



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

“EVALUACIÓN DE ZEOLITA Y CARBÓN ACTIVADO EN EL CULTIVO DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea* var. Avenger) EN LA GRANJA LA PRADERA, CANTÓN ANTONIO ANTE, PROVINCIA DE IMBABURA”

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

AUTORA:

Vilema Vilema Bríjida Magdalena

DIRECTOR:

MSc. Basantes Fernando

Ibarra, Junio del 2017

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

“EVALUACIÓN DE ZEOLITA Y CARBÓN ACTIVADO EN EL CULTIVO DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea* var. Avenger) EN LA GRANJA LA PRADERA, CANTÓN ANTONIO ANTE, PROVINCIA DE IMBABURA”

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

INGENIERA AGROPECUARIA

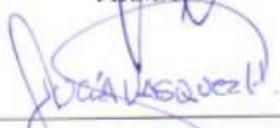
APROBADO:

MSc. Fernando Basantes
DIRECTOR



FIRMA

MSc. Lucía Vásquez
MIEMBRO TRIBUNAL



FIRMA

MSc. Miguel Gómez
MIEMBRO TRIBUNAL



FIRMA

MSc. Alexandra Jácome
MIEMBRO TRIBUNAL



FIRMA

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Vilema Vilema Brijida Magdalena, bajo mi supervisión.

Ibarra, a los 15 días del mes de Junio del 2017

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'F. Basantes', is written over a horizontal line.

MSc. Fernando Basantes

DIRECTOR DE TESIS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

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

Ibarra, a los 15 días del mes de Junio del 2017

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Vilema Vilema Brjida Magdalena', written over a horizontal line.

Firma

Vilema Vilema Brjida Magdalena

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

Yo, Vilema Brijida, con cédula de identidad Nro 100432837-1, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autora de la obra o trabajo de grado denominado: "EVALUACIÓN DE ZEOLITA Y CARBÓN ACTIVADO EN EL CULTIVO DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea* var. Avenger) EN LA GRANJA LA PRADERA, CANTÓN ANTONIO ANTE, PROVINCIA DE IMBABURA", que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Agropecuaria en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 15 días del mes de Junio del 2017.



Firma

Vilema Vilema Brijida Magdalena

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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejamos sentada nuestra voluntad de participar en este proyecto, para lo cual ponemos a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1004328371		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Vilema Vilema Bríjida Magdalena		
DIRECCIÓN:	Av. Agustín Rosales y Manuelita Sáenz		
EMAIL:	brimagvi@gmail.com		
TELÉFONO FIJO:	2632525		
TELÉFONO MÓVIL:	0992799885		
DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:	EVALUACIÓN DE ZEOLITA Y CARBÓN ACTIVADO EN EL CULTIVO DE BRÓCOLI (<i>Brassica oleracea</i> var. Avenger) EN LA GRANJA LA PRADERA, CANTÓN ANTONIO ANTE, PROVINIA DE IMBABURA.		
AUTORA:	Vilema Vilema Bríjida Magdalena		
FECHA:	15 de Junio de 2017		
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO			
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/>	PREGRADO	<input type="checkbox"/>
			POSTGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Agropecuaria		
DIRECTORA:	Ing. Fernando Basantes, MSc.		

2. AUTORIZACION A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Bríjida Magdalena Vilema Vilema, con cédula de identidad número 100432837-1, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto asumimos la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldremos en defensa de la Universidad Técnica del Norte en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, 15 de Junio de 2017

AUTORA:



Vilema Vilema Bríjida Magdalena

ACEPTACIÓN:



**Ing. Bethy Chávez
JEFE DE BIBLIOTECA**

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a mis padres Vicente y Fanny, a mis hermanos Aracely, Alexis y Juan los cuales de una u otra manera han sembrado una semilla de aprendizaje en mí. El hogar es y fue la primera escuela a la que asistí, de donde aprendí varias cosas que me guiaron en todos los lugares de aprendizaje a los que fui: el jardín de infantes, la escuela, el colegio y la universidad. El resto del camino a la gran universidad de la vida depende de mí y de las enseñanzas recolectadas durante un largo tiempo. Por ser un pilar en mí, por ofrecer su tiempo, paciencia y apoyo para que yo logre mis metas. GRACIAS.

Todas las personas pueden lograr sus metas si se lo proponen, pero siempre necesitan de una mano amiga, una persona que te aconseje y te levante cuando todo parece perdido, que te anime a seguir aunque parezca que no vas a lograr nada a pesar de lo mucho que lo intentes. Mi querido Michael te agradezco por extender tu mano y tomar la mía para ayudarme a recorrer etapas tristes y felices en la vida, por compartir tu tiempo y tus conocimientos conmigo. GRACIAS.

A la persona a la que no se puede ver, y en ciertas ocasiones se siente, al cual llaman de diferentes nombres. Gracias por la poca o grande intervención.

A la Granja La Pradera de la Universidad Técnica del Norte, lugar en el que de poco en poco ascendí escalones, gané experiencia y aprendizaje para lograr obtener un título universitario.

A los asesores, y director que dispusieron de su tiempo para guiarme en la realización de este trabajo de investigación.

DEDICATORIA

*Los caminos que se toman,
los errores que se cometen,
y los triunfos que se obtienen
se logran por decisión propia
ya que son parte de la formación.*

Una vida no es suficiente para aprender

y, en ciertas ocasiones

lo que haces es nada

pero, es por decisión propia

que se levanta

después de haber caído

para superarse y seguir adelante,

porque si tu no lo haces

nadie lo hará por tí.

Este trabajo va dedicado a mi esfuerzo y perseverancia que lograron

abrir puertas en donde encontraré muchas más.

INDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE FIGURAS.....	i
ÍNDICE DE TABLAS	ii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. PROBLEMA	2
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.4. OBJETIVOS.....	4
1.4.1. Objetivo General	4
1.4.2. Objetivos Específicos	4
1.5. HIPÓTESIS	5
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	6
2.1. IMPORTANCIA DEL BRÓCOLI EN EL ECUADOR	6
2.2. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA	6
2.3. AGROECOLOGÍA	7
2.4. PLAGAS Y ENFERMEDADES	7
2.5. FERTILIZACIÓN.....	8
2.5.1. Fertilización edáfica	8
2.5.2. Tendencia ácida del suelo por fertilización.....	9
2.5.3. Tendencia alcalinizante del suelo.....	9
2.5.4. Fertilización foliar	11
2.6. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC)	11
2.6.1. Importancia de la Capacidad de Intercambio Cationico del suelo	12
2.7. ZEOLITA	12
2.7.1. Propiedades de la Zeolita	13
2.7.2. Beneficios de la Zeolita en la agricultura.....	13
2.7.3. Características químicas de Zeolpac	14

2.7.4. Investigaciones realizadas con Zeolita	14
2.8. CARBÓN ACTIVADO	15
2.8.1. Beneficios del carbón activado en la agricultura	16
2.8.2. Características químicas del carbón activado.....	17
2.8.3. Investigaciones realizadas con carbón activado.....	17
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA	20
3.1. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	20
3.1.1. Ubicación	20
3.1.2. Características edafoclimáticas	21
3.2. MATERIALES Y EQUIPOS.....	21
3.3. MÉTODOS.....	22
3.3.1. Diseño experimental.....	22
3.3.2. Tratamientos	22
3.3.3. Características del área experimental.....	23
3.3.4. Análisis estadístico	23
3.4. ANÁLISIS FUNCIONAL.....	24
3.5. VARIABLES EVALUADAS	24
3.5.1. Altura de la planta	24
3.5.2. Número de pellas a la cosecha	24
3.5.3. Diámetro de pella	25
3.5.4. Rendimiento del cultivo	25
3.5.5. Evaluación económica a cada tratamiento mediante el modelo del CIMMYT	25
3.5.6. Análisis de suelo de cada tratamiento al inicio y al final del cultivo	26
3.5.7. Análisis foliar de cada tratamiento al final del cultivo.....	27
3.6. MANEJO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO	28
3.6.1. Preparación del terreno.....	28
3.6.2. Toma de muestras de suelo	28
3.6.3. Delimitación y preparación de las unidades experimentales	28
3.6.4. Instalación del sistema de riego	28
3.6.5. Trasplante de plántulas de variedad Avenger	29
3.6.6. Fertilización.....	29
3.6.7. Labores culturales	30

3.6.8. Controles fitosanitarios	30
3.6.9. Cosecha	30
3.6.10. Toma de muestras foliares.....	31
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
4.1. ALTURA DE LA PLANTA	32
4.1.1. Altura de la planta a los 31 días después del trasplante	32
4.1.2. Altura de la planta a los 61 días después del trasplante	33
4.1.3. Altura de planta a la cosecha.....	35
4.2. NÚMERO DE PELLAS A LA COSECHA.....	36
4.3. DIÁMETRO DE PELLA	38
4.4. RENDIMIENTO DEL CULTIVO.....	39
4.5. ANÁLISIS DE SUELO DE LAS MUESTRAS RECOLECTADAS AL INICIOY AL FINAL DEL CICLO DEL CULTIVO	42
4.6. ANÁLISIS FOLIAR DE LAS MUESTRAS RECOLECTADAS POR TRATAMIENTO.....	49
4.7. EVALUACIÓN ECONÓMICA A CADA TRATAMIENTO MEDIANTE EL PRESUPUESTO PARCIAL DEL CIMMYT.....	50
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52
5.1. CONCLUSIONES	52
5.2. RECOMENDACIONES	55
BIBLIOGRAFÍA	56
ANEXOS	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso idealizado de la formación de carbonato de calcio en un suelo bien drenado con descenso capilar (a) y un suelo mal drenado con ascenso capilar (b).....	10
Figura 2. Esquematización de los beneficios que aporta el carbón activado (biochar)	16
Figura 3. Mapa de ubicación del área de estudio	20
Figura 4. Altura a los 31 días después del trasplante, según la prueba Fisher (5%).....	33
Figura 5. Altura a los 61 días, rangos según la prueba de Fisher 5%	34
Figura 6. Interacción entre tratamientos y categorías para la variable número de pellas según la Prueba Fisher (5%)	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales plagas y enfermedades en el cultivo.....	8
Tabla 2. Recomendación de fertilización edáfica	9
Tabla 3. Análisis químico de la zeolita	14
Tabla 4. Características edafoclimáticas	21
Tabla 5. Materiales y equipos que se usaron en el experimento.....	21
Tabla 6. Tratamientos y dosificación por planta al momento del trasplante y 45 días después del trasplante.....	22
Tabla 7. Análisis de varianza (ADEVA) de un diseño completamente al azar	24
Tabla 8. Categorización de pellas de acuerdo al peso de la inflorescencia.....	24
Tabla 9. Fertilización aplicada al cultivo de brócoli variedad Avenger.	30
Tabla 10. Promedios de la variable altura de planta por tratamiento a los 31, 61 y 79 días después del trasplante.....	32
Tabla 11. ADEVA de la variable altura de planta a los 31 días después del trasplante	32
Tabla 12. ADEVA de la variable altura de la planta a los 61 días después del trasplante..	33
Tabla 13. ADEVA de la variable altura a los 79 días después del trasplante	35
Tabla 14. ADEVA de la variable número de pella	36
Tabla 15. ADEVA para la variable diámetro de pella	38
Tabla 16. ADEVA para la variable rendimiento.....	39
Tabla 17. Niveles de interpretación para las relaciones catiónicas en suelos del callejón interandino utilizados por el DMSA de la EESC.....	44
Tabla 18. Resultado de los análisis del suelo de las muestras recolectadas en la granja La Pradera al inicio y al final del cultivo.	46
Tabla 19. Aporte de nutrientes calculado en base al análisis de suelo más fertilizante aplicado en el suelo al inicio del cultivo y comparación de los nutrientes restantes en el suelo al final del cultivo.	47
Tabla 20. Total de nutrientes absorbidos y perdidos de cada tratamiento	48
Tabla 21. Análisis foliar realizado a todos los tratamientos	49
Tabla 22. Presupuesto Parcial del CIMMYT aplicado para la evaluación económica de cada tratamiento	50

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis foliar realizado a cada tratamiento al final del ciclo del cultivo	65
Anexo 2. Croquis del área experimental	66
Anexo 3. Calendario de aplicación de fertilización foliar aplicada a todos los tratamientos	67
Anexo 4. Calendario de aplicación de controles fitosanitarios de todos los tratamientos ..	67
Anexo 5. Índice de madurez del cultivo de brócoli	68
Anexo 6. Prueba de Fisher (5%) para la variable altura a los 31 días después del trasplante	68
Anexo 7. Prueba de Fisher (5%) para la variable altura a los 61 días después del trasplante	68
Anexo 8. Prueba de Fisher (5 %) aplicada a la variable número de pellas categorizadas ..	69
Anexo 9. Rendimiento expresado en peso en kilogramos y toneladas por hectárea de acuerdo a cada categoría y tratamiento	69
Anexo 10. Resultado del laboratorio de las muestras de suelo recolectadas al inicio del cultivo.....	70
Anexo 11. Análisis de suelo final de las muestras de todos los tratamientos recolectadas al final del ciclo del cultivo.....	75
Anexo 12. Datos tabulados de peso promedio por categoría	80
Anexo 13. Resultado del análisis del agua de riego utilizada en el experimento	81
Anexo 14. Diámetro de pella por categoría	82
Anexo 15. Numero de pellas recolectadas por parcela divididas en categorías.....	82
Anexo 16. Rendimiento por categoría y tratamiento expresado en dólares.....	83
Anexo 17. Fotografías.....	84

RESUMEN

La presente investigación se realizó con el objetivo de evaluar la eficiencia de aplicación de zeolita y carbón activado en el rendimiento del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* var. Avenger). Para la realización de este experimento se instaló un diseño completamente al azar con cinco tratamientos y tres repeticiones respectivamente. Se sustituyó un 20 y 40 % de fertilización química de acuerdo al requerimiento del cultivo con zeolita y carbón activado correspondiendo a los tratamientos T2, T3, T4 y T5 con un testigo T1 con 100 % de fertilización química. Al final del ciclo del cultivo, posterior a la evaluación de las variables propuestas se concluye que: en la variable altura de la planta hubo diferencia significativa a nivel del 5 % a los 31 y 61 días después del trasplante, pero a los 79 días después del trasplante no se evidenció diferencia estadística entre tratamientos asumiendo que la zeolita y el carbón activado no influyeron en esta variable. En cuanto a rendimiento promedio (6,17 t/ha) y diámetro de pella promedio (10,53 cm) no existió diferencia estadística entre tratamientos evidenciando la eficiencia de aplicación de zeolita y carbón activado. Las pellas cosechadas fueron categorizadas de acuerdo al peso de la inflorescencia en tres categorías (<250 g; 250-500 g; >500 g), en donde según la prueba de Fisher al 5 % aplicado a los tratamientos se obtuvo lo siguiente: en la categoría 1 el testigo (T1) fue el que obtuvo un mayor número de pellas pequeñas, en la categoría 2 el T2 (Zeolita 20 %) y T5 (Carbón Activado 40 %) obtuvieron mayor producción de pellas de a comparación del T1. En lo que respecta en la categoría 3 en todos los tratamientos existió un bajo número de pellas con peso mayor a 500 g. A nivel edáfico existió un incremento en el pH probablemente debido a los altos contenidos de HCO_3 del agua de riego, la CIC aumentó en todos los tratamientos por el incremento de cationes bases. Mediante el análisis foliar se comprobó que en las plantas no existió deficiencia de macronutrientes en los tratamientos en los que se aplicó menos un 20 y 40 % de fertilización, evidenciando las propiedades de la zeolita y carbón activado como retenedores de nutrientes. En el análisis económico mediante el presupuesto parcial del CIMMYT se establece que el mejor tratamiento en cuanto mejor beneficio neto fue el tratamiento 2 (Zeolita 20 %), seguido por el T3 (Zeolita 40 %), T4 (Carbón activado 20 %), T1 (testigo) y al finalizar está el T5 (Carbón activado 40 %) con ganancias de 2.582,88; 2.399,09; 2.363,56; 2.307,40 y 2.221,45 USD respectivamente.

Palabras clave: nutrientes, cliptonilolita, biochar, Avenger.

ABSTRACT

The present research was carried out to evaluate the efficiency of the application of zeolite and activated charcoal in the performance of broccoli (*Brassica oleracea* var. Avenger). For the accomplishment of this experiment a completely randomized design with five treatments and three repetitions respectively was installed. Chemical fertilization was substituted with 20 and 40 % of zeolite (T2 and T3) and 20 and 40 % of activated charcoal (T4 and T5). Additionally a control treatment with 100 % of chemical fertilization based on crop requirements was evaluated. At the end of the crop cycle, after the evaluation of the proposed variables, it was concluded that: in the plant height variable, there was a significant difference at the 5% level at 31 and 61 days after transplant, but at the 79 days after transplant showed no statistical difference among treatments assuming that zeolite and activated carbon did not influence in this variable. Having an average yield of 6,17 t/ha and an average inflorescence diameter of 10,53 cm, which shows that the application of zeolite and activated charcoal improved nutrient use efficiency by the crop. The inflorescences were categorized according to their weights in three categories (<250 g, 250-500 g, > 500 g), (T1) obtained the largest number of small inflorescences. In the category 2 T2 (Zeolite 20 %) and T5 (Activated Charcoal 40 %) obtained higher production of inflorescences compared to T1. Regarding to category 3, all the treatments had a reduced number of inflorescences with a weight higher than 500 g. At edaphic level there was an increase in pH probably due to the high contents of HCO_3^- of the irrigation water. The CIC increased in all the treatments by the increase of cations bases. Leaf analysis showed that there were no macronutrient deficiencies in the treatments in which the chemical fertilization was reduced, evidencing the properties of zeolite and activated carbon as nutrient retainer. The economic analysis showed that T2 (Zeolite 20 %) had the highest net benefit, followed by T3, T4, T1 and T5 with gains of 2,582.88; 2,399,09; 2,363.56; 2,307.40 and 2,221.45 USD respectively.

Key words: nutrients, biochar, clinoptilolite, Avenger

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El brócoli (*Brassica oleracea*), es una hortaliza muy cotizada a nivel nacional e internacional debido a su contenido nutricional e importancia económica (Ravensthorpe, 2014). Según el boletín situacional del brócoli emitido por el MAGAP en el año 2014 las principales provincias productoras en el Ecuador son Cotopaxi y Pichincha; la producción nacional del año 2014 aumentó un 59,59 % respecto a la producción nacional del año 2013 lo que influyó en el incremento de exportaciones.

Este incremento en la producción también significa un ascenso en el uso de tecnologías, tales innovaciones son los fertilizantes químicos, herbicidas y plaguicidas que se utilicen para elevar la producción. El uso indiscriminado de estas tecnologías causa contaminación ambiental debido a que en el caso de los fertilizantes químicos administrados al sistema suelo cerca de un 50 y hasta un 70 % salen del sistema sin ser aprovechados por las plantas (Bertsch, 1998; Barber, 1995 cp Chica; Londoño & Álvarez, 2006).

La limitante en la mayoría de suelos agrícolas es la disponibilidad de nutrientes, estas deficiencias derivan en una baja producción de los cultivos, en el caso del brócoli que es un cultivo exigente en nutrientes elementales como: nitrógeno y potasio (MAGAP, 2013). La zeolita y el carbón activado, brindan una alternativa ecológica nutricional, haciendo que los elementos se encuentren disponibles en el suelo agrícola, de esta manera las plantas aprovechan los nutrientes, generando óptimas producciones, y por ende mayores ingresos económicos.

Varias investigaciones se han realizado con zeolita y carbón activado en diferentes cultivos para verificar, comprobar y aportar información sobre rendimiento en el cultivo, propiedades como el incremento de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), capacidades dosificadoras, entre otras. A continuación, se citan algunas investigaciones.

Pillajo (2010), estudió a la zeolita como fertilizante en dos variedades de rosas, en la cual aplicó cuatro niveles con cinco repeticiones cada una, demostrado que, con la cantidad de 25 kg/ha se obtienen tallos más largos y con mayor diámetro y con 35 kg/ha se consigue mayor durabilidad de días en florero.

López, Quilambaquí y Ayala (2004), emplearon a la zeolita, en combinación con urea y humus en el cultivo de maíz, concluyendo que la mezcla de urea más zeolita a comparación con la urea comparten estadísticamente significancia en la variable rendimiento y rentabilidad, obteniendo una tasa de retorno mayor al 100 %.

Cárdenas y Touma (2011) aplicaron zeolita más urea en briquetas de arroz, dando como resultado que la aplicación de zeolita más urea a comparación de solo urea incrementa los rendimientos en campo y el índice de pilado, además la adición de zeolita a la urea ayuda a que se retarde la liberación del fertilizante haciendo el nitrógeno disponible para su respectiva absorción a lo largo de todo el ciclo del cultivo.

Ocampo (2014) estudió tres tratamientos en los cuales aplicó por única vez antes de la siembra de uvilla (*Physalis peruviana L.*) 3,5 y 8 t/ha de biochar y una dosis de fertilización convencional con humus líquido y sólido. Después de transcurrir un año y sin ningún empleo de fertilización química posterior a la siembra se tomaron datos sobre la calidad del fruto y propiedades del suelo concluyendo que, no se evidencio deferencia estadística entre tratamientos en cuanto a las características de calidad como: pH del fruto, grados brix a excepción de la aplicación de 3,5 t/ha de biochar en la que se evidencio un mayor tamaño del fruto a diferencia de los otros tratamientos. En cuanto a las características fisicoquímicas del suelo no se evidencio ninguna diferencia estadística entre tratamientos. Este estudio se realizó en Colombia.

Mahmood et al. (2015) evaluaron al carbón hecho de madera de pino, activándolo a diferentes temperaturas, lo probaron en sorgo en un suelo árabe desértico demostraron que el rendimiento aumentó en un 19 % y 39 % con carbones activados a temperatura de 400 y 700 °C, además, mejoró la retención del agua en un 14 % y 57 % respectivamente, optimizó la CIC y el contenido de nutrientes en las plantas concluyendo que aporta una mejora en el desierto de Kubuqui donde se realizó esta investigación.

1.2 PROBLEMA

Los cambios que se producen a nivel edáfico debido a la erosión causan alteraciones a nivel de fertilidad del suelo (Wildner y Veiga, s/f.) en consecuencia, deriva en una baja productividad agrícola. Baquerizo et al. (2016) menciona que, el impacto humano y el clima influyen en el cambio de aporte del nitrógeno y la pérdida del mismo en los

ecosistemas terrestres. Los fertilizantes solubles que se aplica al suelo no son 100 % aprovechados por las plantas ya que se pierden por lixiviación y volatilización (Malesio, Ramírez, Ceja, Gómez y Bueno, 2013).

Se estima que un 50 y hasta el 70 % de elementos suministrados salen del sistema suelo en los lixiviados antes de ser aprovechados por las plantas, puesto que, los toman lentamente y el suelo no es capaz de retenerlo para una futura absorción radicular (Bertsch, 1998; Barber, 1995 cp Chica et al., 2006).

Las fuentes de nitrógeno que se aplican al suelo, se transforman en nitritos los mismos que son solubles en agua, además, son fácilmente lixiviados por el agua lluvia y agua de riego contaminando el agua subterránea pudiendo permanecer por décadas y acumularse con nitritos que son tóxicos para la salud (Nolan, 1999; cp Armenta, Cervantes & Galaviz, 2012; Fagundo & Gonzáles, 2016).

El brócoli es un cultivo demandante en fertilización nitrogenada (MAGAP, 2014) requiere de altas dosis de fertilización, a nivel de Ecuador la mayor cantidad de brócoli es de exportación por lo que los productores hacen altas inversiones, arriesgando al medio ambiente con aplicaciones de fertilizantes químicos exageradas.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El brócoli o también calificado como el oro verde, está presente desde la década de los noventas en la zona andina del Ecuador, lo que ha ocasionado que el 98 % de la producción ecuatoriana esté destinada a la exportación, por tal motivo es uno de los productos no tradicionales de mayor importancia en el Ecuador (Gall, 2009). Para el 2014 la exportación de brócoli fue de 17.321 toneladas métricas donde los principales compradores fueron Japón y Estados Unidos (MAGAP, 2014).

El brócoli es un producto no solo de interés comercial sino también es un producto de interés nutricional debido a sus propiedades que son factor de estudio, como por ejemplo Figueiredo, Filho, Nogueira-Machado & Caligorne (2013) mencionan que, el brócoli es uno de los alimentos que posee en mayor cantidad el sulforafano que es el isotiocianato mas estudiado debido a su actividad antitumoral. Riedl, Saxon & Diaz-Sanchez (2008) estudiaron al sulforafano concluyendo que es el inductor más potente de enzimas de fase II las cuales tienen importantes efectos en la protección contra las los xenobióticos como las

partículas de escape diésel, el ozono y el humo del tabaco, neutralizando las especies reactivas del oxígeno y metabolizando los xenobióticos.

Tales son las razones para buscar alternativas de producción amigable con el ambiente y el ser humano que ayuden a mantener la producción, comercialización y consumo seguro del brócoli. Esta investigación propone el uso de zeolita y carbón activado los cuales poseen características de dosificadores y retenedores de nutrientes en el suelo (Malesio et al., 2013; Rodríguez et al., s/f.) de tal manera que las plantas puedan aprovechar de mejor forma los nutrientes, evitando la lixiviación especialmente de los nutrimentos nitrogenados, evitando la contaminación de aguas subterráneas por nitritos.

Además, la zeolita y el carbón activado tienen la capacidad de retener agua evitando el estrés en plantas debido a la exposición a sequías (Herstsgaard, 2014; Malesio et al., 2013), incrementan la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) (Gómez, 2001; Lianga, Lehmann et al., 2005) que es la principal característica de un suelo fértil. Por tales razones estas alternativas derivan en un uso eficiente de fertilizantes químicos, altos rendimientos y por ende mayor ingreso económicos.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Determinar la eficiencia de la aplicación de zeolita y carbón activado en el rendimiento de brócoli (*Brassica oleracea* var. Avenger).

1.4.2 Objetivos Específicos

- Establecer la dosis óptima de zeolita y carbón activado en el cultivo de brócoli.
- Analizar la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) del suelo después de la aplicación de la zeolita y el carbón activado.
- Evaluar el rendimiento a la cosecha del cultivo de brócoli, mediante la adición de zeolita y carbón activado.
- Realizar un análisis económico, mediante el método del Análisis Presupuesto Parcial de CIMMYT.

1.5 HIPÓTESIS

Ho: La aplicación de zeolita y carbón, no tienen algún efecto sobre el cultivo de brócoli

Ha: La aplicación de zeolita y carbón tienen algún efecto sobre el cultivo de brócoli

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. IMPORTANCIA DEL BRÓCOLI EN EL ECUADOR

Según el MAGAP (2014) la producción en el Ecuador en el año 2014 aumentó considerablemente en un 59,59 % con respecto a la producción del año 2013, donde las provincias con mayor producción fueron Pichincha y Cotopaxi. Este incremento de la producción nacional influyó en el aumento de las exportaciones, en lo que concierne a los precios a nivel nacional aumentaron en un 4 y 5 % con respecto al año 2013 llegando a 0,26 USD/kg. Los mayores importadores de brócoli a nivel internacional son: Reino Unido, Canadá, Alemania, Malasia, Francia, Holanda, Japón y Estados Unidos, siendo los dos últimos los principales compradores de brócoli ecuatoriano en el año 2014.

La importancia del brócoli en el Ecuador no solo radica en lo comercial, sino también en la salud. El brócoli es uno de los pocos alimentos en contener sulforafano en mayor concentración de forma natural, este isotiocianato es un potente inductor de enzimas fase II relacionadas con procesos de desintoxicación de carcinógenos químicos para prevenir el inicio del cáncer, inhibiendo la viabilidad tumoral de células cancerígenas del cuello uterino humano, páncreas, ovarios, además, inhibe células de carcinoma hepatocelular humano y tiene propiedades antiinflamatorias de células de leucemia de células T humanas (Figueiredo et al., 2013).

Riedl et al. (2009), mencionan que las enzimas de fase II constituye un importante mecanismo de defensa contra xenobióticos como las partículas de escape diésel, ozono y humo del tabaco pues neutralizan las especies reactivas del oxígeno y metaboliza los xenobióticos de las vías respiratorias, ayudando a prevenir las fases proinflamatorias y proalérgicas del mismo, evitando el asma causado por especies reactivas del oxígeno.

2.2. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

El brócoli es una planta perteneciente a la familia de las Brassicaceas, posee una raíz pivotante, ramificada llegando a alcanzar una profundidad de hasta 60 cm. Su tallo no es comestible, tiene forma de roseta con entrenudos cortos y un diámetro de dos a seis centímetros, tiene un hábito de desarrollo intermedio.

Las hojas son festoneadas de color verde, con un nervio central pronunciado, limbo foliar hendido, posee ligeras espículas. Las flores son pequeñas, completas y regulares, el ovario

se encuentra en la parte alta de la flor, sobre el receptáculo y sobre el puno de inserción de las otras partes foliares (hipógina) con cuatro sépalos y cuatro pétalos de color amarillo

Están dispuestas en una inflorescencia conocida como corimbo primario, que también recibe el nombre de pella que viene a ser una masa de yemas foliares, las mimas que están insertadas al tallo principal por un pedúnculo. Los frutos son silicuas de valvas ligeramente convexas con un solo nervio longitudinal, produce de tres a ocho semillas de dos a tres milímetros de diámetro (Jaramillo., y Díaz s/f.; cp Rosero, 2015; Maroto 2008, cp Zamora, 2013; Toledo, 1995; cp Chiluisa 2014; Rivadeneira, 2008; Rosero, 2015).

2.3. AGROECOLOGÍA

El brócoli es una hortaliza resistente a altos cambios de temperatura que van desde -2 °C hasta los 24 °C siendo a los 17 °C una temperatura apta para un buen desarrollo sin perdidas en la producción (Santoyo y Martínez, 2011). Se adapta a todo tipo de suelo, pero prefiere suelos francos y francos arcillosos con alto contenido de materia orgánica y un pH que va desde 6,0 a 7,0 (PDA, s/f). Requiere de una precipitación anual de 800 mm con un mínimo de 70 % hasta un 80 % de humedad relativa (Puenayan et al., 2009) y se adapta a altitudes entre 2600 a 3000 msnm (cp. Reinoso, 2014).

La siembra puede realizarse de dos maneras, de forma directa o trasplante. De entre estas dos formas de siembra la mejor es por trasplante ya que se aprovecha toda la semilla debido a que las semillas de hoy en día requieren de este procedimiento para su mejor producción. (Santoyo, J., et al, s/f).

Se debe realizar a los 28 o 30 días después la siembra en semillero, cuando la planta tenga de 4 a 5 hojas o 10 cm de altura (PDA, 1993), o de 12 a 15 cm según SAGARPA, 2011 debido a que son más fuertes y vigorosas. Según el MAGAP, (2013), la densidad de siembra para la variedad Avenger es de 54,000 plantas por hectárea, sembrando a 30 cm entre planta y 50 cm entre surco.

2.4. PLAGAS Y ENFERMEDADES

Las plagas que más incidencia, severidad y perjuicio económico presentan en el cultivo son las que se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Principales plagas y enfermedades en el cultivo

Plaga y Enfermedad	Concepto
Palomilla o plutella (<i>Plutella xylostella</i>)	La larva es plaga masticadora, que causa daños severos a la planta, se recomienda no dejar rastrojos de cultivo anterior, pues podría ser medio de crecimiento de la plaga.
Gallina ciega (<i>Phyllophaga sp.</i>)	En estado larvario ataca a las raíces, se las come, dejando debilitada a la planta y propensa a enfermedades y muerte.
Mariposa blanca (<i>Pieris sp.</i>)	Las larvas perforan las hojas, y la pella.
Trozador (<i>Agrotis spp.</i>)	Las larvas perforan el tallo, causando daños a la planta tan severos que hasta le pueden causar la muerte.
Áfidos (<i>Aphis sp.</i>)	Son insectos chupadores que se alimentan de sabia de las hojas, dejándolas enrolladas debido a la saliva que secretan, provocando caída de las hojas, marchitez, y desarrollo de fumagina en la planta.
Rizoctonia (<i>Rhizoctonia sp.</i>)	Causa la pudrición del tallo
Alternaria (<i>Alternaria sp.</i>)	Causa pústulas en las hojas
Xanthomonas (<i>Xanthomonas sp.</i>)	Bacteria que causa una pudrición mal oliente en hojas y pella.
Erwinia (<i>Erwinia sp.</i>)	Bacteria que ataca a la pella y hojas dejando una pudrición con mal olor.

Fuente: Theodoracopoulos y Lardizábal (2008)

2.5. FERTILIZACIÓN

La fertilización edáfica y foliar que se ha aplicado a lo largo de varios años en el cultivo de brócoli. A continuación se describen algunas recomendaciones emitidas por varios investigadores.

2.5.1. Fertilización edáfica

Varias investigaciones se han realizado respecto a la fertilización en brócoli, obteniendo varias recomendaciones de las cuales se mencionan las siguientes:

El autor Puenayan et al., 2009 en su investigación recomienda el uso de 150 kg/ha de N; 200 kg/ha de P₂O₅; 80 kg/ha de K₂O, 10 kg/ha de bórax; 10 kg/ha de ZnSO₄ y 8 kg/ha de CuSO₄, este abonamiento se realizó a los 15 días después del trasplante. Se reportaron aplicaciones de 360 kg/ha de N; 234 kg/ha de P₂O₅; 143 kg/ha de K₂O; 43 Kg de MgO (Chirinos et al., s/f.). Rincón et al. (1999) afirman que lo que absorbe el cultivo de brócoli es 243,9 kg/ha de N; 28,7 kg/ha de P; 240,9 kg/ha de K; 221,3 kg/ha de Ca y 23 kg/ha de Mg concluyendo que la mayor acumulación de N, P y Mg se produjo durante el periodo de máximo crecimiento de las inflorescencias y las de Ca y K se produjeron al final del periodo de cultivo.

Cabe recalcar que cada recomendación depende del tipo de suelo, clima y fertilidad de la tierra, por lo que es necesario realizar un análisis de suelo antes del establecimiento de un cultivo. Los autores Theodoracopoulos y Lardizábal (2008) presentan una recomendación general en caso de que no se haya realizado un análisis previo al establecimiento del cultivo, dicha recomendación se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Recomendación de fertilización edáfica

Elemento	kg/ha
N	145
P ₂ O ₅	57
K ₂ O	225
Ca	80
Mg	29
B	0,61

Fuente: Theodoracopoulos y Lardizábal (2008).

2.5.2. Tendencia ácida del suelo por fertilización

La fertilización química trajo al hombre la ventaja de no depender de fuentes naturales para la producción de cultivos, pero a la vez trajo consigo la consecuencia de acidificar los suelos (Zapata, 2004). Los fertilizantes que contienen nitrógeno poseen dicha capacidad, tal es el caso de sulfato de amonio (NH₄)₂SO₄, nitrato de amonio (NO₃ NH₄) y la urea CO(NH₂)₂. El (NH₄)₂SO₄ y (NO₃ NH₄) liberan NH₄ en el suelo el mismo que por acción de la nitrificación se convierte en nitrato. El CO(NH₂)₂ al incorporarse al suelo tiene una acción alcalinizante inicial debido a la participación de la enzima ureasa encargada de la hidrólisis formando carbamato de amonio el cual al final del proceso pasa por el inevitable proceso de nitrificación convirtiéndose en nitrato (Espinosa y Molina, 1999).

La oxidación de formas reducidas del azufre también causa acidificación por acción de los sulfuros en el suelo tal es el caso de la pirita que al ser drenado se oxida rápidamente produciendo una gran cantidad de protones. La intensidad de la acidificación del suelo depende del lavado del nitrato, ya que a mayor lavado la acidificación aumenta. (Zapata, 2004).

2.5.3. Tendencia alcalinizante del suelo

Las zonas áridas poseen un déficit de agua en el perfil del suelo y el movimiento del agua es hacia arriba de la zona de meteorización causando que existan altos niveles de iones como Ca⁺², Mg⁺², HCO₃⁻, CO₃²⁻, SO₄²⁻ y Cl⁻, debido al ascenso capilar y evaporación del

agua. Los aniones HCO_3^- , CO_3^{2-} , tienen la característica de subir el pH, debido a que poseen hidrólisis alcalina como se observa en la Figura 1 (Zapata, 2004).

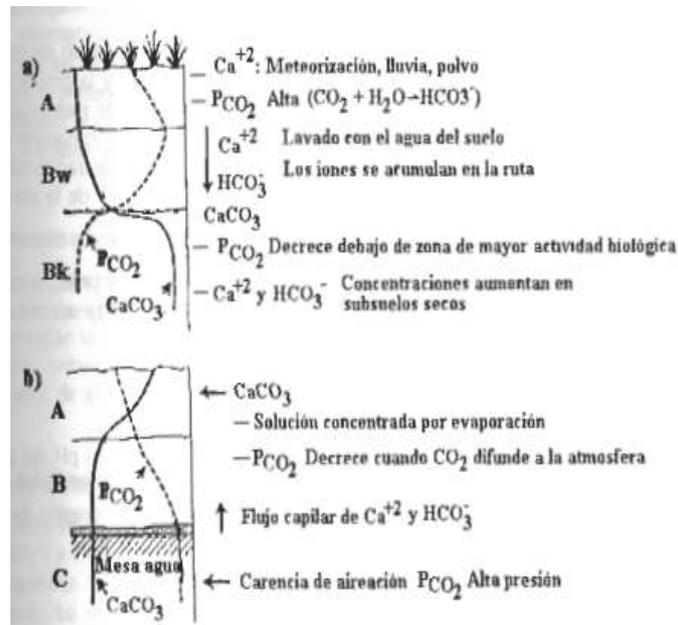


Figura 1. Proceso idealizado de la formación de carbonato de calcio en un suelo bien drenado con descenso capilar (a) y un suelo mal drenado con ascenso capilar (b).

Fuente: Zapata, 2004.

No solo en zonas áridas el suelo está afectado por la acumulación de sales, sino que también el hombre tiene un rol importante en este proceso. La salinización y la alcalinización del suelo agrícola es un problema que enfrenta la mayoría de agricultores a nivel mundial y la aceleración de estos procesos se deben a la intensificación de la desertificación, introducción masiva de sistemas de riego con destino desconocido de drenaje y bombeo indiscriminado de agua de riego en zonas cercanas al mar.

Según GAT (2012), los suelos en base al contenido de sales se pueden catalogar en salinos, sódicos y sódicos-salinos, los cuales se describen a continuación:

Suelos salinos: estos suelos presentan una alta concentración de sales solubles, su estructura no se ve afectada, posee una buena permeabilidad, baja relación de adsorción de sodio (RAS) y un pH menor de 8,5.

Suelos sódicos: presentan baja concentración de sales solubles, mala estructura, disminución de la permeabilidad y la aireación, el RAS es mayor a 13, el Porcentaje de

Sodio Intercambiable (PSI) es mayor al 15 %, el Carbonato de Sodio Residual (CSR) es mayor de 2 Mm, el pH es mayor a 8,5 y formación de costras.

Suelos sódico-salinos: estos suelos tienen una alta concentración de sales solubles, la estructura se encuentra ligeramente dispersa, la permeabilidad y aireación empiezan a alterarse, el RAS y el PSI incrementa, el CSR se encuentra en un nivel mayor a 1,5 Mm y el lavado de sales provoca sodificación.

2.5.4. Fertilización foliar

Fertilizar foliarmente es nutrir a la planta a través de sus hojas, es un complemento a la fertilización edáfica, de esta manera, corrige las deficiencias nutrimentales, promueve el buen desarrollo del cultivo, mejorando el rendimiento y la calidad del producto final (Trinidad y Aguilar, 2000).

Según Romheld y El-Fouly (1999), la distribución de los nutrientes en la hoja y su translocación hacia otras partes de la planta dependen de la movilidad de los nutrientes. Los nutrientes de alta movilidad (N, P, K, Mg) se distribuyen fuera de la hoja en forma acropetálica (por el xilema), y basipetálica (por el floema), llegando afuera de la hoja, y a partes de la planta donde existe alta demanda, mientras que los nutrientes con poca o nula movilidad (Ca, S, Cu, Fe, Mn, Zn) tienen baja movilidad en el floema y se distribuyen principalmente en forma acropetálica. La movilidad del B es de carácter genotípico.

2.6. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC)

Los elementos solubles y asimilables suministrados al suelo como los nitratos, amonio, fósforo, potasio, entre otros, son importantes para el crecimiento y desarrollo de las plantas, pero si estos no son retenidos o adsorbidos por las partículas coloidales del suelo se perderán por lixiviación causada por agua lluvia o riego por lo que las características químicas de fertilidad del suelo sufrirán un decremento. El fenómeno de la adsorción de una sustancia a una superficie se debe a fuerzas de atracción tales como: electrostáticas, de Van der Waals o químicas, por un periodo más o menos largo, permitiendo que por medio de este fenómeno se lleve a cabo uno de los procesos más importantes que es el intercambio iónico o catiónico (Valencia, s/f.).

La capacidad de intercambio catiónico es definida por Quiroga y Bono (2012), como los procesos reversibles en donde las partículas sólidas del suelo adsorben iones de la fase

acuosa y libera iones en cantidades equivalentes al mismo tiempo creando un balance entre las dos. Estos fenómenos se deben a que el complejo coloidal del suelo que tiene cargas electrostáticas y una gran superficie, posee propiedades específicas (Valencia, s/f.).

2.6.1. Importancia de la Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo

Según Valencia (s/f.), en el suelo surgen procesos que se relacionan con la capacidad de intercambio catiónico, siendo esta capacidad un recurso importante para la fertilidad de los suelos, tal y como se explica a continuación:

Las raíces de las plantas absorben del suelo los nutrientes minerales que necesitan y esto se debe a la CIC, se considera que un suelo que tenga alta CIC tiene la posibilidad de tener un depósito de iones nutritivos dispuestos a ser cedidos a la solución salina del suelo para una posterior absorción de la planta.

Los iones solubles de los fertilizantes carecen de cohesión suficiente por lo que, si no existiría la CIC en el suelo se perderían fácilmente haciéndolos inútiles para el uso agrícola (Quiroga y Bono, 2012). Las raíces de las plantas secretan toxinas dañinas para otras plantas inclusive para sí mismas, pero debido a la CIC el suelo puede absorber las toxinas y destruirlas por oxidación siendo neutralizadas.

El predominio de cationes como el calcio en el complejo de intercambio produce condiciones físicas deseables por la formación de estructura, haciendo posible la clasificación del suelo ya que la CIC de los diversos horizontes del perfil del suelo se usa como un criterio de diferenciación y clasificación.

Las clases de cationes presentes en el complejo de intercambio también afectan el pH de la solución del suelo de tal manera que si en el suelo están presentes arcillas sódicas se considera alcalino, pero si hay una arcilla hidrogenada se considera ácido.

2.7. ZEOLITA

Son un grupo de aluminosilicatos cristalinos, que etimológicamente derivan de los vocablos griegos “zeo” hervir y “lithos” piedra, deben su nombre a que fueron descubiertas por el geólogo A. Cronstedt en 1756 (Gómez, 2001). Durante los últimos 40 años la zeolita ha sido investigada rigurosamente por las características que se describen a continuación:

Este mineral esta hidratado con cationes alcalinos o alcalino térreos, además tiene alta capacidad de intercambio catiónico e hidratación y deshidratación sin alterar su estructura porosa (Malesio et al., 2013). Dentro de las zeolitas, la clinoptilolita, perteneciente al grupo de las heulanditas, está formada por aluminosilicatos cristalinos. Su estructura consta de una red tridimensional de tetraedros SiO_4 y AlO_4 , en los que gracias a la presencia de AlO_4 se origina un exceso local de carga que es neutralizado por los denominados cationes de compensación que son K, Na, Ca, Mg, Sr, entre otros, que, a su vez, pueden ser remplazados o desplazados de acuerdo a su radio iónico y concentración de carga, a esto se denomina Capacidad de Intercambio Catiónico (Montes et al., 2015).

Poseen gran afinidad por los iones NH_4^+ y se les atribuye la capacidad de liberar lentamente los iones de amonio incorporados en la red de canales de su estructura (Iglesakis, 2004; Lewis et al., 1984; Ferguson y Pepper, 1987; Mackown y Tucker, 1985; Allen et al., 1996; Kithome et al., 1998; como se cita en Milán et al., s/f.). Por estas características, las zeolitas se están utilizando en el campo agronómico bajo la posibilidad de que sean mejoradoras de la eficiencia de los abonos inorgánicos en especial los nitrogenados y como acondicionadoras del suelo (Malesio et al., 2013), confiriendo importancia económica.

2.7.1. Propiedades de la Zeolita

Es adsorbente de cualquier molécula que pueda penetrar en sus cavidades, tiene intercambio iónico o capacidad de intercambio catiónico (Gómez, 2001), lo que favorece la retención de fertilizantes nitrogenados (Malesio et al., 2013), posee actividad catalítica (Gómez, 2001) y su estructura es resistente y estable, lo que permite retener el N, K, Ca, Mg y micronutrientes en la rizósfera, para ser absorbidos por las plantas cuando lo requieran (Malesio et al., 2013).

2.7.2. Beneficios de la Zeolita en la agricultura

Las propiedades que le atribuye Malesio et al. (2013), a la zeolita son las siguientes:

- La aplicación de zeolita más fertilizante reduce de 20 a 40 %, la cantidad necesaria de los mismos para un correcto desarrollo de la planta.
- Evita perdidas de nutrientes en el suelo por lixiviación o volatilización.

- La zeolita puede ser un depósito de agua, que asegura la humedad del suelo aun en épocas de sequía.

Según MUNPTON, F.A, 1984 se atribuyen las siguientes ventajas (cp Pillajo, 2010).

- Robustece a la planta, haciéndola más resistente a plagas y enfermedades.
- Aumenta la resistencia a la compactación del suelo.
- Controla la acidez de suelo incrementando el pH.
- Mejoran la nitrificación en el suelo.
- Ayuda a mantener el suelo aireado, debido a la estructura porosa que posee la zeolita.
- Facilita la solubilidad del P y la asimilación del K.

2.7.3. Características químicas de Zeolpac

El producto comercial que se utilizó en esta investigación se llama Zeolpac, el mismo que presenta las características químicas que se pueden apreciar en la Tabla 3

Tabla 3. Análisis químico de la zeolita

Microelementos	Formula	%
Oxido de sílice	SiO ₂	63,07
Oxido de aluminio	Al ₂ O ₃	25,68
Óxido de hierro	Fe ₂ O ₃	0,71
Oxido de calcio	CaO	0,29
Oxido de magnesio	MgO	0,13
Oxido de sodio	Na ₂ O	0,01
Oxido de potasio	K ₂ O	1,16

Fuente: Agripac, Ficha Técnica. (2012).

Propiedades físicas:

- Color: blanco hueso
- Humedad: 2,5 % - 5,5 %
- pH: 5,7 -6,7

2.7.4. Investigaciones realizadas con Zeolita

Las zeolitas han sido estudiadas durante años por las características beneficiosas que han favorecido al desarrollo de la economía agrícola. A través de las investigaciones realizadas por varios autores se han obtenido los siguientes resultados:

En la provincia del Carchi se aplicaron varias dosis de zeolita con el objetivo de optimizar el rendimiento del cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*), colocando 0, 100, 200 y 300 g/m² de zeolita posterior a la fertilización de fondo. Obteniendo al final tres categorías de producción: categoría extra (frutos grandes, bien formados), categoría 1 o súper (frutos medianos y bien formados) y categoría 2 (frutos pequeños con malformaciones). Al final de la investigación se comprobó que con la aplicación de 200 g/m² de zeolita se obtienen 2.460, 17 kg/ha de frutos de categoría extra, 1.301, 35 kg/ha de frutos de categoría 1 o súper y 4.554,16 kg/ha de frutos categoría 2. Esta dosificación resultó ser la mejor en cuanto a rendimiento y relación costo beneficio de tal manera que, Rivadeneira en su investigación realizada en el 2016 confirmó la hipótesis afirmativa propuesta en la que la zeolita mejora el rendimiento del cultivo de fresa.

Palacios (2012), probó a la zeolita como retenedor de nutrientes en el cultivo de apio (*Apium graveolens*) aplicando dosis de 0,23, 0,28 y 0,34 g/planta, tomando en cuenta variables como: altura de la planta, longitud de la hoja, rendimiento del cultivo, diámetro y longitud de tallo. Al final de la investigación se concluye que con la aplicación de 0,28 g/planta de zeolita se obtienen tallos de apio de mayor diámetro y longitud, a diferencia del silicio que también fue tomado como tratamiento. En cuanto a la variable rendimiento no se evidencio diferencia significativa entre la zeolita, cal agrícola y silicio.

2.8. CARBÓN ACTIVADO

Según Rodríguez et al. (s/f.), el carbón activado o también llamado biochar es un material de carbón que se prepara en la industria para obtener una gran superficie interna, elevada capacidad de adsorción y baja selectividad de retención pudiendo así adsorber diversos compuestos en fase gaseosa como en disolución. Mientras que, según Arriagada et al. (s/f.), el carbón activado es una forma no grafitica del carbón con gran área superficial interna con una red porosa comprendida en microporos (<2 nm), mesoporos (2-50 nm) y macroporos (>50 nm), estas superficies porosas cambian de acuerdo al método de preparación y del tipo de precursor.

Rodríguez et al. (s/f.), mencionan que, el carbón activado es un adsorbente universal, pero tiene preferencia a moléculas más grandes que son las apolares, mientras que las sustancias polares se retienen débilmente en la superficie de la estructura porosa, de esta manera le dan al carbón una característica de ácido base.

2.8.1. Beneficios del carbón activado en la agricultura

Según la corporación Cabot, el carbón activado está siendo utilizado solo o en mezcla con fertilizantes para el recubrimiento de semillas, como en la producción de avena silvestre, de esta manera la protege de fungicidas y herbicidas nocivos, mejorando así los rendimientos. Además, tiene la capacidad de almacenar sustancias esenciales en sus poros, los cuales se liberan dentro del cultivo a través del tiempo, un claro ejemplo de aquello, es la utilización de carbón activado impregnado de etileno, el cual es esparcido en las plantaciones de piñas, para que la maduración se haga al mismo tiempo (Cabot, s/f.).

Según Herstsgaard (2014), el carbón activado aumenta la fertilidad de la tierra y su capacidad de soportar sequias o inundaciones. La aplicación de carbón activado con fertilizantes químicos hace que los cultivos tengan mayor rendimiento, enriqueciendo la fertilidad del suelo a largo plazo, disminuyendo el uso de fertilizantes sistémicos (Pandey et al., 2016) y liberando a la tierra de contaminantes y metales pesados (Herstsgaard, 2014).

Participa en los ciclos biogeoquímicos de los nutrientes e incrementa la capacidad de intercambio catiónico (Lianga, Lehmann et al., 2005). La biomasa microbiana contenida en el suelo, aumenta (Lehmann et al., 2011). Las enmiendas con carbón activado ayudan a recuperar agroecosistemas degradados (Bates, 2011).

Algunos de los beneficios que aporta el carbón activado al suelo se esquematizan en la Figura 2, de tal manera que se entiende de forma más clara la acción del biochar.

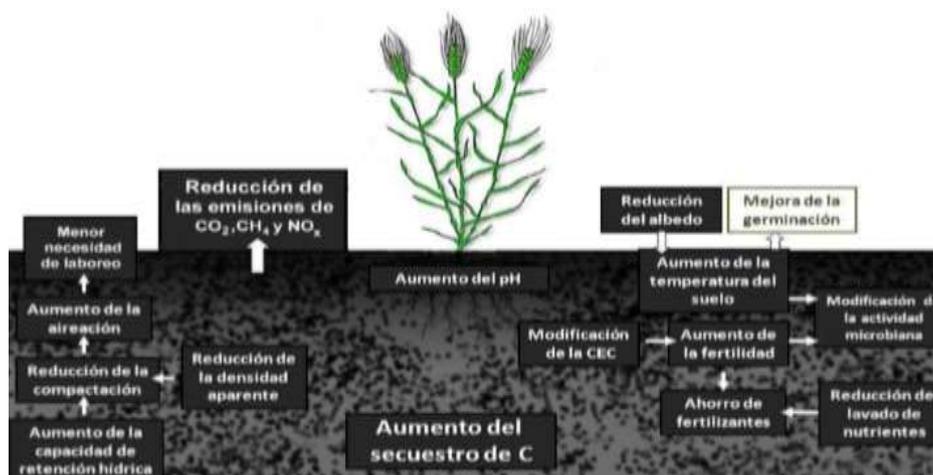


Figura 2. Esquematización de los beneficios que aporta el carbón activado (biochar) al suelo.

Fuente: Olmo, 2016.

2.8.2. Características químicas del carbón activado

El carbón activado que se usó para la investigación fue de malla 12, obtenido del cuesco de palma africana activado con vapor a alta temperatura, las siguientes características químicas del carbón activado son en base a Avalchem s.c.c.

- Densidad aparente (g/cc): 0,45-0,52
- Área superficial específica (m²/g): 750
- Volumen de poro (cc/g): 0,35-0,38
- pH en el agua: 8,5-9,0
- Ceniza (%): Máx. 12 %
- Resistencia a la abrasión (%): 87
- Humedad al empaque (%): Máx. 6,0

2.8.3. Investigaciones realizadas con carbón activado

El carbón activado también conocido como biochar está convirtiéndose en una revolucionaria innovación para la renovación y recuperación de suelos y aguas contaminadas con el paso y la actividad del hombre. Por tal razón las investigaciones que se han realizado son de gran importancia, alguna de ellas se presentan a continuación:

Por tal razón las investigaciones que se han realizado con carbón activado han sido de gran importancia en la evolución del hombre, algunas investigaciones se presentan en los siguientes acápite:

Se evaluaron siete diferentes biochar obtenidos después del proceso de pirólisis a diferentes temperaturas y distintos residuos orgánicos como: compost de alperujo, cascarilla de arroz, y restos maderables. Las propiedades de los biochar fueron determinadas mediante la espectroscopia de Resonancia Magnética Nuclear (RMN), espectroscopia infrarroja de Fourier, evaluación del área superficial (SSA) y microscopia electrónica de barrido. Para la evaluación de la capacidad de sorción de pesticidas utilizados en el arroz se extrajo y cuantifico la materia orgánica disuelta (DOM).

Todo esto se realizó con la finalidad de determinar cuál de los biochar elaborados tiene mayor afinidad para adsorber y mejorar la efectividad de partículas de pesticidas utilizados en el cultivo de arroz. Al final de la investigación se concluye que la capacidad de sorción de pesticidas está ligada con la temperatura de pirólisis, pH y el área superficial,

determinando que el biochar elaborado de compost de alperujo pirolizado a 550 °C incorporado al suelo como enmienda con compost posee gran afinidad con el pesticida triciclazol, ya que impidió que se lixivie, pero redujo la efectividad del mismo debido a que es adsorbido y es liberado lentamente. A la vez se apreció la importancia del uso de biochar en la remediación de suelos contaminados con pesticidas (García-Jaramillo et al., 2015).

En Ballaterra se llevó a cabo una investigación en la que se evaluó el efecto de la aplicación de biochar fabricado con tres tipos de materia prima: astillas resinosa (pino), astillas caducifolias (chopo) y lodo de depuradora urbana secado térmicamente. Estas materias primas fueron sometidas a tres tipos de pirólisis: a 500-550 °C por 15 minutos (Lenta), a 430-510 °C por 5 segundos y a 600-900 °C por 75 minutos (Gasificación).

El cultivo indicador en este caso fue la cebada (*Hordeum vulgare*), de la que se determinó las siguientes variables: germinación, longitud de la primera hoja, aclareo y biomasa de plantas extraídas, biomasa aérea, concentración de pigmentos, determinación directa de clorofilas por SPAD, determinación de estrés fotosintético, biomasa subterránea y micorrización. El análisis de los efectos en el suelo después de la aplicación del biochar con fertilización química al 50% también fue estudiada, las variables fueron: densidad aparente, pH, conductividad eléctrica, sólidos volátiles totales, carbono oxidable, concentración de cationes y aniones solubles.

El efecto de la aplicación de los diferentes tipos de biochar en el suelo fueron los siguientes: las variaciones en el pH del suelo fueron menores en comparación con la adición de cualquier enmienda orgánica, pero en los casos en los que se aplicó biochar como enmienda el pH tendió a subir, esto se explica por los cationes como Mg, Na, K y Ca que quedan retenidos, de tal manera que la capacidad de intercambio catiónico aumenta.

La densidad aparente y la capacidad de retención de agua del suelo fueron parámetros que mostraron una mejora con la aplicación de la enmienda. Con una dosis baja de fertilización y la incorporación de biochar al suelo fue suficiente para obtener un ligero incremento de la producción de biomasa del cultivo.

En las plantas no se observó algún efecto inhibitor en la germinación, crecimiento y producción, sino más bien se estima que ha contribuido a una mayor nutrición de la planta debido a que se obtuvo mayor biomasa aérea. En el sistema radicular de la planta no se evidencio algún incremento en el desarrollo, tampoco se logró evidenciar un aumento en la población de micorrizas o algún tipo de hongo benéfico. Toda esta investigación fue realizada por Abenza (2012).

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

3.1. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio en la que se realizó la investigación se describirá a continuación.

3.1.1. Ubicación

El ensayo se realizó en la provincia de Imbabura, cantón Antonio Ante, parroquia San José de Chaltura, en la granja experimental la Pradera, como se muestra en la Figura 3.

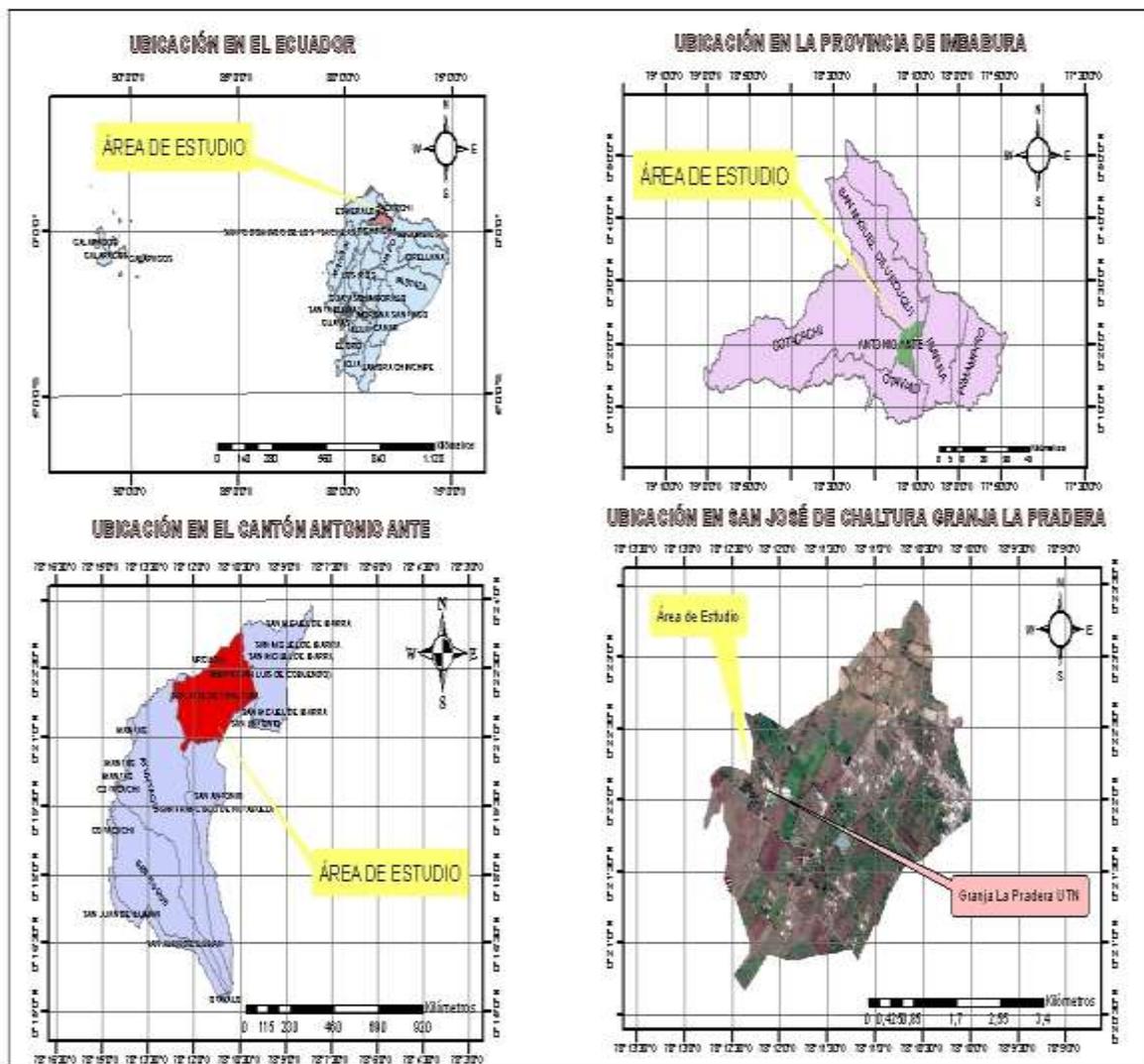


Figura 3. Mapa de ubicación del área de estudio
Fuente: Geoportal del Instituto Geográfico Militar.

3.1.2. Características edafoclimáticas

Las características edáficas y climáticas del área de estudio se describen en la Tabla 4.

Tabla 4. Características edafoclimáticas

Características	Descripción
Clima	Ecuatorial mesotérmico semi húmedo
Temperatura	16,4 °C
Altitud	2340 msnm
Pluviosidad	500 mm
Humedad relativa promedio	68,9 %
Coordenadas	0° 21' 19" de N y 78° 11' 32" O
Textura del suelo	franco, franco arenoso
Consistencia	seco blanda
Topografía	Pendiente 5 %.
pH	7, 00 (neutro)

Fuente: Proaño, 2007

3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

Los materiales y equipos que se utilizaron para la investigación se observan en la Tabla 5.

Tabla 5. Materiales y equipos que se usaron en el experimento

Insumos	Material experimental	Material de campo	Material de oficina
Fosfato Diamónico (18-46-0)	Brócoli variedad Avenger	Piola	Esferos
Úrea (0-0-60)	Zeolita (Zeolpac)	Estacas	Calculadora
Sulfato de potasio granular	Carbón Activado	Cinta métrica	Impresora
Kañon plus		Calibrador	Computadora
Sharamida		Balanza gramera digital	Cuaderno de campo
Caldo Bordeles 80 pm		Azadón	Carpetas
Korso 50 pm		Bomba de mochila	
Cosmo (adherente)		Cuchilla	
Bronka		Letreros de identificación	
Disfol (adherente)		Mangueras	
Oligomix		Cinta de goteo	
		Conectores de goteo	
		Alambre	
		Fundas plásticas	
		Baldes	
		Pala recta	
		Aceite vegetal	
		Plástico de color amarillo	
		Alicate	
		Martillo	
		Clavos	

3.3. MÉTODOS

3.3.1. Diseño experimental

El diseño experimental que se usó en esta investigación fue un Diseño Completamente al Azar (DCA).

3.3.2. Tratamientos

Las dosis de los cinco tratamientos evaluados se aplicaron en dos fases del cultivo, la primera aplicación al momento del trasplante como fertilización de fondo y la segunda se realizó a los 45 días después del trasplante.

En la primera fase se aplicó dos gramos de fertilizante correspondiente al 100 %, sustituyendo parcialmente un 20 % (0,4 g) y 40 % (0,8 g) con zeolita y carbón activado para los tratamientos T2, T3, T4 y T5. Mientras que, en la segunda fase se aplicó 6 g de urea y 4 g de sulfato de potasio correspondiente al 100 % de fertilización, sustituyendo parcialmente un 20 % (2 g) y 40 % (4 g) con zeolita y carbón activado. La Tabla 6 muestra detalladamente la dosificación aplicada.

Tabla 6. Tratamientos y dosificación por planta al momento del trasplante y 45 días después del trasplante

Tratamientos	Descripción (%)	Fertilización de fondo por planta (2 g=100 %)	Fertilización a los 45 días después del trasplante por planta (10 g=100 %)
T1	100 % F.Q (Testigo)	2 g 18-46-0	6 g urea 4 g sulfato de potasio
T2	80 % F. Q 20 % zeolita	1,6 g 18-46.0 0,4 g zeolita	6 g urea 2 g sulfato de potasio 2 g zeolita
T3	60 % F.Q 40 % zeolita	1,2 g 18-46-0 0,8 g zeolita	4 g urea 2 g sulfato de potasio 4 g zeolita
T4	80 % F.Q 20 % carbón activado	1,6 g 18-46-0 0,4 g carbón activado	6 g urea 2 g sulfato de potasio 2 g carbón activado
T5	60 % F.Q 40 % carbón activado	1,2 g 18-46-0 0,8 g carbón activado	4 g urea 2 g sulfato de potasio 4 g carbón activado

Nota: Las dosis de zeolita están basadas en la investigación de López, Quilambaquí y Ayala (2004); Chica (2008). Las dosis de carbón activado se basaron en las dosis de zeolita. La fertilización se realizó al momento del trasplante y a los 45 días después del trasplante.
F.Q: Fertilización Química.

3.3.3. Características del área experimental

Las medidas con las que se establecieron el área experimental son las que se describen a continuación:

Repeticiones: 3

Tratamientos: 5

Unidades experimentales: 15

Área de la unidad experimental: 9 m² (3 m x 3 m)

Camas: 3 m x 0,80 m

Número de camas por unidad experimental: 2

Distancia entre camas: 0,50 m

Distancia entre plantas: 0,30 m

Distancia entre surco: 0,50 m

Número de plantas por unidad experimental: 40

Número de plantas por parcela neta: 20

Número total de plantas en el experimento: 600

Distancia entre caminos: 0,50 m

Área total del experimento: 170 m² (17 m x 10 m)

3.3.4. Análisis estadístico

En la siguiente tabla se presenta el análisis de varianza del diseño experimental completamente al azar (DCA).

Cabe recalcar que en las variables número de pellas y rendimiento del cultivo fue necesario analizar si existía interacción entre tratamientos y categorías ya que las inflorescencias fueron divididas en tres categorías de acuerdo al peso. Para el resto de las variables el análisis de varianza fue el común según el diseño experimental.

Tabla 7. Análisis de varianza (ADEVA) de un diseño completamente al azar

Fuente de variación	Grados de libertad
Total	14
Tratamientos	4
Categorías	2
Trat*Cate	8
Error experimental	14

3.4. ANÁLISIS FUNCIONAL

El análisis funcional se realizó mediante la prueba Fisher al 5 % a las variables a las que mediante el análisis de varianza resultaron tener diferencia significativa a nivel del 5 %.

3.5. VARIABLES EVALUADAS

Las variables que se evaluaron en esta investigación son las que se describirán en los siguientes enunciados:

3.5.1. Altura de la planta

Esta medida se tomó al momento de la cosecha de una muestra de 20 plantas escogidas al azar en cada parcela neta. La medición se realizó a los 31, 61 días después del trasplante y al momento de la cosecha (79 días). Con el objetivo de homogeneizar la muestra se midió desde la base del tallo hasta el inicio de la pella con un calibrador metálico.

3.5.2. Número de pellas a la cosecha

Esta variable fue medida al momento de la cosecha contabilizando las pellas para ser categorizadas de acuerdo al peso de la misma según la Tabla 8. La cosecha se extendió desde los 79 días después del trasplante hasta el día 96 donde se culminó con la actividad. Aproximadamente un 97 % de pellas se cosecharon a los 80, 81 y 82 días, mientras que el otro porcentaje se recolectaron en días posteriores hasta el día 96 días después del trasplante.

Tabla 8. Categorización de pellas de acuerdo al peso de la inflorescencia

Categoría	Peso de las pellas (g)	Interpretación
1	<250	Pequeñas
2	250-500	Medianas
3	>500	Grandes

Fuente: Huertos GZ (2010) citado por Parra (2012).

3.5.3. Diámetro de pella

Esta medida se tomó al momento de la cosecha de 20 plantas por parcela neta. Para esta variable se utilizó un calibrador metálico, para medir la pella de extremo a extremo, expresando la medida en centímetros (cm).

3.5.4. Rendimiento del cultivo

Esta variable fue tomada al final de la cosecha, con el objetivo de homogeneizar la muestra se midió cinco centímetros de tallo desde donde inicia la pella y con una navaja se cortó el tallo restante. Esta actividad se la hizo para posteriormente pesar las inflorescencias en una balanza gramera digital, el resultado de cada inflorescencia se expresó en gramos para luego ser transformada en kg/tratamiento y kg/hectárea.

3.5.5. Evaluación económica a cada tratamiento mediante el modelo del CIMMYT

Siguiendo la metodología del presupuesto parcial del Centro Internacional del Mejoramiento del Maíz y Trigo (1988), se procedió a obtener los beneficios brutos por tratamiento, posteriormente se calculó los costos variables, dentro de estos costos se encuentran la mano de obra, fertilización, semilla y manejo integrado del brócoli.

El beneficio bruto obtenido en una hectárea se calculó en base al número de pellas por categoría, tomando en cuenta que las pellas se venden en el mercado mayorista de Ibarra, en donde los comerciantes las compran de acuerdo al tamaño de tal manera que, las pellas de categoría 3 (>500 g) las compran cuatro por un dólar, pellas de categoría 2 (250-500 g) cinco por un dólar y las pellas de categoría 1 (<250 g), las compran seis por un dólar.

Según el presupuesto parcial del CIMMYT se debe ajustar el rendimiento obtenido en el experimento al rendimiento obtenido por agricultores. Para esto se evalúan cuatro condiciones: la primera es manejo que se da al experimento, el tamaño de la parcela, la fecha y el método de cosecha. Si alguno de estos ítems varia se debe reducir un 5 % al rendimiento obtenido en el experimento. De esta manera el rendimiento de esta investigación se ajustó en un 15 %, debido al manejo del experimento, tamaño de la parcela y fecha de cosecha. Al finalizar los cálculos, para obtener el beneficio neto, se restó la suma total de los costos variables con el resultado de los beneficios brutos.

3.5.6. Análisis de suelo de cada tratamiento al inicio y al final del cultivo

Quince días antes de la implementación del cultivo se recolectaron cinco muestras de suelo de 1 kg de peso cada una, correspondientes a cada tratamiento. De la misma manera al final del cultivo, después de siete días de haber culminado con la actividad de la cosecha se recolectaron cinco muestras de suelo de 1 kg de peso correspondientes a cada tratamiento. El suelo fue extraído de la granja La Pradera y enviado al laboratorio LABONORT ubicado en Ibarra.

Los resultados obtenidos del análisis de suelo realizado antes de la implementación del cultivo fueron la base para realizar los cálculos de requerimiento de fertilizante químico. Al final del cultivo se realizaron cálculos de aporte de fertilizantes sumado a la cantidad de nutrientes que contenía el suelo, esta cantidad se restó de los nutrientes que quedaron en el suelo según el análisis de laboratorio. Con el objetivo de conocer la cantidad de nutrientes que se absorbió y se perdió del suelo se aplicaron las siguientes formulas:

Fórmula para calcular el número de plantas de brócoli en una hectárea bajo el arreglo tres bolillo.

$$L = M(a \times 0,8666)$$

L= número de plantas a= distancia de siembra

M= área de terreno 0,8666= constante resultante de $\sin 60^\circ$

Fórmula para calcular el aporte del fertilizante para nitrógeno, fósforo y potasio expresado en kg por hectárea.

$$\text{Aporte de N} = (L \times 3,12 \text{ g N}) / 1.000$$

$$\text{Aporte de P} = (L \times 3,05 \text{ g P}) / 1.000$$

$$\text{Aporte de K} = (L \times 2,05 \text{ g K}) / 1.000$$

Los valores de N, P y K fueron calculadas de acuerdo a las siguientes formulas.

Fertilizante	Concentración
Urea	46 % N
Fosfato Diamónico	18 % N; 46 % P
Sulfato de Potasio	44,87 % P; 18,40 % S

Cálculo de N para el T1.

100 g	46 g	100 g	18 g
6 g	$x = 2,76$	2 g	$x = 0,36$
$2,76 + 0,36 = 3,12$			

De esta manera se realizaron los cálculos para N, P y K del resto de tratamientos.

Para calcular el nutriente contenido en el suelo en una hectárea al inicio del cultivo se verificó la cantidad de ppm de cada nutriente del análisis de suelo, posteriormente se transformó a mg/kg para ser multiplicado por la densidad aparente tomando en cuenta el valor de 1.200.000 kg/ha.

Aporte más nutriente en el suelo = $AT + A$

S = Nutriente contenido en el suelo de acuerdo al análisis del suelo en mg/kg

1.200.000 kg/ha = densidad aparente del terreno

AT = nutriente contenido en el suelo en una hectárea

A = aporte de N, P y K del fertilizante aplicado individualmente

3.5.7. Análisis foliar de cada tratamiento al final del cultivo.

Al final del cultivo después de la cosecha se enviaron al laboratorio de agua y suelos de la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP en la ciudad de Quito cinco muestras de hojas correspondientes a cada tratamiento con un peso de 250 g cada una respectivamente. Cada muestra se recolectó de la parte media de la hoja, es decir las hojas viejas y jóvenes fueron descartadas. Los resultados reportados por el laboratorio se pueden observar en el Anexo 1.

3.6. MANEJO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO

El manejo específico que se realizó en el experimento será descrito en los siguientes párrafos:

3.6.1. Preparación del terreno

Con la finalidad de airear la tierra y eliminar malezas se hizo una pasada de rastra y arada con la ayuda de un tractor. Las piedras que fueron removidas por la maquinaria se retiraron manualmente. No fue necesario realizar una desinfección de suelo con producto químico debido a que no se evidenciaron plagas.

3.6.2. Toma de muestras de suelo

Antes de elaborar las camas se delimitaron las áreas de cada parcela, posterior a esto se recolectaron cinco muestras cada una conformada por tres submuestras por repetición dando un total de nueve submuestras por tratamiento. Cada muestra fue tomada con una pala recta formando un cuadrado y eliminando los bordes. El muestreo se realizó en zigzag a 0,20 cm de profundidad. Posterior al muestreo por tratamiento las submuestras fueron mezcladas meticulosamente en un costal de 1 m² para luego pesar 1 kg de suelo, el cual fue empacado y etiquetado en bolsas plásticas para ser enviadas al laboratorio LABONORT ubicado en la ciudad de Ibarra.

Al final del ciclo del cultivo se volvió a recolectar una muestra de suelo por tratamiento realizando el mismo procedimiento antes mencionado. Cabe recalcar que al final del cultivo para recolectar las muestras se sacaron las plantas.

3.6.3. Delimitación y preparación de las unidades experimentales

Con una cinta métrica se midió 17 m de largo y 10 m de ancho, con las estacas de 0,75 m de longitud se marcaron los puntos y se delimitaron con piolas. Posteriormente con la cinta métrica se midieron las divisiones que correspondían a los caminos y a las parcelas. En cada parcela se levantaron dos camas de 0,8 m de ancho y 3 m de largo con separación entre cama de 0,50 m (Anexo 2). Los tratamientos y las repeticiones fueron sorteados, se señalaron las parcelas después del sorteo con letreros de identificación.

3.6.4. Instalación del sistema de riego

Se conectaron 85 m de manguera de agua de una pulgada desde el hidrante más cercano hasta el área del experimento. Se utilizaron 12 conectores iniciales de 16 mm, 12

adaptadores de cinta de 16 mm, 12 tramos de manguera de 16 mm x 0,35 cm y 12 cintas de goteo de 16 mm con longitud de 17,5 m con separación entre gotero de 0,2 cm. En cada cama se colocaron dos cintas de goteo, tratando de que los goteros queden en el centro entre planta.

La frecuencia de riego fue de una hora pasando un día, con flujo de goteo lento durante dos semanas hasta que las plantas prendieran. En las siguientes semanas hasta finalizar el ciclo de cultivo se regó pasando dos y tres días por una hora con goteo lento dependiendo de la humedad del suelo debido a que en las últimas semanas del ciclo empezó a llover.

3.6.5. Trasplante de plántulas de variedad Avenger

Se adquirió semilla de la variedad de brócoli Avenger la misma que fue enviada a un invernadero privado. Después de 30 días de pasar en semillero las plantas tenían una altura entre 8 y 10 cm y contaban con cuatro hojas. En cada cama se hicieron dos hileras de siembra separadas a 0,50 m entre ellas. En cada cama se trasplantaron 20 plántulas separadas entre sí a 0,3 m de distancia. Cada unidad experimental contaba con 40 plántulas. La siembra fue bajo el método tres bolillo con una dosificación inicial de fondo que correspondía a cada tratamiento con el suelo a capacidad de campo.

3.6.6. Fertilización

Al inicio del cultivo se pesaron 600 dosis en total, para cada tratamiento se pesaron 120 dosis. Para el tratamiento 1 se pesó 2 g de fosfato diamónico (DAP), para el tratamiento 2 1,6 g de DAP y 0,4 g de zeolita, para el tratamiento 3, 1,2 g de DAP y 0,8 g de zeolita, para el tratamiento 4 se pesaron 1,6 g de DAP y 0,4 g de carbón activado, y por último para el tratamiento 5 1,2 g de DAP y 0,8 g de carbón activado.

A los 45 días después del trasplante se pesaron otras 600 dosis en total, a cada tratamiento le correspondían 120 dosis. Para el T1 (Testigo) se pesaron 6 g de urea y 4 g de sulfato de potasio, para el T2 (Zeolita 20 %), 6 g de urea, 2 g de sulfato de potasio y 2 g de zeolita, para el T3 (Zeolita 40 %), 4 g de urea, 2 g de sulfato y 4 g de zeolita, para el T4 (Carbón Activado 20 %), 6 g de urea, 2 g de sulfato y 2 g de carbón activado, y para el T5 (Carbón Activado 40 %), 4 g de urea, 2 g de sulfato y 4 g de carbón activado.

En la siguiente tabla se aprecia la fertilización completa aplicada al cultivo de brócoli en la que se sumó la primera y la segunda aplicación. Esta dosificación esta expresada en kg/ha.

Tabla 9. Fertilización aplicada al cultivo de brócoli variedad Avenger.

FERTILIZACIÓN	kg/ha				
	T1	T2	T3	T4	T5
UREA	266,67	266,67	177,78	266,67	177,78
SULFATO DE POTASIO	177,78	88,89	88,89	88,89	88,89
18-46-0	88,89	71,11	53,33	71,11	53,33
ZEOLITA	---	106,67	213,33	---	---
CARBÓN ACTIVADO	---	---	---	106,67	213,33

El abono foliar con microelementos quelatados fue aplicado como una fertilización complementaria a los 24 y 45 días después del trasplante a todos los tratamientos. En el Anexo 3 se puede observar el calendario de aplicación y los ingredientes activos de los productos aplicados.

3.6.7. Labores culturales

Se realizaron tres deshierbas manuales durante el ciclo del cultivo, la primera se hizo a los 16 días después del trasplante, la segunda a los 32 días después del trasplante y la última a los 57 días después del trasplante, con la finalidad de que disminuyan los focos de posibles plagas y enfermedades. Los aporques fueron realizados manualmente a los 16 y 63 días después del trasplante para evitar que la planta no se caiga por acción del viento o el peso de la pella.

3.6.8. Controles fitosanitarios

Los controles fitosanitarios y el intervalo de aplicación se realizaron de acuerdo a la incidencia y severidad de plagas presentes en el cultivo tales como: palomilla blanca o plutela (*Plutella xylostella*), gusano de las crucíferas (*Crocidolomia binotalis*), trozador (*Agrotis spp.*) y pulgones (*Aphis nerii*), de la misma manera se estableció trampas caseras para el control de las mismas (Anexo 4).

3.6.9. Cosecha

Esta actividad empezó a los a los 79 días y se extendió hasta el día 80, 81, y 82 después del trasplante cosechando un aproximado del 97 % de pellas, el 3 % de pellas restantes se cosecharon en días posteriores hasta el día 96 en donde se culminó con toda la labor de cosecha. Esta actividad se la realizó empezando a las 7 am con la finalidad de evitar que las inflorescencias se deshidraten por el sol. Se cortaron las pellas de acuerdo al índice de madurez (Anexo 5) con la ayuda de una navaja, posteriormente se midió 5 cm de tallo

desde donde empieza la pella con el objetivo de homogeneizar las muestras para la toma de datos de las variables número de pella, peso y diámetro de la inflorescencia.

3.6.10. Toma de muestras foliares

Después de haber culminado con la cosecha se recolectaron al azar hojas de las plantas a las que se tomaron los datos de cada repetición. Las hojas escogidas fueron de la parte media descartando hojas jóvenes y viejas. Posterior a la recolección de las hojas por repetición de acuerdo a cada tratamiento se mezclaron y se pesaron 250 g para ser empacadas y etiquetadas para su envío al laboratorio de agua y suelos de la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP en la ciudad de Quito.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la investigación fueron analizados a través del paquete estadístico INFOSTAT versión 2016, los cuales se presentan a continuación:

4.1. ALTURA DE LA PLANTA

En la Tabla 10 se aprecia los promedios la altura de la planta correspondiente a cada tratamiento. El análisis estadístico de esta variable se presenta en los siguientes acápite.

Tabla 10. Promedios de la variable altura de planta por tratamiento a los 31, 61 y 79 días después del trasplante.

Tratamiento	Altura (cm)		
	31 días	61 días	79 días
T1	3,87	12,07	15,44
T2	4,13	12,21	15,8
T3	4,2	13,05	16,12
T4	4,3	12,98	15,91
T5	3,86	12,34	15,42

4.1.1. Altura de la planta a los 31 días después del trasplante

La altura en esta etapa de crecimiento fue analizada de acuerdo a cada tratamiento, y los resultados se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11. ADEVA de la variable altura de planta a los 31 días después del trasplante

F.V	GLt	GLe	F-value	p-value
(Intercept)	1	293	3316,56	<0,0001
TRATAMIENTOS	4	293	4,17	0,0027**

CV: 19,17

** : Significativo 5%

CV: Coeficiente de Variación

FV: Fuentes de Variación

GLt: Grados de Libertad del total

GLe: Grados de Libertad del error

Mediante el análisis de varianza se aprecia que existe diferencia significativa a nivel del 5 % con un coeficiente de variación de 19,17 %. La Figura 4 demuestra los rangos en los que se encuentra los tratamientos de acuerdo a la prueba Fisher (5 %) (Anexo 6).

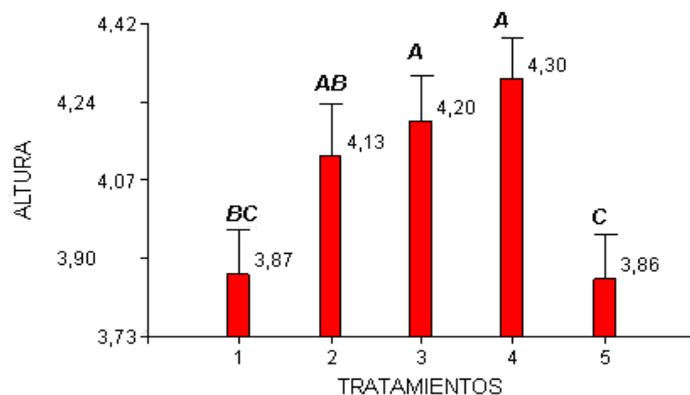


Figura 4. Altura a los 31 días después del trasplante, según la prueba Fisher (5%)
 Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En los rangos se observa que la altura de planta de los tratamientos T4 (4,3 cm) y T3 (4,2 cm) presenta mayor valor que el T5 (3,6 cm), mientras que, el T2 y T1 presentan valores intermedios.

Estadísticamente no se observa diferencia entre los tratamientos con zeolita y carbón activado, ya que el T4 (carbón activado 20 %) presenta el mismo rango que el T3 (zeolita 40 %). Palacios (2012), probó zeolita como retenedor de nutrientes en el cultivo de apio mostrando que la planta a los 30 días después del trasplante presentó una altura de 9,44 cm mientras que, el testigo al que no se aplicó zeolita alcanzó una altura de 7,43 cm. En la investigación realizada por Palacios se observa que existió una diferencia estadística entre tratamientos con y sin la aplicación de zeolita mientras que en este experimento no se evidencio dicha afirmación, ya que los tratamientos con zeolita comparten el mismo rango estadístico.

4.1.2. Altura de la planta a los 61 días después del trasplante

Los datos obtenidos en campo se analizaron y los resultados se interpretan en los siguientes párrafos.

Tabla 12. ADEVA de la variable altura de la planta a los 61 días después del trasplante

FV	GLt	GLe	F-value	p-value
(Intercept)	1	293	6745,35	<0,0001
Tratamientos	4	293	6,07	0,0001**

CV: 11,90

** : Significativo 5%

CV: Coeficiente de Variación

GLt: Grados de Libertad del total

GLe: Grados de Libertad del error

FV: Fuentes de Variación

Según el análisis de varianza aplicado para la variable altura de planta a los 61 días muestra que existe una diferencia significativa al 5 % entre tratamientos, con un coeficiente de variación del 11,90 %. Aplicada la prueba de Fisher al 5 % (Anexo 7), se aprecia que el T1 (Testigo) tiene menor altura (12,07 cm) respecto a los tratamientos T3 (zeolita 40 %) y T4 (carbón activado 20 %) con alturas de planta de 13,05 cm y 12,98 cm mientras que, el T5 (carbón activado 40 %) y T2 (zeolita 20 %) se encuentran con alturas de planta de 12,32 cm y 12,21 cm.

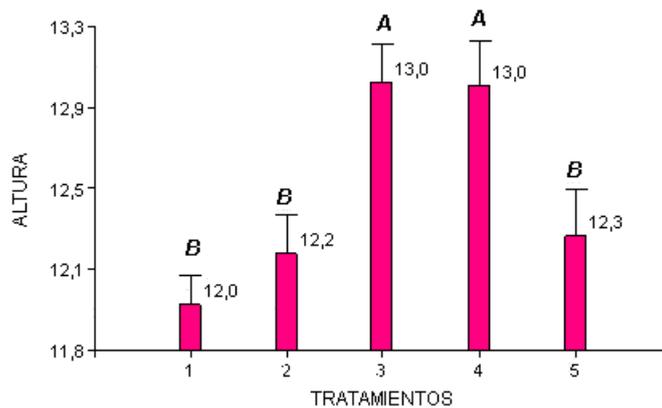


Figura 5. Altura a los 61 días, rangos según la prueba de Fisher 5%
 Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

El T4 (carbón activado 20%) y T3 (zeolita 40 %) cuentan con un promedio de altura de 13 cm, evidenciando que estos tratamientos presentan mayor altura de planta a pesar de contar con un 20 y 40 % menos de fertilización química respectivamente en comparación con el T1 (testigo) que cuenta con 100 % de fertilización química.

La investigación realizada por Guaña (2011) evidencia que, la altura del brócoli variedad Avenger a 2800 msnm y a 14 °C a los 45 días es de 21,59 cm con aplicación de 100 % de fertilización química. Mientras que en esta investigación la altura de planta fue de 12 cm a los 61 días después del trasplante con aplicación de 100 % de fertilización química. La diferencia en medida puede deberse a las diferencias agroclimáticas del lugar en la que se sembró el cultivo de brócoli y de la metodología de medición utilizada por el autor ya que la medida se tomó desde la base del tallo hasta el ápice terminal mientras que en esta investigación se midió desde la base del tallo hasta el pedúnculo que une al tallo con la inflorescencia.

4.1.3. Altura de planta a la cosecha

La medida de esta variable se realizó a los 79 días al momento de la cosecha. En la Tabla 13 se puede apreciar el análisis de varianza realizado para la variable altura de planta a la cosecha.

Tabla 13. ADEVA de la variable altura a los 79 días después del trasplante

FV	GLt	GLe	F-value	p-value
(Intercept)	1	289	10436,53	<0,0001
Tratamientos	4	289	2,25	0,0634ns

CV: 10,12

CV: Coeficiente de Variación

GLt: Grados de Libertad del total

GLe: Grados de Libertad del error

FV: Fuentes de Variación

ns: no significativo

Mediante el ADEVA se determinó que no existe diferencia significativa a nivel del 5% entre tratamientos, con un coeficiente de variación de 10,12 % por lo que se concluye que, el T3 (zeolita 40 %) y T4 (carbón activado 20 %) a los 31 y 61 días presentan una ligera diferencia en cuanto a la altura respecto a los tratamientos T1 (Testigo) , T2 (zeolita 20 %) y T5 (carbón activado 40 %), pero a los 79 días todos los tratamientos presentan una similitud que se atribuye a que, la zeolita o el carbón activado aplicado en diferentes dosis no influyen en la altura de la planta.

El resultado obtenido en esta investigación se asemeja a la investigación realizada por Palacios (2102), en la cuál a través del análisis estadístico no se apreció diferencia significativa entre tratamientos con aplicación de zeolita en el cultivo de apio.

Para esta variedad (Avenger), la casa comercial que la distribuye (SAKATA) afirma en su informativo que la cosecha inicia a los 90 días después del trasplante, pero autores como Parra (2012); Nicolalde & Quintana (2010), reportan datos de cosecha de brócoli a los 83 días después del trasplante. Los cultivos fueron implementados en lugares con una temperatura promedio de 12,5 °C y 14,88 °C respectivamente, mientras que esta investigación se implementó en una zona donde la temperatura promedio es de 16 °C.

Palencia (2009), menciona que el incremento de la temperatura resulta en una producción temprana y en un descenso del rendimiento total. Por otra parte Gómez (2012) menciona que las temperaturas elevadas aumentan la fotorrespiración de la planta provocando un consumo considerable de carbohidratos fijados en la fotosíntesis lo cual afecta la productividad. Tadeo y Gómez-Cadenas (2008) mencionan que, el estrés lumínico

también puede producirse cuando la tasa fotosintética disminuye debido a factores como: sequia, salinidad, temperaturas extremas o deficiencia nutricional (cp Fischer y Pérez, 2012).

Los autores antes mencionados concuerdan en que la temperatura es un factor limitante en la producción, además mencionan que la luminosidad, la salinidad y otros factores repercuten en la productividad de los cultivos, es por tal afirmación que es probable que el cultivo de brócoli implementado en la granja La Pradera se haya cosechado antes de lo previsto según la variedad y los rendimientos sean bajos en comparación con autores como Parra (2012) y Nicolalde & Quintana (2010).

4.2. NÚMERO DE PELLAS A LA COSECHA

El material obtenido se categorizó y cuantificó en base a la Tabla 8 de acuerdo a cada categoría. A continuación se procede a analizar la variable número de pellas.

Tabla 14. ADEVA de la variable número de pella

FV	GLt	GLe	F-value	p-value
(Intercept)	1	27	332,65	<0,0001
Tratamiento	4	27	2,70E-03	>0,9999ns
Categorías	2	27	55,43	<0,0001**
Tratamiento:Categorías	8	27	3,38	0,0081**
CVC1: 25,20	CVC2: 39,13	CVC3: 57,47		

** : Significativo al 5%
 ns: No significativo
 CVC: Coeficiente de Variación Categoría FV: Fuentes de Variación
 GLt: Grados de Libertad del total GLe: Grados de Libertad del error

Los coeficientes de variación por categoría para esta variable fueron los siguientes: para la categoría uno se obtuvo un coeficiente de variación de 25,20 %; para la categoría dos, un coeficiente de 39,13 %; y para la categoría tres, un coeficiente de 57,47 %. Además, mediante el análisis de varianza (ADEVA) se estableció que existe diferencia significativa a nivel del 5 % entre categorías. Entre tratamientos no existió diferencia significativa, pero existe una influencia de los tratamientos sobre las categorías.

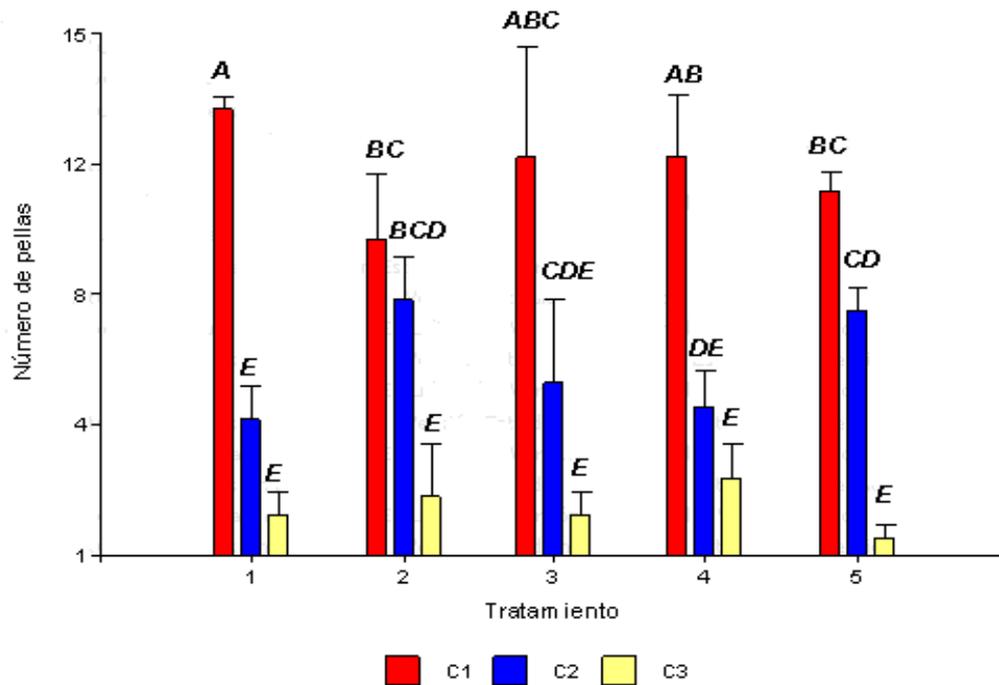


Figura 6. Interacción entre tratamientos y categorías para la variable número de pellas según la Prueba Fisher (5%)

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

De acuerdo a los rangos establecidos por la prueba de Fisher (5 %) (Anexo 8), en la Figura 6 se aprecia que en el T1 (Testigo) se obtuvo mayor número de pellas de la categoría uno (pequeñas) a comparación de todos los tratamientos. El T2 (zeolita 20 %) y T5 (carbón activado 40 %) presentaron un menor número de pellas de la misma categoría dejando a los otros tratamientos con valores intermedios.

En lo que respecta a la categoría dos (medianas) el T2 (zeolita 20 %) y T5 (carbón activado 40 %) que son las que contienen menos cantidad de fertilizante químico en comparación con el testigo son los que contienen mayor número de pellas de dicha categoría dejando en último lugar al T1 (Testigo). En todos los tratamientos se obtuvo una menor cantidad de pellas de categoría tres (grandes) sin existir diferencia significativa entre tratamientos para esta categoría.

Rivadeneira (2016), en su investigación concluyó que con la aplicación de 200 g/m² de zeolita se obtienen mayor número de frutos de fresa (*Fragaria x ananassa*) de categoría súper y extra mientras que, en esta investigación se demuestra que con la aplicación de 10,7 g/m² de zeolita (T2) o 21,33 g/m² de carbón activado (T5) se obtienen mayor número

de pellas de categoría dos (medianas) que son de interés comercial, a comparación del testigo.

En el caso del uso del carbón activado o también llamado biochar el autor Ocampo (2014) estudió tres tratamientos en los cuales aplicó por única vez antes de la siembra de uvilla (*Physalis peruviana L.*) 3,5 y 8 t/ha de biochar y una dosis de fertilización convencional con humus líquido y sólido. Después de transcurrir un año y sin ningún empleo de fertilización química posterior a la siembra se tomaron datos sobre la calidad del fruto y propiedades del suelo concluyendo que: con aplicación de 3,5 t/ha o 349,58 g/m² se obtienen frutos de mayor peso a comparación de los otros tratamientos. Aunque en variables como grados brix y pH de fruta no se evidenciaron diferencias estadísticas entre tratamientos.

Varios autores mediante investigaciones han concluido que la aplicación de zeolita y carbón activado si influye en la calidad de la producción, como se evidencia en esta investigación que con la aplicación de 10,7 g/m² de zeolita o 21,33 g/m² de carbón activado se produciría pellas de entre 250 y 500 g de peso. Cabe recalcar que las dosificaciones tienen diferente influencia en cada especie ya que las dosis de zeolita y carbón activado son menores respecto a las que se aplicaron en uvilla y fresa.

4.3. DIÁMETRO DE PELLA

Los datos de la variable diámetro de pella fueron analizados y se presenta en la Tabla 15.

Tabla 15. ADEVA para la variable diámetro de pella

FV	GLt	GLe	F-value	p-value
(Intercept)	1	290	637,91	<0,0001
Tratamiento	4	290	0,3	0,8745ns

CV: 25,76

CV: Coeficiente de Variación

FV: Fuentes de Variación

ns: no significativo

GLe: Grados de Libertad del error

GLt: Grados de Libertad del total

El análisis de varianza efectuado a la variable diámetro de pella muestra que no existe diferencia significativa a nivel del 5 % entre tratamientos presentando un coeficiente de variación de 25,76 %. En esta investigación se aplicó un 20 y 40 % menos de fertilización química reemplazando el porcentaje restante con zeolita y carbón activado, obteniendo un diámetro de pella de 10,53 cm.

La investigación realizada por Parra (2012), revela datos de diámetro de pella para la variedad de brócoli Avenger de 17,46 cm mientras que, Nicolalde y Quintana (2010) mediante la aplicación del 100 % (180 kg/ha N; 60 kg/ha P₂O₅) de fertilización química obtuvieron pellas de la variedad de brócoli Legacy con un diámetro de 15,86 cm. Conforme se redujo la fertilización química, se redujo el diámetro de pella de tal manera que, aplicando 66,7 % (120 kg/ha N; 40 kg/ha P₂O₅) de fertilizante químico se obtuvieron pellas de 15,09 cm y con un 33,3 % (60 kg/ha N; 20 kg/ha P₂O₅) de fertilización química se cosecho pellas de 14,45 cm.

Si se compara los resultados obtenidos por Nicolalde y Quintana (2010) con esta investigación se aprecia que los autores antes mencionados redujeron la fertilización química y por consiguiente también se redujo el diámetro de pella, pero en esta investigación el diámetro de pella fue estadísticamente igual en todos los tratamientos inclusive los tratamientos a los que se aplicó un 20 y 40 % menos de fertilización edáfica. Esto puede deberse a las afirmaciones de varios autores en que la zeolita y el carbón activado son capaces de retener nutrientes esenciales para la producción de los cultivos (Pandey et al., 2016; Pillajo, 2010; Malesio et al., 2013).

4.4. RENDIMIENTO DEL CULTIVO

Para el análisis de esta variable se categorizó las pellas recolectadas en tres categorías (Tabla 8), posterior a la categorización se evaluaron los datos obtenidos los cuales se describen en los siguientes acápite.

En la Tabla 16 se analiza el análisis de varianza de la variable rendimiento para cada tratamiento.

Tabla 16. ADEVA para la variable rendimiento

	FV	GLt	GLe	F-value	p-value
(Intercept)		1	27	190,82	<0,0001
Tratamiento		4	27	0,27	0,8971ns
Categorías		2	27	2,87	0,0739ns
Tratamiento:Categorías		8	27	1,2	0,3371ns
CVC1: 24,13		CVC2: 41,20		CVC3: 59,24	
CVC: Coeficiente de Variación Categoría					
ns: no significativo			GLe: Grados de Libertad del error		
FV: Fuentes de Variación			GLt: Grados de Libertad del total		

Mediante el análisis de varianza se estableció que no existe diferencia significativa a nivel del 5 % entre tratamientos y categorías, a su vez tampoco se evidenció una influencia de tratamientos con respecto a las categorías, en cuanto al coeficiente de variación de cada categoría se obtuvieron los siguientes porcentajes: categoría uno de 24,13 %, categoría dos 41,20 % y categoría tres 59,24 %.

Se concluye que no existe diferencia significativa entre tratamientos lo que se puede interpretar que si se reduce la aplicación de fertilización química de acuerdo a la necesidad del cultivo y se complementa con zeolita o carbón activado se obtienen rendimientos estadísticamente iguales a los cultivos en los que se aplica el 100 % de fertilización química de acuerdo a sus necesidades.

Los resultados obtenidos en esta investigación corroboran afirmaciones de autores como Malesio et al. (2013), Gómez (2001) y Lianga, Lehmann et al. (2005) que mencionan que la zeolita y el carbón activado tienen la capacidad de mejorar la eficiencia de los fertilizantes, debido a que poseen la capacidad de adsorber partículas como N, Ca, K y Mg en su estructura, es por tal razón que es probable que a pesar de que el rendimiento obtenido en la investigación fue bajo, los tratamientos a los que se aplicó un 80 y 60 % de fertilizante químico sustituyendo el faltante con zeolita o carbón activado obtuvieron un rendimiento estadísticamente igual al testigo al que se aplicó 100 % de fertilización química probablemente porque los nutrientes aportados se aprovecharon de mejor manera evitando pérdidas por lixiviación o volatilización.

En la investigación realizada por Nicolalde y Quintana (2010), se obtuvieron rendimientos con la variedad Legacy de 17,83 t/ha a una altura de 2600 msnm, a una temperatura de 14,88 °C y un pH de 6,10 mientras que Parra (2012) obtuvo rendimientos con la variedad Avenger de 36,43 t/ha a una temperatura de 12 °C, pH 6,10 y a una altura de 2941 msnm. En el último caso presentado el rendimiento es alto en comparación de los rendimientos obtenidos en esta investigación en donde promediando los rendimientos del T1 (6,19 t/ha), T2 (6,76 t/ha), T3 (5,68 t/ha), T4 (6,49 t/ha) y T5 (5,71 t/ha) resulta un rendimiento promedio de 6,17 t/ha (Anexo 9) que probablemente se deba que el experimento se estableció a una altura de 2340 msnm a una temperatura de 16,4 °C evidenciando que en esta investigación la temperatura tuvo influencia en el rendimiento.

El crecimiento y el rendimiento de las especies vegetales están ligados a los procesos físicos, químicos y biológicos que sucede a nivel edáfico y ambiental. Dentro de estos procesos se encuentra la fotosíntesis. Esta es la reacción bioquímica de mayor relevancia en la naturaleza (Munera y Meza, s/f.). En este proceso interviene varios factores que afectan la tasa fotosintética tales como: la luz, temperatura, humedad del aire, disponibilidad hídrica, nutrientes en el suelo y CO₂ que es el principal sustrato de esta reacción (Azcón- Bieto, Fleck, Aranda y Gómez-Casnovas, s/f.). Se sintetiza compuestos orgánicos a partir del dióxido de carbono, agua y nutrientes del suelo mediante la fotosíntesis para mantener las reservas de carbohidratos, para mantener los tejidos de las plantas o para formar nuevos tejidos y crecer (Gracia, s/f.).

La correcta funcionalidad de los procesos vitales en las plantas depende de varios factores mencionados en el anterior párrafo, es por tal razón que si uno de los factores se ve alterado los procesos para la vitalidad de la planta y el rendimiento también son afectados. Tal es el caso del factor temperatura, la misma que tiene un efecto entre el rendimiento y la maduración del cultivo debido a que el incremento de la misma resulta en una producción temprana y en un descenso del rendimiento total (Palencia, 2009; cp Palencia, P., Martínez, F., Medina, J y Medina L. 2013).

En la revista Scintific American se menciona que el metabolismo de las plantas se acelera con el incremento de la temperatura. De la misma manera Azcón-Bieto, et al. (s/f.) mencionan que, la fotorrespiración incrementa conforme aumenta la temperatura ambiental lo cual sucede especialmente en días claros y soleados. De tal manera que, se consumen considerable de carbohidratos sintetizados a través de la fotosíntesis los mismos que estaban destinados al mantenimiento y producción de la planta. (cp Fischer y Pérez, 2012). Según autores antes mencionados la temperatura es un factor limitante en el rendimiento de los cultivos, por lo que es posible que el bajo rendimiento esté ligado al incremento de la temperatura derivando en un metabolismo acelerado y consumo de carbohidratos destinados a la producción.

Palencia et al. (2013) estudió a factores como la temperatura, precipitación y la radiación UV-B con la finalidad de conocer si son responsables del incremento o decremento del rendimiento de fresa (*Fragaria x ananassa*). Se instalaron cultivos de fresa durante tres años en épocas de verano en donde la radiación UV-B y la temperatura eran altas y en

invierno donde la radiación UV-B y la temperatura eran menores. Al final concluyó que en los frutos cosechados en verano, donde la radiación y la temperatura eran altos se adelantó la cosecha y los frutos eran más pequeños en comparación de los frutos cosechados en invierno.

La incidencia de los rayos UV-B es alta en lugares de mayor altura sobre el nivel del mar como es el caso de los experimentos antes mencionados en donde se encontraban a alturas entre 2.600 y 2.900 msnm en comparación a la granja La Pradera que está a 2.340 msnm. La diferencia entre todos estos lugares es la temperatura, ya que en el caso de los experimentos evaluados en mayores altitudes la temperatura es menor que en la granja La Pradera (16,4 °C) evidenciando que los rayos UV-B no tuvieron influencia en la precocidad del cultivo y los bajos rendimientos siendo que la temperatura fue un factor limitante en el rendimiento y precocidad.

Mediante la revisión de literatura para la variable rendimiento se concluye que, con el 20 y 40 % de carbón activado o zeolita en aplicación edáfica con sustitución parcial de fertilización química del fertilizante se evidenció un resultado benéfico ya que se obtuvieron rendimientos estadísticamente iguales al tratamiento con 100 % de fertilización química.

4.5. ANÁLISIS DE SUELO DE LAS MUESTRAS RECOLECTADAS AL INICIO Y AL FINAL DEL CICLO DEL CULTIVO

El análisis de esta variable se realizó en base a los resultados emitidos del laboratorio y las dosificaciones de cada tratamiento aportados al suelo, los cuales se describen a continuación:

La Tabla 18 muestra el resultado comparativo de los resultados de los análisis de suelo al inicio (Anexo 10) y al final del cultivo (Anexo 11), en donde se evidencia el incremento y decremento que de nutrientes del suelo de cada tratamiento. En la Tabla 19 se aprecia la sumatoria de los nutrientes que contenía el suelo al inicio del cultivo más el aporte de fertilización aplicado de acuerdo al tratamiento, con el objetivo de comparar con el nivel de nutrientes que quedaron en el suelo después del finalizar el ciclo del cultivo.

En la Tabla 19 se puede apreciar que los tratamientos T1, T2 y T4 empiezan con un aporte similar de nitrógeno mientras que el T3 y T5 tienen un aporte de casi el 30 % menos en

comparación con los tratamientos antes mencionados. En lo que se refiere a mejor aprovechamiento de nitrógeno se reflejó en el T5, debido a que se aplicó un 30 % menos en comparación del T1, y en el suelo se quedó un 25 % de nitrógeno siendo que el 75 % se perdió y se absorbió, lo que a diferencia del T1 se quedó en el suelo un 18 % del total de aporte perdiéndose y absorbiéndose una cantidad del 82 %.

Los tratamientos que mejor peso de pella obtuvieron en la categoría uno y dos fueron T1 (178,26; 358,69 g), T2 (172,35; 349,19 g) y T4 (170,92; 362,94 g) a excepción de la categoría tres en donde los tratamientos que mejor peso obtuvieron fueron el T1 (708,44 g), T3 (677,94 g) y T2 (684,63 g) (Anexo 12). A pesar de que los tratamientos antes mencionados tuvieron un mayor aporte de nitrógeno al inicio del cultivo no mostraron ser superiores a los tratamientos a los que se aplicó un 40 % menos de fertilización química, tal es el caso del T3 que en la categoría tres obtuvo un peso promedio de pella de 677,94 g demostrando que a pesar de tener menos fertilización muestra un peso promedio admitido en la industria.

Autores como Malesio et al. (2013) y Pillajo (2010) mencionan que la zeolita es capaz de evitar pérdidas de nutrientes por lixiviación o volatilización, haciendo eficiente la aplicación de hasta un 40 % menos de fertilizantes químicos. Además menciona que este mineral mejora la nitrificación de suelo, facilita la solubilidad del P y la asimilación del K. Así mismo autores como Lianga, Lehmann et al., 2005; Pandey et al., 2016 y Lehmann. et al., 2011 mencionan que el carbón activado o biochar participa en los ciclos biogeoquímicos de los nutrientes, es un adsorbente universal, permite la disminución del uso de fertilizantes químicos y mejora la fertilidad de la tierra a largo plazo. Debido a tales afirmaciones es que se presume que aunque existió una disminución en la fertilización, los tratamientos que tuvieron menor aporte de nitrógeno demostraron rendimientos admitidos en la industria.

En la Tabla 20 se puede apreciar que el Ca^{+2} , Mg^{+2} y Na^+ , han tenido un incremento en todos los tratamientos, lo mismo sucede con el pH. Cepeda (2009), menciona que, el agua de riego con alto contenido de sales puede llegar a aumentar el pH del suelo. Según Zapata (2004) el suelo se torna alcalino debido a que el movimiento del agua es hacia arriba de la zona de meteorización, por lo que predomina el acenso capilar y evaporación con el movimiento de iones con el agua hacia arriba, dando como resultado que iones como Na^+ ,

Mg^{+2} , Ca^{+2} , HCO_3 , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , y Cl^- , alcancen altas concentraciones, es por esta razón también que el Ca^{+2} , Mg^{+2} y Na^+ , aumentaron en todos los tratamientos al final del ciclo del cultivo, de la misma manera lo hizo en pH del suelo.

Mediante un análisis de agua (Anexo 12) realizado al agua de reservorio que se utilizó en el experimento se evidenció un alto contenido de HCO_3 , el cual según Zapata (2004), es un anión que posee hidrolisis alcalina, por tal motivo tiene tendencia a subir el pH. En esta investigación el pH de todos los tratamientos aumentó, por lo que es probable que el HCO_3 contenido en el agua de riego y el movimiento del agua por ascenso capilar y evaporación sean los causantes de este incremento en el pH del suelo.

Lo que sucedió en esta investigación se compara con Abenza (2012), que estudio diferentes tipos de carbón activado en el cultivo de cebada, obteniendo al final del cultivo un incremento del pH en todos los tratamientos, incremento de sodio, calcio y magnesio, lo cual atribuye al agua de riego aplicado en el cultivo.

En la siguiente tabla se evidencia los niveles de interpretación que utiliza el INIAP para la interpretación de relaciones catiónicas. Esta tabla fue usado como recurso para interpretar si las relaciones cationes obtenidas en esta investigación presentan una alteración para el cultivo.

Tabla 17. Niveles de interpretación para las relaciones catiónicas en suelos del callejón interandino utilizados por el DMSA de la EESC.

Relación	Niveles de interpretación		
	Bajo	Óptimo	Alto
Ca/Mg	< 2.0	2.0 - 5.0	> 5.0
Mg/K	< 2.5	2.5 - 15.0	> 15.0
(Ca+Mg)/K	< 10	10.0 - 40.0	> 40.0
Ca/K	< 5.0	5.0 - 25.0	> 25.0

Fuente: INIAP (2009).

En lo que respecta a las relaciones de cationes según el análisis de laboratorio realizado al final del cultivo (Tabla 18), la relación Ca/Mg en todos los tratamientos posee un valor desde 3,22 hasta 3,46 el cual según la tabla propuesta por el INIAP (2009) (Tabla 17) se encuentra en un rango óptimo, lo mismo sucede con la relación Mg/K la cual tiene cantidades desde 2,81 hasta 3,98 registrándose como un nivel óptimo. En lo que concierne a la relación (Ca+Mg)/K se registraron valores desde 12,2 hasta 17,31, los mismos que se encuentran dentro de los rangos óptimos.

Según Chaves (2012), se tiene corroborado que un exceso de Mg puede reducir la absorción de Ca y Mg, de la misma manera altas concentraciones de Ca y Mg en el suelo reducen la absorción y la disponibilidad de K. En esta investigación los niveles de relaciones entre los cationes antes mencionados se encuentran en un nivel óptimo, comprobándose tal afirmación con los análisis foliares (Tabla 21) donde se observa que no existe un estado deficitario para dichos cationes.

Tabla 18. Resultado de los análisis del suelo de las muestras recolectadas en la granja La Pradera al inicio y al final del cultivo.

Elementos	T1 (testigo)		T2 (zeolita 20%)		T3 (zeolita 40%)		T4 (Carbón Activ. 20%)		T5 (Carbón Activ. 40%)	
	In.	Fin	In.	Fin	In.	Fin	In.	Fin	In.	Fin
Nitrógeno ppm	35,18	41,97+	39,78	25,0-	34,04	32,71-	37,48	29,63-	38,63	41,97+
Fósforo ppm	95,21	86,65-	61,37	59,49-	72,60	93,44+	97,97	101,60+	81,54	67,98-
Potasio meq/100ml	1,47	1,44-	1,15	1,09-	1,36	1,19-	1,27	1,22-	1,11	1,3+
Calcio meq/100ml	11,88	13,64+	10,27	12,88+	11,16	13,92+	11,30	14,71+	11,23	13,73+
Magnesio meq/100ml	3,91	4,05+	3,85	4,00+	4,03	4,19+	3,95	4,25+	3,88	4,10+
pH	7,67	7,74+	7,73	7,82+	7,50	7,77+	7,58	7,60+	7,52	7,73+
Sodio meq/100ml	0,088	0,227+	0,100	0,161+	0,103	0,160+	0,110	0,170+	0,107	0,183+
CE	0,334	0,309-	0,270	0,234-	0,326	0,251-	0,279	0,240-	0,266	0,243-
Ca/Mg	3,04	3,37+	2,67	3,22+	2,77	3,32+	2,86	3,46+	2,89	3,35+
Mg/K	2,66	2,81+	3,35	3,67+	2,96	3,52+	3,11	3,48+	3,50	3,98+
(Ca+Mg)/K	10,74	12,2+	12,28	15,49+	11,17	15,22+	12,01	15,54+	13,61	17,31+
CIC	17,35	19,36+	15,37	18,13+	16,65	19,46+	16,63	20,35+	16,33	19,04+

Nota: In. Inicial Fin Final CE: Conductividad Eléctrica

CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico

El signo + y - colocados en la columna del resultado final del análisis de suelo se refiere al incremento o decremento existente de cada nutriente a comparación de resultado inicial por tratamiento.

Fuente: análisis de laboratorio.

Tabla 19. Aporte de nutrientes calculado en base al análisis de suelo más fertilizante aplicado en el suelo al inicio del cultivo y comparación de los nutrientes restantes en el suelo al final del cultivo.

Elementos	T1 (Testigo)		T2 (Zeolita 20 %)		T3 (Zeolita 40 %)		T4 (Carbón activado 20 %)		T5 (Carbón activado 40 %)	
	Inic.+Apor.	Final	Inic.+Apor.	Final	Inic.+Apor.	Final	Inic.+Apor.	Final	Inic.+Apor.	Final
Nitrógeno	282,22	50,36	282,37	30	198,55	39,25	279,61	35,56	204,07	50,36
Fósforo	185,02	103,98	130,56	71,39	129,43	112,13	174,48	121,92	154,77	81,58
Potasio	206,50	67,38	123,05	51,01	132,68	55,69	128,67	57,10	121,18	60,84
Calcio	285,12	327,36	246,48	309,12	267,84	334,08	271,20	353,04	269,52	329,52
Magnesio	56,34	58,32	55,44	57,6	58,03	60,34	56,88	61,20	55,87	59,04
Sodio	2,42	6,26	2,76	4,44	2,84	4,42	3,04	4,69	2,95	5,05
pH	7,67	7,74	7,73	7,82	7,50	7,77	7,58	7,60	7,52	7,73
CE mS/cm	0,334	0,309	0,270	0,234	0,326	0,251	0,279	0,240	0,266	0,243
Ca/Mg	3,04	3,37	2,67	3,22	2,77	3,32	2,86	3,46	2,89	3,35
Mg/K	2,66	2,81	3,35	3,67	2,96	3,52	3,11	3,48	3,50	3,98
(Ca+Mg)/K	10,74	12,28	12,28	15,49	11,17	15,22	12,01	15,54	13,61	17,31
CIC	17,35	19,36	15,37	18,13	16,65	19,46	16,63	20,35	16,33	19,04

Inic.- Inicial Apor.- Aporte

Nota: el cálculo se realizó para cada tratamiento, cabe recalcar que el N, P, K, Ca, Mg y Na esta expresado en kg.

Tabla 20. Total de nutrientes absorbidos y perdidos de cada tratamiento

Elementos	T1 (T)	T2 (Z 20 %)	T3 (Z 40 %)	T4 (C.A 20 %)	T5 (C.A 40 %)
Nitrógeno	-231,86	-252,37	-159,30	-244,05	-153,71
Fósforo	-81,04	-59,17	-17,30	-52,56	-73,19
Potasio	-139,12	-72,04	-76,99	-71,57	-60,34
Calcio	+42,24	+62,64	+66,24	+81,94	+60
Magnesio	+1,98	+2,16	+2,31	+4,32	+3,17
Sodio	+3,84	+1,68	+1,58	+1,65	+2,1
Ph	+0,07	+0,09	+0,27	+0,02	+0,21
CE mS/cm	-0,025	-0,036	-0,075	-0,039	-0,023
Ca/Mg	+0,33	+0,55	+0,55	+0,6	+0,46
Mg/K	+0,15	+0,32	+0,56	+0,37	+0,48
(Ca+Mg)/K	+1,54	+3,21	+4,05	+3,53	+3,70
CIC	+2,01	+2,76	+2,81	+3,72	+2,71

Nota: las cantidades de N, P, K, Ca, Mg y Na están expresadas en kg/ha

Los signos + y – expresan decremento o incremento

Las letras entre paréntesis significa; T: Testigo; Z: Zeolita; C.A: Carbón Activado

De la misma manera, la Tabla 20 muestra que la Capacidad de Intercambio Catiónico tiene un ligero incremento, debido al aumento de los cationes de intercambio. Abenza (2012) en su evaluación de diferentes tipos de carbón activado activados a diferentes tipos de pirólisis y a distintas temperaturas obtuvo un dato similar ya que los cationes básicos tendieron a aumentar y de la misma manera lo hizo la capacidad de intercambio catiónico.

La Capacidad de Intercambio Catiónico no depende solo de la cantidad de arcillas y humus, sino que también está influenciada por el tipo de arcilla y el pH del medio, ya que a medida que aumenta el pH del suelo se generan nuevas cargas eléctricas negativas en el complejo de cambio (Ansorena, 1995).

Por tales razones no se puede atribuir que el incremento de la CIC sea por acción del carbón activado o zeolita ya que en el testigo también existió un incremento. Tal aumento de la Capacidad de Intercambio Catiónico probablemente se deba al incremento de los cationes bases y al incremento del pH del suelo.

4.6. ANÁLISIS FOLIAR DE LAS MUESTRAS RECOLECTADAS POR TRATAMIENTO

Este análisis se realizó al final del cultivo, en la Tabla 21 se muestra el análisis foliar realizado por tratamiento.

Tabla 21. Análisis foliar realizado a todos los tratamientos

ELEMENTOS	T1	INT*	T2	INT*	T3	INT*	T4	INT*	T5	INT*
N %	3,99	S	3,43	S	3,50	S	3,78	S	3,29	S
P %	0,66	S	0,47	S	0,48	S	0,52	S	0,47	S
K %	2,35	S	2,73	S	2,68	S	2,62	S	2,66	S
Ca %	1,88	S	1,80	S	1,98	S	1,94	S	1,99	S
Mg %	0,37	S	0,31	S	0,31	S	0,34	S	0,31	S
S %	0,87	A	0,63	S	0,69	S	0,85	A	0,73	S
B ppm	40,3	S	42,6	S	39,0	S	43,3	S	40,0	S
Zn ppm	10,3	B	9,3	B	7,2	B	9,2	B	10,2	B
Cu ppm	3,9	B	3,3	B	3,0	B	3,7	B	3,5	B
Fe ppm	93,0	S	75,6	S	85,3	S	82,2	S	53,7	B
Mn ppm	70,85	S	47,9	S	52,5	S	51,2	S	36,0	S

Fuente: Análisis de laboratorio INIAP Santa Catalina.

INT*: Interpretación

S: suficiente

B: Bajo

A: Alto

El resultado obtenido en el análisis foliar evidencia que en lo que se refiere a macronutrientes todos los tratamientos tienen suficiente absorción por la planta, lo que quiere decir es que en los casos en los que se aplicó menos dosis de fertilizante químico T3 (zeolita 40 %) y T5 (carbón activado 40 %) no afectó en la nutrición de la planta, evidenciándose el aprovechamiento de los nutrientes aplicados en el suelo.

Según Navarro, S y Navarro (2003), los macronutrientes no llegan a ser tan tóxicos como los micronutrientes, y su concentración puede superar ampliamente el nivel óptimo sin que el crecimiento se vea aparentemente afectado. En la Tabla 20 se observa que todos los macroelementos según la interpretación del laboratorio se encuentran en estado suficiente, por lo que no existen posibilidades de intoxicación por adición de carbón activado o zeolita. En todos los tratamientos se evidencia un déficit de los micronutrientes Zinc y Cobre, provocado quizá por falta de fertilización rica en micronutrientes.

4.7. EVALUACIÓN ECONÓMICA A CADA TRATAMIENTO MEDIANTE EL PRESUPUESTO PARCIAL DEL CIMMYT

Siguiendo la metodología del presupuesto parcial del Centro Internacional del Mejoramiento del Maíz y Trigo se elaboró la Tabla 22 en la que se observa el beneficio neto obtenido por cada tratamiento.

Tabla 22. Presupuesto Parcial del CIMMYT aplicado para la evaluación económica de cada tratamiento

	CATEGORÍAS	T1 (Testigo)	T2 (Zeol 20%)	T3 (Zeol 40%)	T4 (C.A 20%)	T5 (C.A 40%)
RENDIMIENTO PELLAS POR ha	C1	14.814,81	10.740,74	13.333,33	13.333,33	12.222,22
	C2	5.185,19	8.888,89	6.296,30	5.555,56	8.518,52
	C3	2.222,22	2.777,78	2.222,22	3.333,33	1.481,48
RENDIMIENTO AJUSTADO	C1	12.592,59	9.129,63	11.333,33	11333,33	10.388,89
	C2	4.407,41	7.555,56	5.351,85	4.722,22	7.240,74
	C3	1.888,89	2.361,11	1.888,89	2.833,33	1.259,26
BENEFICIOS BRUTOS DE CAMPO \$ ha	C1	2.469,14	1.790,12	2.222,22	2.222,22	2037,04
	C2	1.037,04	1.777,78	1.259,26	1.111,11	1.703,70
	C3	555,56	694,44	555,56	833,33	370,37
		4061,73	4262,35	4037,04	4166,67	4111,11
SEMILLA		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
FERTILIZACIÓN		326,05	251,19	209,68	374,83	461,38
MANEJO INTEGRADO		328,28	328,28	328,28	328,28	328,28
MANO DE OBRA		1000	1000	1000	1000	1000
SUMA DE COSTOS QUE VARIAN		1.754,33	1.679,47	1.637,96	1.803,11	1.889,66
BENEFICIO NETO		2.307,40	2.582,88	2.399,08	2.363,56	2.221,45

Mediante el cálculo del presupuesto parcial, en la Tabla 22 se establece que el tratamiento que más ganancia deja es el T2 (zeolita 20 %), seguido por el T3 (zeolita 40 %), T4 (carbón activado 20 %), T1 (testigo) y al finalizar está el T5 (carbón activado) con ganancias de 2.582,88; 2.399,09; 2.363,56; 2.307,40 y 2.221,45 USD respectivamente.

El único tratamiento que estuvo por debajo del testigo fue el T5, pero cabe recalcar que utilizar carbón activado como enmienda del suelo, y dosificador de nutrientes ayuda a combatir la pérdida de nitrógeno en el suelo, evitando pérdida por lixiviación y volatilización, y contaminación de aguas subterráneas por nitratos.

Swift (2001) afirma que el suelo contiene más carbono que las cantidades contenidas en la vegetación y en la atmósfera, haciendo que el carbono (C) del suelo sea un componente importante en el ciclo terrestre del carbono. El suelo es considerado como el sumidero de C más importante, y manifiesta la importancia de que existan materiales con las capacidades de retener el C en el suelo y disminuir las emisiones de CO₂ a la atmósfera emitidos por la quema de combustibles fósiles y el desmonte. Lehmann y Joseph (2009) mencionan que el carbón activado o biochar fue descrito como uno de los principales secuestradores de CO₂ de la atmósfera. De tal manera que no solo ayuda en la producción de los cultivos sino que también es un método para mitigar la contaminación ambiental.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Después de haber obtenido los datos en la fase de campo, y a su posterior análisis estadístico mediante el paquete INFOSTAT versión libre 2016 se formulan las siguientes conclusiones:

- Las mejores dosis en cuanto a rendimiento fueron 106,67 kg/ha de zeolita correspondiente al T2 (zeolita 20 %) o 213,33 kg/ha de carbón activado correspondiente al T5 (carbón activado 40 %) ya que se obtuvo mayor número de pellas de categoría 2 (250-500 g) por hectárea con una cantidad de 8.888 y 8.518 inflorescencias respectivamente. Si se compara la producción del testigo con 100% de fertilización química en el cual se cosecharon 5.185 pellas con los tratamientos antes mencionados, se destaca la gran diferencia numérica en producción de pellas de esta categoría. Esta diferencia se debe a que la zeolita y el carbón activado funcionan como retenedores de nutrientes esenciales para la producción dentro de los cuales destaca el nitrógeno, el cual según varios autores es un nutriente limitante en el rendimiento de los cultivos ya que forma parte de proteínas, aminoácidos, entre otros complementos importantes para la planta. La fuente de nitrógeno más común es la urea la cual es elaborada a partir de petróleo. En esta investigación se comprobó la eficiencia de aplicación de la zeolita y el carbón activado reduciendo la fertilización por lo que se contribuye con el medio ambiente reduciendo el uso de fertilizantes sintéticos.
- En lo que se refiere al aumento de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) no se evidenció diferencia entre tratamientos, debido a que al final del cultivo, los análisis de suelo realizados a cada tratamiento evidencian un ligero incremento de Ca^{++} , Mg^{++} y Na^+ , los mismos que forman parte de la CIC. Este aumento de cationes no está ligado a la adición de la zeolita y carbón activado ya que en el testigo también existió un incremento que probablemente se deba a los altos contenidos de HCO_3 del agua de riego.

- El rendimiento en esta investigación fue de 6,17 t/ha, el cual en comparación con el rendimiento establecido por el Sistema de Información Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (SINAGAP) que es de 19,24 t/ha fue considerablemente menor, probablemente debido a las condiciones agroclimáticas del lugar, ya que la temperatura del ambiente influye en el rendimiento y en la precocidad del cultivo; el estrés térmico afecta la tasa fotosintética de la planta causando que se gasten carbohidratos destinados a otras actividades de la planta como mantenimiento y producción.
- Mediante el presupuesto parcial del CIMMYT se establece que los tratamientos en los que se evidenció un mejor beneficio neto fueron el T2 (zeolita 20 %) con \$2.582,88 y el T3 (zeolita 40 %) con \$2.399,08 dólares en los cuales se redujo el presupuesto por hectárea de \$1.754,33 que corresponde al testigo a \$1.679,47 (T2) y \$1.637,96 (T3). En cuanto a los tratamientos con carbón activado los presupuestos por hectárea fueron mayores al tratamiento testigo con \$1.803,11 y \$1.889,66 para el T4 (carbón activado 20 %) y T5 (carbón activado 40 %). Dejando un beneficio neto de \$2363,56 (T4) y \$2.221,45 (T5) siendo este último tratamiento en donde se obtuvo menor beneficio neto en comparación al T1 (testigo) en el que se obtuvo \$2307,40 debido a que el precio del carbón activado es 10 veces mayor que el de la zeolita.
- Posterior al análisis de las variables mediante el ADEVA con un nivel de significancia del 5 % se acepta la hipótesis nula bajo las condiciones de este experimento debido a que, en variables como altura de la planta a la cosecha, rendimiento y diámetro de pella, se obtuvo un valor $p > 0,05$. A pesar de aceptar la hipótesis nula en la que se manifiesta que la zeolita y carbón activado no tuvieron influencia en el cultivo de brócoli se observa que, en los tratamientos en los que se aplicó un 20 y 40 % menos de fertilización química se obtuvo un rendimiento estadísticamente igual al tratamiento con 100 % de fertilización. Este resultado evidencia que es posible disminuir la cantidad de fertilizantes aplicados al suelo sin afectar el rendimiento del cultivo, de tal manera que, se disminuye la pérdida de los nutrientes aplicados y se evita la contaminación de aguas subterráneas ya que los nutrimentos del suelo se retienen en la estructura de la zeolita y carbón activado.

- En esta investigación se evidenció la eficiencia de la aplicación de carbón activado vs la aplicación de zeolita en el suelo, brindando una alternativa ecológica de producción y una manera de mitigar el daño al medio ambiente mediante el secuestro de C en el suelo disminuyendo las emisiones de CO₂ en la atmósfera.

5.2. RECOMENDACIONES

Después de haber culminado con la investigación se realizan las recomendaciones que se describen a continuación:

- Aplicar 106,67 kg/ha de zeolita en el cultivo de brócoli ya que esta dosis contribuye a la producción de inflorescencias de categoría 2 la cual es admitida en la agroindustria.
- Usar 213,33 kg/ha de carbón activado en brócoli ya que con esta dosis se obtuvo mayor cantidad de inflorescencias de entre 250 y 500 g de peso, las cuales son admitidas en la industria.
- Emplear zeolita o carbón activado en suelos ácidos, debido a que en ese tipo de suelos existen pérdidas de cationes bases, por lo que la zeolita y el carbón activado pueden funcionar de mejor manera adsorbiendo los cationes de intercambio y manteniéndolos en el sistema suelo-planta, así con la acumulación de cationes bases el suelo, el pH aumentará y se disminuirá el lavado de cationes.
- Evaluar la biota del suelo con la finalidad de conocer si la aplicación de carbón activado o zeolita tienen algún efecto positivo o negativo sobre esta.
- Establecer el cultivo indicador en lugares donde las condiciones agroclimáticas favorezcan de mejor manera en la recopilación y interpretación de datos a nivel de fisiología del cultivo.
- Extender la evaluación del carbón activado o la zeolita en campo por más de un año para comprobar si las funciones como dosificadores y retenedores de nutrientes permanecen a largo plazo en el suelo.
- Evaluar una combinación entre la zeolita y el carbón activado para conocer como interactúa esta mezcla con los fertilizantes el suelo y el cultivo.

BIBLIOGRAFÍA

- Abenza, D. (2012). Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en suelo y planta. Proyecto fin de carrera Licenciatura en Ciencias Ambientales. Balleterra. Recuperado de:
https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2012/hdl_2072_202695/PFC_DanielPacoAbenza.pdf
- Ansorena, J. (1995). Fertilidad del suelo: Acidéz y Complejo de cambio. El suelo en la agricultura y el medio ambiente (II). *SUSTRAI -41*. (36). Diputación Foral de Gipuzkoa
- Armenta-Bojórquez, A. D., Cervantes-Medina, C., & Galaviz-Lara, J. A. (2012). Impacto de la fertilización nitrogenada en agua para consumo humano en el municipio de Guasave Sinaloa, México. *Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*. 8(3), 2012. México, D.F., MX: Red Universidad Autónoma Indígena de México. Retrieved from <http://www.ebrary.com>
- Arriagada, R., García, R., y Cyd, R. (s/f). Retención de Hg (II) y Cr (VI) en carbones activados de origen Lignoselusócico. Universidad de Concepción. Chile.
- Baquerizo, M., Mestre, F., Gallardo, A., Eldrige, D., Soliveres, S., Bowker, M.,Zaady, E. (2016). Human impacts and aridity differentially alter soil N availability in drylands worldwide. *Global Ecology and Biogeography*. 25. 36-36. Doi: 10.1111/geb.12382.
- Bates, A. (2011). The Biochar Solution: Carbon Farming and Climate Change. *BioScience*. 61 (10). doi:10.1525/bio.2011.61.10.16.
- Cabot Corporation. (s/f). Boston. Recuperado de:
<http://www.cabotcorp.com.co/company/about-cabot>
- Cantwell, M. and T. Suslow. (2002). Lettuce, Crisphead: Recommendations for Maintaining Postharvest Quality. Recuperado de:
http://ucanr.edu/sites/Postharvest_Technology_Center_/Commodity_Resources/Fact_Sheets/Datastores/Vegetables_English/?uid=19&ds=799
- Cárdenas, R., Touma, M. (2011). Estudio comparativo de dos métodos de fertilización del cultivo de arroz: usando briquetas de urea con diferentes concentraciones de zeolita y

- sistema tradicional en la zona Febres Cordero, Provincia de Los Ríos. (Tesis de Pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil-Ecuador.
- Cepeda, M. (2009). *Química del Suelos*. Editorial Trillas. ISBN: 978-968-24-4032-8. México
- Chaves, M. (2012). Relaciones catiónicas y su importancia para la agricultura. *Ventana lechera*. Edición 18.
- Chiluisa, S. (2014). Aplicación de diferentes dosis de biol, enriquecido con roca fosfórica en el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea var. Italica híbrido Legacy*) utilizando como coadyuvante gel de sábila (*Aloe vera*). (Tesis de Maestría). Universidad Técnica de Ambato. Ecuador.
- Chirinos, Uy Lazcano-Ferrat, I. (s/f). Brócoli; mejores rendimientos balanceando su fertilización N, P, K y Mg. México.
- CIMMYT. (1988). La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: un manual metodológico de evaluación económica. Edición completamente revisada. México D.F., México: CIMMYT.
- Espinosa, J y Molina, E. (1999). *Acidez y encalado de los suelos*. Primera edición. Recuperado de: <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/libros/Acidez%20y%20encalado%20de%20suelos,%20libro%20por%20J%20Espinosa%20y%20E%20Molina.pdf>
- Fagundo, C. J. R., & González, H. P. (2016). *Procesos biogeoquímicos*. La Habana, CUBA: Editorial Universitaria. Retrieved from <http://www.ebrary.com>
- Figueiredo, SM., Filho, SA., Nogueira-Machado, JA., & Caligiorne, RB. (2013). The anti-oxidant properties of isothiocyanates: a review. *Us. National Library of Medicine National Institutes of Health*. 7. (3). 213-22. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23978168>
- Fischer, G y Pérez, C. (2012). Efecto de la radiación solar en la calidad de los productos hortícolas. *Memorias Congreso Internacional de Hortalizas en el Trópico: La Olericultura Colombiana, Nuevos Retos para Enfrentar los Tratados de Libre Comercio*. Recuperado de:

https://www.researchgate.net/publication/256575856_Efecto_de_la_radiacion_solar_n_la_calidad_de_los_productos_hortícolas

Food and Agriculture Organization. (1985). Los fertilizantes y su uso. Pág. 8. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>

Gang, Xu., You, Z., Junna, S & Hongbo, S. (2016). Negative interactive effects between biochar and phosphorus fertilization on phosphorus availability and plant yield in saline sodic soil. *Science of the Total Environment*. 568. 910-916. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.079>

García-Jaramillo, M., Cox, L., Knicker, H., Cornejo, J., Spokas, K and Hermosín, M. (2015). Characterization and selection of biochar for an efficient retention of tricyclazole in a flooded alluvial paddy soil. *Journal of Hazardous Materials*. 286, 581–588.

GAT. (2012). Salinidad en cultivos agrícolas. Fertilíquidos. Recuperado de: http://www.gatfertilquidos.com/salinidad_cultivos.pdf

Gómez, J. (2001). Síntesis, caracterización y aplicaciones catalíticas de zeolitas básicas. (Tesis de Doctorado). Universidad Complutense de Madrid. Madrid.

Gracia, C. (s/f.). Ecología Forestal: Estructura, Funcionamiento y Producción de las masas forestales. Recuperado de: <http://www.ub.edu/ecologia/carlos.gracia/PublicacionesPDF/Fotos%20ADntesis.pdf>

Guaña, L. (2011). Evaluación agronómica y productiva de seis híbridos de brócoli (*Brassica oleracea* L.) En la parroquia Belisario Quevedo, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi. (Tesis de Pregrado). Universidad Estatal de Bolívar. Guaranda- Ecuador.

Hertsgaard. (2014). Mientras que el uso del biocarbón se extiende, sus beneficios para el medio ambiente aún son inciertos. *Environmental News*. Estados Unidos.

Instituto Geográfico Militar (IGM). (s/f.). Geoportal. Recuperado de: <http://www.igm.gob.ec/index.php/en/>. Ecuador.

- Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). (2009). Guía de recomendaciones de fertilización para los principales cultivos del callejón interandino. Boletín Técnico No. 127. Quito-Ecuador.
- Játiva, V., y Rivadeneira, A. (2008). Efecto de fertilización con cuatro niveles de Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Azufre (S) en el rendimiento y calidad en cuatro híbridos de brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*) en Cayambe hacienda la Remonta. (Tesis de Pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Ibarra. Ecuador.
- Julie Le Gall. (2012). El Brócol en Ecuador: La fiebre del oro verde. Cultivos no tradicionales, estrategias campesinas y globalización. *Anuario Americanista Europeo*. Pág. 261-288.
- Lehmann y Joseph. (2009). Biochar for Environmental Management: An Introduction. Recuperado de: http://www.biochar-international.org/images/Biochar_book_Chapter_1.pdf
- Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C., Hockaday, W., Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota – A review. *Soil Biology and Biochemistry*. 43 (9). 1812-1836. doi: 10.1016/j.soilbio.2011.04.022
- Letelier, E., Novoa, R., (1982). Adición de carbón activado y oxidante a un suelo de terrazas marinas y su efecto sobre la germinación del trigo. *Agricultura Técnica*. 42 (4). 323-328. Chile.
- Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangia, J., Grossman, J., O'Neill, B., Skjemstad, J. O., Thies, J., Luizão, F. J., Petersen, J., and Neves, E. G. (2005). Black Carbon Increases Cation Exchange Capacity in Soils. *Soil Science Society of America Journal*. 70 (5). 1719-1730. doi: 10.2136/sssaj2005.0383.
- López, D., Quilambaqui, M., Ayala, M. (2004). Uso de las zeolitas naturales del bloque tecnológico experimental de las zeolitas (BTEZ) de la ESPOL en el cultivo de maíz (*Zea mays*. L)
- MAGAP. (2013). Boletín situacional, Panorama internacional de brócoli. Recuperado de: http://sinagap_agricultura.gob.ec

- Mahmood, L., Zhiquan, H., Muhammad, S., Xiao, B., Ahmed, A., Mian, H. (2015) Fast pyrolysis biochar from sawdust improves the quality of desert soils and enhances plant growth. *J Sci Food Agric.* 96. 199-206. Doi:10.1002/jsfa.7082
- Malesio, R., Ramírez, M., Ceja, E., Gómez, P., y Bueno, A. (2013). Zeolita Natural; Alternativa Ecológica y Económica para la Agricultura de temporal en México. México.
- Millán, G., Agosto, F., Vázquez, M., Botto, L., Lombardi, L., y Juan, L. (s/f). Uso de la clinoptilolita como vehículo de fertilizantes nitrogenados en un suelo de la región Pampeana Argentina. Recuperado de: http://www.produccionanimal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_fertilizacion/55-clinoptilolita.pdf
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP). (2014). Boletín situacional Brócoli. Recuperado de: <http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/cultivo/2014/cboletin-situacional-brocoli-2014-actualizado.pdf>
- Montes, A., Fuentes, N., Perera, Y., Perez, O., Castruita, G., Garcia, S., y Garcia, M. (2015). Caracterización de clinoptilolita natural y modificada con Ca²⁺ por distintos métodos físico-químicos para su posible aplicación en procesos de separación de gases. *Sociedad mexicana de ciencia y tecnología de superficies y materiales.* 28(1). México.
- Munera, G y Meza, D. (s/f.). El fósforo elemento indispensable para la vida vegetal. Universidad tecnológica de Pereira. Programa de tecnología química. Recuperado de: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/5248/el%20fosforo%20elemento.pdf?sequence=1>
- Navarro, S., & Navarro, G. (2003). Química agrícola: el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal (2a. ed.). Madrid, ES: Mundi-Prensa. Retrieved from <http://www.ebrary.com>
- Nicolalde, A y Quintana, D. (2010). Utilización de bacterias fijadoras de nitrógeno (*Azotobacter*) y solubilizadoras de fosforo en el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. var. Legacy) en Otavalo. (Tesis de Pregrado). Universidad Técnica del Norte. Ibarra-Ecuador.

- Olmo, M. (2016). Efectos del biochar sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal. (Tesis Doctoral). Universidad de Córdoba. Córdoba.
- Palacios, N. (2012). Uso de tres retenedores de nutrientes en el suelo. (Tesis de Pregrado). Universidad Técnica de Ambato. Cevallos- Ecuador
- Palencia, P., Martínez, F., Medina, J y Medina L. (2013). Strawberry yield efficiency and its correlation with temperature and solar radiation. *Horticultura Brasileira*. 31.(1). Recuperado de: <http://www.scielo.br/pdf/hb/v31n1/v31n1a15.pdf>
- Pandey, V., Patel, A., and Patra, D. (2016). Biochar ameliorates crop productivity, soil fertility, essential oil yield and aroma profiling in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Ecological Engineering*. 90. 361-366. Elsevier. doi: 10.1016/j.ecoleng.2016.01.020
- Parra, C. (2012). Evaluación de la aclimatación y rendimiento de 20 cultivares de brócoli (*Brassica oleracea* L. var. Itálica), a campo abierto en Guayllabamba, cantón Chambo, provincia de Chimborazo. (Tesis de Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador.
- Pérez, E y Carril, U. (2009). Fotosíntesis: Aspectos básicos. *Reduca (Biología). Serie Fisiología Vegetal*. 2. (3). 1-47. ISSN: 1989-3620. Madrid.
- Pillajo, V. (2010). Efecto de cuatro niveles de zeolita como fertilizante en dos variedades de rosas (código 008 y High Peach) en el cantón Pedro Moncayo. (Tesis de Pregrado). Universidad Técnica del Norte. Ecuador.
- Proaño, J., (2007), “Respuesta de Cuatro Variedades de Arveja (*Pisum sativum* L.) A la Fertilización Orgánica y Química en la Granja la Pradera”, Chaltura-Ecuador. Tesis de Grado previo la obtención del Título de Ingeniero Agropecuario. Universidad Técnica del Norte.
- Proyecto de Desarrollo Agrícola. (1993). EL cultivo de Brócoli. *Brassica oleracea* var. Botrytis, subvar. Itálica. Recuperado de: <http://www.icta.gob.gt/publicaciones/brocoli/CULTIVO%20DE%20BROCOLI.pdf>
- Puenayan, A., Córdova, F., y Unigarro, A. (2009). Respuesta del Brócoli *Brassica oleracea* var. *Italica* Híbrido Legacy a la fertilización con N, P, K en el municipio de Pasto, Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas*. Colombia.

- Quiroga A, y Bono, A. (Ed). (2012). Manual de fertilidad y evaluación de suelos. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*. Recuperado de: http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_pt_89_manual_de_fertilidad_1___1_.pdf
- Ravensthorpe, M. (2014). Studies show that broccoli can treat cancer, respiratory diseases and more. *Natural news*. Recuperado de: http://www.naturalnews.com/046222_broccoli_cancer_prevention_healthy_vegetables.html
- Reinoso, R. (2014). Efecto de la situación parcial de fertilizante químico por zeolita y micorriza en producción de brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*). Tesis de Pregrado. Universidad de las Fuerzas Armadas. Ecuador.
- Riedl, M., Saxon, A., & Diaz-Sanchez, D. (2008). Oral Sulforaphane increases Phase II antioxidant enzymes in the human upper airway. *Us. National Library of Medicine National Institutes of Health*. 130. (3). 244-251. Doi: 10.1016/j.clim.2008.10.007
- Rienzo, J., Casanoves, F., Gonzalez, L., Tablada, E., Díaz, M., Robledo, C & Balzarini, M. (2009). Estadística para las Ciencias Agropecuarias. Séptima Edición. ISBN: 978-987-591-112-3.
- Rincón, L., Sáez, J., Pérez, J., Gómez, M., Pellicer, C. (1999). Crecimiento y absorción de nutrientes del brócoli. *Invest. Agr.:Prod. Prot. Veg.* 14(1-2). Murcia
- Rodríguez, R., y Molina, M. (s/f). El carbón activado en procesos de descontaminación. Universidad de Alicante, España.
- Romheld, V., y El-Fouly, M. (1999). Foliar nutrient application: Challenges and limits in crop production. Proceedings of the 2nd International Workshop on Foliar Fertilization. Fertilizer Society of Thailand. Bangkok, Thailand.
- Rosero, A. (2015). Evaluación de aceptabilidad de cuatro variedades de brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*) en el centro experimental San Francisco cantón Huaca-Carchi-Ecuador. (Tesis de Pregrado). Universidad Politécnica Estatal del Carchi. Ecuador.

- Santoyo, A., y Martínez, C. (2011). Tecnología de producción de brócoli. Recuperado de: <http://www.fps.org.mx/divulgacion/attachments/article/995/tecnologia-produccion-brocoli.pdf>
- Scientific American. (s/f.) El aumento de las temperaturas máximas hace que se adelante la primavera. Springer Nature. Recuperado de: <https://www.scientificamerican.com/espanol/noticias/el-aumento-de-las-temperaturas-maximas-hace-que-se-adelante-la-primavera/>
- Swift, R. (2001). Sequestration of carbon by soil. *Soil Science*. 166. (11). DOI: 10.1097/00010694-200111000-00010
- Theodoracopoulos, M., y Lardizabal, R. (2008). Manual de producción de Brocoli. Proyecto de diversificación económica rural. Honduras
- Thompson, F y Troeh, R. (1980). Los suelos y su fertilidad 4ta edición. Editorial Reverte, S.A. ISBN: 84-291-1041-0. Barcelona.
- Trinidad, A., y Aguilar, D. (2000). Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. *Terra*. 17 (3). México.
- Valencia, C. (s/f). Química de suelos. Recuperado de: <http://agricolaunam.org.mx/edafologia/PAPIME%20APUNTES%20QUIMICA%20DE%20SUELOS/Quimica%2008.pdf>
- Wildner, L., and Veiga, M. (s/f). Relación entre erosión y pérdida de fertilidad del suelo. *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S06.htm#Relaci%C3%B3n%20entre%20erosi%C3%B3n%20y%20p%C3%A9rdida%20de%20fertilidad%20del%20suelo>
- Zamora, F. (2014). Evaluación del efecto a la aplicación de ácidos húmicos y fúlvicos en el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea var. Itálica*). (Tesis de Pregrado). Universidad Técnica de Ambato. Ambato-Ecuador.
- Zamora, J. (2013). Comportamiento agronómico de cinco hortalizas de hoja con tres abonos orgánicos en la hacienda Tecnilandia- Quevedo. (Tesis de Pregrado). Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Quevedo-Ecuador.

Zapata, R. (2004.). Capítulo 2: Origen de la Acidez en el suelo. Química de la Acidez del suelo. Biblioteca de la Universidad Nacional de Colombia. Medellín- Colombia.
Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1735/3/9583367125.3.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Análisis foliar realizado a cada tratamiento al final del ciclo del cultivo

ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA"
LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS
Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. T7-01-340
Quito-Ecuador Tel.: 690-6919293 Fax: 690-693



LABORATORIO
SOLUCIONES PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA AGRICULTURA

REPORTE DE ANALISIS FOLIARES

DATOS DEL PROPIETARIO

Nombre :
Dirección :
Ciudad :
Teléfono :
Fax :

DATOS DE LA PROPIEDAD

Nombre : S/N
Provincia :
Cantón :
Parroquia :
Ubicación :

PARA USO DEL LABORATORIO

Cultivo : BROCCOLI **
Fecha de Muestreo : 15/11/2016
Fecha de Ingreso : 17/11/2016
Fecha de Salida : 06/12/2016

N° Muestral Laboral	Identificación del Lote										Concentraciones (ppm)							
	N	P	K	Ca	Mg	S	M.O.	B	Zn	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni				
29055	3,99 S	0,66 S	2,35 S	1,88 S	0,37 S	0,87 A		40,3 S	10,3 B	3,9 B	93,0 S	70,8 S						
29056	3,43 S	0,87 S	2,73 S	1,80 S	0,31 S	0,63 S		42,6 S	9,3 B	3,3 B	75,6 S	47,9 S						
29057	3,50 S	0,48 S	2,68 S	1,98 S	0,31 S	0,69 S		39,0 S	7,2 B	3,0 B	85,3 S	52,5 S						
29058	3,78 S	0,52 S	2,62 S	1,94 S	0,34 S	0,85 A		43,2 S	9,2 B	3,7 B	82,2 S	51,2 S						
29059	3,29 S	0,47 S	2,66 S	1,99 S	0,31 S	0,73 S		40,0 S	10,2 B	3,5 B	53,7 B	36,0 S						

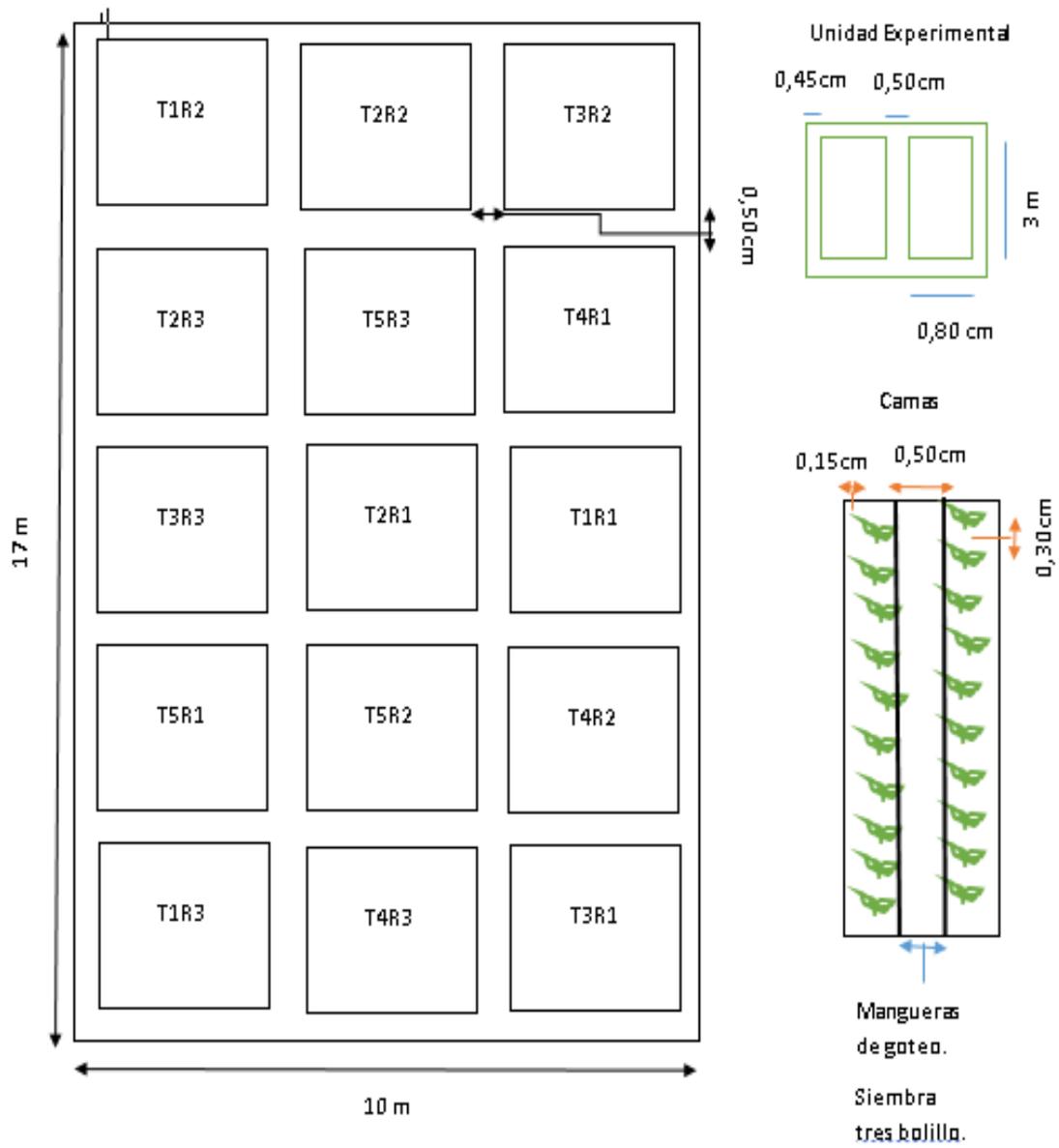
INTERPRETACION

B = Bajo
S = Suficiente
A = Alto

[Signature]
RESPONSABLE LABORATORIO

[Signature]
LABORATORISTA

Anexo 2. Croquis del área experimental



Anexo 3. Calendario de aplicación de fertilización foliar aplicada a todos los tratamientos

Ingrediente activo	Dosis	Frecuencia de aplicación
Hiero (EDTA, DPTA)	1 ml/litro	24 y 45 días después del trasplante
Zinc (EDTA)		
Manganeso (EDTA)		
Boro		
Molibdeno		
Magnesio (EDTA)		
Cobre (EDTA)		
Cobalto		
Vitamina B1		
Nitrógeno	1 ml/litro	45 días después del trasplante
Potasio soluble		
Cobre		
Manganeso		
Hierro		
Magnesio		
Zinc		
Boro		

Anexo 4. Calendario de aplicación de controles fitosanitarios de todos los tratamientos

Aplicación	Ingrediente Activo	Dosis
9	Alfacipermetrina	1 ml/litro
15	Carbendazim	1 g/litro
	Alkyl aryl poly ether	1 ml/litro
26	Clorpirifos + cipermetrina	0,75 ml/litro
	Alkyl aryl poly ether	1 ml/litro
40	Sulfato de cobre	5 g/litro
	Alkyl aryl poly ether	1 ml/litro
51	Imidacropil	0,5 ml/litro
	Alkyl aryl poly ether	1 ml/litro

La aplicación esta especificada a los días después del trasplante.

Anexo 5. Índice de madurez del cultivo de brócoli

		
Inmadura Granos pequeños Cabeza muy firme	Madura Granos bien desarrollados Cabeza firme	Sobre madura Granos abiertos Cabeza no firme

Fuente: Cantwell, M. and T. Suslow. (2002).

Anexo 6. Prueba de Fisher (5%) para la variable altura a los 31 días después del trasplante

TRATAMIENTOS	Media (cm)	E.E.	
4	4,3	0,11	A
3	4,2	0,11	A
2	4,13	0,11	A B
1	3,87	0,11	B C
5	3,86	0,11	C

Nota: Medidas con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0,05$)

Anexo 7. Prueba de Fisher (5%) para la variable altura a los 61 días después del trasplante

Tratamientos	Media (cm)	E.E.	
3	13,05	0,22	A
4	12,98	0,22	A
5	12,34	0,22	B
2	12,21	0,22	B
1	12,07	0,22	B

Nota: Medidas con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0,05$)

Anexo 8. Prueba de Fisher (5 %) aplicada a la variable número de pellas categorizadas

Tratamiento	Categorías	Media (cm)	E.E.	
1	1	13,33	0,64	A
4	1	12	1,29	A B
3	1	12	2,24	A B C
5	1	11	0,54	B C
2	1	9,67	1,49	B C
2	2	8	1,49	B C D
5	2	7,67	0,54	C D
3	2	5,67	2,24	C D E
4	2	5	1,29	D E
1	2	4,67	0,64	E
4	3	3	1,29	E
2	3	2,5	1,82	E
3	3	2	2,24	E
1	3	2	0,64	E
5	3	1,33	0,54	E

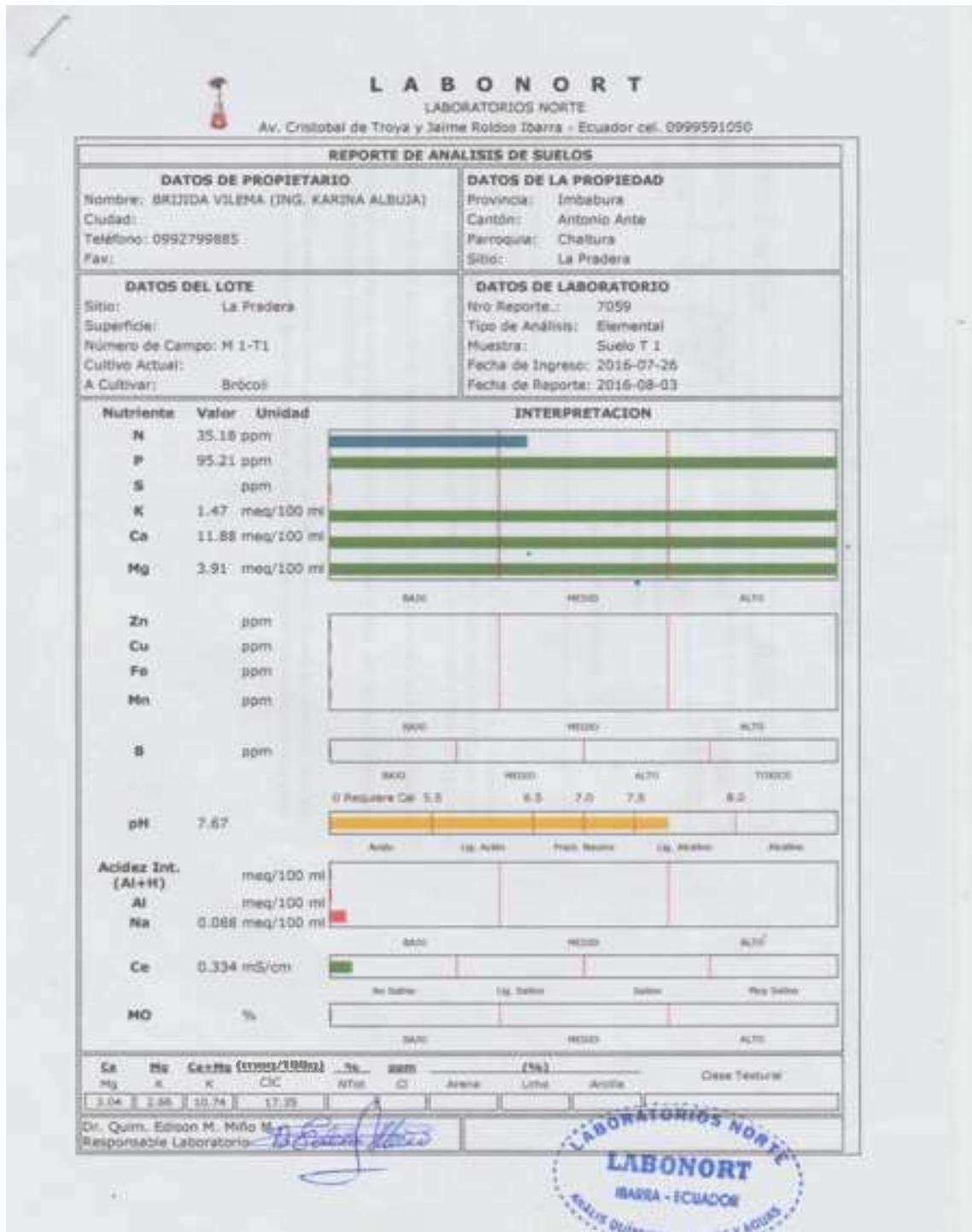
Nota: Medidas con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0,05$)

Anexo 9. Rendimiento expresado en peso en kilogramos y toneladas por hectárea de acuerdo a cada categoría y tratamiento

Tratamiento	Categorías	peso g	peso kg	peso kg/ha	t/ ha
1	1	2375,67	2,38	2639,63	2,64
1	2	1715	1,72	1905,56	1,91
1	3	1473	1,47	1636,67	1,64
				6,19	
2	1	1615,67	1,62	1795,19	1,8
2	2	2827	2,83	3141,11	3,14
2	3	1640,5	1,64	1822,78	1,82
				6,76	
3	1	1828	1,83	2031,11	2,03
3	2	1861	1,86	2067,78	2,07
3	3	1419,33	1,42	1577,04	1,58
				5,68	
4	1	2057,33	2,06	2285,93	2,29
4	2	1782	1,78	1980	1,98
4	3	1997,33	2	2219,26	2,22
				6,49	
5	1	1706	1,71	1895,56	1,9
5	2	2653	2,65	2947,78	2,95
5	3	770,33	0,77	855,93	0,86
				5,71	

Anexo 10. Resultado del laboratorio de las muestras de suelo recolectadas al inicio del cultivo

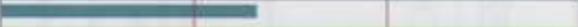
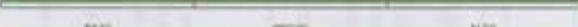
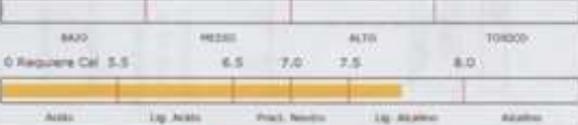
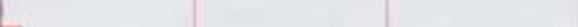
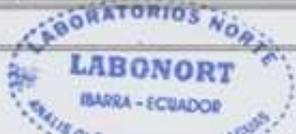
Análisis de suelo inicial del T1 (Testigo)



Análisis de suelo inicial del T2 (Zeolita 20 %)



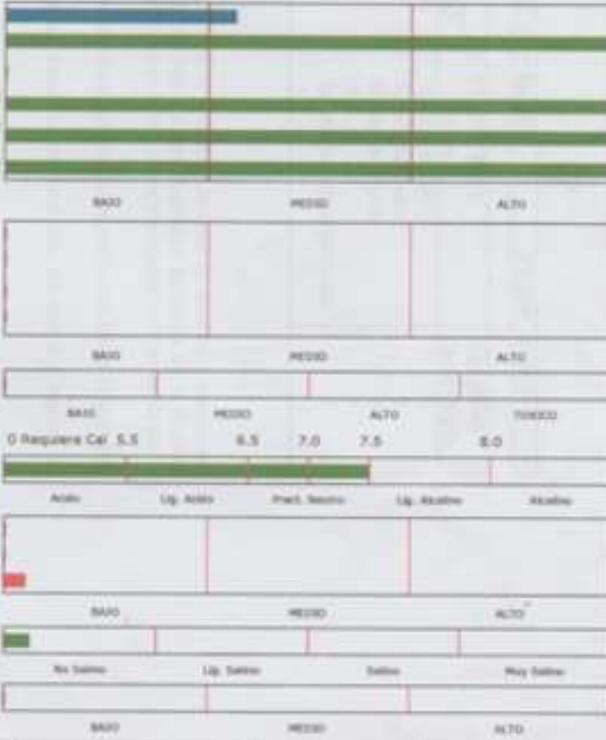
LABONORT
LABORATORIOS NORTE
Av. Cristóbal de Troya y Jaime Roldos Ibarra - Ecuador tel. 0999591050

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS																					
DATOS DE PROPIETARIO		DATOS DE LA PROPIEDAD																			
Nombre: BRIGIDA VILEMA (ING. KARINA ALBUJA)		Provincia: Imbabura																			
Ciudad:		Cantón: Antonio Ante																			
Teléfono: 0992799885		Parroquia: Chaltuna																			
Fax:		Sitio: La Pradera																			
DATOS DEL LOTE		DATOS DE LABORATORIO																			
Sitio: La Pradera		Nro Reporte.: 7060																			
Superficie:		Tipo de Análisis: Elemental																			
Número de Campo: M1 - T2		Muestra: Suelo T2																			
Cultivo Actual:		Fecha de Ingreso: 2016-07-26																			
A Cultivar: Brócoli		Fecha de Reporte: 2016-08-03																			
Nutriente	Valor	Unidad	INTERPRETACION																		
N	39.78	ppm																			
P	61.37	ppm																			
S		ppm																			
K	1.15	meq/100 ml																			
Ca	10.27	meq/100 ml																			
Mg	3.85	meq/100 ml																			
Zn		ppm																			
Cu		ppm																			
Fe		ppm																			
Mn		ppm																			
B		ppm																			
pH	7.73																				
Acidez Int. (Al+H)		meq/100 ml																			
Al		meq/100 ml																			
Na	0.100	meq/100 ml																			
Ce	0.270	mS/cm																			
MO		%																			
Ca	Mg	Ces/Mg (meq/100ml)	Clas. Textural																		
mg	g	g																			
2.87	3.35	12.28	15.37																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">%</th> <th colspan="3">[%)</th> <th></th> </tr> <tr> <th>NTot</th> <th>O</th> <th>Arena</th> <th>Limo</th> <th>Arcilla</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				%		[%)				NTot	O	Arena	Limo	Arcilla							
%		[%)																			
NTot	O	Arena	Limo	Arcilla																	
Dr. Quím. Edison M. Miño M. Responsable Laboratorio		 																			

Análisis de suelo inicial del T3 (Zeolita 40 %)



LABONORT
LABORATORIOS NORTE
Av. Cristóbal de Troya y Jaime Roldos Ibarra - Ecuador cel. 0995591050

DATOS DE PROPIETARIO		DATOS DE LA PROPIEDAD					
Nombre:	BRIJIDA VELENA (ING. KARINA ALBUJA)	Provincia:	Imbabura				
Ciudad:		Cantón:	Antonio Ante				
Teléfono:	0992799885	Parroquia:	Chaltura				
Fax:		Sitio:	La Pradera				
DATOS DEL LOTE		DATOS DE LABORATORIO					
Sitio:	La Pradera	Nro. Reporte.:	7061				
Superficie:		Tipo de Análisis:	Elemental				
Número de Campo:	M I - T3	Muestra:	Suelo T 3				
Cultivo Actual:		Fecha de Ingreso:	2016-07-26				
A Cultivar:	Brócoli	Fecha de Reporte:	2016-08-03				
Nutriente		Valor		Unidad		INTERPRETACION	
N	34.04	ppm					
P	72.60	ppm					
S		ppm					
K	1.36	meq/100 ml					
Ca	11.16	meq/100 ml					
Mg	4.03	meq/100 ml					
Zn		ppm					
Cu		ppm					
Fe		ppm					
Mn		ppm					
B		ppm					
pH	7.50						
Acidez Int. (Al+H)		meq/100 ml					
Al		meq/100 ml					
Na	0.103	meq/100 ml					
Ce	0.326	mS/cm					
MO		%					
Ca		Mg	Ca+Mg	mmol/100ml	%	mmol	[TN]
Hg		K	K	CIC	Wt%	D	Aréola
2.77		2.96	11.17	16.85			Clase Textural

Dr. Quím. Edison M. Miño
Responsable Laboratorio 



LABONORT
IMBARRA - ECUADOR
ANÁLISIS QUÍMICOS DE SUELOS Y AGUAS

Análisis de suelo inicial del T4 (Carbón activado 20 %)



LABONORT
LABORATORIOS NORTE
Av. Cristóbal de Troya y Jaime Roldos Ibarra - Ecuador tel. 0995991050

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS																														
DATOS DE PROPIETARIO		DATOS DE LA PROPIEDAD																												
Nombre: BRILIDA VILEMA (ING. KARINA ALBUJA)		Provincia: Imbabura																												
Ciudad:		Cantón: Antonio Ante																												
Teléfono: 0992799885		Parroquia: Chaltara																												
Fax:		Sibó: La Pradera																												
DATOS DEL LOTE		DATOS DE LABORATORIO																												
Sibó: La Pradera		Nro Reporte.: 7062																												
Superficie:		Tipo de Análisis: Elemental																												
Número de Campo: M 1 - T 4		Muestra: Suelo T 4																												
Cultivo Actual:		Fecha de Ingreso: 2016-07-26																												
A Cultivar: Brócoli		Fecha de Reporte: 2016-08-03																												
Nutriente	Valor	Unidad	INTERPRETACION																											
N	37.48	ppm	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #008000;"></div>																											
P	97.97	ppm	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #008000;"></div>																											
S		ppm	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #008000;"></div>																											
K	1.27	meq/100 ml	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #008000;"></div>																											
Ca	11.30	meq/100 ml	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #008000;"></div>																											
Mg	3.95	meq/100 ml	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #008000;"></div>																											
Zn		ppm	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #008000;"></div>																											
Cu		ppm	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #008000;"></div>																											
Fe		ppm	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #008000;"></div>																											
Mn		ppm	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #008000;"></div>																											
B		ppm	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #008000;"></div>																											
pH	7.58		<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #FFD700;"></div>																											
Acidez Int. (Al+H)		meq/100 ml	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #008000;"></div>																											
Al		meq/100 ml	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #008000;"></div>																											
Na	0.110	meq/100 ml	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #FF0000;"></div>																											
Ce	0.279	mS/cm	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #008000;"></div>																											
MO		%	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #008000;"></div>																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td>Ca</td> <td>Mg</td> <td>Ca+Mg (mmol/100g)</td> <td>%</td> <td>part</td> <td colspan="3">[50]</td> <td>Clase Textural</td> </tr> <tr> <td>Mg</td> <td>K</td> <td>K</td> <td>CIC</td> <td>NTid</td> <td>Cl</td> <td>arena</td> <td>limo</td> <td>arcilla</td> </tr> <tr> <td>2.80</td> <td>3.11</td> <td>12.02</td> <td>36.97</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				Ca	Mg	Ca+Mg (mmol/100g)	%	part	[50]			Clase Textural	Mg	K	K	CIC	NTid	Cl	arena	limo	arcilla	2.80	3.11	12.02	36.97					
Ca	Mg	Ca+Mg (mmol/100g)	%	part	[50]			Clase Textural																						
Mg	K	K	CIC	NTid	Cl	arena	limo	arcilla																						
2.80	3.11	12.02	36.97																											
Dr. Quím. Edison M. Miño M. Responsable Laboratorio 																														
																														

Anexo 11. Análisis de suelo final de las muestras de todos los tratamientos recolectadas al final del ciclo del cultivo

Análisis de suelo final del T1 (Testigo)



LABONORT

LABORATORIOS NORTE
Av. Cristóbal de Troya y Jaime Roldós Ibarra - Ecuador tel. 0999501050

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DE PROPIETARIO		DATOS DE LA PROPIEDAD	
Nombre: BRIGIDA VILENA (ING. KARINA ALBUJA)		Provincia: Imbabura	
Ciudad:		Cantón: Antonio Ante	
Teléfono: 0992799985		Parroquia: Chakura	
Fax:		Sitio: La Pradera	
DATOS DEL LOTE		DATOS DE LABORATORIO	
Sitio: La Pradera		Nro Reporte: 7301	
Superficie:		Tipo de Análisis: Elemental	
Número de Campo: HE-T1		Muestra: Suelo MF-T1	
Cultivo Actual:		Fecha de Ingreso: 2016-11-17	
A Cultivar: Brócoli		Fecha de Reporte: 2016-11-23	

Nutriente	Valor	Unidad	INTERPRETACIÓN			
N	41.97	ppm	[Barra verde]			
P	66.65	ppm	[Barra verde]			
S		ppm	[Barra verde]			
K	1.44	meq/100 ml	[Barra verde]			
Ca	13.64	meq/100 ml	[Barra verde]			
Mg	4.05	meq/100 ml	[Barra verde]			
Zn		ppm	[Barra blanca]			
Cu		ppm	[Barra blanca]			
Fe		ppm	[Barra blanca]			
Mn		ppm	[Barra blanca]			
B		ppm	[Barra blanca]			
pH	7.74		[Barra amarilla]			
Acidez Int. (Al+H)		meq/100 ml	[Barra blanca]			
Al		meq/100 ml	[Barra blanca]			
Na	0.227	meq/100 ml	[Barra verde]			
Ce	0.309	mS/cm	[Barra verde]			
NO		%	[Barra blanca]			

Ca	Mg	K	C	N	P	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B	pH	Clas. Textual
3.37	2.81	13.28	18.38										

Dr. Quím. Edson M. Niño M.
Responsable Laboratorio: *[Firma]*



Análisis de suelo final del T2 (Zeolita 20 %)



LABONORT

LABORATORIOS NORTE
Av. Cristobal de Troya y Jaime Roldos Ibarra - Ecuador tel. 099591050

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DE PROPIETARIO		DATOS DE LA PROPIEDAD	
Nombre: BREIDA VEJEMA (ING. KARINA ALBUJA)		Provincia: Imbabura	
Ciudad:		Cantón: Antonio Ante	
Teléfono: 0992799885		Parroquia: Chaltura	
Fax:		Sitio: La Pradera	
DATOS DEL LOTE		DATOS DE LABORATORIO	
Sitio: La Pradera		Nº Reporte: 7302	
Superficie:		Tipo de Análisis: Elemental	
Número de Campos: MF-T2		Muestra: Suelo MF-T2	
Cultivo Actual:		Fecha de Ingreso: 2016-11-17	
A Cultivar: Brócoli		Fecha de Reporte: 2016-11-23	

Nutriente	Valor	Unidad	INTERPRETACION		
N	25.0	ppm	Baja	Medio	Alto
P	59.49	ppm	Baja	Medio	Alto
S		ppm	Baja	Medio	Alto
K	1.09	meq/100 ml	Baja	Medio	Alto
Ca	12.88	meq/100 ml	Baja	Medio	Alto
Mg	4.00	meq/100 ml	Baja	Medio	Alto
Zn		ppm	Baja	Medio	Alto
Cu		ppm	Baja	Medio	Alto
Fe		ppm	Baja	Medio	Alto
Mn		ppm	Baja	Medio	Alto
B		ppm	Baja	Medio	Alto
pH	7.82		Baja	Medio	Alto
Acidez Int. (Al+H)		meq/100 ml	Baja	Medio	Alto
Al		meq/100 ml	Baja	Medio	Alto
Na	0.161	meq/100 ml	Baja	Medio	Alto
Ca	0.234	mS/cm	Baja	Medio	Alto
MO		%	Baja	Medio	Alto

Ca	Mg	Ca+Mg	(meq/100ml)	%	Clasificación	Clasificación	Clasificación	Clasificación	
Mg	K	K	CIC	4/101	Cl	Área	Limo	Arcilla	Clas. Textural
3.22	3.87	15.49	15.13						

Dr. Quím. Edison M. Miño M.
Responsable Laboratorio



Análisis de suelo final del T3 (Zeolita 40 %)



LABONORT

LABORATORIOS NORTE
Av. Cristóbal de Troya y Jaime Rosales Ibarra - Ecuador tel. 0999591050

DATOS DE PROPIETARIO		DATOS DE LA PROPIEDAD	
Nombre: BRISDA VILEMA (ING. KARINA ALBUJA)		Provincia: Imbabura	
Ciudad:		Cantón: Antonio Ante	
Teléfono: 0992796885		Parroquia: Chafura	
Fax:		Sitio: La Pradera	
DATOS DEL LOTE		DATOS DE LABORATORIO	
Sitio: La Pradera		Nro Reporte: 7303	
Superficie:		Tipo de Análisis: Elemental	
Número de Campo: MF-T3		Muestra: Suelo MF-T3	
Cultivo Actual:		Fecha de Ingreso: 2016-11-17	
A Cultivar: Brócoli		Fecha de Reporte: 2016-11-23	

Nutriente	Valor	Unidad	INTERPRETACION
N	32.71	ppm	
P	93.44	ppm	
S		ppm	
K	1.19	meq/100 ml	
Ca	13.92	meq/100 ml	
Mg	4.19	meq/100 ml	
Zn		ppm	
Cu		ppm	
Fe		ppm	
Mn		ppm	
B		ppm	
pH	7.77		
Acidez Int. (Al+H)		meq/100 ml	
Al		meq/100 ml	
Na	0.160	meq/100 ml	
Ce	0.251	mS/cm	
MO		%	

Ca	Mg	Ca+Mg (equiv/100g)	%	ANON	Cl	Amo	Libre	Acida	Clase Natural
3.32	3.52	15.22	13.46						

Dr. Quím. Edison M. Niño M.
Responsable Laboratorio



Análisis de suelo final del T4 (Carbón activado 20 %)

LABONORT
LABORATORIOS NORTE
Av. Cristobal de Troya y Jaime Roldos Ibarra - Ecuador tel. 0999591050

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DE PROPIETARIO		DATOS DE LA PROPIEDAD	
Nombre: BRIGIDA VILEMA (DNG: KARINA ALBUJA)		Provincia: Imbabura	
Ciudad:		Cantón: Antonio Ante	
Teléfono: 0992799885		Parroquia: Chaltum	
Fax:		Sitio: La Pradera	
DATOS DEL LOTE		DATOS DE LABORATORIO	
Sitio: La Pradera		Nro Reporte: 7304	
Superficie:		Tipo de Análisis: Elemental	
Número de Campo: NP-T4		Muestra: Suelo NP-T4	
Cultivo Actual:		Fecha de Ingreso: 2016-11-17	
A Cultivar: Brócoli		Fecha de Reporte: 2016-11-23	

Nutriente	Valor	Unidad	INTERPRETACION
N	29.63	ppm	
P	101.60	ppm	
S		ppm	
K	1.22	meq/100 ml	
Ca	14.71	meq/100 ml	
Mg	4.25	meq/100 ml	
Zn		ppm	
Cu		ppm	
Fe		ppm	
Mn		ppm	
B		ppm	
pH	7.60		
Acidez Int. (Al+H)		meq/100 ml	
Al		meq/100 ml	
Na	0.170	meq/100 ml	
Ce	0.240	mS/cm	
MO		%	

Ca	Mg	Ca+Mg	(meq/100g)	%	ppm	(%)	Clasificación		
Mg	K	K	CIC	Ntot	Cl	Arene	Limo	Arene	Clasificación
3.40	3.40	15.54	20.35						

Dr. Quím. Edison M. Miño M.
Responsable Laboratorio

LABONORT
IMBURA - ECUADOR
ANÁLISIS QUÍMICOS, SUELOS Y AGUAS

Análisis de suelo final del T5 (Carbón activado 40 %)

LABONORT
LABORATORIOS NORTE
Av. Cristóbal de Troya y Jaime Roldós Ibarra - Ecuador tel. 0995591050

REPORTE DE ANÁLISIS DE SUELOS

DATOS DE PROPIETARIO		DATOS DE LA PROPIEDAD	
Nombre: BRIGIDA VILEMA (JNIS. KARINA ALBUJA)		Provincia: Imbabura	
Ciudad:		Cantón: Antonio Ante	
Teléfono: 0992799885		Parroquia: Chaltuna	
Fax:		Sitio: La Pradera	
DATOS DEL LOTE		DATOS DE LABORATORIO	
Sitio: La Pradera		Nro. Reporte: 7305	
Superficie:		Tipo de Análisis: Elemental	
Número de Campo: MF-T5		Muestra: Suelo MF-T5	
Cultivo Actual:		Fecha de Ingreso: 2016-11-17	
A Cultivar: Bricóe		Fecha de Reporte: 2016-11-23	

Nutriente	Valor	Unidad	INTERPRETACION				
N	41.97	ppm	[Barra azul]				
P	67.98	ppm	[Barra verde]				
S		ppm	[Barra verde]				
K	1.03	meq/100 ml	[Barra verde]				
Ca	13.73	meq/100 ml	[Barra verde]				
Mg	4.10	meq/100 ml	[Barra verde]				
Zn		ppm	[Barra blanca]				
Cu		ppm	[Barra blanca]				
Fe		ppm	[Barra blanca]				
Mn		ppm	[Barra blanca]				
B		ppm	[Barra blanca]				
pH	7.73		[Barra amarilla]				
Acidez Int. (Al+H)		meq/100 ml	[Barra blanca]				
Al		meq/100 ml	[Barra blanca]				
Na	0.183	meq/100 ml	[Barra verde]				
Ce	0.243	mS/cm	[Barra verde]				
NO		%	[Barra blanca]				

Ca	Mg	Ca+Mg	CIC	%	ANON	C (%)			Clase Textura
Mg	K	K		total	Cl	Árrea	LEPIS	Árido	
3.35	3.98	17.31	19.04						

Dr. Quím. Edison M. Piño M.
Responsable Laboratorio

LABONORT
IBARRA - ECUADOR
ANÁLISIS QUÍMICOS, SUELOS Y AGUAS

Anexo 12. Datos tabulados de peso promedio por categoría

Categorías	Tratamiento	Media	E.E.	CV
1	1	178,26	6,84	6,64
1	2	172,35	14,42	14,49
1	3	151,83	1,45	1,66
1	4	170,92	2,14	2,17
1	5	154,21	9,37	10,52
2	1	358,69	23,66	11,42
2	2	349,19	15,72	7,8
2	3	321	24,46	13,2
2	4	362,94	17,33	8,27
2	5	343,8	21,55	10,86
3	1	708,44	82,99	20,29
3	2	684,63	47,38	9,79
3	3	677,94	81,93	20,93
3	4	649,57	47,54	12,68
3	5	585,17	21,1	6,25

Anexo 13. Resultado del análisis del agua de riego utilizada en el experimento

LABONORT		
LABORATORIOS NORTE		
Av. Cristóbal de Troya 493 y Jaime Roldos	Ibarra-Ecuador.	Telf. cel. 0999591050

REPORTE DE ANÁLISIS DE AGUAS

DATOS DEL PROPIETARIO
NOMBRE : BRÍJIDA VILEMA
CIUDAD :
TELÉFONO : 0992799885
FAX :

DATOS DE LA PROPIEDAD
PROVINCIA : Imbabura
CANTÓN : Antonio Ante
PARROQUIA : Chaitura
SITIO : Granja la Pradera

DATOS DEL AGUA
SITIO : Agua
MUESTRA : Agua
ASPECTO: Transparente

DATOS DE LABORATORIO
No REPORTE : R 7400
No MUES.LAB.: L 7400
FECHA DE MUESTREO:
FECHA DE INGRESO : 03 01 2017
FECHA DE REPORTE : 05 01 2017

RESULTADOS

PARAMETRO	CONTENIDO	RANGO USUAL**
TDS (Sólidos totales disueltos)	155,0 ppm	0 - 2000 ppm
Carbonatos (CO3)=	< 0,0 ppm	0 - 3,1 ppm
Bicarbonatos (HCO3)-	190,6 ppm	0 - 180 ppm
Calcio Ca++	24,9 ppm	0 - 200 ppm
Magnesio Mg ++	13,1 ppm	0 - 61 ppm
Sulfatos (SO4)=	6,8 ppm	0 - 960 ppm
Boro B	<0,03 ppm	0 -2,5 ppm
pH	8,03	6 - 8,5
Dureza total CaCO3	115,96 ppm	Moderadamente Dura
Conductividad eléctrica	0,309dS/m	0 - 3 dS/m
Potasio K	4,5 ppm	0 - 7,8 ppm
Cloruros Cl	47,99 ppm	0 -180 ppm
Sodio Na	22,7 ppm	0 - 69 ppm
RAS*	0,91	0 - 6 (meq/L)1/2

* Relación adsorción de sodio

** Rangos usuales para aguas de riego

negrillas = alto, exceso

Anexo 14. Diámetro de pella por categoría

Categorías	Tratamiento	Media
1	1	8,86
1	2	8,82
1	3	8,58
1	4	9,11
1	5	8,52
2	1	12,33
2	2	11,99
2	3	12,44
2	4	12,69
2	5	12,37
3	1	16,37
3	2	15,34
3	3	16,45
3	4	14,91
3	5	15,08

Anexo 15. Numero de pellas recolectadas por parcela divididas en categorías

Tratamiento	Categorías	Repetición	Número de pellas	Peso promedio
1	1	1	13	191,38
1	1	2	13	168,38
1	1	3	14	175
1	2	1	6	388,67
1	2	2	5	375,4
1	2	3	3	312
1	3	1	1	557
1	3	2	2	843
1	3	3	3	725,33
2	1	1	11	153,45
2	1	2	6	200,67
2	1	3	12	162,92
2	2	1	8	361,38
2	2	2	10	368,2
2	2	3	6	318
2	3	1	1	732
2	3	2	4	637,25
3	1	1	16	151,5
3	1	2	6	149,5
3	1	3	14	154,5
3	2	1	2	335
3	2	2	10	354,6

3	2	3	5	273,4
3	3	1	2	799,5
3	3	2	3	712,33
3	3	3	1	522
4	1	1	12	168,67
4	1	2	9	168,89
4	1	3	15	175,2
4	2	1	6	336,67
4	2	2	6	356,5
4	2	3	3	395,67
4	3	1	2	696
4	3	2	5	698,2
4	3	3	2	554,5
5	1	1	11	162,73
5	1	2	12	164,42
5	1	3	10	135,5
5	2	1	7	360,86
5	2	2	7	301
5	2	3	9	369,56
5	3	1	2	555,5
5	3	2	1	574
5	3	3	1	626

Anexo 16. Rendimiento por categoría y tratamiento expresado en dólares

TRATAMIENTO	CATEGORÍA	NÚMERO DE PELLAS	DÓLARES
1	1	44.444,44	7.407,41
	2	15.555,56	3.111,11
	3	6.666,67	1.666,67
2	1	32.222,22	5.370,37
	2	26.666,67	5.333,33
	3	5.555,56	1.388,89
3	1	40.000,00	6.666,67
	2	18.888,89	3.777,78
	3	6.666,67	1.666,67
4	1	40.000,00	6.666,67
	2	16.666,67	3.333,33
	3	10.000,00	2.500,00
5	1	36.666,67	6.111,11
	2	25.555,56	5.111,11
	3	4.444,44	1.111,11

Para la categoría uno (pequeña) se dividió el número de pellas para seis; para la categoría dos (medianas) se dividió el número de pellas para cuatro y para la categoría tres (grandes) se dividió para tres, con la finalidad de obtener el expendio en dólares.

Anexo 17. Fotografías



Fotografía 1. Dosificación al momento del trasplante



Fotografía 2. Instalación del sistema de riego



Fotografía 3. Evolución del cultivo



Fotografía 4. Medición de la variable altura a los 31 días después del trasplante



Fotografía 5. Labores culturales



Fotografía 6. Aplicaciones fitosanitarias



Fotografía 7. Medición de altura de la panta a los 61 días después del trasplante



Fotografía 8. Evaluación y visita de asesores



Fotografía 9. Evaluación y visita de director.



Fotografía 10. Peso de la pella al momento de la cosecha



Fotografía 11. Medición y corte de los 5 cm de tallo para homogeneización de datos



Fotografía 12. Toma de datos del diámetro de pella



Fotografía 13. Cosecha



Fotografía 14. Muestra de suelo para ser enviada al inicio del cultivo



Fotografía 14. Ataque de plagas al cultivo



Fotografía 15. Plántulas de brócoli var. Avenger listas para ser trasplantadas.



Fotografía 16. Elaboración de trampas para palomilla blanca



Fotografía 17. Muestras de suelo para enviar al laboratorio al final del cultivo



Fotografía 18. Vistas panorámicas del experimento