAO, 2007).

Las zeolitas chilenas se usan en la agricultura como fertilizantes naturales u orgánicos y para el mejoramiento de los suelos, mantenimiento de la humedad y tienen gran capacidad de adsorción selectiva de iones, moléculas polarizadas del tipo clinoptilolita, son usadas para la liberación controlada de amonio en fertilizantes en la agricultura (Cáceres, 2006); estas zeolitas están directamente relacionadas con usos agroecológicos que permiten mejorar el suelo.

Diversas organizaciones han realizado numerosas investigaciones sobre la utilización de los depósitos de rocas fosfóricas locales en los suelos tropicales de América Latina y otros países, durante las últimas décadas se han obtenido avances notables en la utilización de las fuentes de roca fosfórica para su aplicación directa en los sistemas de producción agrícola en todo el mundo (FAO, 2007). Existe una gran cantidad de reservas de rocas fosfóricas a nivel mundial que se evidencian en múltiples publicaciones (Anexo, 1). Sin embargo, en Bolivia las investigaciones son escasas acerca del uso de zeolitas o de rocas fosfóricas y edafológicas, Bolivia tiene

una diversidad de suelos en todo el territorio, pero, se observan limitaciones nutricionales en los cultivos propios de cada piso ecológico, por la baja fertilidad de suelos debido a la disponibilidad deficiente de fósforo que es uno de los factores que inciden en los rendimientos, las rocas fosfóricas bolivianas, se encuentran en etapa probatoria para su uso en la agricultura, ya que este material es menos costoso y contribuye a disminuir el costo de producción. Las primeras investigaciones como por ejemplo en el cultivo de maíz y de arroz recibieron la aplicación directa de la roca zeolita de Capinota con buena respuesta, también mucho mejor es para suelos ácidos su aplicación (Bellott M., 1991), y según la Red Nacional de investigación Científica y Tecnológica en energías Renovables (MEMORIA, 2013) refiere que como es de conocimiento público, Bolivia posee recursos minerales no metálicos en gran escala y prácticamente con baja utilización, se está realizando un estudio acerca de la potencialidad de las aplicaciones de estos recursos para la obtención de Zeolitas, como son los aluminosilicatos cristalinos con propiedades porosas especiales y únicas; estos compuestos poseen una estructura tridimensional compuesta por silicio ( $\text{SiO}_4$ ) y aluminio tetraédrico ( $\text{AlO}_4$ ) enlazados por átomos de oxígeno y cationes compensadores de carga, estas estructuras forman un entramado tridimensional que están en el rango de microporos de 2-10 nm. El amplio rango de aplicaciones de zeolitas va desde intercambio iónico, mallas moleculares para la remoción de solventes, separación de gases, catálisis y últimamente para remediación ambiental. Muchas de estas zeolitas son utilizadas comercialmente y son sintéticamente producidas para ser utilizadas en reactivos químicos.

La Rúcula (*Eruca sativa* M.) es una planta conocida desde tiempos pasados por los egipcios, griegos y romanos, utilizada como ensalada siendo normalmente recolectada en forma silvestre. No ha sido cultivada a gran escala ni sometida a investigaciones científicas hasta los años 90 (Torrez, 2013).

Este cultivo es poco común en Bolivia a diferencia de otras hortalizas; es muy fácil de cultivar, crece rápidamente, no presenta muchos problemas en su manejo. Es una planta de ciclo corto, importante para una buena alimentación ya que contiene

vitaminas y minerales necesarios para el óptimo desarrollo del ser humano. Es importante mencionar que para su cultivo en el área Altiplánica es necesaria la construcción de ambientes protegidos porque el clima en esta región afecta su crecimiento normal a campo abierto por las bajas temperaturas.

### **1.1 Antecedentes**

Existen trabajos relacionados sobre el tema en otros países con el uso de zeolita en maíz (Bajaña et al., s. a.) y según Espinosa et al., 2011, la aplicación de abono órgano mineral natural y Zeofert al suelo, incrementó el rendimiento en el grano del frijol (corregido al 15 % de humedad) en un 51 % respecto al control, con diferencias significativas entre los dos tratamientos estudiados. En Bolivia existen investigaciones sobre el uso de zeolita como mejorador, para el cuidado y recuperación del suelo ácido por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), según Salinas et al., 1986; lamentablemente los trabajos actualizados aún no se han publicado.

Según la FAO, (2009) los experimentos en invernadero son interesantes porque permiten evaluar el desempeño de las rocas fosfóricas bajo condiciones controladas. Sin embargo, es indispensable realizar la evaluación final de la eficiencia agronómica de la roca fosfórica en una red de ensayos de campo establecida en lugares representativos de las zonas agroecológicas de intereses potenciales y conducida durante varios ciclos de cultivo.

### **1.2 Justificación**

El presente trabajo integra una investigación destinada a cubrir las necesidades de macro y micronutrientes de los cultivos de Rúcula con la aplicación de niveles de zeolita como una alternativa de producción, disminuyendo el impacto ambiental y asegurando un producto sano, mejorando la producción, las propiedades físicas y químicas del suelo, las condiciones en que se realiza la producción hortícola y ambientes controlados (Chaveli, & Mendoza, 2013). Hoy en día, los sistemas de producción hortícola en su mayoría son en ambientes controlados y se manejan de forma intensiva porque el hombre controla los microclimas de cada ambiente.

Según Espinosa et al., (2011), en Bolivia se realizaron algunos trabajos hortícolas, utilizando fertilización fosfatada en pastos tropicales de suelos ácidos (Salinas et al., 1986). La aplicación directa de zeolita en los cultivos de papa, lechuga, tomate, maíz y arroz es poco estudiada, Bellott (1991).

En el cultivo de Rúcula por sus características y el corto tiempo de producción que facilita al productor el tener menos problemas de plagas o enfermedades, es muy importante estudiar y explicar los usos de la zeolita para la producción en especies vegetales a través del Análisis de Crecimiento de Cultivos, que es un método explicativo para interpretar la forma y función de las plantas (Colorado et al., 2010).

Se ha evidenciado que el cultivo de la Rúcula está poco extendido en Bolivia, existen escasas investigaciones sobre sus características y particularidades; sin embargo, por su composición nutritiva, niveles de vitaminas, minerales, así como de antioxidantes, este producto es recomendado por los nutricionistas para el consumo humano. En este sentido, es de suma importancia que se cultive el producto en algunas zonas del territorio nacional como ser en los valles y zona oriental; en el caso de la zona altiplánica se aconseja el cultivo haciendo uso de los medios aplicados en otras hortalizas como ser: ambientes atemperados o invernaderos.

### **1.3 Planteamiento de problema**

La horticultura en Bolivia es muy heterogénea, cubriendo diferentes climas y sistemas de producción, Andersen y Jemio (2015), señalan que el cambio climático es un tema prioritario en la actualidad, porque son evidentes las consecuencias en la relación del hombre con la naturaleza; sin embargo, lo que no es muy visible es el trasfondo epistemológico que implica las diferentes posturas sobre el tema que tratan amenazas abióticas y bióticas.

En nuestro medio no se tienen datos representativos sobre el uso de zeolita en las hortalizas en ambientes controlados; existen escasos estudios en el país sobre el uso de zeolita en la producción de hortalizas logrando un mejor aprovechamiento y conservación de los nutrientes en el suelo, para un mejor desarrollo de los cultivos

agrícolas. Con el actual sistema de tenencia de tierra y la creciente demográfica en el Altiplano en la producción de cultivos alimentarios estos se dan en pequeñas parcelas con rendimientos relativamente bajos, lo cual en el futuro puede incidir en problemas de carencia y escasez de alimentos. Con el presente trabajo de investigación se pretende recabar mayor información sobre técnicas de producción y uso de zeolitas en el cultivo de la Rúcula en la zona andina y a través de esto, obtener resultados que permitan lograr rendimientos óptimos por unidad de superficie en ambientes atemperados y cuyos costos sean compatibles con los ofertados y comercializados en el mercado paceño y boliviano.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Evaluar de niveles de zeolita natural en el comportamiento agronómico del cultivo de la Rúcula (*Eruca sativa* Mill) en ambiente controlado en la comunidad de Kallutaca

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- ✓ Evaluar el comportamiento agronómico con diferentes niveles de zeolita en el cultivo de la Rúcula.
  
- ✓ Determinar el efecto de la zeolita natural a través de la cantidad exportada de N, P y K en las hojas de la Rúcula.
  
- ✓ Realizar el análisis económico del cultivo de la Rúcula con el uso de zeolita natural.

## 2. REVISIÓN LITERATURA O BIBLIOGRAFÍA

### 2.1 Zeolita

#### 2.1.1 Origen de la Zeolita

La zeolita es un mineral volcánico natural, formado durante millones de años, los volcanes entran en erupción expulsan lava fundida y la ceniza volcánica derramada con el transcurso del tiempo se convierte en reservorios de roca fosfórica. El nombre "zeolita" fue introducido por el mineralogista sueco Cronstedtia en 1756, para ciertos minerales de silicato en alusión a su comportamiento al ser calentados en combinación con un grano de bórax (griego zeo = borlilithos = piedra). Hacia 1842, cuarenta y seis zeolitas fueron enumeradas y se siguen describiendo nuevas especies. La primera determinación de la estructura cristalina de una zeolita se realizó con analcima siguiendo esto se concluyó que las zeolitas en general tienen aluminosilicatos y que funcionan con cationes alcalinos o alcalinotérreos (Coombs et al., 1997).

Las zeolitas son aluminosilicatos hidratados originados por fenómenos geológicos de transformación como resultado de una reacción con aguas alcalinas de cenizas volcánicas depositadas en lagos y mares someros (Cacerés, 2010).

Las zeolitas se han utilizado en la agricultura desde las décadas de 1960 como mejoradoras del suelo, aditivos de fertilizantes y como fertilizantes de liberación lenta, debido a la eficacia de estos sólidos cristalinos microsporas como intercambiadores de cationes y la capacidad de retención de agua, y a que las zeolitas son minerales no tóxicos. Estas características son importantes cuando se utilizan en grandes cantidades como en la agricultura; como se menciona en diferentes investigaciones las zeolitas son aluminosilicatos con estructura tridimensional tetraédrica compuestos de Aluminio, que contienen poros saturados por moléculas de agua y cationes intercambiables, y también pueden haber otros elementos en diversas concentraciones, composiciones mineralógicas, este tipo de zeolitas se utilizan como intercambiadores iónicos, como tamices moleculares, de



localización y aprovechamiento de las zeolitas naturales, características de los materiales zeolíticos en las investigaciones agrícolas (Costafreda, 2008).

### **2.1.2 Composición mineralógica de la zeolita**

La zeolita es un mineral compuesto fundamentalmente por silicio y aluminio, se presentan preferentemente en las rocas de origen volcánico, en las cuales se agrupan en grandes cantidades que les permite formar yacimientos ver (Tabla 1). Varias investigaciones han determinado un total aproximado de 40 minerales pertenecientes a la familia de las zeolitas, siendo los más importantes: analcima, chabacita, clinoptilolita, erionita, mordenita, faujasita, ferrierita, feulandita, gismondita, natrolita. La composición química de las rocas zeolíticas puede variar por el proceso de intercambio iónico, (propiedad inherente a las zeolitas) pero sólo en aquellos cationes intercambiables presentes en la misma como sodio, calcio, magnesio, potasio y otros. Durante este intercambio iónico las zeolitas se comportan atendiendo a sus propias leyes para este proceso, la más importante es la de orden de selectividad o afinidad por los cationes (FERTOSA, 2015). La empresa Chilena Zeolita del Maule (Tabla 1.), indica en sus investigaciones que la capacidad de intercambio catiónico total de la zeolita natural, es muy superior a la de los suelos con valor agrícola, por tanto, su aplicación mejora este importante parámetro en el suelo incrementando la fertilidad del mismo, reduciendo las pérdidas de nutrientes por lavado y mejorando la eficiencia de uso de los fertilizantes químicos. Recomiendan que se debe aplicar a hortalizas de 50 a 80 g m<sup>-2</sup>, la aplicación de zeolita natural debe realizarse preferentemente en el momento de la siembra, junto con la materia orgánica o con la fertilización de base del cultivo. También en el caso de cultivos perennes, se puede fraccionar la aplicación, aunque una aplicación anual para estos cultivos es adecuada para alcanzar los resultados esperados.

**Tabla 1. Características Físico-químico de la Zeolita de Maule**

Formulación	Número
SiO <sub>2</sub>	64,19
TiO <sub>2</sub>	0,51
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,65
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,53
MnO	0,03
MgO	0,66
CaO	3,42
Na <sub>2</sub> O	0,75
K <sub>2</sub> O	1,6
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,03
PxC	14,64
CIC	86,82 A 112,88 cml/kg

**Fuente:** FERTOSA, (2015)

**Tabla 2. Características mineralógicas**

Componente principal	Clinoptilolita , Mordenita
Otros componentes	Plagioclasa, Esmectita y Ciazolita
Color	Marfil

**Fuente:** FERTOSA, (2015)

La capacidad de intercambio catiónico (CIC); presentan generalmente en las rocas o minerales no metálicos de origen volcánico, pertenecientes al grupo de aluminio-silicatos hidratados, compuestos por aluminio, sílice, hidrógeno y oxígeno, y cationes intercambiables de Ca, Mg, y K, organizados en una estructura tridimensional tetraédrica, altamente estable. Poseen una red de cavidades, canales y microporos conectados entre sí, dependiendo del tipo de zeolita aplicada en los cultivos.

La agricultura sonorensis en los últimos años ha perdido tierras de labor por la salinidad, debido a la escasez de agua y la necesidad de obtenerla cada vez de pozos más profundos lo que provoca su salinización. El presente trabajo aborda el uso de una zeolita natural modificada químicamente para ser empleada como mejorador del suelo mediante intercambio iónico. El método empleado es similar a

los empleados a nivel mundial, con la sola diferencia de la especificidad química, mineralógica de esta zeolita natural de Sonora (Hernández, et al., 2013).

### **2.1.3 Estructura cristalográfica de la zeolita**

Las zeolitas son cristalinas, hidratadas, son aluminosilicatos que consisten en enrejados tridimensionales de tetraedros de aluminio y sílice infinitamente extendidos, emplazados por átomos de oxígeno compartidos. A modo de síntesis se puede plantear que todas las estructuras de las zeolitas pueden ser consideradas como la empaquetadura de las unidades estructurales primarias, secundarias y poliedras en el espacio (FERTOSA, 2015). Existen unos 40 tipos de zeolitas naturales conocidos y unos 200 tipos de zeolitas sintéticas. De las zeolitas naturales, sólo siete presentan aplicaciones industriales y en la agricultura, estas son: Mordenita y Clinoptilolita de mayor aplicación, Chabazita, Erionita, Ferrierita, Phillipsita y Analcima.

### **2.1.4 Usos de la zeolita**

Según FAO (2007), existen diversos métodos para evaluar las rocas fosfóricas para fines de la aplicación directa en la agricultura, el primer grupo consiste en las pruebas empíricas de solubilidad de la roca fosfórica en soluciones químicas extractivas. Las soluciones más comunes son el citrato de amonio neutro, el ácido cítrico al 2 por ciento y el ácido fórmico al dos por ciento; este último es el método preferido. El tamaño de las partículas de la roca fosfórica y la presencia de los minerales asociados a la misma pueden influenciar los resultados de la prueba de solubilidad. Las técnicas radio isotópicas pueden ser utilizadas, pero requieren personal entrenado y laboratorios especializados. Los estudios de incubación de la roca fosfórica con el suelo para su evaluación son relativamente simples. Sin embargo, los estudios de la incubación cerrada presentan limitaciones porque los productos de la reacción no son extraídos y los resultados tendrían utilidad limitada salvo que se usen como información válida a corto plazo. Los experimentos en invernadero son interesantes porque permiten evaluar el desempeño de las rocas fosfóricas bajo condiciones controladas. Sin embargo, es indispensable realizar la evaluación final de la eficiencia agronómica de las fuentes de roca fosfórica en una

red de ensayos de campo establecidos en lugares representativos de las zonas agroecológicas de interés potencial y conducidos durante varios ciclos de cultivo. Se ha desarrollado una serie de recomendaciones para llevar a cabo dicha evaluación. Dicha evaluación es también necesaria para evaluar el potencial económico de los depósitos de roca fosfórica para consumo local.

Las zeolitas son capaces de absorber la humedad hasta un 30% de su peso seco en gases, tales como nitrógeno y amonio, más de 70% en el agua y hasta 90% de ciertas rocas. Las propiedades físicas y químicas las han hecho útiles en muchas aplicaciones en la agricultura y en tratamientos de agua (Khan et al., 2009).

Paredes et al., (2013) indica que “la zeolita es un mineral natural que posee carga negativa, la cual se ve balanceada por cationes cuya carga es positiva, de esta manera constituye una trampa ideal de nutrientes como el amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y el potasio ( $\text{K}^+$ ) que serán liberados para las raíces de las plantas cuando éstas los demanden, asimismo actúa sobre el calcio descomponiendo la roca fosfórica y el yeso, esto permite disminuir las pérdidas de nutrientes por volatilización y lixiviación, las zeolitas mejoran significativamente el rendimiento de los fertilizantes y nutrientes y regulan el agua del suelo, optimizan su aprovechamiento por parte de las plantas y disminuyen la cantidad de agua requerida para los cultivos, con esta aplicación de zeolita al suelo se puede incrementar su capacidad de retener nutrientes y mejorar sus propiedades físicas y químicas porque la zeolita aporta un depósito de agua permanente, proporcionando humedad prolongada durante los períodos secos y promoviendo la rápida humectación y mejora del agua en la zona de las raíces durante el riego”.

Según Salas et al., (2011) la zeolita natural desarrolla un trabajo de absorbente natural por lo que retiene líquidos y al aplicar la zeolita al suelo provee de manera natural un ambiente húmedo ideal para las plantas, por otro lado, los nutrientes son liberados lentamente en cantidades adecuadas que son aprovechadas por las plantas de manera eficiente, beneficiándose integralmente, una cualidad de la zeolita

es la absorción de humedad de hasta un 60% de su peso, también lo hace con el amonio y otros nutrientes; el proceso consiste en retenerlos y luego liberarlos de manera lenta al suelo. También tiene la cualidad de absorción por intercambio de cationes, retiene nitrógeno, calcio, potasio y otros nutrientes que son útiles para el crecimiento y desarrollo de las plantas. La zeolita dispone la cantidad necesaria de agua y nutrientes requeridos por las plantas cubriendo sus necesidades, en este sentido se convierte en un abono orgánico. Con los consecuentes beneficios para los suelos por su composición física la zeolita dispone de calcio y potasio que beneficia a las plantas, se recarga fácilmente con la aplicación de fertilizantes y al combinarse con los suelos evita que la tierra se compacte y mantiene los niveles de oxígeno, también la zeolita ayuda a equilibrar en pH del suelo debido a sus características alcalinas, esta situación permite evitar el uso de productos cálcicos. Por otra parte, la zeolita retiene el nitrógeno y como tal disminuye la posibilidad de contaminar las capas del subsuelo o los lechos de aguas subterráneas.

Los factores que influyen en la eficiencia agronómica de las rocas fosfóricas son: la reactividad de las características del suelo asociada con las condiciones climáticas y la especie cultivada en las prácticas de manejo del cultivo. Asimismo, no todas las fuentes de rocas fosfatadas son adecuadas para la aplicación directa. Sin embargo, es posible utilizar diversos métodos para mejorar su efectividad agronómica bajo un grupo de condiciones particulares, se debe realizar un método adecuado que requiere un buen entendimiento de los factores que limitan la efectividad agronómica y además de las consideraciones técnicas, los factores socioeconómicos y aspectos de voluntad política determinarán la producción, distribución, adopción y utilización de las rocas fosfóricas por parte de los agricultores, la utilización debería ser promovida en países donde existe disponibilidad local del producto ya que países sin depósitos de roca fosfórica deberán adquirirla muchas veces a altos precios (FAO, 2007).

La aplicación directa de la roca fosfórica en forma apropiada y racional puede contribuir significativamente a la intensificación agrícola sostenible utilizando los

recursos naturales como nutrientes para las plantas con mira hacia la producción ecológica. Recientemente se han logrado avances notables en el conocimiento científico y los desarrollos tecnológicos sobre la roca fosfórica parcialmente acidulada, todavía es necesario estudiar varios temas específicos sobre la forma de aplicación del nutriente en diferentes niveles para que se comporte de manera amigable con la madre tierra (IBID).

### **2.1.5 Zeolita en la agricultura**

Según Khan et al., (2009) la aplicación de zeolita y el suelo alofánico afectan significativamente la germinación de las variedades de soja, la semilla recolectada de 20 y 40 g de zeolita dio la máxima germinación (77,79%) en comparación con las parcelas tratadas con testigo, la germinación máxima de las semillas de las parcelas tratadas con zeolita puede deberse a un mayor contenido de proteína en la semilla y a un tamaño mayor del embrión, lo que conduce a una mayor viabilidad y vigor de la semilla.

Según Chaveli et al., (2013), los resultados sobre la utilización de la zeolita natural, como complemento del abonado orgánico mostraron una variante adecuada para la obtención de buenos rendimientos en sistemas de ecológicos en los cultivos de cobertura total de suelo o de las siembras en hoja, pastos, hortalizas, arroz, canchas de fútbol o de golf. La aplicación de zeolita es de 20-100 g m<sup>-2</sup> por año, también los resultados con granulometría de 1 a 3 mm son buenos (Surco, s.a.) y (Villaquirán et al., 2015).

La zeolita es viable para su utilización en la agricultura como mejorador de la eficiencia de aprovechamiento de los fertilizantes inorgánicos, esencialmente los nitrogenados. Como mejorador del suelo, las zeolitas tienen dos propiedades en las que se fundamenta su potencial de uso agronómico, estas son: la alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) y los canales internos dentro de su estructura tridimensional, que les permite retener agua. Las zeolitas se han utilizado en la

agricultura desde la década de 1960 como mejoradores de suelo, aditivos de fertilizantes y como fertilizantes de liberación (Paredes et al., 2013).

El nitrógeno (N) es el elemento de mayor interés en la agricultura debido a que es el nutrimento que limita el desarrollo de los cultivos de hoja con mayor frecuencia. En forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) se puede movilizar rápidamente a las aguas subterráneas y superficiales y en forma de amoníaco ( $\text{NH}_3^-$ ) hacia la atmósfera, con efectos contaminantes (Habteselassie et al., 2006).

La zeolita mezclada con fertilizante es beneficiosa en la agricultura ya que es un recurso natural abundante en algunas regiones de montañas de origen volcánico tiene un alto potencial de aplicación por sus propiedades para retener y liberar los fertilizantes de manera lenta y oportuna para las plantas, por otro lado la cantidad de agua que retiene en su estructura porosa, convierte a la zeolita en un depósito que asegura una mejor condición de humedad en el suelo, lo que favorece al cultivo aún en época de sequía (Paredes et al., 2013).

Uno de los tipos de zeolita que más se utiliza en la agricultura es la clinoptilolita, por su alta capacidad de intercambio catiónico, catálisis, hidratación y deshidratación. Se aplica en los cultivos para promover el crecimiento de las plantas: retiene el nitrógeno y lo va liberando poco a poco, con lo que se mejora su efecto en las plantas (Polat et al., 2014). La clinoptilolita por la cantidad de amoníaco que posee, ha sido aprovechada en la preparación de fertilizantes químicos que tienden a mejorar la capacidad para atrapar el nitrógeno y promover la liberación más lenta de los iones de amonio a la solución del suelo (Morante, 2004).

La capacidad de intercambio iónico de la clinoptilolita, le permite un lento desprendimiento de nutrientes, tales como el Hierro (Fe), el Cobre (Cu), el Zinc (Zn), el Magnesio (Mg) y el Cobalto (Co) hacia la solución del suelo; por otra parte, la habilidad de absorber el exceso de humedad, hacen de esta zeolita un excelente

aditivo para los fertilizantes logrando prevenir su apelmazamiento y endurecimiento durante el almacenaje (Morante, 2004).

Por otra parte, Abba (2004), indica que “a través de los años, el suelo debe ser recuperado mediante técnicas de fertilización adecuadas, para mejorar el medio ambiente. En este trabajo se evaluó el comportamiento agronómico de mezclas físicas de urea granulada con la zeolita, como regulador de la disponibilidad de nitrógeno (N) en la solución del suelo y su efecto sobre el rendimiento del cultivo de trigo (*Triticum aestivum*), los tratamientos fueron ocho, un aporte de 150 kg N/ha sin zeolita como testigo, y tres mezclas físicas de urea con 10, 20 y 30% de zeolita respectivamente; se obtuvo como resultado que el cultivo de trigo produjo tendencias a incrementar los componentes numéricos de rendimiento a excepción del peso de mil gramos, a partir de la adición de un 20% del zeolita en mezcla física con urea, además de permanecer el N en la zona radicular, evitando el lavado o lixiviación hacia capas más profundas y pudiendo quedar disponible para la demanda de un cultivo posterior”.

## **2.2 Rúcula**

### **2.2.1 Origen de la Rúcula**

La Rúcula (*Eruca vesicaria* Mill), es de origen mediterráneo y se encuentra ampliamente distribuida por todo el mundo, la Rúcula pertenece a la familia de las *Brassicaceae* (Inestroza & Escalona, 2015). Es una planta anual, originaria del sur de Europa que pertenece a la familia Brassicaceae, la Rúcula es originaria del cercano Oriente – Mediterráneo de las culturas más antiguas; comenzó a conocerse en el sur de Europa y el oeste de Asia, poco a poco se extendió a otros continentes como ser América Sur y Norte (Dixon, 2007).

Según Fourie et al., (2016) “*Brassica campensis*, *Brassica carinata*, *Brassica chinensis*, *Brassica hirta*, *Brassica juncea*, *Brassica napus*, *Brassica nigra*, *Brassica oleraceae*, *Brassica oxyrrhina* y *Lange*, *Brassica rapa*, *Capsella bursa-pastoris*, *Eruca sativa*, *Erucastrum gallicum*, *Hesperis matronalis*, *Lepidium draba* , *Lepidium*



*latifolium*, *Lepidium sativum*, *Moricandia moricandioides*, *Nasturtium officinale*, *Raphanus sativus*, *Sinapsis alba*, *Sisymbrium austriacum* y *Sisymbrium irio*” Aunque el uso de cultivos de Brassicaceae para su biofumigación, cubierta y/o características deficientes del huésped no siempre es eficaz para reducir los niveles por partes millón, se ha demostrado en muchos estudios como una opción alternativa eficaz para combatir la mayoría de estas plagas; En última instancia, estos cultivos de cobertura pueden reducir la huella ecológica de la agricultura, por tiempo que mejoran la estructura del suelo (Nyczepir y Thomas, 2009).

### **2.2.2 Aspecto económico de la Rúcula a nivel Mundial**

Según Pino, (2012) la Rúcula (*Eruca sativa* Mill.) es una hortaliza perteneciente a la familia Brassicaceae ampliamente consumida en el mundo, especialmente por su sabor levemente picante y amargo; la siembra de la Rúcula posee un ciclo de cultivo corto y este se puede efectuar en espacios pequeños, es de fácil manipulación al momento de la cosecha, embolsado y transporte.

La inversión necesaria en el cultivo de la Rúcula es considerablemente menor que en la de la lechuga, al observar el margen bruto del cultivo de lechuga es casi 5 veces superior a la Rúcula, y necesita un mayor periodo de tiempo, siendo el tiempo de la Rúcula la mitad respecto de la lechuga. El análisis de producción podrá simular alternativas diferentes de productividad, comparando ambos cultivos en esquemas de siembra, teniendo en cuenta la disponibilidad de distintas variables como ser: superficie cultivada, mano de obra y capital (Seez et al., 2017).

La Rúcula, es miembro de la familia Brassicaceae se conoce comúnmente como "cohete, cohete verdadero, ensalada de Rúcula, roquette o pimienta blanca" en inglés. Esta planta se cultiva en el oeste y en el sur de Turquía, alrededor de 170-190 toneladas por año, sus hojas se consumen ampliamente en ensaladas aromáticas y comidas típicas (Uğur et al., 2010).

Siguiendo lo establecidos en los párrafos anteriores, se ve la necesidad de implementar el cultivo de Rúcula en Bolivia, no solamente por sus amplios beneficios para la salud del ser humano, si no, también por su bajo costo y estadio corto a nivel de producción foliar.

### 2.2.3 Clasificación Taxonómica

Según la información básica para plantas de Estados Unidos de América del Norte, Cuenca del Pacífico y el Caribe, incluyendo las listas de verificación, mapas de distribución, imágenes, con las hojas de datos, atributos, estado, referencias y enlaces a información adicional para la población, para su clasificación el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2017) y Dixon (2007) en la Tabla 3.

**Tabla 3. Se presenta la clasificación taxonómica de la Rúcula**

<b>Rango</b>	
<b>Reino</b>	Plantae o Planta
<b>Subreino</b>	Tracheobionta o planta vascular
<b>Subdivisión</b>	Spermatophyta o Plantas con Semillas
<b>División</b>	Magnoliophyta – plantas con flores
<b>Clase</b>	Magnoliopsida – Dicotiledóneas
<b>Subclase</b>	Dilleniide
<b>Orden</b>	Caprales
<b>Familia</b>	Brassicaceae/Cruciferae – Familia de la mostaza
<b>Género</b>	<i>Eruca</i> Mill. – Ensalada de Rúcula
<b>Especie</b>	<i>Eruca vesicaria</i> (L)Cav. – Ensalada de Rúcula
<b>Subespecies</b>	<i>Eruca vesicaria</i> (L) Var. ssp. <i>Sativa</i> (Mill) Thell. – Ensalada de Rúcula

**Fuente:** USDA, (2017)

### 2.2.4 Características y Clasificación Botánica

El hábito y forma de vida de la Rúcula la clasifica como una hierba anual o bienal, generalmente hispida (con pelos rígidos y largos); la raíz presenta una raíz principal que es gruesa y otras secundarias ramificadas, napiforme, tiene una coloración blanquecina y alcanza hasta los 20 cm; el tamaño del tallo generalmente ramificado desde la base hasta el meristemo terminal mide casi un metro a nivel de la producción de la semilla (Navarro et al., 2011); las hojas miden desde 6 hasta 30 cm, de tipo pinnatífidas o pinnadamente lobadas, algunas con el lóbulo terminal más grande, las superiores son más pequeñas y menos profundamente divididas a veces

sésiles; con una inflorescencia tipo racimosa, con flores de 1,5 a 3,0 cm de longitud, incluyendo el pedicelo de 2-5 mm, sépalos de 10 a 12 mm de largo, pétalos de 15 a 25 mm de longitud, blancos, amarillentos o verdosos, con venación morada oscura o café; sus frutos son de tipo silicuas de 2 a 4 cm de largo, a veces con algunos pelos ascendentes, angostos, aplanados y terminados en pico, con un nervio medio manifiesto en las valvas que son quilladas, el pico es aplanado y en ocasiones tan largo como el resto del fruto y la semilla mide alrededor de 1,5 mm de largo, ovoide de color café amarillento y las plántulas tipo hipocólito cilíndrico, de hasta 2,5 mm, sin pelos; cotiledones cuadrados a oblongos, de 2,5 a 5,5 mm de largo y 3,5 a 8 mm de ancho, sin alternas con apariencia de opuestas (Dixon, 2007).

Las Brassicaceae cuyas hojas se caracterizan por un sabor más o menos picante son utilizadas generalmente en ensaladas ya sean cocidas o crudas. Las variaciones de sabor y de turgencia en la Rúcula es grande, dependiendo de la especie, su diversidad genética y el medio ambiente en el cual se desarrolla. En la región mediterránea se pueden encontrar tres especies principales, junto con varios taxos que también se encuentran silvestres en toda la región.

### **2.2.5 Variabilidad Genética**

A Vavilov (s.a.) citado por Villatoro (2011) indica que la Mejora Genética Vegetal es la evolución de las plantas dirigida por el hombre para cubrir las necesidades de mayor y mejor producción de especies, se trata básicamente de una elección hecha por éste de las mejores plantas dentro de una población con características variables. Se debe cultivar la especie seleccionada en estado silvestre, ya que será la materia prima con la que se desarrolla la mejora genética.

La Rúcula viene de varias especies de plantas pertenecientes de la familia brassicaceae o también llamada crucíferas, siendo las más comunes aquellas pertenecientes a los géneros *Eruca* y *Diplotaxis*. *Eruca*. es una planta anual y parcialmente alógama ( $2n = 2x = 22$ ), e incluye las especies *Eruca stenocarpa* y *Eruca vesicaria* (Padulosi, 1997). Esta última a su vez presenta las subespecies *Eruca vesicaria* subsp. *vesicaria*, *Eruca vesicaria* subsp. *sativa* (Miller) Thell., *Eruca*

*vesicaria* subsp. *pinnatifida*, *Eruca vesicaria* subsp. *longirostris* (Uechtr.) Maire, Ambas especies y subespecies se pueden encontrar de forma silvestre, aunque solo *E. vesicaria* subsp. *sativa* (Miller) Thell. ha sido domesticada y ocupa un área geográfica más amplia en el mundo, las subespecies *vesicaria* y *pinnatifida* son endémicas de España y Noroeste de África. La subsp. *longirostra* (Uechtr.) Maire, aunque ha sido descrita, un detallado análisis morfométrico basado en las dimensiones del fruto no termina de confirmar este estatus: *Eruca aurea* Batt., *Eruca deserti* Pomel, *Eruca drepanensis* Caruel, *Eruca eruca* (L.) Britton, *Eruca foetida* Moench, *Eruca glabrescens* Jord., *Eruca lanceolata* Pomel, *Eruca latirostris* Boiss, *Eruca longistyla* Pomel, *Eruca oleracea* J.St.-Hil, *Eruca permixta* Jord, *Eruca ruchetta* Spach, *Eruca stenocarpa* Boiss. & Reut (Villatoro, 2011). Según Dixon, (2007) y Gómez, (1993) la Rúcula es una planta herbácea de ciclo corto y anual que tiene las siguientes características más sobresalientes en la Figura 1 y ver el (Anexo 2).

**Figura 1. Planta de la Rúcula**



**Fuente:** Arboretum, (1985)

La *Eruca sativa* Mill es una antigua cosecha de gran importancia económica y agronómica. Aquí, el genoma mitocondrial completo de *Eruca sativa* fue secuenciado y anotado. La molécula circular es de 247696 pb de largo, con un contenido de G + C de 45,07%, que contiene 33 genes codificadores de proteínas, tres genes rRNA y 18 genes tRNA. El genoma mitocondrial de la *Eruca sativa* puede dividirse en seis círculos maestros y cuatro moléculas subgenómicas a través de tres repeticiones a grandes pares, dando como resultado una estructura más dinámica del mtDNA de *Eruca sativa* Mill en comparación con otros mitóticos crucíferos. La comparación con el ADN de MtnNA de *Brassica napus* reveló que la mayoría de los genes con función conocida se conservan entre estos dos mitotipos excepto para los genes *ccmFN2* y *rrn18*, y 27 mutaciones puntuales que se dispersaron en los 14 genes que codifican la proteína. El análisis de las relaciones evolutivas sugirió que *Eruca sativa* está más estrechamente relacionada con la especie *Brassica* y con *Raphanus sativus* que con *Arabidopsis thaliana* (IBID).

La *Eruca* es un género del viejo mundo de la tribu Brassiceae, se compone de cuatro especies que son nativas de la región mediterránea. Se cultiva un taxón, *Eruca vesicaria* ssp. *Sativa* frecuentemente denominada *Eruca sativa*. La subespecie *sativa* ( $n = 11$ , genoma *Eruca*), es una hierba anual que se ha cultivado desde la antigüedad como un vegetal de hoja (cohete o Rúcula), ya sea para ensalada (mediterránea, América del Norte). La Brassicaceae es una familia grande de plantas con aproximadamente 338 géneros, 3.709 especies y es de especial interés ya que incluye muchas plantas de cultivo de Brassicas, plantas ornamentales (*Aubrieta*, *Iberis*, *Lunaria*, *Arabis*, *Draba* y otros), así como los organismos modelo en las ciencias vegetales (*Arabidopsis thaliana*, *Arabidopsis lyrata*, *Arabidopsis halleri*, *B. napus*, *Capsella rubella*, *Thellungiella halophila*, *Arabis alpina* y pocos otros). La familia muestra una distribución mundial, excepto en la Antártida. La mayoría de los taxones se encuentran en las regiones templadas del hemisferio norte. Sin embargo, numerosos géneros también se encuentran en el Hemisferio Sur (como *Draba*, *Lepidium* y *Cardamine*), algunos de ellos son incluso endémicos de las regiones del sur de África (Richard, 2011). La subespecie *vesicaria* se produce en el

Mediterráneo, mientras que spp. Sativa ha sido introducida y naturalizada en muchas áreas del mundo. En algunas regiones, como en México, las poblaciones naturalizadas son abundantes. El potencial agronómico y la diversidad de germoplasma de las especies de *Eruca* (Richard, 2011).

### **2.2.6 Ciclo del cultivo de la Rúcula**

La Rúcula es de ciclo muy corto, es de 20 a 60 días después de la siembra, la cosecha se realiza de diferentes maneras; las hojas no deben tener más de 20 días, se cosecha con raíz o por cortes sobre la base del tallo, se corta sobre el ápice de 10 a 15 cm. Tiene muy buena capacidad de rebrote y se pueden realizar de 4 a 5 cortes con intervalos de 10 a 20 días según menciona (Pino, 2012).

Generalmente a los 6 a 7 días emergen las plántulas en el ambiente controlado, por tener micro-clima adecuado para su producción (Carelli et al., 2016) y para Maroto (2002), se debe conservar en frío; dependiendo mucho de la época de siembra para el rendimiento y puede variar desde 7500 a 8000 kg ha<sup>-1</sup>. En los cultivos de hoja, las aportaciones de aproximadamente 1000-2000 ppm de CO<sub>2</sub> anticipan la cosecha y aumentan los rendimientos.

### **2.2.7 Cuidados de Plagas y Enfermedades del cultivo de Rúcula**

Como es de ciclo corto, el crecimiento no requiere ninguna labor extra más que el riego y rara vez se encuentra con malezas, las mismas se deben extraer ya que la hoja es muy pequeña y sufre alteraciones de coloración si tiene competencia y por tanto para el mercado no es aceptable las hortalizas de la familia de crucíferas (Dixon, 2007).

Las plagas del cultivo de la Rúcula son los insectos devoradores de hojas y frutos, como la polilla de las crucíferas (*Plutella xylostella*) se reconoce por el efecto de cribado sobre las hojas, en su mayoría son las mariposas de la col (*Pieris Brassicae*), el Noctuido de la col (*Mamestra Brassicae*) y la Rosquilla Negra (*Spodoptera* sp.) estas producen larvas que devoran las hojas en las noches, algunos insectos son minadores de hojas como la *Lyriomiza* sp. es una pequeña oruga que crea galerías

en las hojas. También el pulgón con aspecto de rombo que succiona savia de la planta provocando malformación de las hojas y otras partes de la planta. Los insectos de suelo, son gusanos grises (*Agrotis sp.*) que devoran la base del tallo de la planta en la primera semana de la emergencia, y los caracoles y babosas generalmente afectan en la época de lluvia y producen daños en las hojas de la planta de la Rúcula cita en los cultivos de Brassicaceas por Maroto, (2008) y las Rúcula puede sufrir el ataque de la roya y el oídio, dos enfermedades provocadas por diferentes tipos de hongos. En su mayoría son afectadas por las plagas de las crucíferas como los hongos de suelo, (*Rhizoctonia solani* y *Pythium*) que causan el pudrimiento de la raíz, el pie negro de las coles (*Phoma solani*) que provoca podredumbre de cuello de la planta; el mildiu (*Peronospora brassicae*) inicia con unas manchas amarillentas que se extienden en toda la hoja, finalmente produce el amarronamiento y la sequedad de las zonas afectadas de la planta; por otra parte la roya blanca de las crucíferas (*Puccinia porri*) produce puntitos que desprenden un polvo blanco en vez de las hojas.

### **2.2.8 Cosecha y Rendimiento**

La Rúcula es una especie que permite su producción todo el año, con variabilidad de la cantidad de producción en diferentes estaciones del año y en distintas condiciones de manejo, la mayoría de los productores efectúan la cosecha cortando la lámina foliar y el pecíolo a nivel del suelo formando manojos para no marchitar las hojas, cuando es baja la oferta, puede cosecharse arrancando de la planta, ya que es más fácil de empaquetar para su venta (Grasso et al., 2017).

La Rúcula es una planta que exige pocos cuidados. Las cosechas de sus hojas tiernas se hacen en primavera, seis a siete semanas después de sembrar la semilla en el suelo (Galaz, 2006), la cosecha de la Rúcula a nivel foliar o puede ser por extracción de la planta con raíz o por cortes al ras del suelo, tiene relativamente buena capacidad de rebrote al sacar las hojas la planta se desarrolla nuevamente, la cosecha cuando la hoja es aún joven ya que cuando envejece se torna amarga y no es apetitosa, la Rúcula es una especie perteneciente a la familia Brassicaceae de la que se consumen las hojas jóvenes, muy apreciadas por su particular aroma y sabor

picante, de gran interés nutricional porque contienen numerosos compuestos beneficiosos como la vitamina A y C, y otras vitaminas, el sector hortofrutícola nacional se está preparando para afrontar los retos comerciales del momento y se está implementando el plan hortícola, que busca mejorar la competitividad del país en estos sectores.

Según Pino, (2012) la cosecha se realiza por extracción de la planta con raíz o por cortes al ras del suelo, se cosecha cuando la hoja es joven y de color verde, en Argentina prefieren la hoja pequeña no más de 12 cm de largo, fresca y turgente. La venta se realiza en atados de 250 a 400 g. EL rendimiento es de 7,500 a 28,000 kg ha<sup>-1</sup>, que puede variar según la época del año, el número de cortes, tamaño de hoja a cosecha, la variedad y la densidad de plantas.

### **2.2.9 Características Climáticas para el cultivo de la Rúcula**

Las características sobre los manejos agronómicos del cultivo de la Rúcula son: en sombreadores, agro-textiles, invernaderos y en carpas solares estos permiten el aumento de la calidad comercial y continuidad de la producción durante todo el año, así con un valor estratégico en el esquema de comercialización y la vida de poscosecha (Grasso et al., 2017).

En los invernaderos las hojas son más crocantes y de buena calidad ya que está bajo estructuras cubiertas con redes plásticas utilizadas para filtrar selectivamente la radiación solar interceptada, disminuyendo así la radiación incidente. Es importante estudiar el comportamiento de las especies de hoja de la Rúcula al extender su utilización a otras épocas del año para tener información sobre rendimiento y adaptación al medio ambiente (IBID).

Como se puede observar en los párrafos precedentes generalmente la planta de la Rúcula es de clima templado con temperatura suave, tiene un desarrollo óptimo en terrenos soleados, el exceso de sol les confiere un sabor amargo a las hojas y en estos casos, conviene buscar un lugar más sombrío o realizar la siembra en



primavera o dependiendo del país y sus estaciones, el frío intenso impide el desarrollo de la planta pero esta situación puede ser controlada con la utilización por ejemplo de invernaderos.

#### **2.2.10 Características del Suelo para el Cultivo de la Rúcula**

Los suelos óptimos para el cultivo de Rúcula son de textura media (franco-arenoso a franco arcilloso), con un pH de 5 a 6,5; la densidad de la siembra de Rúcula es de 8 cm entre plantas y 20 a 30 cm entre surcos. Asimismo, dentro de los requerimientos de la planta de Rúcula, los suelos deben ser calcáreos, permeables, bien estructurados y drenados y ricos en materia orgánica (Benítez, 2003).

Se trata de un cultivo de hoja que exige nitrógeno para su desarrollo rápido, también requiere que el suelo esté bien suministrado de macro y micro elementos, principalmente de boro, la carencia de este micro-elemento se manifiesta cuando la planta es joven, también la carencia de calcio durante el crecimiento puede ocasionar la alteración conocida como “tipburn”, el tallo se ahueca y los tejidos se reblandecen y se ponen pardos según el estadio de la crucífera (Infoagro, 2015).

#### **2.2.11 Necesidades hídricas**

Las necesidades hídricas determinan que la Rúcula requiere riegos regulares, manteniendo cierta humedad durante todo el año, según las estaciones y el área geográfica, si se mantiene el suelo en condiciones húmedas y con un correcto control de nutrientes o abonado, los resultados serán mejores (Carelli et al., 2016).

Requiere un riego regular, manteniendo cierta humedad durante el otoño y la primavera, si se mantiene el suelo en condiciones húmedas y con un correcto abonado, la germinación se produce a los 5-14 días (Maroto, 1995); en Bolivia requiere el riego en el invierno y la primavera porque las lluvias son escasas en esas épocas del año.

Según Dixon (2007), la cosecha se realiza a los 40 días las necesidades hídricas determinan que la Rúcula requiere riegos regulares, manteniendo cierta humedad

durante todo el año, según las estaciones y el área geográfica, si se mantiene el suelo en condiciones húmedas y con un correcto control de nutrientes o abonado, los resultados serán mejores. Generalmente a los 6 a 7 días emergen las plántulas en el ambiente controlado, por tener micro-clima adecuado para su producción (Carelli et al., 2016). Aproximadamente después de la siembra, el sistema de riego más eficiente es por goteo, porque proporciona el agua de una forma homogénea gota a gota, en muchos casos no requiere labores culturales el cultivo de Rúcula por sus estadios cortas del crecimiento, esto debido al corto tiempo de su ciclo y de cosecha, pueden ser cosechadas desde la raíz y también solo las hojas, es muy susceptible al marchitamiento por la alta transpiración bajo condiciones de altas temperaturas (Fernández, 2014).

### **2.2.12 Carpas solares o invernaderos**

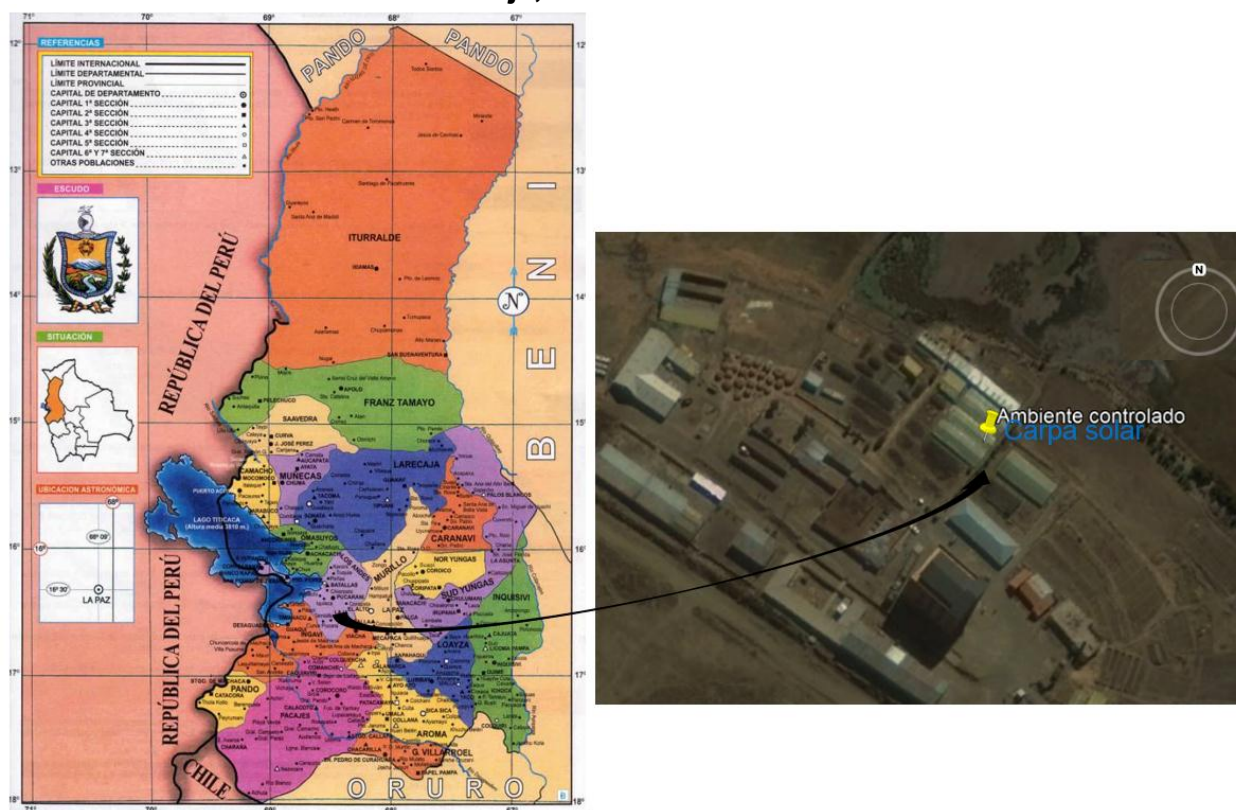
Fue a partir de los años 40 que se usaron plásticos para la agricultura con el objetivo de una mayor producción en cualquier época del año, pero sobre todo desde los años 70 se empezó a desarrollar la aplicación del polietileno y sus co-polímeros para la cubierta del invernadero. El material idóneo para esta aplicación debe ser, además de confortable, en forma de película, foto-estable para mantener sus propiedades durante largos tiempos de exposición al sol; transparente a la radiación visible, para permitir a la planta realizar la fotosíntesis; opaco a la radiación infrarroja, para evitar la pérdida de calor por radiación durante la noche, e hidrófilo, para evitar la condensación de agua en forma de gotitas. En Bolivia según Paye, (2009) se construyeron “ambientes controlados” denominados invernaderos, estos son del tipo doble agua o denominados también tipo capilla. Los materiales utilizados fueron, rígidos de madera aserrada o callapos de eucaliptos, agrofilm y ladrillos adaptados y adecuados a la zona altiplánica.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Localización

El presente estudio se efectuó en la comunidad de Kallutaca, Municipio de Laja, que tiene una extensión de 1.658 km<sup>2</sup> de superficie perteneciente a la Provincia los Andes del Departamento de La Paz, con una latitud 16°31,27'68" Sur y una longitud 68°18.31' 51" Oeste, aproximadamente a una altura 3.840 m.s.n.m. (Paye, 2015) (Figura 2), La comunidad se halla limitada por las Provincias Larecaja y Omasuyos al Norte, al Sur la Provincia Ingavi, al Este la Provincia de Pedro Domingo Murillo y al Oeste por el Lago Titicaca.

**Figura 2. Ubicación del Departamento de La Paz, Provincia Los Andes Segunda Sección Laja, Comunidad Kallutaca**



Fuente: Elaboración propia y EARTH, (2017)

#### 3.2 Características Edafológicas de la Zona de la Investigación

La topografía de la región está conformada por terrazas lacustres y colinas residuales, suelos elevados y homogéneos, con afloramientos rocosos. Su clima es

frío, las características climatológicas de la zona son propias del Altiplano Central y Norte con una precipitación media anual de 613 mm a 700 mm, con temperaturas mínimas de -3°C, y una máxima de 22°C. Kallutaca se encuentra a 20 km de distancia de la ciudad de La Paz (Hoffmann & Cecilia, 2012).

### **3.3 Materiales**

#### **3.3.1 Material Vegetal**

El material vegetal establecido en la variedad de *Rúcula sativa* Mill de mayor difusión y venta por los productores habituales, la procedencia de las mismas es europea y de Argentina certificada por el SENASAG y el INIAF la cual fue *Rúcula (Eruca sativa* Mill).

#### **3.3.2 Material para la Carpa Solar**

La carpa solar ya se encontraba estructurada y en funcionamiento, esta se denomina de doble agua, y este tipo de construcción es favorable al momento de evitar los daños producidos por granizadas y nevadas.

#### **3.3.3 Material de Laboratorio**

El trabajo de laboratorio se realizó de la siguiente manera: se procedió a la toma de muestras del suelo según las técnicas para tomar las muestras del lugar de investigación y también se tomó las hojas de *Rúcula* para ver análisis de cuanto exportada de N, P y K.

- Análisis del suelo inicial y final
- Análisis del agua
- Análisis físico químico de la hoja de *Rúcula*

#### **3.3.4 Insumos Empleados**

La zeolita fue adquirida en Chile de Maule, los fertilizantes obtenidos de la semillería local y la semilla certificada por el SENASAG y el INIAF.

- Zeolita
- Nitrofoska azul y urea

### 3.3.5 Materiales de Campo

- Cintas de identificación
- Bolsas plásticas (30 x 20 cm)
- Pala, Rastrillo y picota

### 3.3.6 Equipos e Instrumentos de Medición

- Una libreta de campo para anotaciones
- Una balanza analítica de precisión de 100 kg
- Una analítica digital de precisión a 0.001 gramos.
- Un termómetro (Max. y Min.)
- Un termómetro para el suelo (Three –way meter)
- Cámara fotográfica
- Equipo de computación y paquetes informáticos

### 3.3.7 Material de Gabinete

El material de gabinete consta principalmente de software de libre difusión, descargado y registrado debidamente, entre ellos tenemos:

- Teléfono Celular Samsung Galaxy note 4.
- Un ordenador para la redacción de la investigación
- Programa Statgraphics X 64

## 3.4 Metodología

Para el presente estudio se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA), con cuatro niveles de zeolita y cuatro repeticiones (Ochoa, 2009). El modelo lineal aditivo es el siguiente:

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

**Dónde:**

$Y_{ij}$  = Una observación cualquiera

$\mu$  = Media poblacional

$\alpha_j$  = Efecto del  $j$ -ésimo tratamiento.

$\varepsilon_{ij}$  = Error experimental

### 3.4.1 Tratamientos en Estudio

$T_1$ : = 100 g m<sup>-2</sup> de zeolita

$T_2$ : = 60 g m<sup>-2</sup> de zeolita

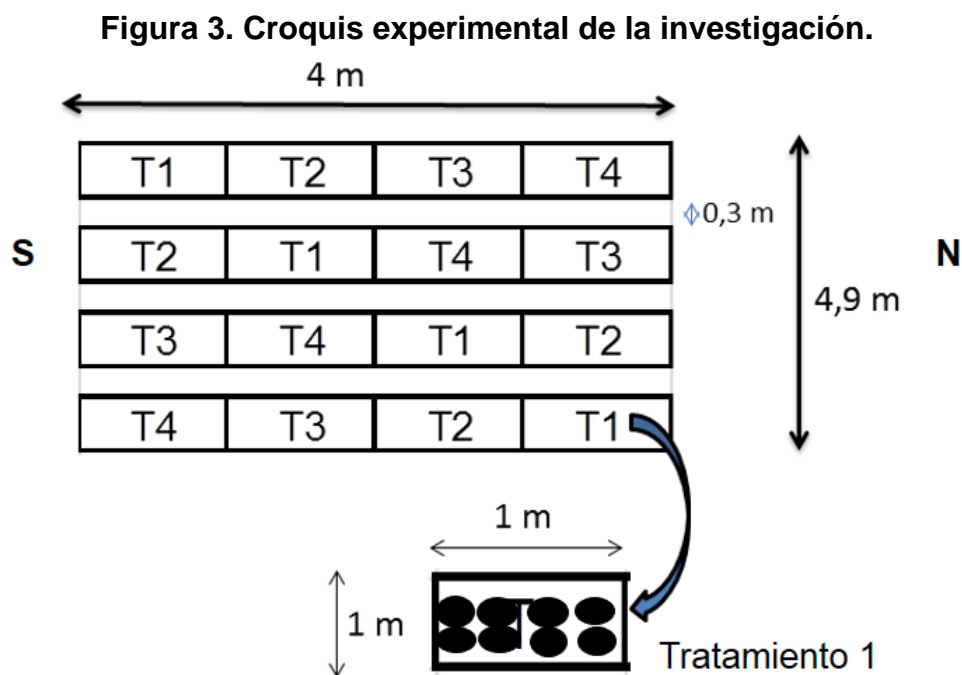
$T_3$ : = 20 g m<sup>-2</sup> de zeolita

$T_4$ : = Testigo 0 g m<sup>-2</sup> de zeolita

Se aplicó los niveles de zeolita natural a cada tratamiento, con mucho cuidado en el croquis realizado para la investigación.

### 3.5 Características de las Unidades Experimentales

Se realizó la medición del terreno del experimento en una superficie total de 16 m<sup>2</sup> y cada nivel de tratamiento de 1 m<sup>2</sup> en ambiente controlado (ver la siguiente Figura 3).



Para el diseño experimental se tomaron cuatro tratamientos y cuatro repeticiones, en cada tratamiento o unidad se cultivaron plantas de Rúcula con niveles de zeolita como los tres tratamientos y el testigo.

### 3.5.1 Toma de Muestras del Suelo para Laboratorio

Se tomaron las muestras de suelo para llevar al laboratorio al inicio y al final del trabajo de investigación y se tomaron en cuenta los métodos de toma de muestra en zigzag para el adecuado resultado de la investigación.

### 3.5.2 Fertilización del Suelo para el Ensayo de la Investigación

Se calcularon los fertilizantes para hortalizas de hoja tomando en cuenta los cultivares de crucíferas, ya que pertenece a esa familia la Rúcula ver la (Tabla 4).

**Tabla 4. Cálculo de nutrientes para investigación**

Abonado de Fondo	Unidad de fertilizante (%)	kg ha <sup>-1</sup>	En su pureza kg ha <sup>-1</sup>
Nitrógeno total	12	600	72
Fósforo asimilable	12	600	72
Potasio soluble	17	600	102
Magnesio	2	600	12
Urea	46	66	30

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.5.3 Preparación del Sustrato para el Cultivo de la Rúcula

Previa preparación de un sustrato: suelo del lugar mezclándolo con zeolita para cada nivel de tratamiento (Figura 4), se llenaron las bolsas de (30\*20 cm) con sustrato preparado aproximadamente 3 kg y se colocaron en el ambiente controlado o carpa solar de acuerdo al diseño experimental.

**Figura 4. Zeolita en forma de harina lista para aplicar al suelo**



**Fuente:** FERTOSA, (2014)

### 3.5.4 Sistema de Riego

El sistema de riego se realizó en la primera semana dos veces al día en pocas proporciones, por bolsa se regó con 0,25 litros en dos porciones de H<sub>2</sub>O cuidando sin llegar a punto de marchitez, para no afectar las raíces de las plántulas, la segunda semana en la primera fase diariamente, luego se incrementó de acuerdo al desarrollo del cultivo y a los tratamientos, registrando los volúmenes y estimando el global de agua utilizada: medio litro por bolsa y como estaban tipo maceta no hubo mucho problema de riego.

### 3.5.5 Siembra directa

Una vez llenadas las bolsas de 30x20 cm con el sustrato y con los niveles de zeolita, se regaron para homogeneizar el sustrato y se colocaron las semillas en cada bolsa de cultivo, una de las repeticiones se ve en la Figura 5:

**Figura 5. Siembra de Rúcula en las bolsas**



Fuente: Elaboración propia

### 3.5.6 Manejo del Ambiente Controlado

Se colocaron las bolsas sembradas con la Rúcula en el sitio definitivo, se controló la ventilación del ambiente para garantizar una óptima temperatura, se evitaron altas y bajas temperaturas midiendo con el termómetro ver (Figura 6) por último, las bolsas



fueron cubiertas con malla raschell en los primeros días de emergencia para evitar la radiación directa a las plántulas de la Rúcula.

**Figura 6. Humedad del medio ambiente**



Fuente: Elaboración propia

### 3.5.7 Raleo

En este caso no hubo raleo ya que según el tratamiento emergieron y no había necesidad de hacer este paso en la investigación, en los tratamientos se observaba claramente el número de plantas por bolsa de cultivo de cada unidad de nivel de zeolita.

### 3.5.8 Labores Culturales

Las labores culturales son esenciales, se realizaron semanalmente extrayendo las malezas de cada bolsa y de otros cultivares en el ambiente controlado para no tener hospederos de plagas o enfermedades, esto es muy importante porque en el

ambiente controlado la producción es intensiva por los altos costos de la construcción del ambiente.

### 3.5.9 Toma de Datos Climáticos

Los datos micro-climáticos se registraron diariamente en la carpeta de anotaciones; se tomaron las temperaturas máximas y mínimas en ambiente controlado; al mismo tiempo se tomó la humedad relativa (Figura 7).

**Figura 7. Toma de temperatura en el ambiente controlado de investigación**



Fuente: Elaboración propia, (2016)

## 3.6 Variables de Respuesta

### 3.6.1 Porcentaje de Emergencia

Las recolecciones de datos se realizaron la primera semana para tener homogéneos los números de plantas y microclima (Figura, 8).

**Figura 8. Porciento de emergencia de Rúcula**



Fuente: Elaboración propia

### **3.6.2 Altura de la Planta de Rúcula**

La altura de la planta se midió desde el cuello de la planta hasta el ápice de la hoja y fue expresada en centímetros en cada tratamiento de la investigación.

### **3.6.3 Número de Hojas de Rúcula**

Es el número de hojas verdaderas fotosintéticamente activas, las hojas fueron contadas y sin las afectadas por los daños que tuvieron en la etapa de senescencia de las mismas.

### **3.6.4 Ancho de la Hoja de Rúcula**

Es el ancho de la hoja, se midió con mayor dimensión lateral, valor relativo con hojas compuestas, expresados los valores en centímetros.

### **3.6.5 Diámetro del Tallo de Rúcula**

El diámetro de cuello de la Rúcula, se midió en la zona de la planta donde se separan las raíces del tallo y área foliar, expresado en centímetros.

### 3.6.6 Peso de las Hojas de la Rúcula

El peso se cosechó en parte de las plantas, es decir la biomasa visible acumulada durante el crecimiento, pesada en fresca, expresada en gramos por unidad de niveles de zeolita y el testigo en la investigación realizada.

### 3.6.7 Materia Fresca de la Rúcula

Las hojas cosechadas fueron llevadas al Instituto Boliviano de la Ciencia y Tecnología Nuclear (IBTEN) para su análisis fisicoquímico de los tres tratamientos con zeolita y uno de testigo, para determinar el porcentaje de humedad de las hojas frescas, la materia seca de las mismas y el porcentaje de Nitrógeno, Fosforo y Potasio.

### 3.6.8 Análisis Económico

La evaluación de análisis económico se realizó a partir del beneficio/costo, que consistirá en el cálculo del Beneficio Neto y las relaciones Beneficio Costo (B/C) en base a los rendimientos y costos obtenidos por cada tratamiento, para determinar la rentabilidad de una determinada cosecha realizada.

$$BN = BB - CqV$$

**Donde:**

CqV = Costos que varían

BB = Beneficio bruto

BN = Beneficio neto

Se considera para el análisis económico la tasa marginal que es el índice que permite valorar económicamente los resultados de una alternativa. La fórmula utilizada es la siguiente:

$$TRM = \Delta BN / \Delta CqV \times 100$$

**Dónde:**

TMR = Tasa de retorno marginal

$\Delta BN$  = Incremento del beneficio neto

$\Delta CqV$  = Incremento de costos que varían

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIONES**

Los resultados que se presentan a continuación corresponden al periodo de enero a febrero de 2016 de 31 DDS de la siembra bajo tres niveles de Zeolita y el testigo con las estrategias de mantener la humedad y conservar o retener N, P y K en el suelo.

### **4.1 Condiciones Climáticas y Edáficas**

Para conservar un mejor control de las condiciones micro-climáticas y edáficas para el presente estudio, se realizó un análisis del suelo al iniciar y al finalizar la investigación y se controlaron las condiciones micro-climáticas del ambiente para las condiciones óptimas del cultivo de Rúcula estudiado y se evitaron problemas de estrés fisiológico por factores externos como bajas temperaturas o falta de riego.

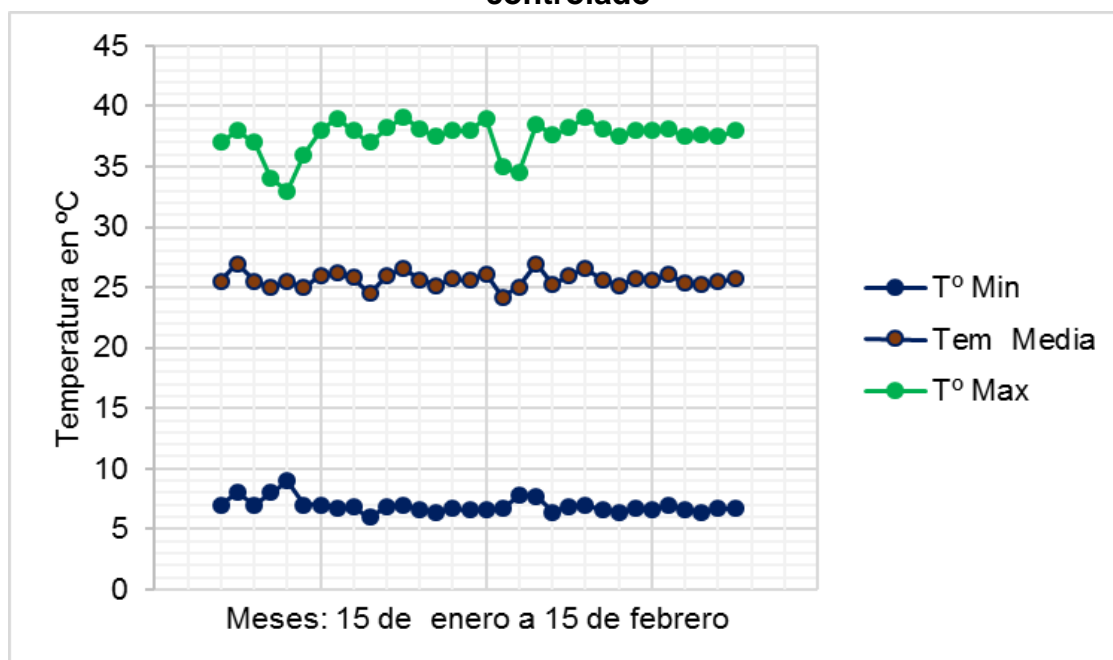
Estrada (2012), señala que las condiciones adversas climáticas como las granizadas, heladas, temperaturas extremadamente bajas y altas la radiación solar, presentes en la mayoría de las regiones del Altiplano, no permiten cultivar hortalizas a campo abierto, reduciendo la disponibilidad de dichos alimentos y en consecuencia limitando el acceso a las mismas, así como los hábitos de consumo. Se pretende introducir el cultivo de Rúcula por su rápido crecimiento y su consumo en ensaladas para reducir la desnutrición ya que aporta este cultivo hierro y otros elementos que favorecen la seguridad alimentaria.

### **4.2 Comportamiento de la Temperatura en Ambiente Controlado**

La temperatura es el factor que determina los procesos metabólicos de generación de asimilación y generación de biomasa que actúan directamente sobre la fotosíntesis, de esta forma controlar la temperatura es determinante para tener óptimas condiciones para los cultivos bajo las carpas solares o invernaderos, la Figura 9 refleja el comportamiento de las temperaturas en los meses de enero a febrero que son las temperaturas máximas y mínimas. En general, el óptimo para la división celular es de 5-6 °C mayor que la expansión. La curva de respuesta de velocidad de crecimiento a la temperatura depende mucho de especie y tipo de órgano. El óptimo es de 15-25 °C.

En el estudio realizado el invernadero consta de paredes de adobe y el techo de agrofilm de 250 micrones, pues es ideal para la zona de los Valles y el Altiplano de Bolivia, la orientación y el ángulo de inclinación de los techos fueron establecidos de acuerdo a las normas de posición del sol y del viento (Paye, 2015); en la temperatura del invernadero es importante tomar en cuenta los parámetros a considerar en el control climático: los procesos físicos, radiación solar, la temperatura, la humedad relativa, la iluminación, el CO<sub>2</sub>, el control del ambiente, la ventilación, ventilación natural, ventilación forzada, la climatización de invernaderos durante períodos fríos, sistemas de calefacción, empleo de pantallas térmicas, climatización de invernaderos en períodos cálidos, sistemas de sombreo, la ventilación, la refrigeración por evaporación de agua, la iluminación artificial en invernaderos, la fertilización carbónica en invernaderos, en sistemas integrales de control climático (Infoagro, 2009) y tomar en cuenta las coordenadas geográficas.

**Figura 9. Temperatura máxima, media y mínima semanal en ambiente controlado**



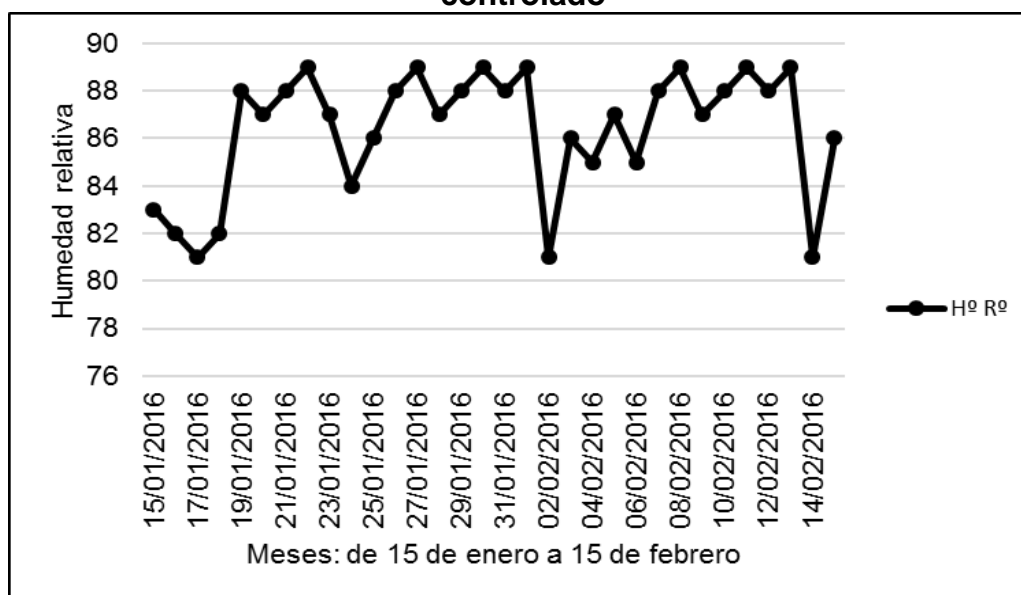
#### 4.3 Humedad Relativa en Ambiente Controlado

En un ambiente atemperado o invernadero se controla la humedad y la temperatura de acuerdo a las necesidades de los cultivos y el tipo de construcción; según

Infoagro (2009), existe una relación inversa de la temperatura con la humedad por lo que, a elevadas temperaturas, aumenta la capacidad de contener vapor de agua y por tanto disminuye la humedad relativa (HR). Con temperaturas bajas, el contenido en HR aumenta. En la Figura 10 se observa el comportamiento de la humedad máxima y mínima registrada entre las semanas de enero y febrero de 2016. La humedad no varía y en el cultivo de Rúcula no se observaron variaciones en el crecimiento por los problemas de humedad, ya que por estar en la época lluviosa las temperaturas y la humedad relativa fueron constantes. En el ambiente controlado hubo riego controlado, por tanto, existía la humedad adecuada.

Infoagro (2009), cita que la humedad relativa es la cantidad de agua contenida en el aire, en relación con la máxima que sería capaz de contener a la misma temperatura y existe una relación inversa de la temperatura con la humedad por lo que a elevadas temperaturas, aumenta la capacidad de contener vapor de agua y por tanto disminuye la HR". Con temperaturas bajas, el contenido en HR aumenta en el ambiente controlado ya que el hombre da todas las condiciones adecuadas para que desarrollen las hortalizas, cada especie o variedad tiene una humedad ambiental idónea para vegetar en perfectas condiciones como los coles, la lechuga, el tomate, el pimiento. Es muy importante la HR del aire ya que es un factor climático que puede modificar el rendimiento de los cultivos. Cuando la HR es excesiva las plantas reducen la transpiración y disminuyen su crecimiento, con foliares pequeñas y se producen abortos florales por apelmazamiento del polen y un mayor desarrollo de enfermedades criptogámicas. Por el contrario, si es muy baja, las plantas transpiran en exceso, pudiendo deshidratarse, además de los comunes problemas de mal cuaje, para que la HR se encuentre lo más cerca posible del óptimo el agricultor debe ayudarse del higrómetro. El exceso puede reducirse mediante ventilado, aumento de la temperatura y evitando el exceso de humedad en el suelo. La falta puede corregirse con riegos, llenando canalillas o balsetas de agua, pulverizando agua en el ambiente, ventilado y sombreado. La ventilación cenital en invernaderos con anchura superior a 40 m es muy recomendable, tanto para el control de la temperatura como de la HR.

**Figura 10. Humedad Relativa semanal máxima, media y mínima en el ambiente controlado**



#### 4.4 Muestreo y Análisis del Suelo del Ambiente Controlado

El sustrato de la parcela experimental presentó las siguientes características según el informe emitido por el de Instituto Boliviano de la Ciencia y Tecnología Nuclear (IBTEN) el análisis fisicoquímico del suelo muestra inicialmente y a la finalización de la investigación y del agua, se presentan en los (Anexos 3 y 4) y para los tratamientos con zeolita en diferentes niveles y la exportación de nutrientes en las hojas y canto de nutrientes queda en el suelo de N, K y P, ver los (Anexos del 5 al 12).

#### 4.5 Análisis de Características Agronómicas

##### 4.5.1 Emergencia

En la Tabla 5, se presenta el análisis de varianza del porcentaje de emergencia de plántulas de la Rúcula en los cuatro niveles de zeolita. En el porcentaje de emergencia se observa significancia estadística para los tratamientos, puesto que el valor P es menor que 0.05, con un nivel de confianza al 95%; mientras que el factor repeticiones no tiene un efecto estadísticamente diferente. De acuerdo a las investigaciones con la germinación se prueba la conveniencia de usar como sustrato



la zeolita, favoreciendo así acciones de conservación *in vitro* de cactáceas y mayor viabilidad y desarrollo, aprovechando lo favorable del sustrato debido a su abundancia y fácil obtención (Salas et al., 2011) sería importante usar zeolita en la emergencia de las semillas de horticultura para tener mejor resultado y mayor viabilidad en la emergencia de las semillas de hortalizas.

**Tabla 5. Análisis de Varianza para la Emergencia de la Rúcula**

Fuente	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Valor de P
A: Tratamientos	3	208,25	69,4167	33,32	0,000
B: Repeticiones	3	0,25	0,25	0,12	0,946
Residuos	9	18,75	2,08333		
Total corregido	15	227,75			

Mora (2011), en una investigación sobre el propósito de evaluar el potencial de rendimiento del cultivo de papa con la aplicación de diferentes niveles de zeolita natural e Identificar el o los niveles de zeolita natural que contribuyan a la obtención de mayores rendimientos del cultivo y efectuar el análisis económico de los tratamientos en estudio, mostró buenos comportamientos agronómicos en la combinación de zeolita natural más la fertilización complementaria de acuerdo al análisis de suelo, por tanto, la investigación realizada es positiva.

De otra parte, la aplicación de zeolita natural debe realizarse preferentemente en el momento de la siembra, junto con la materia orgánica o con la fertilización de base del cultivo o antes de la siembra para mejor viabilidad de la investigación. En otras ocasiones es bueno fraccionar la aplicación de zeolita para cultivos perennes, aunque una aplicación anual para estos cultivos es adecuada para alcanzar los resultados esperados (FAO, 2007).

El método empleado para discriminar entre las medias, es el procedimiento de comparación múltiple de Duncan. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0. La Tabla 6 nos permite apreciar la comparación múltiple y determinar las diferencias significativas entre pares de medias, con un nivel de confianza al 95%, se

puede apreciar que el tratamiento 1 (con 100 g de zeolita), el tratamiento 2 (con 60 g de zeolita) y el tratamiento 3 (con 20 g de zeolita), se agrupan, al realizar la comparación por pares estos tratamientos no manifiestan diferencias estadísticas, mientras que el testigo (con 0 g de zeolita) es diferente a cada uno de los tratamientos.

Khan et al.; (2009) en el estudio sobre la aplicación de zeolita en el suelo alofánico afectaron significativamente la germinación de las variedades de soja. La semilla recolectada de 20 y 40 g de zeolita dio la máxima germinación (77,79%) en comparación con las parcelas tratadas con el testigo. La germinación máxima de las semillas de las parcelas tratadas con zeolita puede deberse a un mayor contenido de proteína en la semilla y a un tamaño mayor del embrión, lo que conduce a una mayor viabilidad y vigor de la semilla.

**Tabla 6. Prueba de Duncan para Niveles de Zeolita en la Emergencia de Rúcula**

Tratamientos	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos homogéneos
Tratamiento 4	4	50,00	3,60844	X
Tratamiento 3	4	86,25	3,60844	X
Tratamiento 2	4	90,00	3,60844	X
Tratamiento 1	4	96,26	3,60844	X

La condición experimental que reporta mejores resultados en la investigación, evaluada a través de la generación de biomasa de la especie vegetal, al final de la experimentación, es la del suelo fértil y muy parecida al suelo fertilizado con biosólidos acondicionados con clinoptilolita y roca fosfórica (120 g/planta, base húmeda) y finalmente se ve en suelo testigo, pobre en nutrientes, (80 g/planta) según (Vaca et al., s.f.) por tanto con el nivel de 100 g de zeolita fueron mejores los resultados de viabilidad de la semilla de la Rúcula.

La Tabla 7 aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 3 pares indica, que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza.

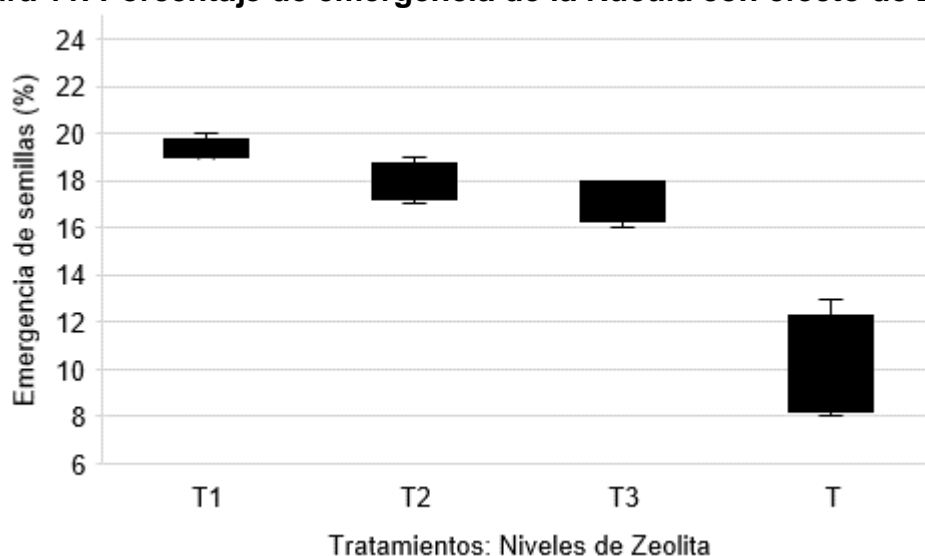
**Tabla 7. Prueba para las Medias de Emergencia de la Rúcula**

Contraste	Sig.	Diferencia
1 – 2		6,25
1 – 3		10,0
1 – 4	*	46,25
2 – 3		3,75
2 – 4	*	40,0
3 – 4	*	36,25

En la Figura 11, en los tratamientos se observan claramente las diferencias de los niveles de zeolita entre el tratamiento 1 y el tratamiento 2 donde se halla una variación de seis plantas, con el tratamiento 3 varía once plantas y con el testigo hay una diferencia de 46 plantas.

Estudio realizado por Díaz et al., (2009), al evaluar el efecto del tipo de zeolita, se reportaron diferencias estadísticas para el peso de 100 semillas y rendimiento por planta, donde la “Zeolita – C” reportó los mayores valores con 43.54 g y 17.16 g, respectivamente, además, al evaluar el efecto de la dosis de zeolita, se determinó que el 25% de zeolita permite alcanzar los mayores valores para número de granos por vaina, peso de 100 semillas, rendimiento por planta y por hectárea, a pesar de no ser estadísticamente diferente con respecto a las dosis de 50 y 75% de zeolita, por tanto, el uso de zeolita influencia en el rendimiento.

**Figura 11. Porcentaje de emergencia de la Rùcula con efecto de Zeolita**



#### 4.5.2 Análisis de Varianza para Número de Hojas

En la Tabla 8 se presenta el análisis de varianza para del número de hojas de las plantas de Rùcula en los cuatro tratamientos con distintos niveles de zeolita. En el número de hojas se observa significancia estadísticamente para los tratamientos, puesto que el valor P es menor que 0.05, con un nivel de confianza al 95%; mientras que el factor de repeticiones no tiene un efecto estadísticamente diferente.

Este estudio comparó una mejor altura de la planta y una mejor producción de materia seca entre los tratamientos, las concentraciones de nitrógeno de todas las partes de las plantas fueron similares para todos los tratamientos y mostraron mejores concentraciones de P, absorción y eficiencia de uso K en el maíz y se incrementó significativamente para los tratamientos con zeolita excepto para las raíces; en el tratamiento 5 y tratamiento 6 aumentaron significativamente la captación de K, tratamiento 6 aumentó significativamente la absorción de N y P y la eficiencia de uso, mientras que tratamiento 2 aumentó significativamente la eficiencia del uso de K, (Lija et al., 2013).

González (2007), la investigación realizada sobre la modificación de los fertilizantes N, P y K con dosis más altas de zeolita de clinoptilolita y mejoraron las propiedades

químicas del suelo, la absorción de nutrientes de la variedad Masmadu, los fertilizantes compuestos modificados con la zeolita de clinoptilolita mejoraron el uso de K. Había diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos dentro de cada localidad, pero el análisis de tratamientos por localidades reflejó en muchos casos efectos estadísticamente diferentes entre tratamientos, con zeolita ofrece mejores posibilidades de incrementar la producción de maíz bajo riego, y por tanto la investigación es adecuada con el uso de zeolita en la producción de hortalizas.

**Tabla 8. Análisis de Varianza para Número de Hojas de Rúcula**

Fuente	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F Calculada	Valor de P
A: Tratamientos	3	57,6875	19,2292	67,54	0,000
B: Repeticiones	3	1,1875	0,395833	1,39	0,3076
Residuos	9	2,5625	0,284722		
Total corregido	15	61,4375			

En la Tabla 9 con el método empleado para discriminar entre las medias, es el procedimiento de comparación múltiple de Duncan. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.

**Tabla 9. Prueba de Duncan rangos para número total de hojas por tratamientos.**

Tratamientos	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
4	4	8,25	0,266797	X
3	4	9,5	0,266797	X
2	4	12,0	0,266797	X
1	4	13,0	0,266797	X

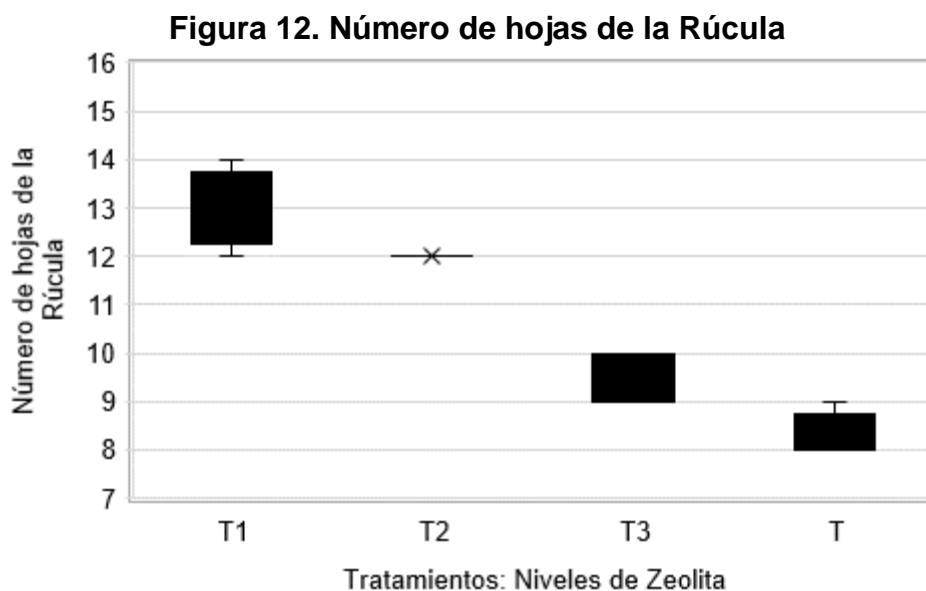
La Tabla 10 nos permite apreciar la comparación múltiple y determinar las diferencias significativas entre pares de medias, con un nivel de confianza del 0 al 95%, se puede apreciar que el tratamiento 1 (con 100 g de zeolita), con un valor medio de 13 es diferente al tratamiento 2 (con 60 g de zeolita), con un valor medio de 12, al tratamiento 3 (con 20 g de zeolita), con un valor medio de 9.5 y el testigo (con 0 g de

zeolita) con un valor medio de 8.25, al apreciar la Tabla 10 en las comparaciones entre pares podemos observar las diferencias entre cada uno de los tratamientos.

**Tabla 10. Prueba de Duncan para repeticiones**

Contraste	Sig.	Diferencia
1 – 2	*	1,0
1 – 3	*	3,5
1 – 4	*	4,75
2 – 3	*	2,5
2 – 4	*	3,75
3 – 4	*	1,25

En este sentido en la Figura 12 se observan las diferencias con los niveles de zeolita aplicada en cada tratamiento en la investigación sobre los números de hojas en la producción, en conclusión, el tratamiento 1 con una media de 13 hojas y el tratamiento 2 con 12 hojas, son mejores que el tratamiento 3 con 10 hojas y el testigo con 8 hojas, por tanto, la zeolita influye en la multiplicación de células en la planta para producir mayor cantidad de hojas.



La investigación realizada y resultados similares por Jhon et al., (s.a.), que se muestran a continuación, los parámetros de calidad, observándose que los mayores

contenidos de materia seca y almidón corresponden a la urea mezclada con zeolita al 15 y 20% respectivamente, los restantes parámetros se comportaron satisfactoriamente con una tendencia al aumento en el caso de la urea mezclada con zeolita al 15% en los resultados del tomate, se observó que el mejor comportamiento se logró con la urea convencional más zeolita al 15%. Es importante destacar que los contenidos de nitrato disminuyeron en los tratamientos donde se aplicó la urea modificada con zeolita con respecto a la urea convencional. Este comportamiento se asocia al efecto de liberación lenta que les proporciona la zeolita a los fertilizantes nitrogenados y los resultados obtenidos por medio del método Isotópico corroboraron los alcanzados por el método convencional, pudiéndose observar que el porcentaje de utilización, fue mayor en la variante donde se aplicó zeolita, en la que se obtuvo una acumulación de nitrógeno por la planta de un 26%, por tanto la investigación realizada es positiva, porque en el suelo se mantiene con la comparación del testigo.

#### 4.5.3 Análisis de Varianza para Ancho de Hojas

En la Tabla 11 se presenta el análisis de varianza del ancho de las hojas de Rúcula en los tres tratamientos y el testigo con distintas dosis de zeolita.

En el ancho de hojas se observa significancia estadística para tratamientos, puesto que el valor P es menor que 0.05, con un nivel de confianza al 95%; mientras que el factor repeticiones no tiene un efecto estadísticamente diferente.

**Tabla 11. Análisis de Varianza para el ancho de la hoja**

Fuente	Gl	Suma de Cuadrado	Cuadrado medio	F calculada	Probabilidad F
A: Tratamientos	3	9,09182	3,03061	6,71	0,0113
B: Repeticiones	3	2,00782	0,66927	1,48	0,2839
Residuos	9	4,06256	0,451395		
Total corregido	15	15,1622			

El método empleado para discriminar entre las medias, es el procedimiento de comparación múltiple de Duncan, con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es

igual a 0. La Tabla 12 nos permite apreciar la comparación múltiple y determinar las diferencias significativas entre pares de medias, con un nivel de confianza al 95%, se puede apreciar que el tratamiento 1 (con 100 g de zeolita), con un valor medio de 6,925 es diferente con el testigo (con 0 g de zeolita) con un valor medio de 4,8; mientras que el tratamiento 2 (con 60 g de zeolita), con un valor medio de 6,01 y el tratamiento 3 (con 20 g de zeolita), con un valor medio de 5,8825 no muestran diferencias estadísticamente significativas en la comparación por pares; el testigo es diferente al tratamiento 1 que es similar a los tratamientos 2 y 3.

**Tabla 12. Prueba de Duncan para Ancho de la Hoja por Tratamientos**

Tratamientos	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
4	4	4,8	0,336	X
3	4	5,88	0,336	X
2	4	6,01	0,336	X
1	4	6,92	0,336	X

En la Tabla 13 no existen diferencias estadísticamente significativas, entre aquellos niveles que compartan una misma columna. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de comparación múltiple de Duncan. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.

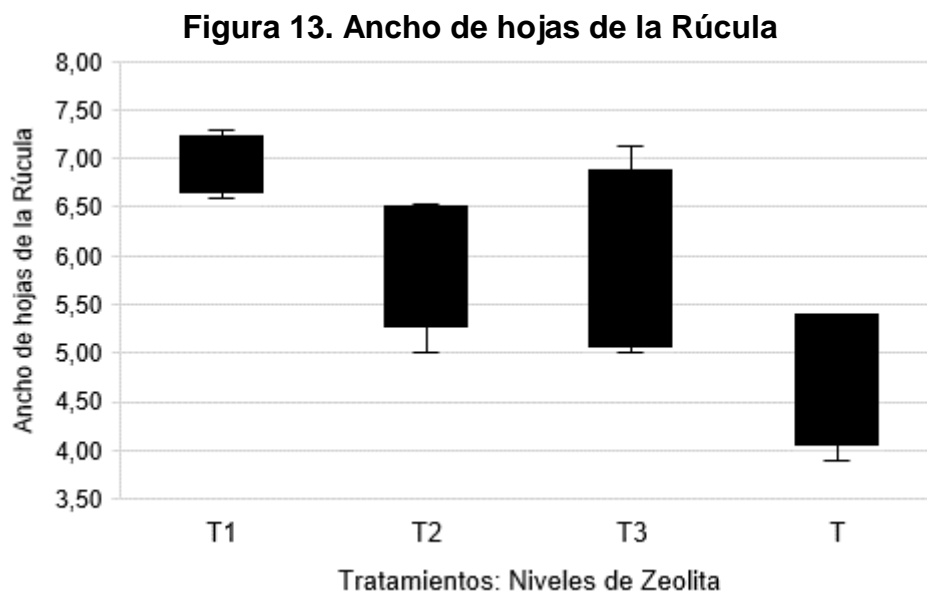
**Tabla 13. Pruebas de múltiples rangos para ancho de la hoja**

Contraste	Sig.	Diferencia
1 – 2		0,9150
1 – 3		1,0425
1 – 4	*	2,1250
2 – 3		0,1275
2 – 4	*	1,2100
3 – 4	*	1,0825

En la Figura 13 se observan las diferencias de ancho de las hojas con la aplicación de los niveles de zeolita en cada tratamiento en la producción de Rúcula, por tanto, la producción es mejor con el tratamiento 1 con una media de 7 cm de ancho las hojas,



los tratamientos 2 y 3 con 6 cm de ancho las hojas, y el testigo con 5 cm de ancho, por tanto, la zeolita influye en la multiplicación de células en la planta y el crecimiento de las hojas para producir mayor tamaño y masa foliar.



#### 4.5.4 Análisis de Varianza del Diámetro del Tallo

En la Tabla 14 se presenta el análisis de varianza de diámetro del tallo de la Rúcula en los tres tratamientos con distintos niveles de zeolita y el testigo. En el diámetro del tallo se observa significancia estadística para los tratamientos, puesto que el valor P es menor que 0.05, con un nivel de confianza al 95%; mientras que el factor repeticiones no tiene un efecto estadísticamente diferente.

**Tabla 14. Análisis de Varianza para Diámetro del Cuello de la Planta**

Fuente	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F calculado	Prob. F
A: Tratamientos	3	0,00085275	0,00028425	8,51	0,0054
B: Repeticiones	3	0,00009225	0,00003075	0,92	0,4694
Residuos	9	0,00030075	0,0000334167		
Total Corregido	15	0,00124575			

El método empleado para discriminar entre las medias, es el procedimiento de comparación múltiple de Duncan. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0. La Tabla 15 nos permite apreciar la comparación múltiple y determinar las diferencias significativas entre pares de medias, con un nivel de confianza al 95%, se puede apreciar que el tratamiento 1 (con 100 g de zeolita), con un valor medio de 0,0875 no es diferente del tratamiento 2 (con 60 g de zeolita), con un valor medio de 0,0815, y el tratamiento 3 (con 20 g de zeolita), con un valor medio de 0,077, y se agrupan en un solo sector siendo indiferentes los niveles de zeolita, mientras que el testigo (con 0 g de zeolita) con un valor medio de 0,0675, muestra diferencias estadísticas en la comparación por pares con cada uno de los tratamientos.

En esta investigación, en la variable del diámetro de tallo se hicieron 4 lecturas en un intervalo de 15 días cada una. No se encontró diferencia significativa en ningún intervalo de tiempo, es decir se acepta la hipótesis nula de que todos los tratamientos son iguales. Estos resultados de la variable rendimiento, coinciden con los obtenidos, en el experimento realizado con zeolita en el cultivo de arroz, se encontró que el tratamiento urea (4.140 kg/ha), fue estadísticamente significativo con relación al testigo (2,320 kg/ha). Además, menciona esta investigadora, que el tratamiento urea compartía deficiencia significativa con el tratamiento área + zeolita (3.950 kg/ha) cabe mencionar que el porcentaje de zeolita empleada fue del 25 %, a diferencia de este experimento que se usó un 20% de zeolita según Quilambaqui et al.; (s.a.) quien cita a Estrada (2003).

**Tabla 15. Prueba de Duncan para Diámetro del cuello de la planta de Rúcula**

Tratamientos	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
4	4	0,0675	0,00289036	X
3	4	0,077	0,00289036	X
2	4	0,0815	0,00289036	XX
1	4	0,0875	0,00289036	X

En la Tabla 16, aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la

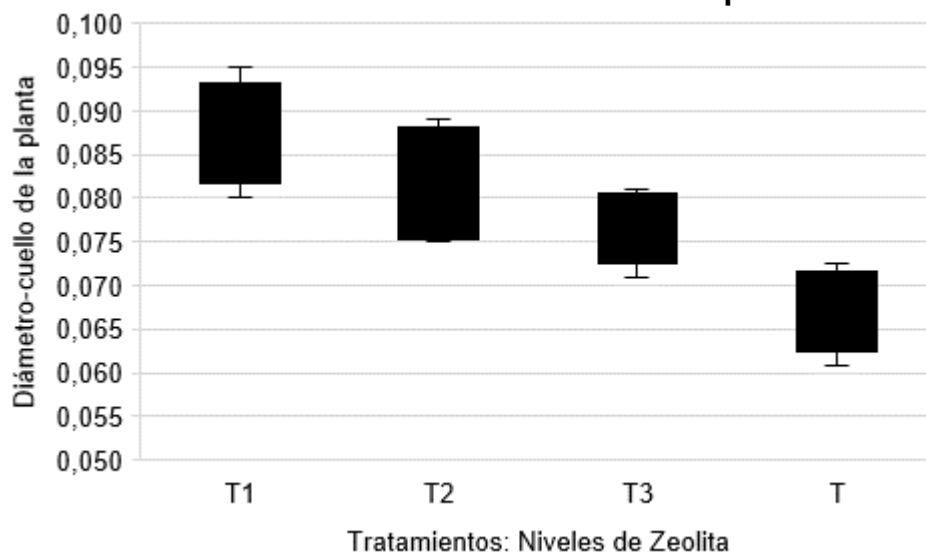
salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 4 pares indica que éstos muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza.

**Tabla 16. Prueba de Media para el Diámetro del Cuello de la Planta.**

Contraste	Sig.	Diferencia
1 - 2		0,006
1 - 3	*	0,0105
1 - 4	*	0,02
2 - 3		0,0045
2 - 4	*	0,014
3 - 4	*	0,0095

En la Figura 14 se ve el diámetro del cuello de la planta de Rúcula con distintos tamaños, con aplicación de los niveles de zeolita en cada tratamiento con el diámetro de las plantas en la producción de Rúcula, por tanto, es mejor el tratamiento 1 con una media de 0,08 cm de diámetro las plantas, el tratamiento 2 con un diámetro de 0,082 cm las plantas, y el tratamiento 3 con 0,077cm de diámetro las plantas, con el testigo con un 0,067 cm de diámetro las plantas, por tanto, la zeolita influye en el grosor del tallo en la multiplicación de células en la planta y el crecimiento de las plantas para producir mayor tamaño, la masa foliar y el peso.

**Figura 14. Diámetro del cuello de la Rúcula con la Aplicación de Zeolita**



Según Obregón et al., (2017) en los tratamientos con excepción del testigo absoluto y el testigo–zeolita (T2), se observaron diámetros de tallos superiores a 6.5 cm, aunque sin diferencias significativas entre ellos, lo que indica que, a pesar de la presencia de la enmienda, la aplicación de N a los cultivos es necesaria para garantizar el adecuado crecimiento del cultivar.

#### 4.5.5 Análisis de Varianza de la Altura de la Planta

En la Tabla 17 se presenta el análisis de varianza del ancho de las hojas de Rúcula en los cuatro tratamientos con distintos niveles de zeolita. En la altura final de la planta se observa significancia estadística para los tratamientos, puesto que el valor-P es menor que 0.05, con un nivel de confianza al 95%; mientras que el factor repeticiones no tiene un efecto estadísticamente diferente.

**Tabla 17. Análisis de Varianza para Altura de la Planta**

Fuente	Gl.	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Probabilidad F
A: tratamientos	3	279,69	93,23	111,43	0,0000 ***
B: Repeticiones	3	9,65	2,21667	3,84	0,0506*
Residuos	9	7,53	0,836667		
Total corregidos	15	296,87			

El método empleado para discriminar entre las medias, es el procedimiento de comparación múltiple de Duncan. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0. La Tabla 18 nos permite apreciar la comparación múltiple y determinar las diferencias significativas entre pares de medias, con un nivel de confianza al 95%, se puede apreciar que el tratamiento 1 (con 100 g de zeolita), con un valor medio de 28.05, es diferente del tratamiento 2 (con 60 g de zeolita), con un valor medio de 24.45, estos varían con el tratamiento 3 (con 20 g de zeolita), con un valor medio de 19.8, y este difiere del testigo (con 0 g de zeolita), con un valor medio de 17.2, se muestran diferencias estadísticamente significativas en la comparación por pares con cada uno de los tratamientos como se puede observar.

**Tabla 18. Prueba de Duncan para la altura de la planta**

Tratamientos	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
4	4	17,2	0,457	X
3	4	19,8	0,457	X
2	4	24,45	0,457	X
1	4	28,05	0,457	X

En la Tabla 19 se ve la altura de la planta con distintos tamaños la media de cada tratamiento, con la aplicación, es mejor el tratamiento 1 con una media de 28,05 cm de las plantas, el tratamiento 2 con una altura de 24,45 cm de las plantas, el tratamiento 3 con 19,8 cm la altura de las plantas y el testigo con un 17,2 cm de las altura las plantas, por tanto, la zeolita influye en la altura de las plantas, en el crecimiento para producir mayor tamaño, masa foliar y peso. Esta Tabla 19 aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 6 pares indica que éstos muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de comparación múltiple de Duncan. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.

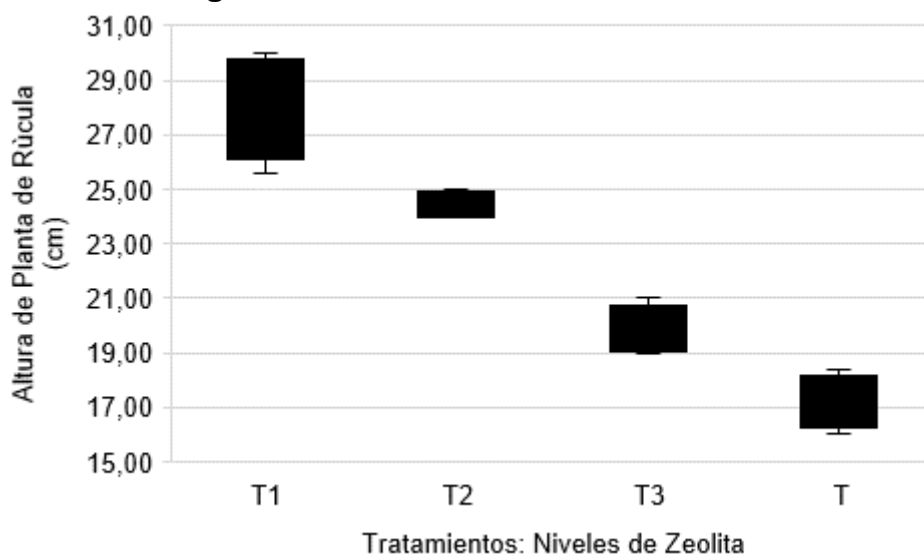
**Tabla 19. Prueba de Múltiple rango para Números de Hojas por Tratamientos.**

Contraste	Sig.	Diferencia
1 - 2	*	3,6
1 - 3	*	8,25
1 - 4	*	10,85
2 - 3	*	4,65
2 - 4	*	7,25
3 - 4	*	2,6

En la Figura 15 se ve la altura de la planta con distintos tamaños, la media de cada tratamiento, con la aplicación, es mejor el tratamiento 1 con una media de 28,05 cm de las plantas, el tratamiento 2 con una altura de 24,45 cm de las plantas, el tratamiento 3 con 19,8 cm la altura de las plantas y el testigo con un 17,2 cm de altura de las plantas, por tanto, la zeolita influye en la altura de las plantas en el crecimiento para producir mayor tamaño, masa foliar y peso.

El objetivo de Obregón et al., (2015), en este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de zeolita en la recuperación de N y el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.), cuando se aplicó en dosis de 15, 25 y 35 kg/ha conjuntamente con 100 kg/ha de N utilizando urea en un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La zeolita incidió significativamente ( $P < 0.05$ ) en el rendimiento del cultivo, la altura de planta y el diámetro del tallo. Los indicadores de eficiencia de uso del nutriente (N) mostraron incrementos por la aplicación de zeolita, mejorando el aprovechamiento y la efectividad económica de la aplicación de urea y el análisis de suelo al final del ciclo del cultivo mostró que la aplicación de zeolita favoreció la adsorción de fósforo, magnesio y potasio, mejoró la CIC y ocasionó cambios en el pH. Aunque la eficiencia de recuperación de N fue menor que 60%, sin embargo, se observaron diferencias importantes en la recuperación de este nutriente entre tratamientos y entre etapas fenológicas del cultivo, lo cual es relevante para el manejo nutricional eficiente, por tanto, corrobora la investigación realizada y ayuda al suelo y por tanto ayuda a la madre tierra.

En la investigación realizada por Molina *et al.* (2002) la altura de la planta al momento de la cosecha varió entre 216 cm (T1) y 278 cm (T4) y no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos T3, T4, T5 y T6 y el mayor tamaño de planta se observó con el tratamiento que recibió la menor dosis de zeolita y fertilizante nitrogenado (T4) y presentó diferencias ( $P < 0.05$ ) frente a los tratamientos testigo (T1) y zeolita sola (T2). Además, en todos los tratamientos, con excepción del testigo absoluto y el testigo-zeolita (T2), se observaron diámetros de tallos superiores a 6.5 cm, aunque sin diferencias significativas entre ellos, lo que indica que, a pesar de la presencia de la enmienda, la aplicación de N a los cultivos es necesaria para garantizar su adecuado crecimiento, por tanto, afirman que el diámetro de la planta está directamente relacionado con el número de brotes y yemas, lo que incide en la generación de biomasa fresca efectiva para la fotosíntesis según Obregón et al., (2017).

**Figura 15. Altura de la Planta de Rúcula**

#### 4.5.6 Análisis de Varianza del Peso de la Rúcula

En la Tabla 20 se presenta el análisis de varianza del peso de la Rúcula ( $\text{kg m}^{-2}$ ) en los cuatro tratamientos con distintos niveles de zeolita. En el peso de la Rúcula ( $\text{kg m}^{-2}$ ) se observa significancia estadística para los tratamientos, puesto que el valor P es menor que 0.05, con un nivel de confianza al 95%; mientras que el factor repeticiones no tiene un efecto estadísticamente diferente. El método empleado para discriminar entre las medias, con el procedimiento de comparación múltiple de Duncan. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.

**Tabla 20. Análisis de Varianza para el Peso de la Hoja**

Fuente	Gl.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Prob. F
A: Tratamientos	3	6,95835	2,31945	287,34	0,00**
B: Repeticiones	3	0,0446	0,0148667	1,84	0,2099
Residuos	9	0,07265	0,0080722		
Total corregido	15	7,0756			

El estudio realizado por Maroto (1995) sobre el rendimiento en crucíferas oscila entre de 40 a 60 t/ha, pudiéndose en ocasiones incrementar hasta 70 a 80 t ha<sup>-1</sup>. Según las investigaciones en el mercado varía mucho el requerimiento de los clientes, algunos quieren hojas tiernas apenas de 200 g y otros clientes piden de un kilogramo; sin embargo, en la investigación se obtuvieron cuatro diferentes pesos, esto se debe a

que está relacionado directamente con el uso de Zeolita o roca fosfórica rica en minerales naturales, en la Tabla 21 nos permite apreciar las comparaciones múltiples y determinar las diferencias estadísticamente significativas entre pares de medias, con un nivel de confianza del 95%, se puede apreciar que el tratamiento 1 (con 100 g de zeolita), con un valor medio de 2,27, es diferente del tratamiento 2 (con 60 g de zeolita), con un valor medio de 2,0225, mientras que no muestran diferencias estadísticas con tratamiento 3 (con 20 g de zeolita), con un valor medio de 1,9125, agrupando el tratamiento 2 y 3 en un solo sector haciendo indiferente la dosis de zeolita, el testigo (con 0 g de zeolita) con un valor medio de 0,575 muestra diferencias estadísticamente significativas en la comparación por pares con cada uno de los tratamientos.

**Tabla 21. Prueba de Duncan para el Peso de la Hoja por Tratamientos**

Tratamientos	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
4	4	0,575	0,044	X
3	4	1,912	0,044	X
2	4	2,022	0,044	X
1	4	2,270	0,044	X

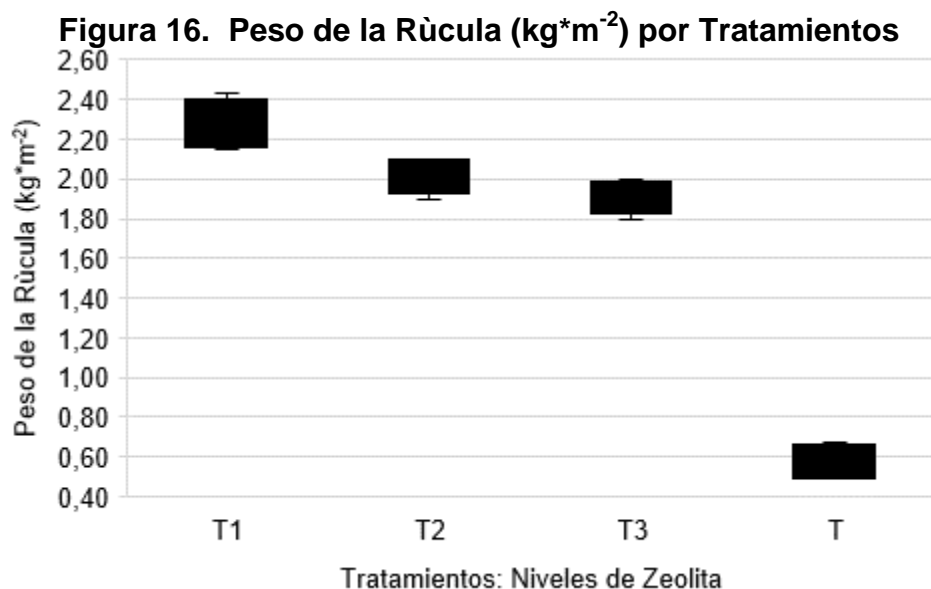
En la Tabla 22, se muestran los procedimientos de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 5 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de comparación múltiple de Duncan. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.



**Tabla 22. Prueba de Múltiples rangos para Números de Hojas**

Contraste	Sig.	Diferencia
1 - 2	*	0,2475
1 - 3	*	0,3575
1 - 4	*	1,695
2 - 3		0,11
2 - 4	*	1,4475
3 - 4	*	1,3375

En la Figura 16 se observa el peso en kilogramos de la planta por metro cuadrado, con la aplicación de zeolita en cada tratamiento, es mejor el tratamiento 1 con una media de 2,27 kg m<sup>-2</sup> las plantas, el tratamiento 2 con un peso de 2,02 kg m<sup>-2</sup> las plantas, el tratamiento 3 con un peso de 1,91 kg m<sup>-2</sup> las plantas y el testigo 4 con un 0,57 kg m<sup>-2</sup> de peso las plantas, por tanto, la zeolita influye en el peso de las plantas, en el crecimiento para producir mayor tamaño y el peso.

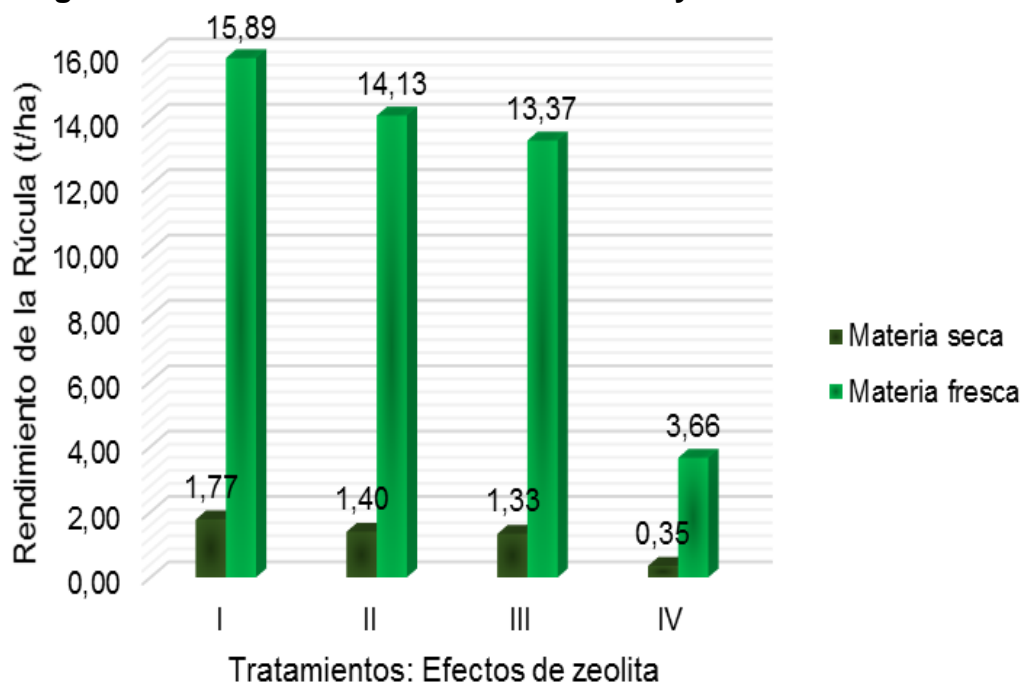


#### 4.5.7 Materia Seca Total de la Rúcula

El peso seco de las hojas de Rúcula presentó las siguientes características según el informe emitido por el Instituto Boliviano de la Ciencia y Tecnología Nuclear (IBTEN). El análisis fisicoquímico de las hojas cosechadas de los cuatro tratamientos (Anexos 9 al 12) indica la cantidad y diferencia de materia seca y materia fresca en el rendimiento bajo el efecto de los niveles de zeolita.

En la Figura 17 se observa el rendimiento de la materia seca y la materia fresca en toneladas por hectárea, con la aplicación de niveles de zeolita en cada tratamiento. Los resultados muestran un mayor rendimiento en el tratamiento 1 con un peso de  $15,89 \text{ t ha}^{-1}$ , el tratamiento 2 con un peso de  $14,13 \text{ t ha}^{-1}$ , el tratamiento 3 con un peso de  $13,37 \text{ t ha}^{-1}$  y el testigo con un menor rendimiento de  $3,66 \text{ t ha}^{-1}$ . En este sentido, se llega a la conclusión que la zeolita influye en la producción de la materia fresca y en la materia seca.

**Figura 17. Rendimiento de la Materia Seca y Fresca de la Rúcula**



#### 4.5.8 Comparación del Análisis físico químico de Nitrógeno, Fósforo y Potasio

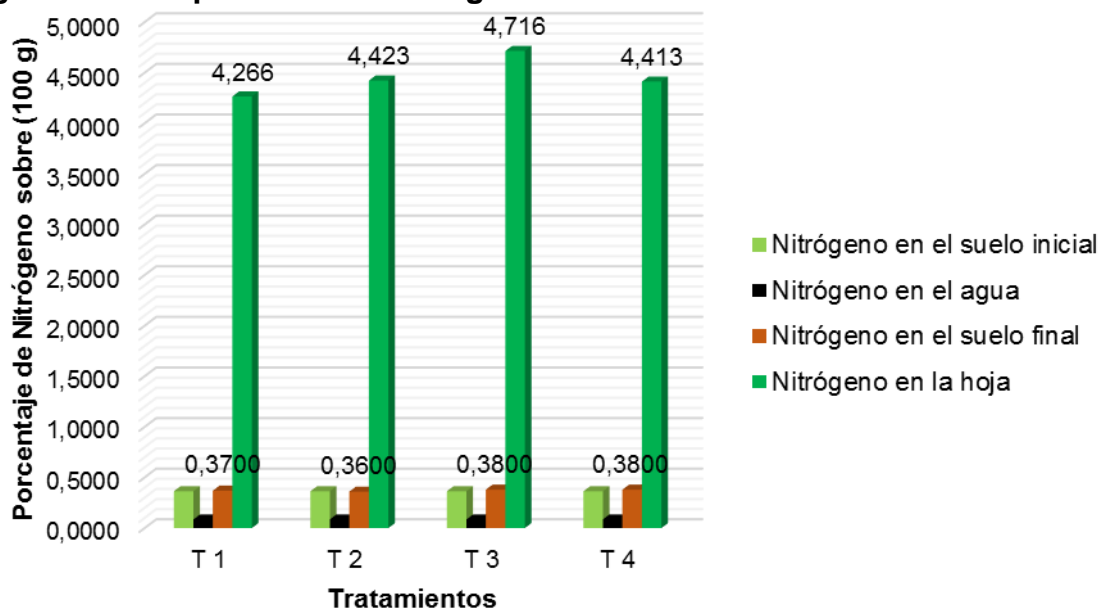
Comparación del Análisis físico químico del Nitrógeno en el suelo inicial y final, en el agua y en las hojas, en la Figura 18, se ve el porcentaje de Nitrógeno en el suelo inicial y final, en el agua y en las hojas; el análisis físico químico se realizó en el Laboratorio del Instituto Boliviano de Ciencias y Tecnología Nuclear (IBTEN), para identificar el porcentaje total de nitrógeno que quedó en el suelo como reserva y cuanto se exportó a las hojas de la Rúcula. Según los tratamientos que a continuación se detallan: con  $100 \text{ g m}^{-2}$  de zeolita se exportó 4,266 % en la hoja, con  $60 \text{ g m}^{-2}$  de zeolita se exportó 4,423 %, con  $20 \text{ g m}^{-2}$  de zeolita se exportó 4,716 % y

con el testigo ( $0 \text{ g m}^{-2}$  de zeolita) se exportó 4,413 %. En el suelo de la investigación final se quedaron con los siguientes datos de nitrógeno, con  $100 \text{ g m}^{-2}$  de zeolita se encontró 0,370%, con  $60 \text{ g m}^{-2}$  de zeolita 0,360 %, con  $20 \text{ g m}^{-2}$  de zeolita 0,380 % y con el testigo o cero zeolitas 0,380 %. En el análisis físico químico del agua y del suelo inicial la proporción de nitrógeno para los cuatro tratamientos es la misma, como se muestra en la Figura 18; para el agua es 0,0850 % y para el suelo inicialmente es de 0,3640 % con distintas dosis de zeolita para el cultivo de Rúcula.

Hoy en día en los estudios realizados de las zeolitas, la más común utilizada para aplicaciones agrícolas es la clinoptilolita, ya que posee alta capacidad de absorción, intercambio catiónico, catálisis y deshidratación. Con la mejora de las variedades hortícolas además se requiere u otros factores que ayuden al cultivo y las zeolitas se utilizan, por lo tanto, como promotor para un mejor crecimiento de las plantas mejorando el valor de los fertilizantes; conservando el nitrógeno valioso y mejorando la calidad de los abonos. Por otro lado, las zeolitas se usan para promover un mejor crecimiento de las plantas mejorando el valor de los fertilizantes, retienen nitrógeno valioso y mejoran la calidad de los abonos orgánicos y lodos resultantes y también pueden utilizarse como tamiz molecular o medio filtrante, cuando se aplican zeolitas a la producción agrícola, se debe asegurar que su fuente natural sea de caracteres uniformes y propiedades únicas tales como capacidad de intercambio catiónico, pH y contenido de B, por Polat et al., (2004).

Soca y Constanza (2015), en el estudio realizado del efecto de la zeolita en las reducciones de volatilización del nitrógeno amoniacal (RVNA) y volumen de lixiviados (RVL) así como en rendimientos de arroz *Oryza sativa* L. y maíz *Zea mays* L. La aplicación de zeolita en arroz obtuvo RVNA de 60% y mejoró los rendimientos sin encontrar diferencias entre métodos de aplicación. También su aplicación mejoró el peso del grano por mazorca y el peso seco del grano de maíz, la zeolita mejoró la eficiencia de la fertilización nitrogenada.

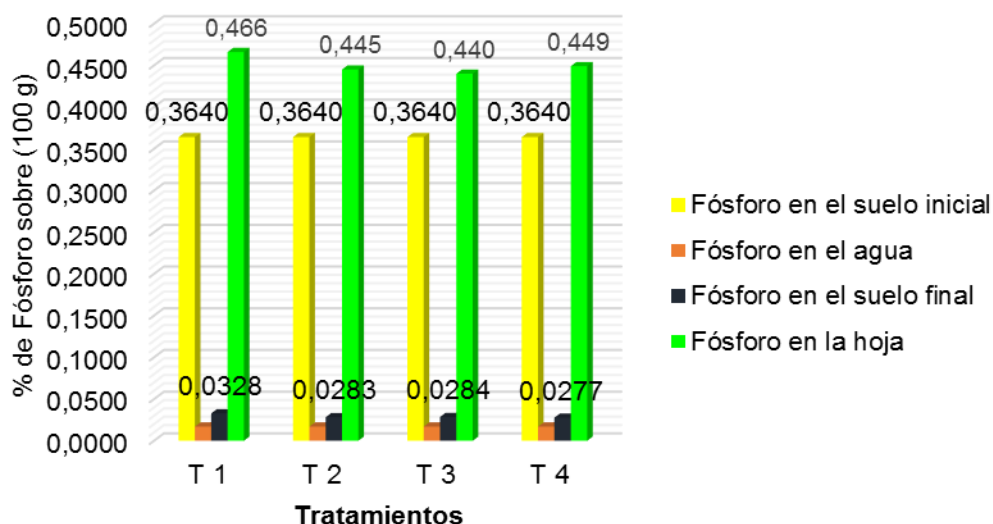
**Figura 18. Comparación del Nitrógeno en Diferentes Análisis Físicos Químicos**



#### 4.5.9 Comparación del Análisis físico químico del Fósforo en el suelo inicial y final, en el agua y en las hojas

En la Figura 19, se ve el porcentaje de Fósforo en el suelo inicial y final, en el agua y en la hoja de la Rúcula, el análisis físico químico se realizó en el Laboratorio del Instituto Boliviano de Ciencias y Tecnología Nuclear (IBTEN), para comprobar el porcentaje de fósforo total que quedó en el suelo como reserva y cuanto se exportó a las hojas de la Rúcula; según los tratamientos que a continuación se detallan: con  $100 \text{ g m}^{-2}$  de zeolita se exportó 0,466 % en la hoja, con  $60 \text{ g m}^{-2}$  de zeolita se exportó 0,445 %, con  $20 \text{ g m}^{-2}$  de zeolita se exportó 0,440 % y con el testigo o cero zeolita se exportó 0,449 %. En el suelo de la investigación final se quedaron con los siguientes datos de fósforo, con  $100 \text{ g m}^{-2}$  de zeolita se encontró 0,0328 %, con  $60 \text{ g m}^{-2}$  de zeolita 0,0283 %, con  $20 \text{ g m}^{-2}$  de zeolita 0,0284 % y con el testigo (0 g de zeolita) 0,0277 %. En el análisis físico químico del agua y del suelo inicial las cantidades de fósforo son la mismas para los cuatro tratamientos como se muestra en la Figura 19, para el agua es 0,0170 % y para el suelo inicialmente es de 0,3640 % con distintas dosis de zeolita para el cultivo de Rúcula.

**Figura 19. Comparación del fósforo en diferentes análisis físicos químicos**

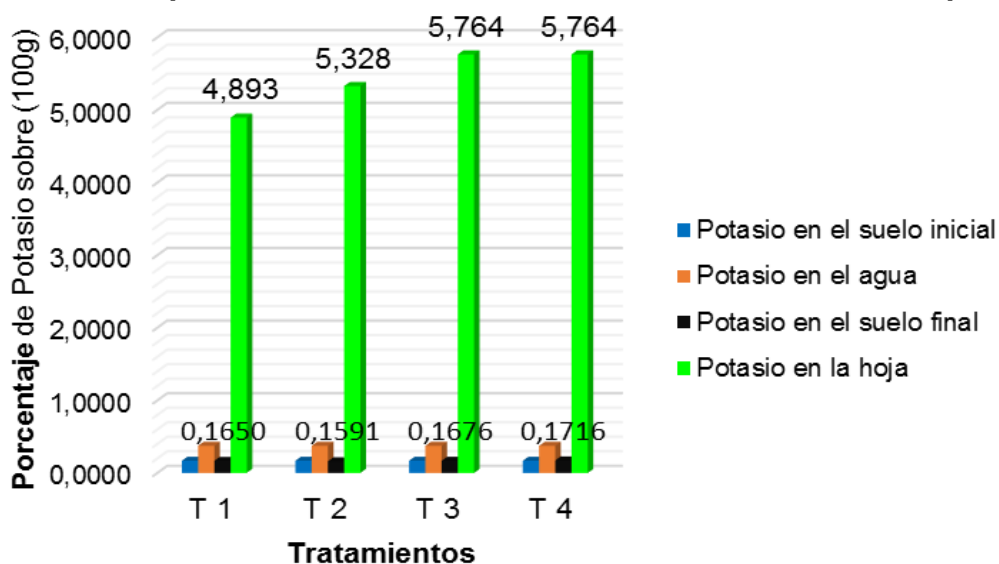


La concentración admisible de fósforo en soluciones de nutrientes que es de 30-50 ppm es muy importante, aunque se comprobó que se puede reducirla a 10-20 ppm, asimismo, es importante el nivel de fósforo en los análisis de suelos es, en realidad, un índice que ayuda a predecir los requerimientos de los fertilizantes fosfatados de los cultivos, también las recomendaciones para la aplicación de fertilizantes se determinan sobre la base de ensayos de campo en muchos suelos y cultivos y en diferentes métodos de análisis de suelos resultan en valores diferentes, que deben ser interpretados con mucho cuidado ya que el fósforo es un macro-elemento esencial para el crecimiento de las plantas que participa en los procesos metabólicos, tales como la fotosíntesis, la transferencia de energía y la síntesis y degradación de los carbohidratos, las reacciones del fósforo se encuentran en los suelos tanto en forma orgánica como inorgánica y su solubilidad en el suelo es baja y existe un equilibrio entre el fósforo en la fase sólida del suelo y el fósforo en la solución del suelo. Las plantas pueden adsorber solamente el fósforo disuelto en la solución del suelo, y puesto que la mayor parte del fósforo en el suelo existe en compuestos químicos estables, sólo una pequeña cantidad de fósforo está disponible para la planta en cualquier momento dado y al absorber el fósforo de la solución del suelo por las raíces, parte del fósforo adsorbido a la fase sólida del suelo es liberado a la solución del suelo, para mantener un equilibrio químico en el suelo.

#### 4.5.10 Comparación del Análisis físico químico del Potasio en el suelo inicial y final, en el agua y en las hojas

En la Figura 20, se ve el porcentaje de potasio en el suelo inicial y final, en el agua y en la hoja de la Rúcula, el análisis físico químico se realizó en el Laboratorio de Instituto Boliviano de Ciencias y Tecnología Nuclear (IBTEN), para comprobar el porcentaje de potasio total que quedó en el suelo como reserva y cuanto se exportó a las hojas de la Rúcula; según los tratamientos que a continuación se detallan: con  $100 \text{ g m}^{-2}$  de zeolita se exportó 0.466 % en la hoja, con  $60 \text{ g m}^{-2}$  de zeolita se exportó 0,445 %, con  $20 \text{ g m}^{-2}$  de zeolita se exportó 0,440 % y con el testigo se exportó 0,449 %. En el suelo de la investigación final se quedaron con los siguientes datos de potasio, con  $100 \text{ g m}^{-2}$  de zeolita se encontró 0,1650 %, con  $60 \text{ g m}^{-2}$  de zeolita 0,1591 %, con  $20 \text{ g m}^{-2}$  de zeolita 0,1676 % y con el testigo o cero zeolitas 0,1716 %. En el análisis físico químico del agua y del suelo inicial las cantidades de potasio son la mismas para los cuatro tratamientos como se muestra en la Figura 20, para el agua es 0,3730 % y para el suelo inicialmente es de 0,1676 % con distintas dosis de zeolita para el cultivo de Rúcula.

**Figura 20. Comparación del Potasio en diferentes análisis físicos químicos**



Sela (2017), en el estudio de potasio del suelo se clasifica generalmente en cuatro formas de las cuales son: potasio estructural potasio de reserva, potasio fijado, potasio intercambiable y potasio en la solución de suelo. Potasio mineral - se

encuentra en el suelo en la estructura cristalina de los feldespatos, arcillas y micas, las plantas no pueden utilizar el potasio en estas formas insolubles, con el tiempo en los procesos lentos de meteorización, estos minerales liberan cantidades pequeñas de potasio a la solución del suelo para las plantas y el potasio fijado – es el potasio que está atrapado en el espacio interior de las arcillas y Hernández et al., (2013), indica que la zeolita es un recurso mineral abundante en el Estado de Sonora, cuya calidad lo convierte en un importante factor corrector de los deteriorados suelos de cultivo, el presente trabajo aborda el uso de una zeolita natural modificada químicamente para ser empleada como mejorador del suelo mediante intercambio iónico.

En la producción agrícola, de frutales, ganadería, mejoramiento de suelos, protección de hierbas y productos agrícolas, planta agrícola, maquinaria y herramientas, agro-economía y tecnología alimentaria, se usa la zeolita natural cada vez más en las investigaciones; como aun es económica, disponible, respetuosa con el medio ambiente, térmicamente estable, expone una excelente capacidad de adsorción hacia los iones amonio y metal; en la agricultura ayudan mejorar el suelo y por tanto el rendimiento de los cultivares muestra posibilidad en la investigación realizada.

En la investigación por Hernández (2013), la zeolita es un recurso mineral abundante en el Estado Plurinacional de Bolivia, la calidad la convierte en un importante factor corrector de los deteriorados suelos de cultivo. La agricultura paceña en los últimos años ha sido beneficiada con carpas solares proporcionadas por la FAO, en minifundios y suelos con salinidad excesiva por el uso de fertilizantes y plaguicidas, en la última década la población sufre de sequía en diferentes regiones de Bolivia existe la necesidad de obtener agua de pozos más profundos, el uso de zeolita disminuye la utilización de agua en cultivos ya que posee poros absorbentes (tipo esponja) que retiene la humedad por largos periodos de tiempo.

#### 4.6 Análisis Económico

El análisis económico se realizó con el fin de obtener más información acerca de las perspectivas de negocio a nivel familiar de agricultores sobre el cultivo de la Rúcula y uso de zeolita con diferentes niveles, el análisis presenta en forma detallada el rendimiento neto, rendimiento ajustado; beneficio bruto, costos variables, beneficio neto, en el cual claramente los rendimientos de cada tratamiento en la producción de la Rúcula, son adecuados a nivel costo/beneficio para el agricultor además de ser amigables con el medio ambiente Ver (Anexos 13 y 14).

Los costos de producción del ambiente controlado o carpas solares son elevados, sin embargo, con el tiempo al final del proceso, los rendimientos de los cultivos son óptimos, esta situación se debe que a que el hombre brinda los requerimientos adecuados para la producción de hortalizas. Cuando existe mala manipulación de los nutrientes o mala construcción de carpas solares los rendimientos no serán iguales podrían ser afectados ya sea por virus, enfermedades o plagas. Con el uso de niveles de zeolita a pesar de una mala manipulación de los ambientes controlados la producción aumenta y favorece al suelo, porque proviene de las rocas fosfóricas naturales, y en la producción se ven claramente las diferencias en cuanto al peso y crecimiento. Es muy importante el uso de zeolita en la agricultura como agente retentivo de humedad, mejorador de suelos, y por sus características de retención y liberación lenta de nutrientes para las plantas. La información económica de la investigación más detallada (ver Anexos 13 y 14). Los costos de producción para asegurar el aspecto económico del agricultor a nivel familiar con miras a la producción masiva, con el uso de zeolita disminuyen significativamente, ya que ahorrarán en nutrientes y agua, como podemos apreciar en la Tabla 23.

**Tabla 23. Costo de producción de Rúcula en ambiente controlado (carpa solar)**

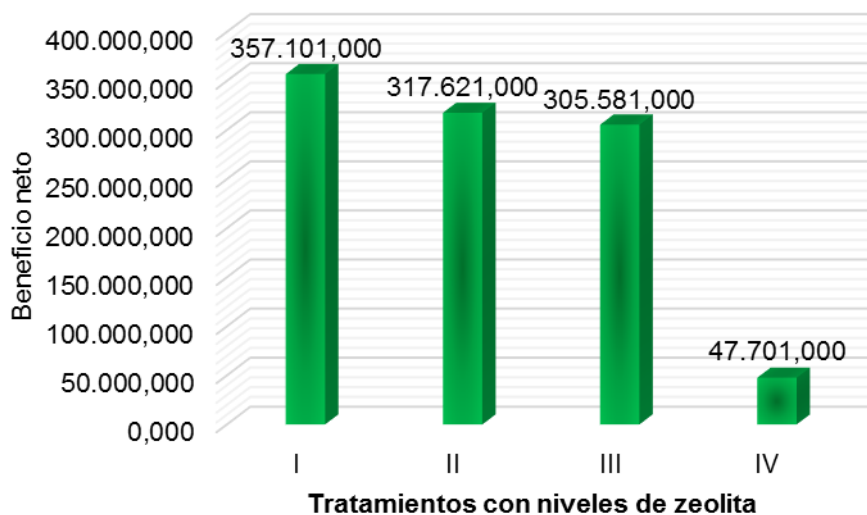
Tratamientos	Niveles de zeolita	Beneficio Neto	Costo de Producción	Utilidad
Tratamiento 1	100	444.920	878.19	357.101
Tratamiento 2	60	395.920	782.99	317.621
Tratamiento 3	20	374.360	687.79	305.581
Testigo	0	111.720	640.19	477.01



En la Tabla 23, se permite establecer los rendimientos deducidos a los costos de producción de cultivo de la Rúcula en ambiente controlado, con el nivel de zeolita de  $100 \text{ gr m}^{-2}$  los resultados fueron rentables, con  $60 \text{ g m}^{-2}$  de zeolita los resultados son rentables, con el uso de  $20 \text{ g m}^{-2}$  de zeolita aún es rentable y  $0 \text{ g m}^{-2}$  de zeolita el resultado es poco rentable para el productor.

En la Figura 21 se ven claramente las diferencias entre los niveles de zeolita aplicada en cada tratamiento, estos niveles de aplicación se consideran positivos para la producción, ya que aumenta en los rendimientos, en las carpas solares o en ambientes controlados no es necesario esperar las épocas de siembra, esto se debe a que el hombre da las condiciones óptimas para la producción, como buen manejo de fertilizantes, riegos, temperaturas, humedad y otros.

**Figura 21. Utilidad de la Producción de la Rúcula por ha<sup>-1</sup>**



En la Figura 21 se nos muestra el uso de zeolita con diferentes niveles y revela en la investigación con buenos resultados desde el punto de la vista de productividad.

En el cultivo de la papa hubo diferencias significativas entre los tratamientos estudiados pudiéndose señalar que los mayores rendimientos se alcanzaron cuando se aplicó la urea convencional más 15% de zeolita, los restantes tratamientos tuvieron rendimientos significativamente inferiores. Este comportamiento se debe a la gran eficiencia de la zeolita como agente modificador de los fertilizantes

nitrogenados, manifestándose claramente en las variantes de 15 y 20% de zeolita, lo cual concuerda con lo expuesto por González et al., (2007).

FAO (2007), la “roca fosfórica de Mussoorie fue agrónomicamente tan eficiente como el superfosfato simple en un ensayo de campo con arroz inundado en un suelo ácido (pH cerca de 5,5) de Uttar Pradesh; en otro ensayo realizado en un suelo ácido de pH más alto (pH 5,8) la roca fosfórica de Mussoorie produjo 95 por ciento del rendimiento de maíz en relación a la aplicación de superfosfato simple mientras que la mezcla 1:1 fue tan buena como el superfosfato simple. Considerando que el costo por unidad de P en la roca fosfórica de Mussoorie es 54 por ciento menor que el P en el superfosfato simple, se puede obtener un ahorro de 46 por ciento en el costo de la fertilización fosfatada del arroz inundado”.

## 5. CONCLUSIONES

De conformidad al objetivo general del presente trabajo de investigación, se procedió a la evaluación y aplicación de zeolitas con tres diferentes niveles de dosificación al cultivo de Rúcula (*Eruca sativa* Miller) y a testigo. El trabajo de campo se efectuó en el ambiente controlado en la comunidad de Kallutaca en el municipio de Laja - La Paz, en el análisis fisicoquímico del suelo al principio y al final y de las muestras de hoja de cada tratamiento y el testigo, con la certificación efectuada por el Instituto Boliviano de la Ciencia y Tecnología Nuclear (IBTEN). La investigación permitió llegar a las siguientes conclusiones:

En la etapa de emergencia de la Rúcula, las semillas germinaron a la semana y se observó claramente el porcentaje de plántulas por tratamiento y por las características del ambiente controlado. La viabilidad de las semillas con los tratamientos en el ensayo de la investigación, con el nivel de zeolita de 100 g emergieron a un 96%, fue el mejor resultado, con 60 g de zeolita aún fue mejor la viabilidad con un 90% plantines que emergieron, asimismo con 20 g de zeolita los resultados fueron adecuados arrojando un 85 % de semillas que emergieron, y finalmente el testigo con 0 de zeolita dio un resultado de 50 % de semillas que emergieron.

El desarrollo del cultivo de la Rúcula en el estudio, refleja un excelente rendimiento con el nivel de zeolita de 100 g por  $m^{-2}$ , se obtuvo el resultado de  $2,22 \text{ kg } m^{-2}$  seguidamente con 60 g  $m^{-2}$  de zeolita se logró obtener el resultado  $2,02 \text{ kg } m^{-2}$ , asimismo con 20 g  $m^{-2}$  de zeolita se logró obtener el resultado de  $1,91 \text{ kg } m^{-2}$  y el testigo fue el más inferior en rendimiento, con 0 de zeolita se obtuvo el resultado  $0,57 \text{ kg } m^{-2}$ , lo que hace que ocupe el último lugar en el rendimiento por  $\text{kg } m^{-2}$  y económicamente no es rentable.

Como resultado de la investigación realizada, se tiene que la explotación de la Rúcula en el ambiente controlado depende fundamentalmente del cuidado y

condiciones aplicadas al medio ambiente, así como del uso adecuado de fertilizante y niveles de zeolita o roca fosfórica.

En general se puede concluir que la Rúcula tuvo un buen comportamiento agronómico y de rendimiento, como su cultivo es de ciclo corto y hubo un muy buen control ambiental no presentó ninguna enfermedad, ni presencia de plagas.

En general con los resultados en la exportación de N, P y K, se observó que en el rendimiento, con el primer tratamiento es de  $100 \text{ g m}^{-2}$  con la aplicación de zeolita la planta extrae menos cantidad de N, con el P mayor cantidad y con el K menor cantidad, según el análisis que muestra un 4,266 % de N, 0,466 % de P y 4,893 % K; el de  $60 \text{ g m}^{-2}$  de zeolita aún retiene 4,423 %, 0,445 de P y 5,328 % de K; pero con  $20 \text{ g m}^{-2}$  de zeolita 4,716 % N, 0,440 de P y 5,764 % de K, lo que permite observar es que en este caso ese nivel de tratamiento no influye y finalmente con el testigo se exporta mayor cantidad del suelo con un 4,413 % N, 0,449 de P y 5,764 % de K. En el presente estudio se tomaron muy en cuenta los análisis de suelo, agua, partes del órgano de la planta, fertilizantes o abonos orgánicos ya que estos pueden alterar los resultados.

El análisis económico mostró con la aplicación de Zeolita de  $100 \text{ g m}^{-2}$  alta la rentabilidad con un beneficio neto de 357.101,00 Bs  $\text{ha}^{-1}$ , con  $60 \text{ g}$  317.621,00 Bs  $\text{ha}^{-1}$ , con  $20 \text{ g m}^{-2}$  305.581,00 Bs  $\text{ha}^{-1}$  y el testigo  $0 \text{ g m}^{-2}$  de zeolita 47.700,00 Bs  $\text{ha}^{-1}$ .

## 6. RECOMENDACIONES

A partir de los resultados del presente estudio se sugiere el uso de zeolita en la horticultura para lo cual se deberá indagar a profundidad en las temáticas de dosificación adecuada, manejo de suelos y sistemas de riego y manejo de invernaderos o carpas solares, es importante que los beneficios de la Rúcula sean socializados con la población para incrementar su consumo, proporciona vitaminas y minerales esenciales en la dieta diaria del ser humano.

El consumo de las especies hortícolas de la familia, fundamentalmente del género *Brassica*, se incrementó progresivamente en muchos países, al reconocerles importantes efectos benéficos en la salud de las personas, por constituir alimentos ricos en fibra, en provitamina A, C y ciertos compuestos azufrados antioxidantes y otros que ayudan al retardo del envejecimiento celular, en la prevención de algunas enfermedades, incluyendo cáncer y la reducción del colesterol en la corriente sanguínea. Estas cualidades han llevado a que diversos estudios recomienden su incorporación en la dieta y que el consumidor tome conciencia de sus efectos benéficos en todo el proceso alimentario.

Por otra parte, se recomienda una mayor investigación en la producción de otras hortalizas para determinar el rendimiento de los diferentes niveles de zeolita, ya sea de hoja, fruto o raíz a nivel nacional, en diferentes pisos ecológicos. Es importante que se efectúen estudios para establecer el uso de zeolita en la horticultura en Bolivia, a objeto de incentivar su uso y garantizar un mejor rendimiento en la producción de hortalizas para el consumo en la población, ya que a nivel altiplano las tierras son con baja materia orgánica.

A tiempo de concluir, se espera que el presente trabajo de investigación contribuya tanto en el orden teórico como en el campo práctico de la investigación para mejorar la calidad de los cultivos de hortalizas, con uso de zeolita o rocas fosfóricas ya que proviene de allí, en ambiente controlado, de un punto de partida para los estudios posteriores que permitan la acumulación de mayores conocimientos en el campo de

la crucífera Rúcula (*Eruca sativa* Miller) como también la aplicación de zeolita para mejorar el suelo y cuidar la madre tierra. Actualmente se identifican muchos problemas ambientales a nivel biótico-abiótico que pueden ser solucionados en parte con el uso de zeolita.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- ... .. 2014. Rúcula. Guía de cultivo para huertos urbanos. Diputación de Valencia pp. 78-79
- Arnold Arboretum, 1985. THE GENERA OF PHYTOLACCACEAE IN THE SOUTHEASTERN UNITED STATES'Harvard. University. Volume 66. Number 1. [etc.],1919- Cambridge pp. 280-281
- Abba, E. H. (2004). Evaluación Agronómica del Mineral Zeolita en mezcla con urea en el cultivo de trigo (*Triticum aestivum*). Córdoba, Argentina.
- Bajaña, D., Morante, F., & Quilambaqui, M. (s. a.). Uso de zeolitas naturales del "Bloque Tecnológico Experimental de la Zeolita (BTEZ) de la EPSOL" y su efecto en el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea maíz L.*). Quito, Ecuador.
- Andersen, L. & Jemio, J. (2015). La Dinámica del cambio climático en Bolivia. (P. Edición, Ed.) La Paz, Murillo, Bolivia.
- Baeza, A., Silveira, A., & Escalona, V. (2015). Empleo de radiación UV-C como método de desinfección para la elaboración de Rúcula (*Eruca sativa Mill.*) mínimamente procesada. Agrociencia Uruguay.
- Barroso G., R., Chaveli CH., P., & Mendoza R., L. (2013). Empleo de la zeolita natural como complemento del abonado orgánico en el cultivo de hortalizas en sustratos de órganopónicos. Cuba.
- Benítez A, M. (2003). La Rúcula, cultivo con posibilidades para ampliar la diversidad de hortalizas en la dieta cubana. La Habana, Cuba: Revista Agrotécnica de Cuba.

- Bellott M., J. (1999). Eficiencia agronómica de la roca fosfórica en suelos de Bolivia. Universidad Mayor de San Simón, Agruco, Agroecología Cochabamba, Bolivia, pp. 1-9.
- Bellott M., J. (1991). Eficiencia agronómica de la roca fosfórica en suelos de Bolivia. Universidad Mayor de San Simón, Agruco, Agroecología Cochabamba, Bolivia, pp. 1-9.
- Bermejillo A., Filippini M., Pimpini F. Antonioli E., Naranjo G., Novello V., Rodríguez P.(s.f.) Una Alternativa de Producción Sustentable en Mendoza: cultivo de Rúcula y otras aromáticas en sistema de raíz flotante. Dpto. de Ingeniería Agrícola y Ciencias Jurídico Sociales – FC Agrarias – Univ. Cuyo. Alte Brown 500 - (M5528AHB) Luján de Cuyo - Mendoza.
- Cáceres, I. (2010). Zeolita. Antofagasta, Chile.
- Cáceres, I. (2006). Texto extraído del texto principal de un artículo para sintetizar principales características. Antofagasta, Chile.
- Cáceres, Z. (2004). Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible (Vol. 13). Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Carelli, G., & Defendente, L. (2016). evaluación del efecto del abono orgánico, mulching vegetal y fertilización química en el cultivo de Rúcula (*Eruca sativa* Mill.) en un invernadero con riego por goteo en Toay La Pampa. Argentina.
- Casanova E. (s.a.) Las rocas fosfóricas naturales y modificadas y su uso potencial en cultivos y suelos en Venezuela. Palmaven. Gerencia de Tecnología y UCV, Facultad de Agronomía.



- Chaveli, P., Barroso, R., & Mendoza, L. 2013. Empleo de la zeolita natural como complemento del abonado orgánico en el cultivo de hortalizas en sustratos de organopónicos. *Agrisost*. pp. 1-6.
- Coombs, D., Alberti A., Armbruster T, Artioli G., Colella C., Galli E., Grice J. D., Liebau F., Mandarino J. A., Minato H., Nickel E. H., Passaglia E., Peacor D. R., Quartieri S, Rinaldi R, Ross M, Sheppard R A, Tillmanns E, Vezzalini G. 1997. Recommended nomenclature for zeolite minerals: report of the subcommittee on zeolites of the international mineralogical association, commission on new minerals and mineral names. *The Canadian Mineralogist*. Vol. 35, pp. 157-160.
- Costafreda, J. L. 2008. Geología, caracterización y aplicaciones de las rocas zeolitas del complejo volcánico de Cabo de Gata (Almería). Madrid, España.
- Díaz G.; Sánchez F.; Llerena L. y Vascones G. 2009. Empleo de zeolitas naturales en la fertilización y producción del fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) en la zona de Quevedo. Unidad de Investigación Científica y Tecnológica, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, km 1 ½ vía Quevedo - Santo Domingo de los Tsáchilas, C. P. 73. Quevedo, Los Ríos, Ecuador.
- Dixon, G. R. 2007. *Crop Production Science in Horticulture* (ISBN 0-85199-395-8 ed.). Sherborne, Londres.
- Dixon, G. R., 2007. *Vegetable brassicas and related crucifers* (Vols. A catalogue record for this book is available from the British Library,). (1. B. in, Ed.) Massachusetts, Estados Unidos.
- EARTH, G. 2017. Ubicación de área. Obtenido de <https://www.google.com/maps/place/Facultad+De+Medicina+Veterinaria+Y+Zootecnia+U.P.E.A./@-16.5242157,->

68.3099667,409m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x915edd188b02d54b:0x1fb  
bf620e9c26a93!8m2!3d-16.5244214!4d-68.3087283.

Estrada, J. 2012. Preparación y Reducción de Riesgos en Respuesta a los Eventos Climáticos Extremos y los Problemas de Disponibilidad de agua en comunidades vulnerables del altiplano de Bolivia y Perú". FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura).

FAO, 2009. Horticultura Urbana y Periurbana (en línea). Seguridad Alimentaria y Nutricional. Perú. Consultado 15 sept 2015. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/agp/greenercities/es/hup/alimentos.html>

FAO, 2007. Utilización de las Rocas Fosfóricas para una agricultura sostenible. Boletín FAO Fertilizantes y Nutrición Vegetal, Vol. 13.

Fernández, M. E. 2014. Rendimiento de la Rúcula (*Eruca sativa* M.) bajo tres densidades de plantación en ambiente protegido La Paz, Tesis.

FERTOSA. 2015. Productos zeolita del Maule.

Ferratto A., Rodríguez, M. 2010. Buenas Prácticas Agrícolas para la Agricultura Familiar Cadena de las principales hortalizas de hojas en Argentina. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación.

Fourie, H., Ahuja, P., Lamme, J., & Daneel, M. 2016. Brassicaceae-based management strategies as an alternative to combat nematode pests: A synopsis. Crop Protection, pp. 2-6.

Galaz, P. 2006. Evaluación de la Producción y Calidad de Rúcula (*Eruca sativa* Mill) cultivada en mesa con sustrato y sistema flotante. Tesis de grado, pp. 10-15.

- Grasso, R., Ortiz, M., Rotondo, R., Mondino, M., Calani, P., Firpo, I., . . . Vita, L. 2017. Productividad de Rúcula (*Eruca sativa* Mill.) en diferentes sistemas productivos. AGROMENSAJES 47: 30-35, pp. 1-5.
- Gómez, C. 1993. *Eruca*.
- González, M., Gómez, N., Muñiz, J., Valencia, F., Gutiérrez, G., & Figueroa, H. 2007. Rendimiento del maíz de riego tratado con zeolita más fertilizantes en el estado de Guerrero. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, vol. 3, (6). Recuperado el 17 de abril de 2017
- Habteselassie, M. Y., Stark, J. M., Miller, B. E., Thacker, S. G. and Norton, J. M. 2006. Gross nitrogen transformations in an agricultural soil after repeated dairy waste application. Soil Sci. Soc. Am. J. 70: pp. 1338-1348.
- Hernández, R., Riera, R., Riera, R., Cabrera E., G., & Cabrera, G. 2013. Mejorador de suelo a partir de una zeolita natural: Una propuesta sustentable para la agricultura. Revista Electrónica Nova Scientia.
- Hoffmann, D., & Cecilia, R. 2012. Bolivia en un Mundo 4 grados más caliente. La Paz.
- Inestroza, L., & Escalona, V. 2015. Sanitizantes emergentes: una alternativa en la pos-cosecha de la Rúcula. Agrociencia Uruguay, 19, 2.
- Infoagro. 2015. Brassicaceae. Recuperado el 05 de noviembre de 2015, de: <http://www.infoagro.com/hortalizas/colchina.htm>
- Infoagro. 2009. CONTROL CLIMÁTICO EN INVERNADEROS. Recuperado el 05 de noviembre de 2015, de:

[http://www.infoagro.com/industria\\_auxiliar/control\\_climatico.htm](http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/control_climatico.htm)

[http://www.infoagro.com/industria\\_auxiliar/control\\_climatico2.htm](http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/control_climatico2.htm),

[http://www.infoagro.com/industria\\_auxiliar/control\\_climatico3.htm](http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/control_climatico3.htm)

[http://www.infoagro.com/industria\\_auxiliar/control\\_climatico4.htm](http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/control_climatico4.htm).

John C., del Vallin G., Dueñas G. s.a. Eficiencia de la Zeolita como aditivo de la urea en los cultivos de papa y tomate. Geocuba, Investigación y consultoría. Calle 4 # 304 esq. A 4. Playa, Ciudad Habana, Cuba.

Khan H., Zaman A., Khan R., Matsu N. and Henmi T., 2009. Influence of Zeolite Application on Germination and Seed Quality of Soybean Grown on Allophanic Soil. *Research Journal of Seed Science*, 2: 1-8. Research Article

Lija, M., Osumanu, H., & Susilawati, K. (13). Maize (*Zea mays* L.) nutrient use efficiency as affected by formulated fertilizer with Clinoptilolite Zeolite. *Plant Science*.

Maroto B., J. 2008. Elementos de Horticultura General. España: MUNDI-PRENSA.

Maroto B., J. 2002. Horticultura Herbácea Especial/ ISBN:84-7114-495-6. Editor Mundi-prensa Edición 4 ed. España: MUNDI-PRENSA

Maroto B., J. 1995. Brassicaceae. Horticultura: herbácea especial/ ISBN:84-7114-495-6. Editor Mundi-prensa Edición 4 ed. España: MUNDI-PRENSA.

MEMORIA. 2013. Red Nacional de Investigación Científica y Tecnológica en Energías Renovables. (M. d. Educación, Ed.)

Mora F., M. A. 2011. Efecto de cuatro niveles de zeolita natural en el cultivo de papá (*Solanum tuberosa*, en la zona de El Ángel, Cantón Espejo. Provincia del Carchi. Tesis de Grado.

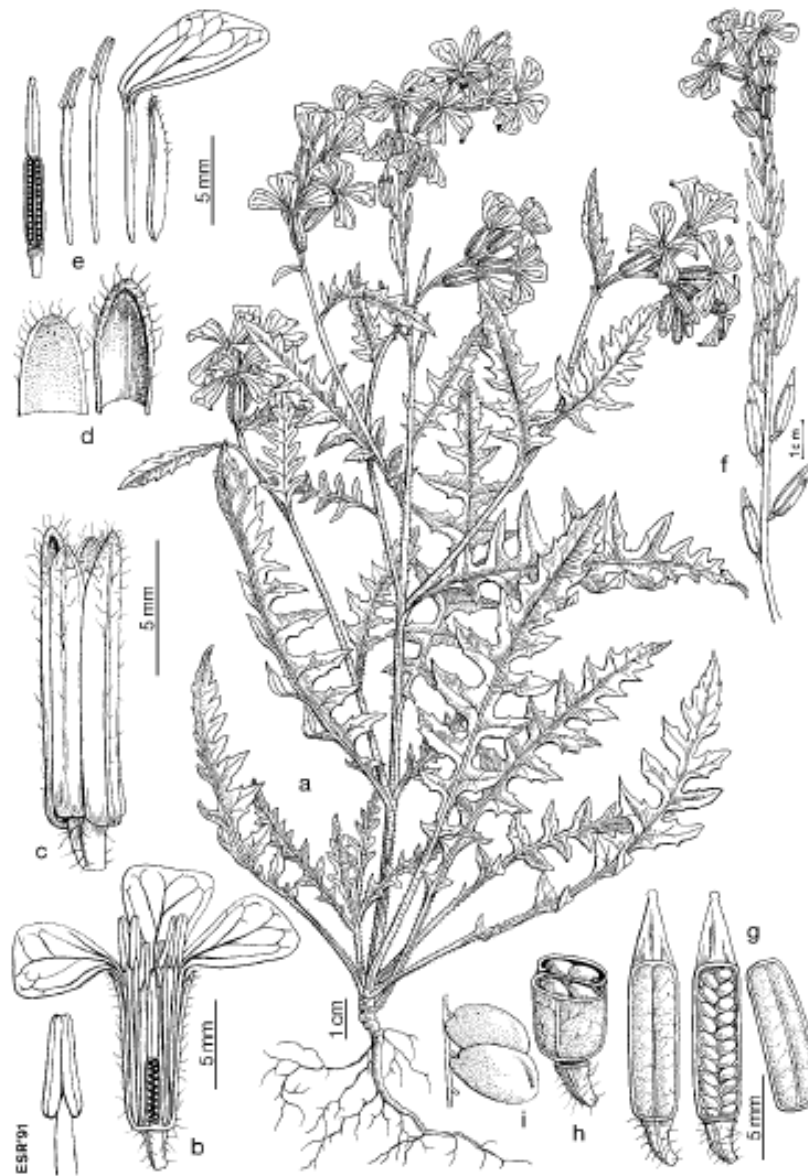
- Morante, F. 2004. Las zeolitas de la costa de Ecuador: geología, caracterización y aplicaciones. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Navarro F. B. & Jiménez M. N. (2011). *Iris* L. En: G. Blanca, B. Cabezudo, M. Cueto, C. Salazar & C. Morales Torres (eds.), Flora Vascular de Andalucía Oriental, Brassicaceae, *Eruca* Mill. (por M. T. Vizoso). pp. 1006-1009. Universidades de Almería, Granada, Jaen y Malaga, Granada.
- Obregón N.; Díaz J.; Daza D. y Aristizabal H. 2015. Efecto de la aplicación de zeolita en la recuperación de nitrógeno y el rendimiento de maíz. Universidad del Valle, Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y el Medio Ambiente, área de Ingeniería Agrícola y Recursos Hídricos. Cali, Colombia. <sup>2</sup> Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, Cali, Colombia.
- Ochoa T., R. 2009. Diseños Experimentales. La Paz, Bolivia.
- Padulosi, S., & Pignone, D. 1997. Mediterranean crop for the world. International Plant Genetic Resources Institute, pp. 2-15.
- Paredes M, R., Ramírez M, A., Ceja O., E., Gómez A, Bueno M. 2013. Zeolita natural: Alternativa ecológica y económica para la agricultura de temporal en México. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, pesca y Alimentación, Folleto Técnico Núm. 19 (Primera edición mayo 2013), pp. 6-35.
- Paye, V. 2015. Horticultura. "Invernaderos", cuadernillo educativo para productores agrícolas, La Paz, Bolivia
- Paye, V. 2009. Horticultura. "Invernaderos", cuadernillo educativo para productores agrícolas, La Paz, Bolivia

- Polat, E., Karaca, M., Demir, H., & Onus, N. 2014. Orchard Management in Sustainable fruit Production. Use of Natural Zeolite (Clinoptilolite) IN AGRICULTURE. Journal of Fruit and Ornamental Plant Research.
- Quilambaqui, M., Morante, F., & Bajaña, D. s.f. Usos de las zeolitas naturales del “bloque tecnológico experimental de la Zeolita (BTEZ) de la ESPOL” y su efecto en el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.). X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, pp. 1-7.
- Richard, J. 2011. Plant Genetics and Genomics: Crops and Models. Pp. 9-40.
- Salas C., Foroughbakhch P., R., Díaz J., M. d., Cárdenas Á., M. L., & Flores V., A. 2011. Germinación in vitro de cactáceas, utilizando zeolita como sustrato alternativo\*. Scielo-Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.
- Salinas J. León A., Arregocés O., Vásquez J. 1986. Manejo de la fertilización fosfatada de pastos tropicales en suelos ácidos de América Latina. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Cali. Colombia. Serie 04 SP.02.05). pp. 16-50.
- Seez R., Masakichi M., Shindoi J. Schulz A., 2017. Análisis económico de Rúcula y lechuga. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuario. Centro Regional Chaco – Formosa. Estación Experimental. Agropecuario Colonia Benítez Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
- Sela G., 2017. Potasio en el Suelo. ¡CEO de SMART! Software de gestión de fertilizantes y un experto internacional en nutrición de plantas e irrigación.
- s.n. 2014. Rúcula. Diputación de Valencia

- Soca, M.; Constanza, M. 2015. La zeolita y su efecto en la eficiencia del nitrógeno en arroz y maíz. *Rev. Cienc. Agr.* 32(2):46 - 55. doi:
- Torrez, C. L. 2013. Efecto de diferentes abonos orgánicos en el comportamiento agronómico de la Rúcula (*Eruca sativa* M.) en ambiente protegido en Cota Cota. La Paz.
- Uğur A., Süntar İ., Aslan S., Erdoğan İ., Kartal M., Şekeroğlu N., Eşiyok D. and Şener B. 2010. Variations in fatty acid compositions of the seed oil of *Eruca sativa* Mill. caused by different sowing periods and nitrogen forms. PMID: PMC 2992144
- USDA. 2017. All information is accessible from the top, left, and right navigation areas on the PLANTS Home Page. Plants, database.
- Vaca, M., Beltrán, V., Vázquez, A., López, R., & Hachec, R. s.f. fertilización dosificada con biosólidos acondicionados. pp. 4.
- Villarreal, J., Barahona, L., & Castillo, O. 2015. Efecto de zeolita sobre la eficiencia de fertilizantes nitrogenados en el cultivo de arroz. *Agron Mesoam.* pp. 2-9
- Villaquirán, M., & Mejía de Gutiérrez, R. 2015. Aprovechamiento del catalizador gastado de FCC en la síntesis de zeolitas de bajo contenido de sílice. Cali, Colombia.
- Villatoro, M. 2011. Caracterización nutricional y agronómica, análisis de la actividad biológica y selección de crucíferas para uso alimentario (Vol. Tesis doctoral). (E. S. 2011, Ed.) Bogotá, Colombia.

## **8. ANEXOS**



**Anexo 1. Figura de la Rúcula**

## Anexo 2. Producción Mundial de Zeolita

<b>Producción mundial de roca fosfórica , 1999</b>		
Producción mundial de roca fosfórica , 1999	Producción (1000 toneladas)	Total Mundial %
Estados Unidos de América	40.867,00	28,016
China	30.754,00	21,083
Marruecos y Sahara Occidental	21.986,00	15,072
Federación Rusa	11.219,00	7,691
Túnez	8.006,00	5,488
Jordania	6.014,00	4,123
Brasil	4.301,00	2,948
Israel	4.128,00	2,830
Sudáfrica	2.941,00	2,016
Siria	2.084,00	1,429
Senegal	1.879,00	1,288
Togo	1.715,00	1,176
India	1.623,00	1,113
Argelia	1.093,00	0,749
Egipto	1.018,00	0,698
México	955,00	0,655
Kazakstán	900,00	0,617
Finlandia	734,00	0,503
Vietnam	710,00	0,487
Islas Christmas	683,00	0,468
Islas Nauru	604,00	0,414
Irak	415,00	0,284
Venezuela	366,00	0,251
Canadá	350,00	0,240
Australia	145,00	0,099
Uzbekistán	139,00	0,095
Zimbabue	124,00	0,085
Corea del Norte	70,00	0,048
Sri Lanka	30,00	0,021
Perú	15,00	0,010
Colombia	4,00	0,003
<b>Total</b>	<b>145.872,00</b>	<b>100,000</b>

**Fuente:** FAO, (1009)

### Anexo 3. Análisis Físico Químico de Suelos



**MINISTERIO DE HIDROCARBUROS Y ENERGÍA**

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA NUCLEAR

CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES

UNIDAD DE ANÁLISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

## ANALISIS FISICO QUIMICO DE SUELOS

INTERESADO : *INES APAZA E.*  
 PROCEDENCIA : *Departamento: LA PAZ,*  
*Provincia: MURILLO,*  
*KALLUTACA*

NO SOLICITUD: *003 / 2016*  
 FECHA DE RECEPCION : *18 / Enero / 2016*  
 FECHA DE ENTREGA : *23 / Febrero / 2016*

DESCRIPCIÓN : *MUESTRA DE SUELO : Kallutaca*

Nº Lab.	PARAMETRO		Resultado	Unidades	Método
022-01 /2016	T E X T U R A	ARENA	24	%	Hidrómetro de Bouyoucos
022-02 /2016		ARCILLA	41	%	Hidrómetro de Bouyoucos
022-03 /2016		LIMO	35	%	Hidrómetro de Bouyoucos
022-04 /2016		CLASE TEXTURAL	Y	-	Hidrómetro de Bouyoucos
022-05 /2016		GRAVA	13,5	%	Gravimetría
022-06 /2016	CARBONATOS LIBRES		P	-	Reacción ácida
022-07 /2016	RELACIÓN SUELO AGUA (pasta)		1,417	g/ml	Extracto
022-08 /2016	pH en agua 1:5		6,01	-	Potenciometría
022-09 /2016	Conductividad eléctrica en agua, 1:5		0,486	dS/m	Conductancia
022-10 /2016	C E A S M  I D I O N E O	Calcio	18,55	meq/100 g	Absorción atómica
022-11 /2016		Magnesio	8,35	meq/100 g	Absorción atómica
022-12 /2016		Sodio	0,58	meq/100 g	Emisión atómica
022-13 /2016		Potasio	4,32	meq/100 g	Emisión atómica
022-14 /2016	Materia orgánica		5,93	%	Walkley Black
022-15 /2016	Nitrógeno total		0,364	%	Kjeldahl
022-16 /2016	Boro		3,71	mg / kg	Espectrofotometría UV-Visible
022-17 /2016	Zinc		1,33	mg / kg	Absorción atómica
022-18 /2016	Nitratos		347,59	mg / Kg NO <sub>3</sub>	Espectrofotometría UV-Visible
022-19 /2016	Amonio		5,48	mg / Kg NH <sub>4</sub>	Espectrofotometría UV-Visible
022-20 /2016	Fósforo asimilable		512,34	ppm	Espectrofotometría UV-Visible

OBSERVACIONES,- \*\* Cationes de Cambio extraidos con Acetato de amonio 1 N.  
 CARBONATOS LIBRES; A: Ausente, P: Presente, PP: Presente en gran cantidad

#### CLASE TEXTURAL

F: Franco Y : Arcilloso FA: Franco Arenoso. YL : Arcilloso Limoso  
 L: Limoso YA : Arcilloso Arenoso AF: Arenosos Franco FYL: Franco Arcilloso Limoso  
 A: Arenoso FYA: Franco Arcilloso Arenoso FY: Franco Arcilloso FL : Franco limoso



RESPONSABLE DE LABORATORIO

JORGE CHUNGARA C.

## Anexo 4. Análisis Físico Químico de Aguas

**MINISTERIO DE EDUCACION**  
INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA NUCLEAR  
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES  
UNIDAD DE ANALISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

IBTEN

## ANALISIS FISICO QUIMICO DE AGUAS

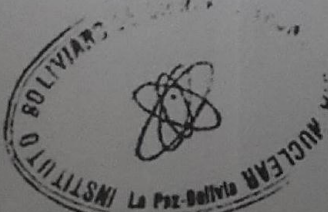
INTERESADO : VICTOR PAYE HUARANCA  
PROCEDENCIA : Dpto. LA PAZ, Pvcia. INGAVI,  
comunidad KALLUTAKA

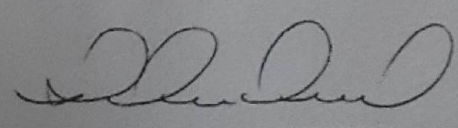
NUMERO DE SOLICITUD : 023 / 2011  
FECHA DE RECEPCION : 20 / Enero / 2011  
FECHA DE ENTREGA : 14 / Febrero / 2011

DESCRIPCIÓN : Muestra de agua CEK

N° Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
041-01 /2011	pH	6,34	-	Potenciometría
041-02 /2011	Conductividad eléctrica	0,201	mS/cm	Potenciometría
041-03 /2011	Sodio	9,11	mg / L	Flamometría
041-04 /2011	Potasio	3,73	mg / L	Flamometría
041-05 /2011	Calcio	16,35	mg / L	Absorción atómica
041-06 /2011	Magnesio	6,20	mg / L	Absorción atómica
041-07 /2011	Cloruros	16,43	mg / L	Método argentométrico
041-08 /2011	Carbonatos	0,00	mg / L	Volumetría
041-09 /2011	Bicarbonatos	64,43	mg / L	Volumetría
041-10 /2011	Sulfatos	20,35	mg / L	Espectrofotometría UV-Visible
041-11 /2011	Boro	0,52	mg / L	Espectrofotometría UV-Visible
041-12 /2011	Hierro	2,17	mg / L	Fluorescencia de Rayos X
041-13 /2011	Manganeso	0,12	mg / L	Fluorescencia de Rayos X
041-14 /2011	N total	0,85	mg N / L	Espectrofotometría UV-Visible
041-15 /2011	P total	0,17	mg P / L	Espectrofotometría UV-Visible
041-16 /2011	Nitratos	0,51	mg N / L	Espectrofotometría UV-Visible
041-17 /2011	Amonio	0,09	mg N / L	Espectrofotometría UV-Visible

OBSERVACIONES.-





**RESPONSABLE DE LABORATORIO**  
JORGE CHUNGARA C.

Of. Av. 6 de Agosto 2905 , Telf.: 2433481 - 2430309 - 2433877 - 2128383 Fax: (0591-2) 2433063 , La Paz - Bolivia  
Casilla 4821 , Telf.-2800095 CIN-Viacha , E-mail: ibten@entelnet.bo

## Anexo 5. Análisis Químico de Suelos: Tratamiento 1



### MINISTERIO DE HIDROCARBUROS Y ENERGÍA

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA NUCLEAR  
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES  
UNIDAD DE ANÁLISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

## ANALISIS QUIMICO DE SUELOS

INTERESADO : *INES APAZA ESPINOZA*  
PROCEDENCIA : *Departamento: LA PAZ,*  
*CALLUTAKA*

NO SOLICITUD: *025A / 2016*  
FECHA DE RECEPCION : *15 / Febrero / 2016*  
FECHA DE ENTREGA : *23 / Marzo / 2016*

DESCRIPCIÓN : *MUESTRA DE SUELO : Tratamiento 1*

N° Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
122-01 /2016	Nitrógeno	0,37	%	Kjeldahl
122-02 /2016	Fósforo asimilable	328,34	ppm	Espectrofotometría UV-Visible
122-03 /2016	Potasio intercambiable	4,23	meq/100 g	Emisión atómica

OBSERVACIONES,- \*\* Potasio de Cambio extraido con Acetato de amonio 1 N.



RESPONSABLE DE LABORATORIO

JORGE CHUNGARA C.

## Anexo 6. Análisis Químico de Suelos: Tratamiento 2



**MINISTERIO DE HIDROCARBUROS Y ENERGÍA**

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA NUCLEAR  
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES  
UNIDAD DE ANÁLISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

# ANALISIS QUIMICO DE SUELOS

INTERESADO : *INES APAZA ESPINOZA*  
PROCEDENCIA : *Departamento: LA PAZ,*  
*CALLUTAKA*

NO SOLICITUD: *025B / 2016*  
FECHA DE RECEPCION : *15 / Febrero / 2016*  
FECHA DE ENTREGA : *23 / Marzo / 2016*

DESCRIPCIÓN : *MUESTRA DE SUELO : Tratamiento 2*

Nº Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
123-01 /2016	Nitrógeno	0,36	%	Kjeldahl
123-02 /2016	Fósforo asimilable	282,70	ppm	Espectrofotometría UV-Visible
123-03 /2016	Potasio intercambiable	4,08	meq/100 g	Emisión atómica

OBSERVACIONES,- \*\* Potasio de Cambio extraído con Acetato de amonio 1 N.



RESPONSABLE DE LABORATORIO  
JORGE CHUNGARA C.

## Anexo 7. Análisis Químico de Suelos: Tratamiento 3



**MINISTERIO DE HIDROCARBUROS Y ENERGÍA**

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA NUCLEAR  
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES  
UNIDAD DE ANÁLISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

# ANALISIS QUIMICO DE SUELOS

INTERESADO : *INES APAZA ESPINOZA*  
PROCEDENCIA : *Departamento: LA PAZ,*  
*CALLUTAKA*

NO SOLICITUD: *025C / 2016*  
FECHA DE RECEPCION : *15 / Febrero / 2016*  
FECHA DE ENTREGA : *23 / Marzo / 2016*

DESCRIPCIÓN : *MUESTRA DE SUELO : Tratamiento 3*

N° Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
124-01 /2016	Nitrógeno	0,38	%	Kjeldahl
124-02 /2016	Fósforo asimilable	283,94	ppm	Espectrofotometría UV-Visible
124-03 /2016	Potasio intercambiable	42,97	meq/100 g	Emisión atómica

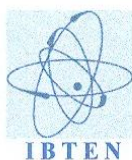
OBSERVACIONES,- \*\* Potasio de Cambio extraido con Acetato de amonio 1 N.



RESPONSABLE DE LABORATORIO

JORGE CHUNGARA C.

## Anexo 8. Análisis Químico de Suelos: Tratamiento 4



### MINISTERIO DE HIDROCARBUROS Y ENERGÍA

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA NUCLEAR  
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES  
UNIDAD DE ANÁLISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

## ANALISIS QUIMICO DE SUELOS

INTERESADO : *INES APAZA ESPINOZA*  
PROCEDENCIA : *Departamento: LA PAZ,*  
*CALLUTAKA*

NO SOLICITUD: *025D / 2016*  
FECHA DE RECEPCION : *15 / Febrero / 2016*  
FECHA DE ENTREGA : *23 / Marzo / 2016*

DESCRIPCIÓN : *MUESTRA DE SUELO : Tratamiento 4*

N° Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
125-01 /2016	Nitrógeno	0,38	%	Kjeldahl
125-02 /2016	Fósforo asimilable	276,54	ppm	Espectrofotometría UV-Visible
125-03 /2016	Potasio intercambiable	4,40	meq/100 g	Emisión atómica

OBSERVACIONES,- \*\* Potasio de Cambio extraido con Acetato de amonio 1 N.



RESPONSABLE DE LABORATORIO

JORGE CHUNGARA C.



## Anexo 9. Análisis Físico-químico de Vegetales: Tratamiento 1



### MINISTERIO DE HIDROCARBUROS Y ENERGÍA

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA NUCLEAR

CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES

UNIDAD DE ANÁLISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

## ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE VEGETALES

INTERESADO : *INES APAZA ESPINOZA*

PROCEDENCIA : *Departamento: LA PAZ,  
CALLUTAKA*

Nº SOLICITUD: *026A / 2016*

FECHA DE RECEPCION : *15 / Febrero / 2016*

FECHA DE ENTREGA : *24 / Marzo / 2016*

PRODUCTO : *MUESTRA DE HOJAS : Tratamiento 1.*

Nº Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
126-01 /2016	Nitrógeno	4,266	% N	Kjeldahl
126-02 /2016	Fósforo	0,466	% P	Espectrofotometría UV-Visible
126-03 /2016	Potasio	4,893	% K	Emisión atómica
126-04 /2016	Carbono orgánico	21,840	%	Walkley Black
126-05 /2016	Humedad	88,84	%	Gravimetría
126-06 /2016	Materia seca	11,16	%	Gravimetría

OBSERVACIONES.- *Resultados en base seca.*



RESPONSABLE DE LABORATORIO

JORGE CHUNGARA C.

## Anexo 10. Análisis Físico-químico de Vegetales: Tratamiento 2



### MINISTERIO DE HIDROCARBUROS Y ENERGÍA

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA NUCLEAR  
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES  
UNIDAD DE ANÁLISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

## ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE VEGETALES

INTERESADO : *INES APAZA ESPINOZA*  
PROCEDENCIA : *Departamento: LA PAZ,*  
*CALLUTAKA*

Nº SOLICITUD: *026B / 2016*  
FECHA DE RECEPCION : *15 / Febrero / 2016*  
FECHA DE ENTREGA : *24 / Marzo / 2016*

PRODUCTO : *MUESTRA DE HOJAS : Tratamiento 2.*

Nº Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
127-01 /2016	Nitrógeno	4,423	% N	Kjeldahl
127-02 /2016	Fósforo	0,445	% P	Espectrofotometría UV-Visible
127-03 /2016	Potasio	5,328	% K	Emisión atómica
127-04 /2016	Carbono orgánico	18,915	%	Walkley Black
127-05 /2016	Humedad	90,11	%	Gravimetría
127-06 /2016	Materia seca	9,89	%	Gravimetría

OBSERVACIONES.- *Resultados en base seca.*



  
RESPONSABLE DE LABORATORIO  
JORGE CHUNGARA C.

## Anexo 11. Análisis Físico-químico de Vegetales: Tratamiento 3



### MINISTERIO DE HIDROCARBUROS Y ENERGÍA

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA NUCLEAR  
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES  
UNIDAD DE ANÁLISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

## ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE VEGETALES

INTERESADO : *INES APAZA ESPINOZA*  
PROCEDENCIA : *Departamento: LA PAZ,*  
*CALLUTAKA*

N° SOLICITUD: *026C / 2016*  
FECHA DE RECEPCION : *15 / Febrero / 2016*  
FECHA DE ENTREGA : *24 / Marzo / 2016*

PRODUCTO : *MUESTRA DE HOJAS : Tratamiento 3.*

N° Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
128-01 /2016	Nitrógeno	4,716	% N	Kjeldahl
128-02 /2016	Fósforo	0,440	% P	Espectrofotometría UV-Visible
128-03 /2016	Potasio	5,764	% K	Emisión atómica
128-04 /2016	Carbono orgánico	21,645	%	Walkley Black
128-05 /2016	Humedad	90,04	%	Gravimetría
128-06 /2016	Materia seca	9,96	%	Gravimetría

OBSERVACIONES.- *Resultados en base seca.*



RESPONSABLE DE LABORATORIO  
JORGE CHUNGARA C.

## Anexo 12. Análisis Físico-químico de Vegetales: Tratamiento 4



### MINISTERIO DE HIDROCARBUROS Y ENERGÍA

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA NUCLEAR  
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES  
UNIDAD DE ANÁLISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

## ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE VEGETALES

INTERESADO : *INES APAZA ESPINOZA*  
PROCEDENCIA : *Departamento: LA PAZ,*  
*CALLUTAKA*

Nº SOLICITUD: *026D / 2016*  
FECHA DE RECEPCION : *15 / Febrero / 2016*  
FECHA DE ENTREGA : *24 / Marzo / 2016*

PRODUCTO : *MUESTRA DE HOJAS : Tratamiento 4.*

Nº Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
129-01 /2016	Nitrógeno	4,413	% N	Kjeldahl
129-02 /2016	Fósforo	0,449	% P	Espectrofotometría UV-Visible
129-03 /2016	Potasio	5,764	% K	Emisión atómica
129-04 /2016	Carbono orgánico	21,645	%	Walkley Black
129-05 /2016	Humedad	91,12	%	Gravimetría
129-06 /2016	Materia seca	8,88	%	Gravimetría

OBSERVACIONES.- *Resultados en base seca.*



RESPONSABLE DE LABORATORIO  
JORGE CHUNGARA C.

### Anexo 13. Costo Económico de Producción de Rúcula -16 m<sup>2</sup>

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo Bs	Costo \$us
Análisis de suelo inicial	Global	1	304	304	44
Análisis fisicoquímico de suelo y hojas	Global	1	1168	1168	171
Semillas onza	2 sobres de 2 g	2	10	20	3
Zeolita	kg.	1	34	34	5
Nitrofoska	kg.	1	30	30	4
Agua	costo/l	1	25	25	4
Preparación del terreno con el tractor	Horas	2	25	50	7
Descortezado, remoción y embolsado de suelo	Horas	2	25	50	7
Aplicación de zeolita y nutrientes	Min.	20	0,41	8,2	1
Colocado de bolsas en sitio permanente	Horas	1	25	25	4
Siembra	Minutos	30	0,41	12,3	2
Escarda	Minutos	20	0,33	6,6	1
Riego	Minutos	75	0,41	30,75	4
Cosecha	Minutos	16	0,41	6,56	1
Pesaje y embolsado	Minutos	16	0,41	6,56	1
Alquiler de 16 m2	mes	30	1	30	4
<b>Material de escritorio</b>					
Imprevistos %	1		500	500	73
<b>Total</b>				<b>2306,97</b>	<b>337</b>

Fuente: Elaboración propia

### Anexo 14. Costo Económico de Producción de Rúcula – Costo/ha

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo Bs	Costo \$us
Análisis de suelo inicial	Global	1	304	304	44
Análisis fisicoquímico de suelo y hojas	Global	1	1168	1168	171
Semillas onza	kg.	3	1986	5958	870
Zeolita	kg.	700	34	23800	3474
Nitrofoska	kg.	600	30	18000	2628
Agua	costo/l	1	364	364	53
Preparación del terreno con el tractor	día	4	250	1000	146
Descortezado, remoción y embolsado de suelo	Horas	4	250	1000	146
Aplicación de zeolita y nutrientes	Horas	875	25	21875	3193
Colocado de bolsas en sitio permanente	Horas	146	25	3650	533
Siembra	Horas	120	25	3000	438
Escarda	Horas	20	25	500	73
Riego	Horas	5	25	125	18
Cosecha	Horas	146	25	3650	533
Pesaje y embolsado	Horas	117	25	2925	427
Material de escritorio					0
Imprevistos %	1		500	500	73
<b>Total</b>				<b>87819</b>	<b>12820</b>

**Fuente:** Elaboración propia