

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**“RENDIMIENTO EN BRÓCOLI (*Brassica oleracea* var. *italica*)
cv. Avenger EMPLEANDO ENMIENDAS ORGÁNICAS”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERA AGRÓNOMA**

DIANA DEL PILAR ALFARO QUINTO



















LIMA – PERÚ

2023

Document Information

Analyzed document	ALFARO QUINTO REV.pdf (D161032374)
Submitted	3/14/2023 4:48:00 PM
Submitted by	Isabel
Submitter email	imontes@lamolina.edu.pe
Similarity	10%
Analysis address	isabel.unalm@analysis.urkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/13381/2016000001398.pdf?sequence=1 Fetched: 7/31/2020 6:13:25 PM	  3
W	URL: https://www.researchgate.net/publication/334808290_Biocarbon_biochar_I_Naturaleza_historia_fab. Fetched: 2/25/2021 6:52:05 PM	  11
SA	submission.docx Document submission.docx (D78042295)	  2
SA	Trabajo de Titulación Sr. TENESACA DANIEL (6876).docx Document Trabajo de Titulación Sr. TENESACA DANIEL (6876).docx (D138276485)	  3
SA	URKUM NESTOR LLOMITOA.docx Document URKUM NESTOR LLOMITOA.docx (D143786479)	  1
SA	TESIS-FROYLAN-BROCOLI-URKUND2.docx Document TESIS-FROYLAN-BROCOLI-URKUND2.docx (D11540277)	  3
SA	proyecto.docx Document proyecto.docx (D11335503)	  1
SA	EGUEZ_ENMIENDAS ORGÁNICAS.docx Document EGUEZ_ENMIENDAS ORGÁNICAS.docx (D111270991)	  3
SA	ADAPTACIÓN DE TRES HÍBRIDOS DE BRÓCOLI_MORA_WENDY_CHONGO_CLIDER.docx Document ADAPTACIÓN DE TRES HÍBRIDOS DE BRÓCOLI_MORA_WENDY_CHONGO_CLIDER.docx (D152510877)	  1
W	URL: https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/17918 Fetched: 11/14/2019 8:36:40 PM	  1

Entire Document

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**“RENDIMIENTO EN BRÓCOLI (*Brassica oleracea* var.
italica) cv. Avenger EMPLEANDO ENMIENDAS
ORGÁNICAS”**

DIANA DEL PILAR ALFARO QUINTO

Tesis para optar el título de:

INGENIERA AGRÓNOMA

Sustentada y Aprobada ante el siguiente jurado:

.....
Ing. Mg. Sc. Braulio La Torre Martínez
PRESIDENTE

.....
Ing. Mg. Sc. Andrés Casas Díaz
ASESOR

.....
Ing. Mg. Sc. Karín Coronado Matutti
MIEMBRO

.....
Ing. Saray Siura Céspedes
MIEMBRO

LIMA – PERÚ

2023

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todos los que hicieron posible cumplir mi meta de graduarme y titularme como ingeniera agrónoma, en especial:

A Jehová por darme la vida y cuidar de mi todo el tiempo.

A mis padres Juan José y Jenny por darme siempre su apoyo y amor incondicional, por estar a mi lado en cada paso de la vida.

A mi amigo Gian por su apoyo durante mi etapa universitaria y en el desarrollo de la tesis.

A mi alma mater la Universidad nacional agraria la Molina y profesores que enseñaron y prepararon en el ámbito académico y profesional.

A los miembros del jurado por sus indicaciones y consejos para la culminación del trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1.	Descripción botánica de brócoli (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i>).....	3
2.1.1.	Fenología.....	3
2.2.	Factores agroclimáticos.....	4
2.2.1.	Agua.....	4
2.2.2.	Suelo.....	4
2.2.3.	Temperatura.....	4
2.3.	Cultivar.....	5
2.3.1.	Avenger.....	5
2.4.	Plagas y enfermedades más importantes.....	5
2.5.	Siembra.....	6
2.5.1.	Época de siembra.....	6
2.5.2.	Sistema de siembra.....	6
2.6.	Labores culturales.....	7
2.6.1.	Preparación de terreno.....	7
2.6.2.	Distanciamiento de siembra.....	7
2.6.3.	Trasplante.....	7
2.6.4.	Cambio de surco.....	8
2.6.5.	Riego.....	8
2.6.6.	Control de malezas.....	8
2.7.	Cosecha.....	9
2.8.	Materia orgánica en el suelo.....	9
2.8.1.	Descomposición de la materia orgánica.....	10
2.8.2.	Factores que influyen en la descomposición de materia orgánica.....	11
2.8.3.	Importancia de la materia orgánica en el suelo.....	13
2.9.	Compost.....	14
2.9.1.	Proceso de compostaje.....	14
2.9.2.	Indicadores de la madurez del compost.....	14
2.9.3.	Momentos de aplicación del compost.....	16
2.9.4.	Efectos de la aplicación del compost sobre el suelo.....	16

2.9.5.	Estudios previos de la aplicación del compost.....	18
2.10.	Biochar.....	19
2.10.1.	Propiedades fisicoquímicas del biochar	20
2.10.2.	Efectos del biochar en el suelo	21
2.10.3.	Importancia ante el cambio climático.....	21
2.10.4.	Métodos de aplicación	22
2.10.5.	Investigaciones realizadas con biochar	22
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
3.1.	Ubicación.....	23
3.1.1.	Características del suelo	23
3.1.2.	Características del clima.....	24
3.2.	Materiales y equipos.....	25
3.2.1.	Cultivar Avenger	25
3.2.2.	Enmiedas	26
3.3.	Métodos	26
3.3.1.	Tratamientos.....	26
3.3.2.	Diseño experimental.....	27
3.3.3.	Características del área experimental.....	27
3.4.	Procedimiento.....	28
3.4.1.	Preparación del terreno.....	28
3.4.2.	Delimitación y preparación de las unidades experimentales	28
3.4.3.	Trasplante de plántulas de brócoli.....	28
3.4.4.	Aplicación del tratamiento	29
3.4.5.	Labores culturales	29
3.4.6.	Controles fitosanitarios	29
3.4.7.	Cosecha	29
3.5.	Evaluaciones.....	29
3.5.1.	Altura de planta	30
3.5.2.	Rendimiento del cultivo	30
3.5.3.	Peso de cabeza cosechada	30
3.5.4.	Diámetro de la inflorescencia.....	30
3.5.5.	Análisis de materia fresca y seca.....	30
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31

4.1.	Altura de planta	31
4.1.1.	Altura de planta a los 31 días después del trasplante	31
4.1.2.	Altura de planta a la cosecha.....	32
4.2.	Rendimiento del cultivo.....	34
4.3.	Peso de cabeza cosechada	37
4.4.	Diámetro de cabeza	39
4.5.	Biomasa fresca y seca.....	41
4.5.1.	Biomasa fresca	41
4.5.2.	Biomasa seca (%).....	43
V.	CONCLUSIONES.....	47
VI.	RECOMENDACIONES	48
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
VIII.	ANEXOS	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores promedio de temperatura y humedad relativa en la UNALM, durante el periodo de marzo a junio del 2018	24
Tabla 2: Materiales y equipos que se usaron en el experimento	25
Tabla 3: Características químicas de las fuentes de enmiendas orgánicas empleadas	26
Tabla 4: Tratamientos evaluados	27
Tabla 5: Categorización de la inflorescencia de acuerdo con su peso.....	30
Tabla 6: Altura promedio de planta empleando compost y biochar en brócoli (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i>) cv. Avenger a los 31 y 75 días después del trasplante (DDT).....	32
Tabla 7: Peso promedio de categoría por tratamiento	37
Tabla 8: Distribución porcentual de pesos frescos de cabezas, hojas y tallos en brócoli (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i>) cv. Avenger empleando fuentes orgánicas.....	41
Tabla 9: Porcentaje promedio de materia seca en inflorescencia (cabeza), tallo y hojas en brócoli (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i>) cv. Avenger empleando fuentes orgánicas.....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Composición de la materia orgánica del suelo	10
Figura 2: Proceso de degradación de la materia orgánica del suelo	11
Figura 3: Relación de C/N del material orgánico sobre los procesos de mineralización ...	12
Figura 4: Mapa de ubicación del área de experimento	23
Figura 5: Distribución de los tratamientos en el área experimental	28
Figura 6: Altura de planta empleando compost y biochar en brócoli (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i>) cv. Avenger a los 31 días después del trasplante	33
Figura 7: Promedio de altura de planta empleando compost y biochar en brócoli (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i>) cv. Avenger a los 75 días después del trasplante	34
Figura 8: Rendimiento empleando fuentes orgánicas en brócoli (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i>) cv. Avenger	36
Figura 9: Distribución porcentual de las categorías de las cabezas de brócoli (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i>) cv. Avenger empleando fuentes orgánicas.....	37
Figura 10: Diámetro de cabeza de brócoli (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i>) cv. Avenger empleando fuentes orgánicas.....	39
Figura 11: Pesos promedio frescos de cabezas, hojas y tallos en brócoli (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i>) cv. Avenger empleando fuentes orgánicas.....	42
Figura 12: Porcentaje de materia seca en hojas, tallos y cabeza de brócoli (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i>) cv. Avenger empleando fuentes orgánicas.....	43
Figura 13: Distribución en porcentaje de materia seca en hojas, tallos y cabezas en brócoli (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i>) cv. Avenger empleando fuentes orgánicas	45

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Croquis del área experimental	58
ANEXO 2: Índice de madurez del cultivo de brócoli.....	59
ANEXO 3: Altura de planta a los 31 días después del trasplante.....	60
ANEXO 4: Altura de planta a la cosecha	60
ANEXO 5: Rendimiento en toneladas por hectárea por tratamiento.....	61
ANEXO 6: Porcentaje de cabezas de categoría uno por tratamiento	61
ANEXO 7: Porcentaje de cabezas de categoría dos por tratamiento.....	62
ANEXO 8: Porcentaje de cabezas de categoría tres por tratamiento.....	62
ANEXO 9: Diámetro de cabeza a la cosecha	63
ANEXO 10: Peso fresco de cabeza por tratamiento.....	63
ANEXO 11: Peso fresco de tallo por tratamiento.....	64
ANEXO 12: Peso fresco de hojas por tratamiento	64
ANEXO 13: Porcentaje de materia seca en cabeza por tratamiento.....	65
ANEXO 14: Porcentaje de materia seca en tallo por tratamiento	65
ANEXO 15: Porcentaje de materia seca en hojas por tratamiento	66
ANEXO 16: Fotografías del campo en la investigación.....	66
ANEXO 17: Cronograma de actividades.....	69

RESUMEN

La etapa experimental se llevó a cabo en la Universidad nacional Agraria la Molina entre los meses de abril y julio del 2018. Tuvo como objetivo evaluar el rendimiento de brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) cv. Avenger con la aplicación de compost, biochar y la mezcla de ambos. Los tratamientos fueron los siguientes: T1 (testigo) sin aplicación orgánica ni química; T2 (Compost) aplicación de compost a dosis de 5 ton ha⁻¹; T3 (Biochar) aplicación de solo biochar a dosis de 2.5 ton ha⁻¹ y T4 (Compost + Biochar) a dosis de 2.5 ton ha⁻¹ + 250 kg ha⁻¹ respectivamente. El diseño experimental utilizado fue de diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con cuatro repeticiones. En cuanto a los resultados, el mayor rendimiento obtenido fue de 12 ton ha⁻¹ con el tratamiento de compost, seguido del tratamiento con biochar de 11.5 ton ha⁻¹ y finalmente los tratamientos testigo y compost + biochar alcanzado ambos 11.2 ton ha⁻¹ sin diferencias significativas entre ellos. Para las evaluaciones de altura de planta, diámetro y peso de cabezas el tratamiento con compost alcanzó mejores resultados sin significancia estadística entre los otros tratamientos. Finalmente, el análisis de materia fresca y seca el tratamiento con mayor porcentaje de materia seca fue el tratamiento de biochar con 20.3% seguido del compost + biochar con 20% mientras que el tratamiento testigo resulto con el menor porcentaje de materia seca con 17.6%.

Palabras claves: *Brassica oleracea* var. *italica*, compost, biochar

ABSTRACT

The present research was realized at the Universidad Nacional Agraria La Molina between April and July 2018. The objective was to evaluate the yield of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) cv. Avenger production was evaluated with the application of compost, biochar, and the mixture of compost plus biochar. The treatments were as follows: T1 (Control) without organic or chemical application; T2 (Compost) application only of compost at a dose of 5 ton ha⁻¹; T3 (Biochar) application only of biochar at a dose of 500 kg ha⁻¹; T4 (Compost + Biochar) at a dose of 2.5 ton ha⁻¹ + 250 kg ha⁻¹, respectively. The experimental design used was a completely randomized block design (DBCA) with four replications. As for the results, the highest yield obtained was 12 tons ha⁻¹ with the compost treatment, followed by the biochar treatment of 11.5 tons ha⁻¹ and finally the control and compost + biochar treatments both reached 11.2 tons ha⁻¹ without significant differences between them. For the evaluations of plant height, diameter and weight of heads, the treatment with compost achieved better results without statistical significance among the other treatments. Finally, the analysis of fresh and dry matter, the treatment with the highest percentage of dry matter was the biochar treatment with 20.3% followed by compost + biochar with 20% while the control treatment resulted with the lowest percentage of dry matter with 17.6%.

Keywords: *Brassica oleracea* var. *italica*, compost, biocha

I. INTRODUCCIÓN

El brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*), es una hortaliza de gran valor nutricional por tener un alto contenido de fibras solubles y ser rico en vitaminas A y C (Stoppani y Francescangeli, 2010). Por tal motivo, en los últimos años ha tenido un desarrollo económico creciente en nuestro país, según el MINAGRI (2017) la producción de brócoli en el 2000 fue de 4,985 toneladas.

En la actualidad la agricultura se enfrenta a nuevos retos ante los problemas del cambio climático y la creciente demanda de alimentos de origen orgánico que a su vez sean sostenibles y rentables para los productores. En tal sentido, el uso de enmiendas orgánicas no solo complementa o sustituyen por completo el uso de fertilizantes químicos, también es una forma de darle un nuevo uso a los distintos residuos que se generan de la agricultura, ganadería, etc. dando beneficios al suelo, cultivos y medioambiente.

Una de las principales razones del porqué los fertilizantes químicos contaminan el medioambiente es debido a la aplicación excesiva del mismo y al hecho de que los cultivos los usan de forma ineficiente (Altieri, 2009). Ante ello el compost y el biochar son fuentes orgánicas que brindan nutrientes y mejoran la estructura física, química y biológica del suelo, de esta manera las plantas pueden aprovechar mejor los recursos a su disposición generando así mayores rendimientos en los cultivos.

El compost es una enmienda por sus múltiples beneficios conocidos, se suele incorporar con algún tipo de fertilizante químico que aporte los nutrientes a la planta mientras que el compost mejora las condiciones del suelo. Por su parte los efectos del biochar sobre las propiedades del suelo pueden variar en función de las características del biochar, que a su vez dependen de las propiedades del material del que se obtiene y de las condiciones de pirólisis. Esto explica que las respuestas de los cultivos a la adición de biochar sean muy variables. Muchos estudios han probado que el biochar por sí solo brinda beneficios al suelo y aumenta los rendimientos del cultivo, mientras otros han incorporado al mismo tiempo una fertilización edáfica o algún otro tipo de enmienda lo que no permite saber con precisión si el aumento del rendimiento es por el efecto del biochar, la fertilización o la asociación de

ambos. Es por ello necesario estudiar la respuesta de cultivos de corto periodo como el brócoli a la adición de fuentes orgánicas.

Por lo tanto, el objetivo principal del trabajo fue evaluar la eficacia de la aplicación de biochar, compost y la mezcla de ambos en el rendimiento y calidad de brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) cv. Avenger y determinar si existe una sinergia entre el compost y biochar.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Descripción botánica de brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*)

Según Toledo (2003) el brócoli es una planta herbácea, posee un tallo principal que varía entre dos y seis centímetros de diámetro y 20 a 50 cm de longitud donde se disponen las hojas en forma helicoidal con entrenudos cortos. La parte superior del tallo es limitada por el desarrollo de la inflorescencia principal.

Las hojas son de color verde oscuro de espículas largas, limbo hendido, con una cutícula cerosa desarrollada e impermeable. Tiene entre 15 a 30 hojas grandes de 50 cm de longitud y 30 cm de ancho aproximadamente (Toledo, 2003; Limongell, 1979).

La inflorescencia está conformada por flores dispuesta en un corimbo principal, su color va de un verde claro a púrpura según el cultivar. La inflorescencia es inicialmente compacta y firme la cual se va abriendo por el crecimiento y desarrollo de las flores con separación de floretes (Díaz y Jaramillo, 2006).

El sistema radicular es pivotante y leñoso, puede llegar a profundizar hasta 80 cm en el perfil del suelo, por su parte el sistema radicular secundario es abundante y profuso (Toledo, 2003).

2.1.1. Fenología

Díaz y Jaramillo (2006) manifiestan que el ciclo comercial del brócoli está dividido en dos fases: la fase vegetativa y la fase reproductiva las cuales están separadas por la aparición de la cabeza. La fase vegetativa se caracteriza por el incremento en el número de hojas y engrosamiento del tallo, mientras que la fase reproductiva por el crecimiento y desarrollo de la cabeza hasta la cosecha.

En la fase vegetativa se identifican dos etapas; hasta que la plántula tenga cuatro hojas se dice que ha terminado la primera etapa, a partir de ahí comprende la segunda etapa que finaliza con la visualización del primordio foliar. Esta etapa tiene una duración aproximada de 40 días donde el tallo engrosa y se alarga hasta alcanzar su máximo desarrollo, se presenta una gran proliferación de hojas, aumentando la biomasa y área foliar. De la misma manera la fase reproductiva posee dos etapas; la primera inicia con un crecimiento lineal para la planta y su prioridad es el desarrollo de la cabeza donde la planta tiene entre 18 y 20 hojas. Finalmente, el ciclo comercial del brócoli termina con el periodo de cosecha, cuando aún no han abierto las flores (Jaramillo, 2006).

2.2. Factores agroclimáticos

El brócoli es una planta mesofítica, originaria de una región subhúmeda temperada, por lo cual requiere de condiciones de temperatura moderada, adecuada disponibilidad de agua, alta humedad relativa y luminosidad moderada para un normal desarrollo (Toledo, 2003).

2.2.1. Agua

El brócoli requiere de agua de buena calidad. Niveles altos de salinidad o elementos tóxicos en el agua de riego afecta el potencial rendimiento y disminuye la calidad de la cabeza. La planta prospera en ambientes con alta humedad relativa (Toledo, 2003).

2.2.2. Suelo

Según 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 buen drenaje, con un pH óptimo de 6 a 7.5

2.2.3. Temperatura

El brócoli es una hortaliza que se desarrolla bien en climas fríos y frescos, tolerante a altos cambios de temperatura que van desde cinco hasta los 24 °C siendo los rangos de 15 a 18 °C una temperatura óptima para su buen desarrollo sin pérdidas en la producción (Santoyo y Martínez, 2011).

2.3. Cultivar

2.3.1. Avenger

Haro y Maldonado (2009) manifiestan que es un híbrido con excelentes características de calidad y alto rendimiento, son plantas vigorosas de tallos gruesos pero cortos, hojas anchas y largas capaces de proteger la cabeza de condiciones ambientales extremas. La cabeza posee un domo bien definido de color verde azulado con granos finos a medios. La densidad de plantas en el campo va de 50 a 55 mil plantas por hectárea sembrando a 30 cm entre planta y 70 cm entre surco. La precocidad está entre 70 y 80 días después del trasplante.

2.4. Plagas y enfermedades más importantes

- Gusano del brote de la col (*Hellula phidylealis*)
Las larvas infestan el brote de plantas pequeñas donde las hojas apicales son reunidas mediante hilos de seda producidas por la larva formando así túneles; barrenan completamente el brote y luego profundizan dentro del tallo principal. El ciclo de la plaga es más corto y los daños en las plantas son mayores a medida que se incrementa la temperatura. Algunas medidas de control son el mantener el campo libre de malezas y efectuar rotación de cultivos (Sánchez y Vergara, 2003).
- Palomilla dorso diamante (*Plutella xylostella*)
Las larvas perforan las hojas y el corazón, las que juntamente con las hojas quedan llenas de orificios, excrementos y telarañas. El ataque es mayor cuando la temperatura es alta, especialmente en los meses de verano (Sánchez y Vergara, 2003).
- Áfido de la col (*Brevicoryne brassicae*)
Su alimentación está restringida a miembros de la familia Crucíferas. Su daño es el debilitamiento general de la planta al alimentarse de la savia, además de ser considerado como vector de virus. Las mayores infestaciones generalmente se presentan en los meses de otoño y primavera, siendo favorecido por temperaturas medias y humedad relativa alta (Sánchez y Vergara, 2003).
- Mariposa de la col (*Leptophobia aripa*)
Las larvas son defoliadoras y hacen agujeros en las hojas. Se sitúan en el cogollo de la planta perforando hojas más tiernas; si no se controla a tiempo puede destruir por completo el follaje dejando solo nervaduras (Vallejo, 2013).

- Mildiú (*Peronospora brassicae*)

Haro y Maldonado (2009) mencionan que la enfermedad se manifiesta en el haz de la hoja donde se forman pequeñas manchas de color amarillo de forma angulosa, en correspondencia con esas manchas por el envés se forma una especie de pelusilla de color blanco grisáceo. Aplicaciones de metalaxil y el oxiclóruo de cobre son útiles para su control (Vallejo, 2013).

- Moho blanco (*Sclerotinia sclerotiorum*)

Enfermedad fúngica favorecida por un clima templado y húmedo. Se manifiesta por la presencia de abundante micelio algodonoso de color blanco en la zona basal de la planta. Los órganos afectados presentan necrosis seca de color claro y si hay alta humedad se desarrolla el micelio (Vallejo, 2013).

2.5. Siembra

2.5.1. Época de siembra

Según Toledo (2003) la época de siembra influye en el comportamiento del cultivo, la calidad del producto y conservación postcosecha. En la costa central y sur del país la siembra es durante el invierno y primavera; por ello los almácigos son preparados en marzo y los trasplantes se realizan de abril a octubre.

2.5.2. Sistema de siembra

La siembra puede ser de dos tipos: directa o en almácigos. La siembra directa requiere de una minuciosa preparación del terreno para la distribución uniforme de las semillas. En este sistema se hace un mayor gasto de semilla en comparación al sistema de almácigos; además del control de maleza en los primeros estadios de las plántulas y una producción más tardía en relación con el sistema de trasplante hace poco atractivo este sistema en nuestro medio (Toledo, 2003).

Por otro lado, la siembra en almácigo puede hacerse utilizando el sistema “*speedling*”, que se realiza en bandejas plásticas con cavidades en las que germina una plántula en cada cavidad. Las plántulas que vienen de almácigos en campo abierto son trasplantadas a raíz desnuda, en tanto las plantas sembradas en “*speedling*” son trasplantadas con las raíces adheridas al sustrato (Toledo, 2003).

2.6. Labores culturales

2.6.1. Preparación de terreno

Según Vallejo (2013) recalca que las labores de preparación de suelo se realizan con el propósito de obtener una capa de suelo suelta con una profundidad de 25-30 cm y consta de dos labores necesarias y una opcional. La aradura consiste en romper la costra superior del suelo e incorporar todos los residuos vegetales. Una o varias cruza de arado si es que la primera es insuficiente deben efectuarse a una profundidad de 30-40 cm en sentido perpendicular a la anterior. El pase de rastra se realiza para desmenuzar los terrones del suelo y lograr una capa suelta y debe lograr una profundidad de suelo desmenuzado de 25 cm. En cuanto a los surcos o líneas de siembra para brócoli, deben realizarse a 0.7 m de distancia cuando la disposición es de hilera simple.

2.6.2. Distanciamiento de siembra

Haro y Maldonado (2009) mencionan que las distancias de siembra están en función del número de plantas por hectáreas que se desea sembrar. Esto tiene una correlación estricta con la época del año, se recomienda densidades de 12,000-30,000 plantas por hectárea, que en marcos de plantación sería 0.80-1 m entre líneas y 0.40-0.80 m entre plantas.

Toledo (2003) precisa que la siembra tradicional se hace en surcos simples espaciados a 0.7 m con una sola hilera de plantas por surco y un distanciamiento de 0.5 m entre plantas en la hilera de siembra. Esto da una densidad de 28,571 plantas por hectárea.

2.6.3. Trasplante

Las plántulas están listas para el trasplante cuando tienen unos 15 a 20 cm de altura y de tres a cinco hojas. Esto se da dependiendo de las condiciones, de tres a cuatro semanas después de la siembra. El trasplante es el inicio de la etapa de desarrollo del cultivo en campo definitivo; esta operación se realiza en terreno previamente humedecido con un riego de enseño que se hace un día anterior o el mismo día del trasplante. Esta labor debe hacerse a la altura de la línea de humedad de riego, sobre la costilla o al costado del camellón. Es necesario asegurarse de un contacto entre la planta con su sustrato y el suelo para su humedecimiento y enraizamiento (Toledo, 2003).

2.6.4. Cambio de surco

Haro y Maldonado (2009) indican que el cambio de surco se realiza con la finalidad de proporcionar un anclaje o sostén necesario, oxigenar el sistema radicular y evitar pérdidas de humedad, es aconsejable realizar esta operación entre los 20 y 30 días después del trasplante.

2.6.5. Riego

La cantidad de agua aplicada al cultivo dependerá de las características del suelo y la eficiencia del sistema de riego empleado. En promedio se calcula que el gasto total de agua para el cultivo de brócoli es de 3,500 a 4,000 m³ por hectárea en condiciones de invierno en la costa central y con un riego por gravedad. El requerimiento de agua aumenta a medida que se desarrolla el cultivo, teniendo una mayor demanda en la etapa donde la planta tiene mayor área foliar y la inflorescencia está en pleno desarrollo (Toledo, 2003).

Maroto (2002) manifiesta que la humedad del suelo debe oscilar entre un 60% de la capacidad de campo como mínimo y el 80% como máximo; si la humedad desciende del 50% de la capacidad de campo la producción se verá afectada entre 25 y 30% del rendimiento. En zonas no lluviosas conviene regar la tierra al trasplante. Si existe deficiencia de agua durante la época de desarrollo los rendimientos serán reducidos. El riego después de un prolongado período seco puede causar que las cabezas revienten por la repentina absorción de agua quedando pequeñas, sin llegar a su tamaño comercial.

2.6.6. Control de malezas

Vallejo (2013) señala que para el control de malezas se recomienda utilizar herbicidas específicos y realizar deshierbos manuales o con maquinaria, no se recomienda el control químico con otro herbicida debido a que el brócoli es bastante sensible. Para Toledo (2003) la aplicación de Oxyfluorfen 0.75 L ha⁻¹, pre-trasplante ejerce un control durante dos a tres semanas en campos infestados por malezas de hojas anchas. Al momento de cambiar de surco; labor que se realiza aproximadamente a los 25 días luego del trasplante con la finalidad de alejar el pie de planta del surco de riego, se realiza en segundo control de malezas aprovechando el uso de las herramientas que se hacen para este cambio de surco.

2.7. Cosecha

Según Toledo (2003) menciona que la cosecha del brócoli en nuestro medio ocurre principalmente de mayo a diciembre. Los principales cultivares maduran entre los 50 y 60 días luego del trasplante. El momento de cosecha o indicador de madurez se ve cuando la inflorescencia alcanza su máximo tamaño, es compacta y sus flores individuales aún no han abierto. El color de la cabeza debe ser verde, y con una tonalidad purpura en ciertas variedades. Si el color de la cabeza es amarillo es un indicador de sobremadurez. El diámetro de las cabezas principales varía de 14 a 20 cm. La cosecha dura entre dos a tres semanas aproximadamente pudiendo ser de cabezas principales o laterales. Se recomienda recorrer el campo con una frecuencia de tres a cuatro días para disminuir las pérdidas por sobremadurez.

2.8. Materia orgánica en el suelo

La materia orgánica de los suelos corresponde a compuestos orgánicos carbonados de diferentes características químicas que se presentan estrechamente interrelacionados con la fracción inorgánica del suelo; juega un papel importante en el mantenimiento de la fertilidad de este, considerándose como fertilidad química, física y biológica (Sierra y Rojas; 2002).

El residuo de las plantas constituye el principal material originario de la materia orgánica, junto a microorganismos vegetales como hongos y bacterias en distintos grados de descomposición (*Figura 1*). La mayor parte de la materia orgánica se encuentra cerca de la superficie del suelo, la mesofauna del suelo como lombrices e insectos incorporan los residuos más profundamente por lo que podemos encontrar la mayor parte en los primeros 15 a 20 cm del suelo. El producto final de la descomposición es el humus, un tipo de material oscuro que es altamente resistente a la descomposición (Navarro, 2003).

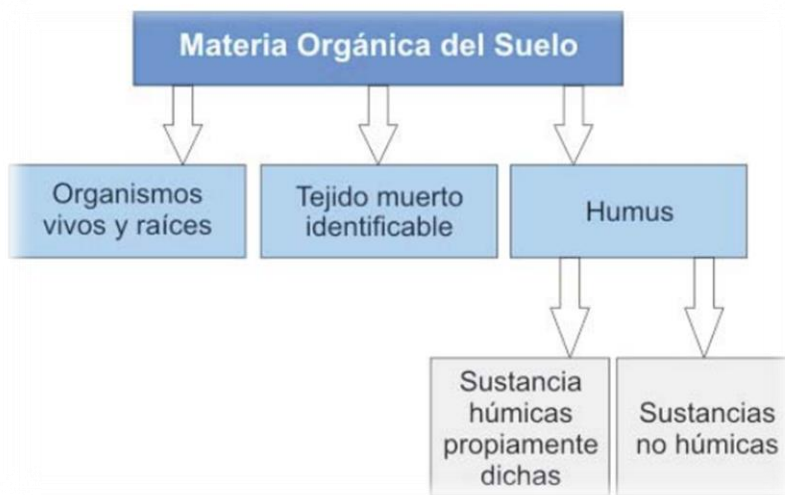


Figura 1: Composición de la materia orgánica del suelo

FUENTE: Corbella y Fernández (2012)

El contenido de carbono en el suelo depende de las características de este y del equilibrio entre la tasa de entrada de carbono orgánico y la tasa de salida en forma de CO₂. Por tanto, existen diversos factores y las interacciones entre ellos que afectan la cantidad total de carbono total en el suelo (Docampo, 2014).

2.8.1. Descomposición de la materia orgánica

La degradación del tejido orgánico originario y formación del humus en el suelo pasa por una transformación química y bioquímica en las cuales participan todos los organismos que viven en el suelo como animales superiores e inferiores que cooperan activamente, mezclando estos materiales con las partículas inorgánicas del suelo favoreciendo la desintegración y transformación por bacterias y hongos (Navarro, 2003).

Si las condiciones del medio como el clima y suelo son propicias, la velocidad de descomposición depende de la naturaleza química de las sustancias que integran la materia orgánica. Los productos más fáciles de descomponer dan como resultado elementos simples como: CO₂, H₂O; NH₃ entre otros. Por el contrario, los elementos más resistentes permanecen en el suelo de forma inalterada o ligeramente alterada (Navarro, 2003).

Cuando el material orgánico tiene una baja relación C/N y los nitratos se encuentran en cantidades relativamente altas, ya que los residuos fácilmente atacables ya han sido degradados, los organismos desintegrados tienen poca actividad y la producción de dióxido

de carbono es mínima. Si se incorpora entonces cantidades de materia orgánica fresca y descomponible se origina un cambio rápido. Los microorganismos se activan al encontrar nutrientes asimilables, esto da una liberación de energía y dióxido de carbono. En estas condiciones el nitrógeno se reduce en el suelo para satisfacer la demanda de este elemento por los microorganismos para sintetizar sus tejidos (*Figura 2*).

Finalmente, cuando las reservas alimentarias asimilable disminuye, la actividad microbiana disminuye, es entonces que actúa las bacterias nitrificantes resultando en nitratos nuevamente y el suelo se enriquece de humus y nitratos (Navarro, 2003; Corbella y Fernández 2012).

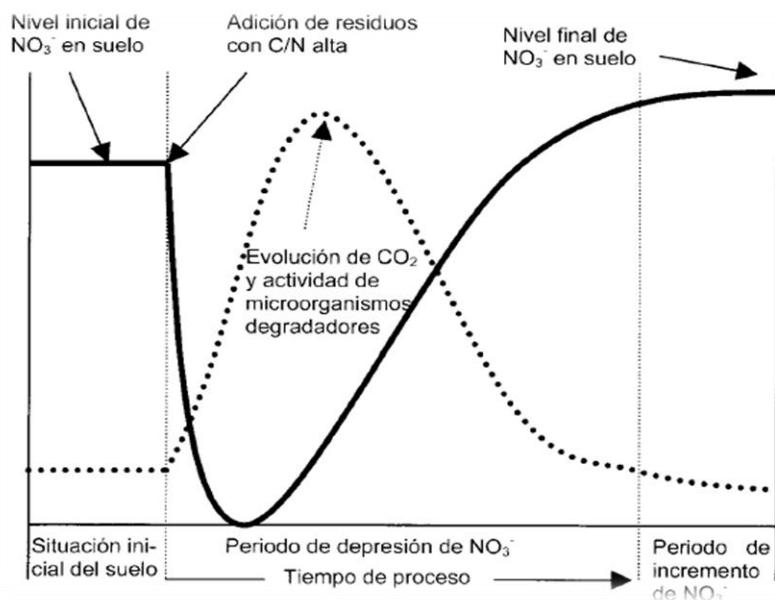


Figura 2: Proceso de degradación de la materia orgánica del suelo

FUENTE: H .0. Buckmayn N.C Brady 1979 citado por (Navarro, 2003)

2.8.2. Factores que influyen en la descomposición de materia orgánica

Según Jaramillo (2002) la velocidad de descomposición es muy variable y depende de muchos factores entre los cuales podemos ver los siguientes:

- Tipo de residuo vegetal: Los materiales orgánicos tienen distintas resistencias a los procesos de degradación, dependerá de los contenidos de celulosa, lignina, almidón, entre otros.
- Temperatura: La tasa de descomposición se incrementa a medida que aumenta la temperatura, las temperaturas favorables van de 25 a 35 °C.

- **Humedad-Aireación:** En condiciones anaeróbicas la descomposición es mucho más lenta que en condiciones aeróbicas. Alrededor de 60% del espacio poroso del suelo lleno con agua.
- **pH:** La descomposición es más eficiente en condiciones cercanas a la neutralidad.
- **Relación C/N:** Se relaciona linealmente con la mineralización de los materiales orgánicos, entendiendo por mineralización la transformación del nitrógeno orgánico hasta que es liberado en forma de NH_3 (Figura 3).

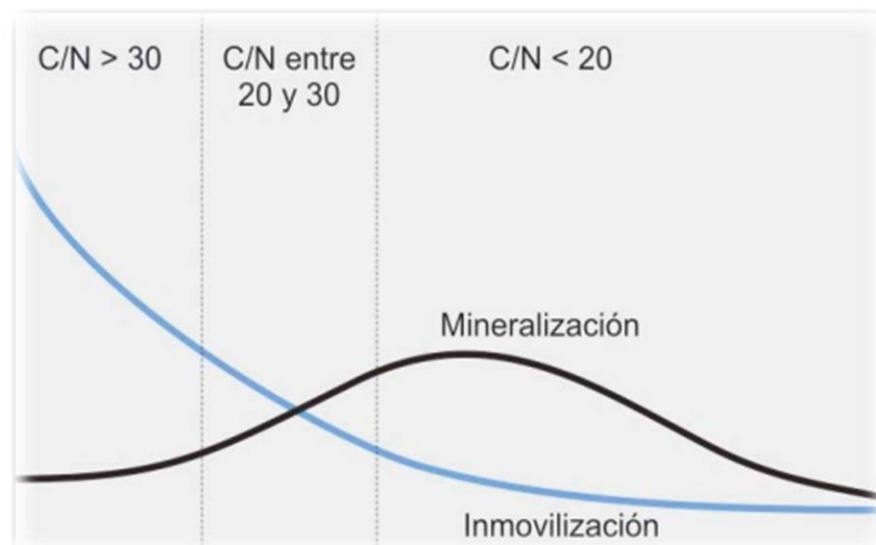


Figura 3: Relación de C/N del material orgánico sobre los procesos de mineralización

FUENTE: Corbella y Fernández (2012)

- **Materiales inorgánicos del suelo:** La formación de complejo órgano-mineral protege la materia orgánica de la descomposición.
- **Carbono activo:** Se entiende como materia orgánica de alta calidad y fácilmente degradable, compuesta por la biomasa microbial, metabolitos libres, sustancias no húmicas y ácidos fúlvicos lábiles.
- **Carbono lento:** Se entiende como materia orgánica de menor calidad y de mayor dificultad para ser degradada. Se puede encontrar en materiales ricos en lignina.
- **Carbono pasivo:** Compuesto principalmente por el humus formando complejos con las arcillas, por los ácidos húmicos y las huminas.

2.8.3. Importancia de la materia orgánica en el suelo

La materia orgánica es el componente principal que determina la calidad y productividad del suelo afectando las propiedades físicas, químicas y biológicas como se indica a continuación:

a) Influencia en las propiedades físicas

El mejoramiento de las características físicas se debe al efecto sobre la actividad biológica. La presencia de carbono permite un incremento de las poblaciones de hongos, bacterias, entre otros los cuales aceleran el flujo del ciclo orgánico (Sierra y Rojas; 1998). El humus le da un color oscuro facilitando su calentamiento. Favorece la granulación y la estabilidad estructural, sobre todo por las sustancias no húmicas producidas por la descomposición. Por otro lado, las fracciones húmicas ayudan a disminuir la plasticidad de suelos arcillosos haciéndolos más trabajables. También ayuda a mejorar la capacidad de retención de agua en el suelo mejorando la dinámica de agua y aire mediante el incremento de la porosidad. Ayuda a la formación y estabilización de agregados (Corbella y Fernández, 2012).

b) Influencia en las propiedades químicas

El humus tiene una mayor capacidad de intercambio de cationes mayor que minerales de arcilla. Los coloides húmicos retienen nutrientes como el potasio, calcio, magnesio en forma fácilmente intercambiable. Por su capacidad de intercambio de cationes y sus grupos ácidos y básicos provee la capacidad de amortiguar el pH de los suelos. Además de los constituyentes de la materia orgánica tienen nutrientes como el nitrógeno, fósforo y otros micronutrientes que son liberados lentamente con la mineralización. Ayuda a la formación de quelatos que lo hacen más disponibles para las plantas (Corbella y Fernández, 2012).

c) Efectos biológicos

Provee de alimento para los microorganismos heterótrofos del suelo. Cabe mencionar que la materia orgánica tiene un rol importante en el balance global del carbono, el cual es un factor influyente del efecto invernadero (Corbella y Fernández, 2012). Desde un punto de vista sanitario, las enfermedades del suelo como *Fusarium*, *Phytium*, *Rhizoctonia*, etc. Son más agresivas en suelos con bajo contenido de carbono debido a la menor biodiversidad de organismos benéficos. Al aumentar el carbono se incrementa los predadores naturales, que a su vez ayuda a controlar las poblaciones de nematodos (Sierra y Rojas; 2002).

2.9. Compost

Según Jaramillo (2002), el compost es un producto estabilizado e higienizado que se obtiene de la descomposición biológica oxidativa de materiales orgánicos frescos de desechos animales y vegetales hasta la formación de un producto estable y rico en sustancias húmicas.

2.9.1. Proceso de compostaje

Para favorecer un buen proceso de compostaje es necesario crear las condiciones ideales para la actividad microbiana como, la cantidad adecuada de agua, oxígeno y una alimentación balanceada. El proceso de compostaje es un proceso predominantemente aeróbico, en el cual los sustratos más lábiles (azúcares, aminoácidos, lípidos y celulosa) son descompuestos en menor tiempo por bacterias, hongos y actinomicetos mesófilos. Posteriormente, se da la descomposición de los materiales más recalcitrantes (Hemicelulosa y lignina) por organismos termófilos como las levaduras y algunos actinomicetos, para pasar luego a la formación de sustancias húmicas, durante la fase de enfriamiento y maduración. La formación de ácidos húmicos es realizada principalmente por hongos y algunos actinomicetos. La condensación de los fenoles junto con el amonio durante el proceso de humificaciones quizás es la fase más importante del proceso de compostaje (Soto y Muñoz 2002).

En el proceso de compostaje también influyen factores físicos, químicos y biológicos que aceleran la descomposición y dan como resultado un producto estable de buena calidad biológica y química. Factores ambientales óptimos para el proceso están directamente relacionados con el metabolismo propio en las diferentes etapas, es así como la temperatura, oxígeno, humedad, pH, tamaño de partícula y relación C/N, determinan la velocidad de las reacciones de oxidación y las características físicas y químicas del compost obtenido (Bohorquez, 2019). A estos factores se suman otros como el grado de homogenización del material, el tamaño de la pila o reactor, la frecuencia de volteo, tiempo de maduración, empleo de agentes estructuradores y técnica de compostaje. Todos estos factores son modificables y su control favorece la degradación (Moreno y Moral; 2008).

2.9.2. Indicadores de la madurez del compost

El concepto de estabilidad biológica se entiende como la tasa o grado de descomposición de la materia orgánica, que se expresa como una función de la actividad microbiana y se

determina por medidas respirométricas o por liberación de calor como resultado de la actividad microbiana. Desde un punto de vista de la calidad del producto final, el compost altamente humificado es un compost maduro. Por tanto, el término madurez conceptualmente engloba el punto de estabilidad (madurez = estabilidad biológica + humificación) (Iglesias; 2014).

Brechelt (2004) indica que ciertos criterios son decisivos para determinar si el compost está maduro o no para ser utilizado:

- El producto final debe ser homogéneo. No debe notarse los materiales que se utilizaron para su elaboración.
- Debe tener un olor similar a la tierra de los bosques. El olor viene por los *Actinomyces* que se encuentran en la tierra.
- La temperatura del producto final debe ser uniforme en el centro y alrededor de la pila. Esto indica que la transformación de los nutrientes ocasionada por los microorganismos ha finalizado.
- El color, el oscurecimiento del compost durante el compostaje está condicionado por el tipo de sustrato inicial. Sin embargo, el producto final, ha de presentar un color pardo oscuro o casi negro (Iglesias; 2014).

Es importante que se determine qué resultados se desean obtener de la aplicación del compost. En el compost fresco, los microorganismos transforman más rápido los nutrientes del suelo, de esta manera las raíces de las plantas pueden asimilar estos nutrientes disponibles inmediatamente. Sin embargo, el compost no es muy útil para mejorar la estructura del suelo. Cuando el compost tiene más tiempo los nutrientes, sobre todo el nitrógeno se encuentra fijado en la fracción húmica, y los microorganismos tardan más en transformarlos. Este tipo de compost es recomendable para cultivos de ciclos vegetativos largos y para mejorar la estructura del suelo. Cuanto más tiempo tenga el compost desde su elaboración más lento es el proceso de transformación en el suelo (Brechelt, 2004).

2.9.3. Momentos de aplicación del compost

Brechelt (2004) reporta que en los cultivos existen tres formas y etapas de aplicación:

- Antes de la siembra; se puede aplicar durante la preparación del terreno para mezclarlo con la tierra, el propósito es mejorar la estructura del suelo. Para tubérculos y hortalizas se puede aplicar de 4 a 8 ton ha⁻¹.
- Al momento de la siembra o trasplante; poniéndolo cerca de las semillas o plántulas, el propósito es estimular el crecimiento radicular. En cultivos perennes se puede aplicar de dos a cinco kilos por planta.
- Durante el deshierbe; aplicándolo cerca de las plantas, el propósito es impulsar el crecimiento vegetativo.

2.9.4. Efectos de la aplicación del compost sobre el suelo

El compost puede ser considerado como un mejorador del suelo porque la adición de ácidos húmicos aumenta la capacidad de intercambio catiónico y mejora la capacidad de manejo de agua. Pero también es usado como abono. La mayoría de los productores, durante el proceso de transición de agricultura convencional a orgánica, buscan alternativas al uso de fertilizantes sintéticos y utilizan el compost como abono orgánico (Soto y Muñoz, 2002).

Según Jaramillo (2002) los efectos al aumentar el contenido de la materia orgánica sobre las propiedades físicas del suelo son:

- Estructura: Favorece su formación, aumentando el tamaño y estabilidad de los agregados. La estructura es importante, ya que es considerado un factor principal que condiciona la fertilidad y productividad de los suelos.
- Porosidad: Aumenta la cantidad de macroporos.
- Aireación: Al aumentar el espacio poroso aumenta el volumen de aire mejorando su circulación.
- Infiltración: Al tener mejor estructura el suelo, aumenta la velocidad de infiltración.
- Drenaje: Aumenta la velocidad de circulación del agua dentro del suelo.
- Humedad: Aumenta la capacidad de retener agua en el suelo. En general un gramo de carbono orgánico retiene 1.5 gramos de agua a 15 bares.

- Consistencia: Aumenta la friabilidad, disminuye la pegajosidad, la plasticidad y las costras superficiales. Estas características facilitan las labores del suelo, ya que se reduce la resistencia a los implementos y máquinas.
- Erodabilidad: Disminuye la susceptibilidad del suelo a la erosión.
- Color: La materia orgánica oscurece el suelo facilitando su calentamiento, con lo cual mejora la germinación de las semillas, el desarrollo radicular, y en general la nutrición de la planta.

Algunos de los efectos en las propiedades químicas son:

- Capacidad de intercambio catiónico: Incrementa su valor, en términos generales, un gramo de carbono orgánico aporta entre tres y cuatro miliequivalentes a la C.I.C.
- Capacidad buffer: Aumenta.
- pH: Disminuye.
- Nutrientes: Aporta algunos (N, P, K) durante el proceso de mineralización; puede ocasionar fijación de algunos elementos menores.
- Mejora la fijación de nitrógeno: Permite el desarrollo de organismos que ayudan a la formación y fijación de este.
- Residuos: Degradación de residuos de plaguicidas.

Algunos de los efectos en las propiedades biológicas son:

- Biota: La principal fuente de energía para los organismos que viven el suelo es la materia orgánica. Por lo que al aumento de este aumenta la población de organismos en el suelo.
- Reducción de organismos patógenos: Eliminación de patógenos y semillas de malezas por altas temperaturas generadas por la actividad microbiana.

Además de todos efectos, el compost ofrece la posibilidad de utilizar materiales orgánicos que de otra forma no serían utilizados, reduciendo la contaminación del medio ambiente y el uso de fertilizantes inorgánicos (Jaramillo, 2002; Soto y Muñoz, 2002).

2.9.5. Estudios previos de la aplicación del compost

Para Dimas et al., (2001) en la provincia de Gómez-México aplicaron varias dosis de compost con el objetivo de evaluar el efecto de los compost sobre propiedades físicas y químicas del suelo y seleccionar el abono orgánico que produzca la mejor respuesta sobre el rendimiento del maíz. Se evaluaron cuatro tratamientos de abonos orgánicos a dosis de 20, 30 y 40 ton ha⁻¹ para bovino, caprino y composta de cuatro, 8 y 12 ton ha⁻¹ para gallinaza, y un testigo con fertilización inorgánica (120-40-00 de N-P-K). Al final de la investigación los resultados indicaron cambios en las características químicas del suelo (materia orgánica, N y P) antes y después de la siembra. En el caso de características físicas, no existió diferencia significativa. El rendimiento de grano con el tratamiento de fertilización inorgánica 120-40-00 de N-P-K fue el mejor (6.05 ton ha⁻¹); el abono orgánico de composta (5.66 ton ha⁻¹) mostró similares resultados. Los abonos orgánicos, principalmente composta con dosis de 20 a 30 ton ha⁻¹ son una alternativa para sustituir a la fertilización inorgánica.

Orozco y Muñoz (2012) probaron el efecto de abonos orgánicos en las propiedades químicas del suelo y el rendimiento de la mora (*Rubus adenotrichus*). Se evaluaron tres tratamientos en cada experimento: Compost (C) y Lombricompost (L), a razón de cuatro kilos por planta y tres kilos por planta respectivamente, y un testigo sin abono (T). Al final de la investigación los resultados mostraron que la aplicación de compost y lombricompost incrementó el pH del suelo, redujo la acidez, incrementó la disponibilidad de Ca, Mg, K, N, y P, y favoreció la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) y el porcentaje de materia orgánica. En cuanto al rendimiento solo se encontraron diferencias significativas entre Compost (1.8 ton ha⁻¹) y el Testigo (0.9 ton ha⁻¹).

Lima (2015) analizó la efectividad de bocashi y microorganismos eficientes en el incremento del rendimiento en brócoli. Se evaluó en aplicaciones de bocashi de 10, 15 y 20 ton ha⁻¹ y dos niveles de EM^s de 10 y 20 L 200 L⁻¹. El bocashi se incorporó al suelo y los microorganismos se aplicaron vía foliar cada semana por dos meses. El tratamiento con mayor efectividad en el incremento del rendimiento fue el tratamiento con 20 ton ha⁻¹ de bocashi + 10 L 200L⁻¹ de EM^s logrando diferencia significativa con 18 ton ha⁻¹; así mismo, obtuvo un 90% de cabezas de primera calidad y un 10% de segunda calidad.

Rivera (2016) probó la aplicación de humus de lombriz en el rendimiento de brócoli cv. Legacy bajo cobertura de plástico y mulch orgánico. Las dosis aplicadas fueron de 4 y 8 ton

ha⁻¹ de humus como abono de fondo, obteniendo como resultado con diferencia estadística significativa un rendimiento de 16.6 ton ha⁻¹ con el tratamiento de 8 ton ha⁻¹ de humus con cobertura de plástico siendo el 98% de cabezas de primera calidad y 2% de segunda calidad.

Rosales (2014) estudió el efecto de la aplicación de compost y biol en el cultivo de brócoli, utilizó compost con y sin EM^s y biol con y sin EM^s en diferentes combinaciones. Sus resultados demostraron que existe diferencias significativas para la altura de planta, área foliar, materia seca pero no para el rendimiento, sin embargo, obtuvo el mayor rendimiento con la combinación de compost EM y biol EM 10%

Huanca (2019) trabajó con tres dosis de compost para evaluar sus efectos en brócoli usando dosis de 0, 2, 4 y 6 kg m⁻² para los tratamientos donde concluye que la aplicación de 6 kg m⁻² obtuvo mayor promedio en altura y diámetro de hoja; con la aplicación de 4 kg m⁻² se logró mayor peso de inflorescencia y rendimiento con 132 gr y 133.65 kg ha⁻¹ y finalmente las dosis aplicadas no influyeron en las variables de número de hojas y diámetro de inflorescencia.

2.10. Biochar

El biochar es un producto poroso parecido al carbón vegetal. Se produce a partir de la transformación de distintos materiales orgánicos a través de un proceso de conversión llamado pirólisis, que consiste en la descomposición térmica de la materia orgánica con un escaso o limitado suministro de oxígeno. Se le denomina biochar cuando su destino de uso es de la aplicación como enmienda orgánica de suelos y secuestro de carbono en el mismo (Amonette et al., 2010).

El biocarbón es el producto de la descomposición térmica de materiales orgánicos (biomasa) con escaso o limitado suministro de oxígeno (pirólisis), a temperaturas relativamente bajas (inferiores a los 700 °C) y que es destinado a uso agrícola, lo que hace que sea diferente al carbón usado como combustible y al carbón activado (Veeheijen et al., 2010).

Desde el punto de vista aplicativo, el biochar se define como una enmienda del suelo debido a sus propiedades físicas, químicas y biológicas y a sus interacciones con el suelo y la planta, capaz de incrementar el rendimiento de los cultivos, contribuir con el reciclaje de nutrientes del suelo, a capturar y fijar carbono atmosférico en el suelo como carbono orgánico (Lehman y Stephen, 2009).

2.10.1. Propiedades fisicoquímicas del biochar

Respecto a sus propiedades físicas, el biochar es un sólido carbonoso, de color negro con superficie intrincada y desordenada; sus características estructurales varían según el tipo y tiempo de pirólisis. Posee una alta porosidad con micro, meso y macroporos que puede ser el hábitat de diferentes microorganismos. Los microporos son generados en el proceso de pirólisis, por lo que al aumentar la temperatura aumenta la microporosidad. Presentan baja densidad aparente, en general presentan una alta área superficial de entre 200 y 400 m² gr⁻¹. Puede presentarse altos valores en la relación C/N; sin embargo, debido a su forma recalcitrante no supone un aumento de carbón lábil, por tanto, la relación C/N efectiva no tiene un efecto adverso en la asimilación de nitrógeno por las plantas (Rebolledo et al., 2016).

La composición química de un biochar es muy variada. Según Amonette et al. (2010) la disponibilidad de nutrientes está relacionado con el tipo de enlaces asociados con el elemento involucrado, por ejemplo, el fósforo se encuentra principalmente en la fracción de cenizas, con reacciones dependientes del pH y presencia de sustancias quelatantes que controlan su solubilización. El potasio en el biochar generalmente está disponible para las plantas; por el contrario, la disponibilidad de nitrógeno ha demostrado variar ampliamente dependiendo de la temperatura final de la pirolisis, velocidad de calentamiento y tipo de materia prima. El nitrógeno de la biomasa original puede no estar disponible. En estudios recientes en los cuales se adicionó abonos ricos en nitrógeno al biochar, se observó una reducción de la pérdida de este elemento por encima del 50% por volatilización en forma de amoníaco (Veeheijen et al., 2010).

Según Amonette et al. (2010) el pH y la conductividad eléctrica del biochar dependen tanto del contenido como la composición de la fracción mineral, y esto a su vez depende del tipo de materia prima y condiciones de pirolisis, por lo cual varía de ácido a básico con un promedio de 8.1 y un intervalo entre 6 y 13. En cuanto a la capacidad de intercambio catiónico es muy variable, esta cambia después de ser incorporado al suelo por las interacciones con el medio, se ha demostrado que la CIC puede ser baja si se realiza con bajas temperaturas durante el proceso de pirólisis y aumentar si la temperatura es alta. También se ha reportado que el biochar tiene una mayor CIC por unidad de carbono que la materia orgánica del suelo, esto gracias a su mayor área superficial y carga negativa. Sin embargo, la CIC se ve reducida conforme disminuye el pH del biochar y se incrementa a pH alcalinos (Rebolledo et al., 2016).

2.10.2. Efectos del biochar en el suelo

Las características del biochar como la composición química, distribución del tamaño de partículas y poros, así como los mecanismos de estabilización física y química de este en el suelo determinan los efectos del mismo en las funciones del suelo. Sin embargo, se tiene características y aspectos generales que se dan en la mayoría de los trabajos con el biochar; por ejemplo, al incorporarse al suelo se puede alterar sus propiedades físicas como la textura, la estructura, la densidad aparente y la capacidad de retención de agua, ya que aumenta la permeabilidad al agua y reduce las escorrentías (Veeheijen et al., 2010).

El biochar contiene pocos nutrientes en sí, pero actúa más como un acondicionador del suelo mejorando la estructura que a su vez mejora la disponibilidad de nutrientes para la planta. Según Amonette et al. (2010) el biochar aumenta la capacidad de retención de nutrientes en el suelo, por lo cual se reduce la necesidad de aplicar al suelo altas dosis de fertilizantes. El biochar por lo general incrementa la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo y, por lo tanto, la retención de NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , lo que se atribuye a su elevada superficie específica, alta carga superficial negativa y elevada densidad de carga (Rebolledo et al., 2016).

Las evidencias indican que el biochar al tener una gran área superficial, poro y estructura proporcionan un hábitat para los microorganismos del suelo, que a su vez ayudan a tener mejor disponibilidad de nutrientes, por lo que al incorporarlo se puede incrementar la población de hongos micorrizicos entre otros microorganismos (Schahczenski, 2010).

2.10.3. Importancia ante el cambio climático

En el ciclo del carbono, las plantas toman el CO_2 de la atmósfera para realizar la fotosíntesis y al morir forman parte de la materia orgánica del suelo. Al ser mineralizada por los microorganismos del suelo durante el proceso se desprende CO_2 a la atmósfera. Las cantidades de CO_2 absorbidas y liberadas durante este proceso se mantienen en equilibrio en lo que se conoce como carbono neutro. Si se rompe este equilibrio y se emite más CO_2 a la atmósfera se llama carbono positivo. Por el contrario, si se reduce estas emisiones se le denomina carbono negativo. En tal sentido el biochar al estar en forma recalcitrante tarda mucho tiempo en degradarse, cuando se aplica al suelo se convierte en carbono negativo (Schahczenski, 2010). Por lo que funciona como un almacén de carbono, disminuyendo la emisión de CO_2 mitigando el cambio climático (Amonette et al., 2010).

2.10.4. Métodos de aplicación

Para aplicar el biochar hay ciertos factores a tomar en cuenta, los cuales son los siguientes: Tipo de suelo, prácticas de cultivo, condiciones ambientales y forma de aplicación, con maquinaria o manual, en banda o cerca de las raíces. Se puede aplicar en modo de perdigones junto a otras enmiendas. Se recomienda humedecerlo para evitar pérdidas por el viento o pueda ser aspirado por el aplicador. Las cantidades aplicadas se pueden tomar de resultados experimentales. Por último, no es necesario aplicarlo regularmente como otro tipo de abonos orgánicos, ya que su efecto perdura en el suelo por su recalcitrancia (Major, 2010).

2.10.5. Investigaciones realizadas con biochar

Olmo (2016) realizó una tesis doctoral cuyos objetivos fueron evaluar los efectos del biochar sobre las propiedades del suelo y cómo estos cambios influyen en el desarrollo y crecimiento de las plantas. Al final del trabajo los resultados arrojaron que la adición de biochar redujo la densidad aparente y la compactación del suelo; así mismo aumentó su capacidad de retención hídrica. La adición de biochar ejerció una gran influencia sobre la disponibilidad de nutrientes en el suelo, aumentando la disponibilidad de P, K, Ca, Mg y Cu, y reduciendo la de N.

Unger y Killorn (2011) evaluaron la aplicación de biochar y urea con el cultivo de maíz en campo por tres años. Se constató que el rendimiento de grano y biomasa no presentaron diferencias entre los tratamientos que usaron biochar, con y sin fertilizantes, pero si hubo una respuesta a la sola aplicación de fertilizante.

Molina (2013) realizó la tesis de grado, cuyos objetivos fue evaluar el efecto de la aplicación del biochar en el cultivo de *Physalis peruviana* L. En aplicaciones de 3.5 y 8 ton ha⁻¹ resultados de las evaluaciones resultaron que hubo diferencias significativas en el pH elevando el mismo en el suelo donde se incorporó biochar 15 días antes de la siembra. Respecto al crecimiento el mayor número de tallos y de floración se presentó en el tratamiento de biochar con 3 ton ha⁻¹.

Por su parte, Martínez (2015) para su tesis de grado, desarrollo experimentalmente el efecto de enmiendas de biochar en el cultivo de *Cucumis sativus* L. Donde se encontró que el biochar de origen de agave aumento el peso seco de hojas, tallos y de raíz, así mismo se vio incrementado el pH en comparación al biochar de origen de maíz, álamo y el control.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación

El trabajo se realizó en el campo de la Universidad Nacional Agraria la Molina, en el departamento de Lima- provincia de Lima. Distrito La Molina (Av. La Universidad s/n). El terreno elegido dentro de la universidad es el rodeado por el círculo amarillo en la *Figura 4*.



Figura 4: Mapa de ubicación del área de experimento

FUENTE: Google Maps

Las coordenadas geográficas son: 12°05'06" de latitud sur, 76°57'00" de longitud Oeste y altura de 251 m.s.n.m.

3.1.1. Características del suelo

Los suelos de La Molina se encuentran fisiográficamente situados en una terraza media de origen aluvial. Se caracterizan por presentar buen drenaje, permeabilidad moderada, textura media a ligeramente gruesa, estructura granular fina y consistencia en húmedo que va desde friable a muy friable (León, 2014).

3.1.2. Características del clima

Presenta las características climáticas propias de la costa central peruana, con un clima subtropical húmedo, ausencia de precipitaciones y con altos niveles de humedad y nubosidad (León, 2014).

La investigación tuvo una duración de 90 días, desde el 6 de abril del 2018 al 5 de julio del 2018, comprendiendo desde la etapa del trasplante a suelo definitivo hasta el final de la cosecha.

Las características climáticas presentes durante la investigación se pueden ver en la *Tabla 1*.

Tabla 1: Valores promedio de temperatura y humedad relativa en la UNALM, durante el periodo de marzo a junio del 2018

Nº SEMANA	Tº MEDIA (°C)	Tº MÁX (°C)	Tº MIN (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
1	23.84	28.05	19.63	70.49
2	23.78	28.69	18.86	69.43
3	24.38	29.23	19.53	69.27
4	23.84	28.54	19.13	70.49
5	23.17	28.40	17.94	72.38
6	23.13	28.39	17.86	69.96
7	22.78	28.10	17.46	71.12
8	22.27	28.01	16.53	63.32
9	23.12	27.93	18.30	71.60
10	22.10	27.90	16.29	75.61
11	22.02	27.90	16.13	77.64
12	21.32	27.90	14.74	76.03
13	21.25	27.90	14.60	79.85
14	20.77	27.90	13.63	82.33
15	21.60	27.90	15.29	86.00
16	21.25	27.90	14.60	87.46
17	21.09	27.90	14.27	84.26
18	19.94	27.90	11.98	81.45

FUENTE: Data del observatorio “Alexander Von Humboldt” de la UNALM citado por Mendoza (2019)

3.2. Materiales y equipos

Los materiales y equipos que se utilizaron se observan en la *Tabla 2*.

Tabla 2: Materiales y equipos que se usaron en el experimento

Orgánico	Campo	Oficina
Brócoli variedad Itálica	Estacas	Computadora
cv. Avenger		
Biochar	Cinta métrica	Impresora
Compost	Balanza gramera	Cuaderno de campo
	Escarda	Calculadora
	Bomba de mochila	
	Letreros de identificación	
	Cal	
	Lampas	
	Navaja para cosecha	
	Estufa	
	Bolsas de papel	

3.2.1. Cultivar Avenger

Brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) cv. Avenger es una planta vigorosa, presenta cabeza grande bien domada con grano fino y gran peso de color verde azulado, cultivar de cabeza única con mínima presencia de brotes laterales. Presenta una gran adaptabilidad y consistentes rendimientos para la industria de congelado y mercado fresco. La uniformidad de sus cabezas es ideal para el empaque en fresco y un buen aprovechamiento de floretes para el proceso (Sakata, 2017).

- Periodo vegetativo: Cosecha de 85 a 95 días después del trasplante.
- Semillas por hectárea: Dependiendo de la densidad de siembra puede ir de 37 a 57 mil semillas por hectárea. El distanciamiento sugerido de 0.7 a 0.75 m entre surcos y 0.25 a 0.4 m entre plantas.
- Características del cultivo: Presenta maduración uniforme.
- Características de inflorescencia: Cabeza de domo perfecto, grano fino a medio, con florete uniforme de tamaño pequeño, coloración verde intenso.
- Condiciones climáticas: Cultivar adaptado a zonas intermedias a frías.
- Rendimiento: De 20 ton ha⁻¹, de maduración uniforme (Sakata, 2017).

3.2.2. Enmiendas

Para el trabajo experimental se utilizó biochar obtenido de la pirolisis de restos vegetales podados en áreas verdes de la Universidad nacional agraria la molina, el cual fue donado por el Ing. Químico Wilson Castañeda del centro modelo de tratamiento de residuos (CEMTRAR) de la universidad. El material fue molido y posteriormente tamizado para homogeneizar el tamaño de partículas menor a 1.4 mm de diámetro. Por su parte, se obtuvo el compost a base de material vegetal de cosecha con estiércol vacuno del departamento de suelos, área de Conservación de suelos y agricultura sostenible (CONSAS) de la misma universidad nacional Agraria la Molina.

En la *Tabla 3* se muestra las características químicas de los tratamientos empleados según el análisis que se realizó para un experimento en vainita empleado las mismas enmiendas y mezcla de las mismas.

Tabla 3: Características químicas de las fuentes de enmiendas orgánicas empleadas

	BIOCHAR	COMPOST	MEZCLA B+C
pH	10.67	7.04	7.67
CE (dS m ⁻¹)	28.40	9.15	9.58
M.O. (%)	28.23	34.31	33.33
Hd (%)	7.18	30.48	30.61
N (%)	0.36	1.55	1.20
P ₂ O ₅ (%)	1.74	0.87	1.19
K ₂ O (%)	3.72	1.02	1.25

FUENTE: Laboratorio de análisis de suelos plantas, aguas y fertilizantes (LASPAF), UNALM citado por Mendoza (2019)

3.3. Métodos

3.3.1. Tratamientos

Para la investigación se utilizó tratamientos con solo compost, solo biochar, la mezcla de compost y biochar y un tratamiento testigo que no tuvo ninguna aplicación de fuente orgánica.

Las dosis utilizadas fueron de 5 ton ha⁻¹ para el compost y 500 kg ha⁻¹ de biochar, para el tratamiento que llevo la mezcla de compost y biochar se utilizó la mitad de ambas dosis. La aplicación fue en dosis por planta una semana después del trasplante (*Tabla 4*)

Tabla 4: Tratamientos evaluados

Tratamiento	Descripción	Dosis/ha
T1	Testigo	0 gramos
T2	100% Compost	5 toneladas
T3	100% Biochar	500 kilos
T4	50% Compost + 50% Biochar	5 ton + 250 kg

3.3.2. Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones, con un total de 16 unidades experimentales. Los resultados obtenidos de las variables analizadas fueron sometidos a un análisis de varianza (ANVA) y las medias se compararon con la prueba de comparación de Tukey al 0.05%. Se empleó el programa estadístico INFOSTAT versión 2020 para el análisis de los datos.

3.3.3. Características del área experimental

Las características del área experimental son las que se describen a continuación:

- Repeticiones: 4
- Tratamientos: 4
- Unidades experimentales por bloque: 4
- Área de la unidad experimental: 15m² (3 m x 5 m)
- Camas: 5 m x 0.80 m
- Número de camas por unidad experimental: 3
- Distancia entre camas: 0.30 m
- Distancia entre plantas: 0.50 m
- Distancia entre surco: 0.80 m
- Número de plantas por unidad experimental: 33
- Tamaño de caminos: 1 m
- Área total del experimento: 230 m² (23 m x 10 m)

La distribución de las parcelas experimentales fue como se muestra en la (Figura 5)

VEREDA			
T2	T1	T4	T3
T3	T4	T2	T1
T4	T3	T1	T2
T1	T2	T3	T4
CALLE			

Figura 5: Distribución de los tratamientos en el área experimental

3.4. Procedimiento

3.4.1. Preparación del terreno

Con el objetivo de airear el suelo y eliminar las malezas se hizo una pasada de rastra y arado con tractor, previamente se hizo un riego de machaco y finalmente se prepararon los surcos donde se trasplantaron los plantines de brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*).

3.4.2. Delimitación y preparación de las unidades experimentales

Con la ayuda de una cinta métrica se midió 5 m de largo desde el borde del campo, para luego dejar 1 m de calle y continuar midiendo 5 m de largo con 1 m de calle para cada bloque, dejando una estaca en cada punto, posteriormente se marcó las divisiones con cal. Cada unidad experimental tuvo tres surcos de 5 m de largo y 0.8 m de ancho con separación entre camas de 0.3 m (*Anexo 1*). Los tratamientos y repeticiones fueron randomizados y luego señalizados con letreros de identificación.

3.4.3. Trasplante de plántulas de brócoli

Los plantines fueron obtenidos del vivero del Programa de Hortalizas perteneciente al departamento de Horticultura de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Las plantas fueron trasplantadas con una edad de 30 días en la costilla de los surcos con una separación de 0.5 m entre sí.

3.4.4. Aplicación del tratamiento

Los tratamientos se aplicaron por bloques en dosis por planta. Cada dosis por planta fue dividida en dos partes iguales, las cuales fueron pesadas en una balanza gramera y se colocaron a 20 cm de cada planta a una profundidad de 20 cm.

3.4.5. Labores culturales

Se realizaron cuatro deshierbos manuales durante el ciclo vegetativo del cultivo, la primera se realizó a los 10 días después del trasplante, la segunda a los 17 días después del trasplante, la tercera a los 28 y la última a los 46 días después del trasplante, con la finalidad de que disminuyan los focos de posibles plagas y enfermedades. El cambio de surco se hizo manualmente a los 21 días después del trasplante para evitar que las plantas se caigan por acción del viento o peso del follaje. Los riegos se efectuaron por gravedad una vez por semana para mantener el suelo en capacidad de campo.

3.4.6. Controles fitosanitarios

Las aplicaciones se realizaron de acuerdo con la incidencia y severidad de las plagas que se presentaron en el campo tales como: gusano del brote de la col (*Hellula phidylealis*), palomilla dorso diamante (*Plutella xylostella*), mariposa de la col (*Leptophobia aripa*), gusano medidor (*Pseudoplusia includens*) y áfido de la col (*Brevicoryne brassicae*). El insecticida utilizado durante toda la etapa experimental fue Dipel (insecticida biológico) cuyo ingrediente activo es el *Bacillus thuringiensis* subespecie kurstaki a una dosis de 0.8 kg ha⁻¹.

3.4.7. Cosecha

Se cortaron las cabezas según el índice de madurez (*Anexo 2*) con la ayuda de un cuchillo, para homogeneizar la muestra se midió 5 cm de tallo hasta donde inicia la inflorescencia (cabeza).

3.5. Evaluaciones

Las variables que se evaluaron en la investigación fueron las siguientes:

3.5.1. Altura de planta

Se realizaron dos mediciones durante la investigación. La primera medición a los 31 días después del trasplante, la segunda al momento de la cosecha a los 79 días. Se midió desde la base del tallo hasta el inicio de la inflorescencia con una cinta métrica.

3.5.2. Rendimiento del cultivo

Se pesó las cabezas cosechadas en una balanza digital, el peso se expresó en gramos, posteriormente se transformó en kilos por tratamiento y kilos por hectárea.

3.5.3. Peso de cabeza cosechada

Esta variable se registró al momento de la cosecha contabilizando las cabezas para ser categorizadas de acuerdo con el peso de estas según la *Tabla 5*. La cosecha empezó a los 75 días después del trasplante y finalizó a los 90 días después del trasplante.

Tabla 5: Categorización de la inflorescencia de acuerdo con su peso

Categoría	Peso de cabeza (gr)	Interpretación
1	<250	Pequeñas
2	250-500	Medianas
3	>500	Grandes

FUENTE: Huertos GZ (2010) citado por Parra (2012)

3.5.4. Diámetro de la inflorescencia

Esta medida se tomó al momento de la cosecha de 10 plantas completamente al azar por unidad experimental. Para medir esta variable se utilizó un vernier midiendo la cabeza de extremo a extremo, expresando la medida en centímetros (cm).

3.5.5. Análisis de materia fresca y seca

Se tomó una planta entera por unidad experimental, fue dividida en hojas, tallo e inflorescencia, para ser pesado como materia fresca. Posteriormente, se tomaron muestras de 100 gr de cada órgano y se colocaron en bolsas de papel para ser secadas al horno a 70 °C por tres días y así obtener el peso seco de dichas muestras y luego calcular el porcentaje de materia seca.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Altura de planta

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

En la *Tabla 6* se muestra los promedios de la altura que alcanzaron las plantas de acuerdo con cada tratamiento en las dos evaluaciones que se hicieron durante la investigación. La altura de las plantas a los 31 días después del trasplante (*Figura 6*) no presentó diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos según el análisis de varianza (ANVA) y la prueba de comparación Tukey al 0.05 (*Anexo 3*). Las plantas que recibieron el tratamiento T2 (compost 5 ton ha⁻¹) y las plantas que recibieron el tratamiento T4 (compost 2.5 ton ha⁻¹ + 250 kg ha⁻¹ de biochar) alcanzaron una mayor altura con 9.51 y 9.43 cm respectivamente. Mientras que el tratamiento T1 (testigo) obtuvo la menor altura con 8.8 cm.

La investigación realizada por Vilema (2017) en la evaluación de altura a los 31 días después del trasplante en brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) cultivar Avenger obtuvo diferencias significativas entre los tratamientos que utilizaron solo fertilización química al 100 % con los tratamientos que usaron fertilización química al 80 % + 20 % de biochar. Con una altura de 3.87 y 4.3 cm respectivamente.

Para Cruz et al. (2018) que aplicó compost, bocashi, biol y humus en plantas de brócoli para determinar sus efectos en el rendimiento, reportó para la evaluación de altura de plantas a los 30 días después del trasplante midiendo desde el suelo hasta el ápice de la hoja bandera una altura promedio de 25.29 cm, de estos resultados obtuvo que los tratamientos donde se aplicó abonos orgánicos obtuvieron mayores alturas que el tratamiento testigo siendo el de mayor eficiencia el compost seguido del humus y biol.

Con ambos autores podemos observar mejores resultados respecto al desarrollo de la planta en los tratamientos donde se aplicó una enmienda orgánica, especialmente el compost. En la presente investigación, aunque no se obtuvo diferencias significativas, se pudo evidenciar que los tratamientos con aplicación de enmiendas orgánicas también obtuvieron mayor altura respecto al testigo ningún tipo de aplicación.

Toledo (2003) nos indica que el brócoli es una planta mesofítica, por lo que requiere de condiciones moderadas de temperatura, una adecuada disponibilidad de agua, alta humedad relativa y luminosidad moderada para su normal desarrollo. Por su parte, Haro y Maldonado (2009) afirma que los suelos deben ser de textura intermedia, profundos con buen drenaje y buena retención de humedad con un pH entre 6 y 6.8 ricos en materia orgánica. Todas estas características mencionadas fueron cumplidas en el desarrollo experimental por lo que el factor ambiental y suelo no fue una limitante para el desarrollo vegetativo del cultivo.

Tabla 6: Altura promedio de planta empleando compost y biochar en brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) cv. Avenger a los 31 y 75 días después del trasplante (DDT)

Tratamientos	ALTURA (cm)	
	31 DDT	75 DDT
T1 (Testigo)	8.8	37.98
T2 (Compost)	9.51	38.43
T3 (Biochar)	9.33	37.75
T4 (Compost + Biochar)	9.43	38.35

4.1.2. Altura de planta a la cosecha

La altura de las plantas a la cosecha ocurrió a los 75 días después del trasplante (*Figura 7*) no presento diferencias estadísticas significativas según el análisis de varianza (ANVA) y la prueba de comparación Tukey al 0.05 (*Anexo 4*). Sin embargo, se puede observar que las plantas con el tratamiento T2 (compost 5 ton ha⁻¹) y T4 (compost 2.5 ton ha⁻¹ + biochar 250 kg ha⁻¹) al final de la investigación mostraron mayor altura con 38.43 y 38.35 cm respectivamente.

Vilema (2017) obtuvo que la altura al momento de la cosecha (79 días) no presentó diferencias estadísticas entre los tratamientos testigo con los tratamientos con aplicación de

zeolita y biochar. Pero si presentaron una ligera diferencia en altura, donde los tratamientos con zeolita y biochar alcanzaron una mayor altura.

Para Lima (2015) la incorporación de 20 ton ha⁻¹ de bocashi + aplicaciones de EM^s en dosis de 10 L 200 L⁻¹ dieron respuesta significativa en la altura de planta a la cosecha (90 días después del trasplante) respecto a los otros tratamientos con diferentes dosis de bocashi + EM^s, dando como resultado una altura de 34.3 cm. Por otro lado, Cotrina (2013) en su trabajo sobre los efectos de aplicación de biofermentados + estiércol obtuvo diferencias significativas en la altura de planta a la cosecha con el tratamiento de 9 ton ha⁻¹ de estiércol de lombriz con un tamaño máximo de 39.1 cm. Ambos trabajos se llevaron a cabo en Arequipa a 2320 m.s.n.m. lo cual pudo influir en el desarrollo longitudinal del cultivo.

Valadez (1994) señala que el tallo es hueco y cilíndrico llegando a medir de 3 a 6 cm de diámetro y de 20 a 50 cm de alto, sobre el cual se disponen las hojas en forma helicoidal. En la fase vegetativa se puede identificar dos etapas; la primera finaliza con la plántula con cuatro hojas verdaderas y la segunda etapa es el crecimiento de la altura, diámetro de tallo y biomasa. El tallo se engrosa y se alarga hasta alcanzar su máximo desarrollo con una gran proliferación de hojas. En la etapa reproductiva la prioridad es el desarrollo de la inflorescencia (Díaz y Jaramillo, 2006).

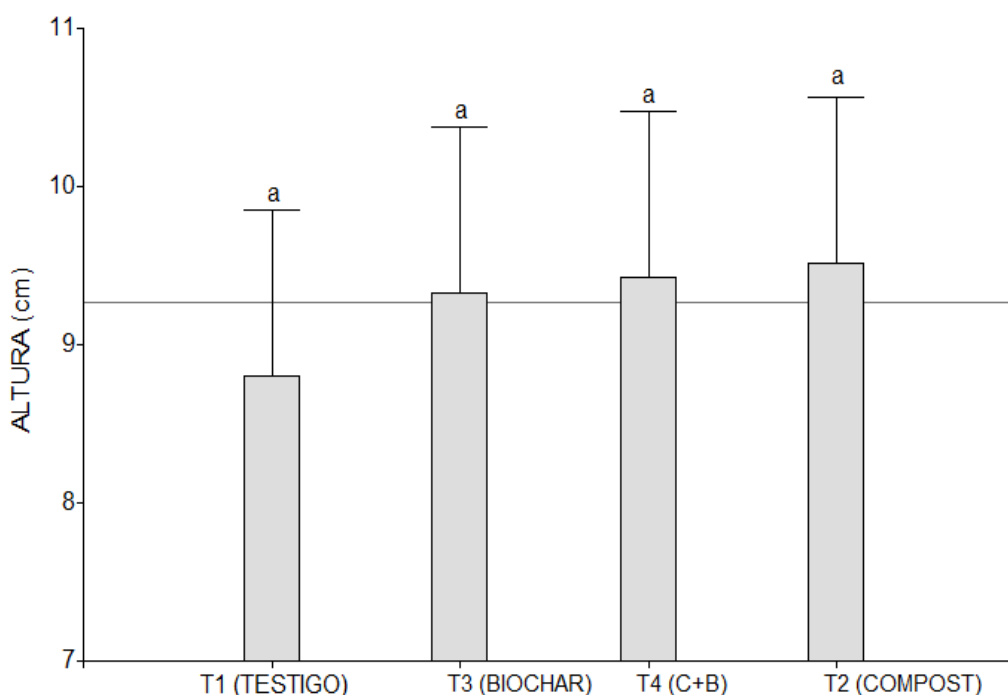


Figura 6: Altura de planta empleando compost y biochar en brócoli (*Brassica oleracea* var. italica) cv. Avenger a los 31 días después del trasplante

La planta de brócoli tiene crecimiento erecto que alcanza una altura final entre 60 a 90 cm, terminando con una yema funcional o inflorescencia (Ugás et al., 2000). Por su parte, Cerdas (2002) indicó que la cosecha se debe hacer en cabezas compactas, sin granos abiertos, con una longitud total de cabeza más tallo de unos 15 a 20 cm. En el presente trabajo se alcanzó una altura promedio de 38.1 cm a los 75 días después del trasplante y se asemeja a lo encontrado por Lima y Cotrina en sus trabajos; con lo que podemos indicar que el cultivo tuvo un desarrollo promedio para las condiciones de costa y se encuentra dentro del rango indicado por Valdez (1994) que señala el tallo llega a medir entre 20 a 50 cm de alto, sin tener una influencia marcada en los tratamientos.

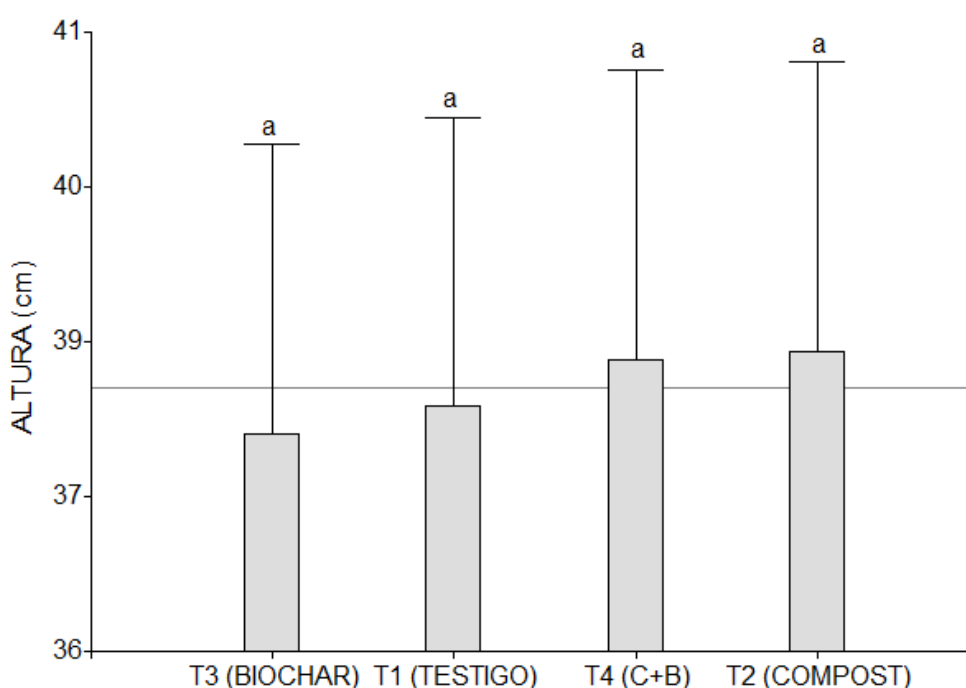


Figura 7: Promedio de altura de planta empleando compost y biochar en brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) cv. Avenger a los 75 días después del trasplante

4.2. Rendimiento del cultivo

Para esta evaluación se pesó cada cabeza cosechada. Se consideró las cuatro cosechas parciales para obtener un rendimiento total por hectárea como se muestra en la (Figura 8). Los rendimientos en toneladas por hectárea alcanzados por los tratamientos no presentaron diferencias estadísticamente significativas según el análisis de varianza (ANVA) y la prueba de comparación Tukey al 0.05 (Anexo 5). El tratamiento T2 (compost 5 ton ha⁻¹) alcanzó el mayor rendimiento con 11.9 ton ha⁻¹, mientras que los tratamientos T1 (testigo) y T4

(compost 2.5 ton ha⁻¹ + biochar 250 kg ha⁻¹) alcanzaron los menores rendimientos por hectárea con 11.2 ton ha⁻¹ en ambos casos.

Rosales (2014) en su investigación de la aplicación de compost y biol en brócoli cultivar Legacy obtuvo un rendimiento de 5 ton ha⁻¹ en el tratamiento con solo aplicación de compost, mientras que en el tratamiento con aplicación de compost + biol + microorganismos eficientes, obtuvo 6 ton ha⁻¹. La investigación se llevó a cabo en la provincia de Huaraz departamento de Ancash a 2900 m.s.n.m. con temperaturas de 9 a 18 °C.

Para Rincón et al., (1999) en su investigación de crecimiento y absorción de nutrientes del cultivo de brócoli obtuvo un rendimiento de 11.8 ton ha⁻¹. Mientras que para García (2016) en su investigación con brócoli cultivar Avenger obtuvo un rendimiento de 18.8 ton ha⁻¹.

Según Cruz et al., (2018) en su investigación con enmiendas orgánicas en brócoli obtuvo que el tratamiento de 2 kg m⁻² en compost tuvo mayor rendimiento con 34.2 ton ha⁻¹. Mientras que el tratamiento testigo (sin compost ni fertilización química) obtuvo 19.4 ton ha⁻¹.

Infante (2018) en su investigación con brócoli cultivar Imperial en la universidad Agraria la Molina obtuvo un rendimiento de 19.5 ton ha⁻¹ con una densidad de 40 mil plantas/ hectárea y 11.3 ton ha⁻¹ a 20 mil plantas/ hectárea.

El departamento de Lima es la región de mayor producción de brócoli en el Perú con un rendimiento de 8 a 12 ton ha⁻¹ (Ugás et al., 2000). Por su parte, Toledo (2003) menciona que el rendimiento promedio bajo las condiciones de la costa peruana va de 10 a 15 ton ha⁻¹.

Palencia (2009), menciona que el aumento de la temperatura resulta en una producción más temprana y un descenso en el rendimiento, siendo la temperatura optima de 15 a 18 °C. Para la presente investigación se tuvo una temperatura media de 21°C, por lo que podemos indicar que el factor temperatura no fue una limitante para el desarrollo potencial del cultivo, alcanzando un rendimiento promedio de 11.5 ton ha⁻¹ encontrándose en el rango señalado por Ugás (2000) y Toledo (2003) para las condiciones de la costa y similar a los resultados obtenidos por Rincón et al., (1999). Sin embargo, es inferior a lo obtenido por García (2016) en el mismo cultivar.

En el trabajo de Infantes (2018) podemos encontrar coincidencia en el rendimiento bajo una similar densidad de siembra (23 mil plantas/ hectárea). El rendimiento por su parte está determinado no solo por las características del suelo, también es influenciado por las condiciones climáticas, riego y la incidencia de plagas y enfermedades (Toledo, 2003).

El no encontrar diferencias significativas entre los tratamientos del presente trabajo puede deberse a que los suelos de la Molina son ricos en nutrientes y M.O por su trabajo en la incorporación de residuos vegetales y enmiendas orgánicas de la misma universidad. Por otra parte, el brócoli es un cultivo que requiere un nivel considerable de M.O que se recomienda aplicar uno o dos meses antes de la plantación o al momento de la preparación del terreno (Ugás et al., 2000) lo que da tiempo a que la M.O entre en contacto con el suelo y se logre obtener los beneficios físicos y químicos de esta interacción. Por nuestra parte, la incorporación de los tratamientos con enmiendas orgánicas fue dos semanas después del trasplante, esto podría explicar por qué no se alcanzaron mejores resultados ni existiese diferencias entre los tratamientos y el testigo.

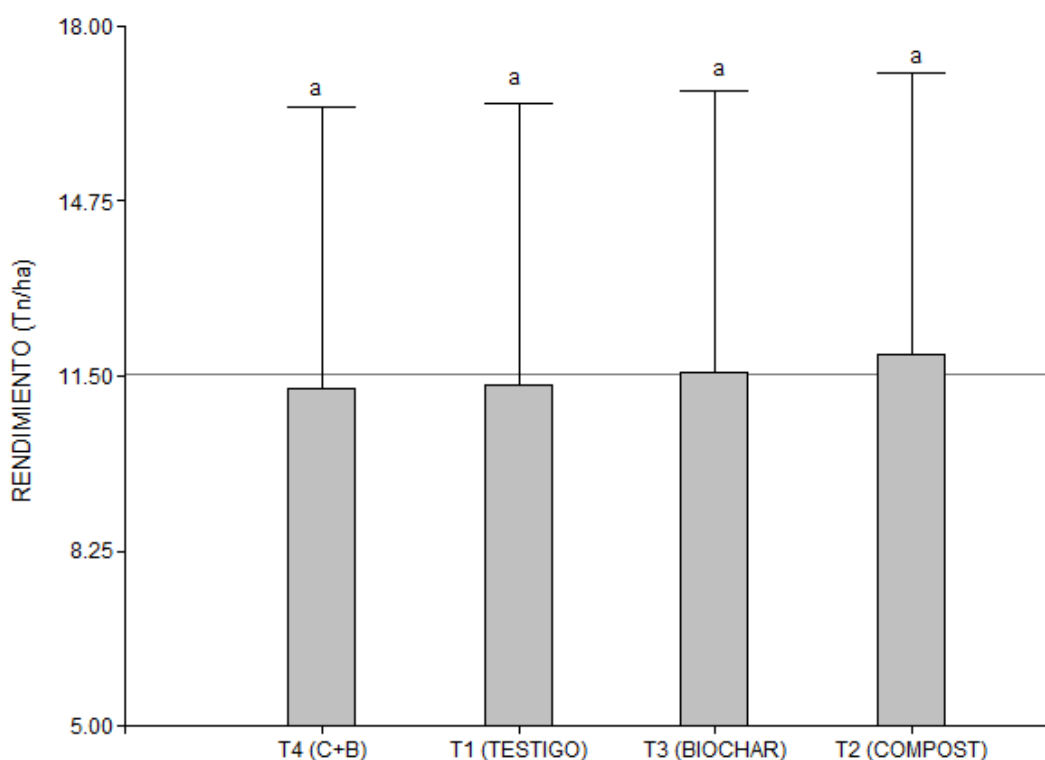


Figura 8: Rendimiento empleando fuentes orgánicas en brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) cv. Avenger

4.3. Peso de cabeza cosechada

Para esta evaluación, se pesó y clasificó las cabezas según la *Tabla 4* por cada cabeza cosechada. En la *Tabla 7* se muestra el peso promedio por categoría por tratamiento.

Tabla 7: Peso promedio de categoría por tratamiento

PESO PROMEDIO POR CATEGORIA			
Tratamientos	<250 gr	250-500 gr	>500 gr
T1 (Testigo)	187.5	403.31	605.97
T2 (Compost)	204.4	406.53	630.55
T3 (Biochar)	180	392.69	632.63
T4 (C+ B)	210	394.16	609.16

La distribución porcentual acumulada de las categorías por tratamiento se puede observar en la (*Figura 9*).

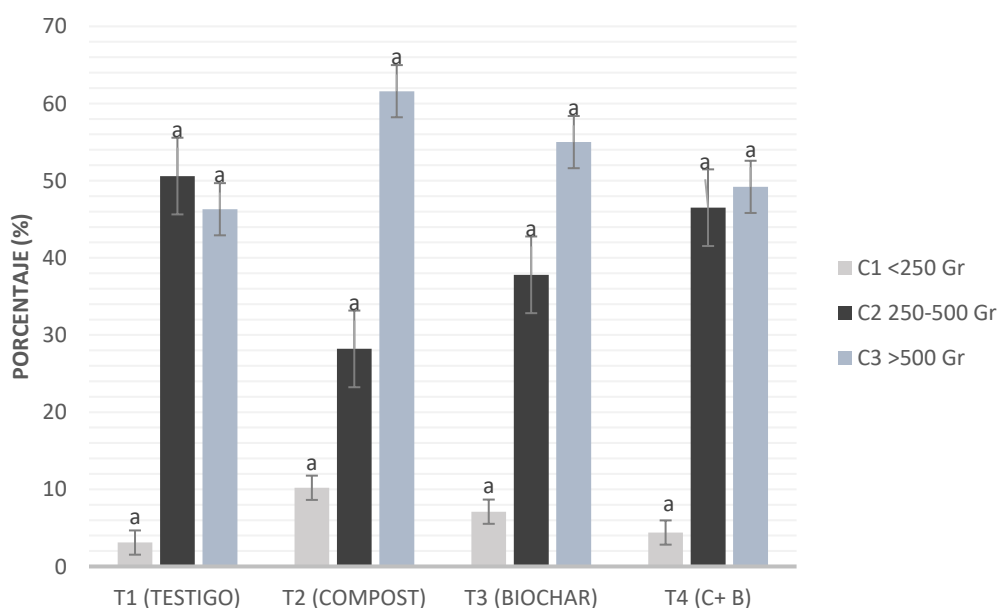


Figura 9: Distribución porcentual de las categorías de las cabezas de brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) cv. Avenger empleando fuentes orgánicas

En la (*Figura 9*) para la categoría uno, no presento diferencias estadísticas significativas según el análisis de varianza y la prueba de Tukey al 0.05 (*Anexo 6*). Sin embargo, podemos observar que para la categoría uno el tratamiento T2 (compost 5 ton ha⁻¹) obtuvo el mayor porcentaje de cabezas con la categoría uno (menor a 250 gramos) con 10.2%. Mientras que el tratamiento T1 (testigo) obtuvo el menor porcentaje con 3%.

Para la categoría dos (de 250 a 500 gramos) no se obtuvo diferencias estadísticas significativas según el análisis de varianza y la prueba de Tukey al 0.05 (*Anexo 7*). El tratamiento T1 (testigo) obtuvo el mayor porcentaje con 50.6% respecto a los tratamientos con aplicación de enmiendas, siendo el tratamiento T2 (compost 5 ton ha⁻¹) con el menor porcentaje con 28.2%.

Para la categoría tres (mayor a 500 gramos) tampoco se obtuvo diferencias estadísticas significativas según el análisis de varianza y la prueba de Tukey al 0.05 (*Anexo 8*). El tratamiento T2 (compost 5 ton ha⁻¹) fue el tratamiento que obtuvo mayor porcentaje de cabezas grandes con 61.6% mientras que el tratamiento T1 (testigo) obtuvo menor porcentaje de cabezas grandes con 46.3%.

Cruz et al., (2018) para la evaluación de peso de cabeza (inflorescencia), obtuvo que los tratamientos con compost tuvieron mayor peso a los comparados con otros abonos orgánicos con un promedio de 1.02 kg, mientras que el testigo obtuvo 0.52 kg. Esto permite señalar que la aplicación de abonos al cultivo del brócoli mejoro significativamente el peso, especialmente con la aplicación de compost con un incremento de 0.15 kg.

Para Vilema (2017) en su estudio de aplicación de zeolita y biochar encontró para la evaluación categoría de cabezas que el tratamiento testigo (fertilización química al 100%) obtuvo el mayor número de cabezas de categoría uno. Para la categoría dos el tratamiento con zeolita al 20% y el tratamiento con 40% de biochar son las que obtuvieron mayor número de cabezas en dicha categoría. Sin embargo, para todos los tratamientos se obtuvo una menor cantidad de cabezas con la categoría tres sin existir diferencia significativa entre tratamientos por categoría.

Para Infantes (2018) que probó el rendimiento del cultivo de brócoli bajo cuatro densidades de siembra, obtuvo que no hubo diferencias significativas entre sus tratamientos, sin embargo, se obtuvo el mayor peso 593.86 gr (categoría tres) con una densidad de 20,000 plantas por hectárea.

Según Toledo (2003) el peso de la inflorescencia primaria y secundaria disminuye a medida que aumenta la población de plantas por unidad de área, así mismo, el rendimiento total se incrementa hasta cierto punto y se mantiene gracias al mayor número de plantas.

En la presente investigación hubo mayor porcentaje de cabezas de segunda y tercera categoría (mediana y grande), mientras que Vilema (2017) obtuvo el mayor porcentaje de cabezas en la categoría uno (pequeñas). El estudio concuerda con lo encontrado por Cruz et al., (2018) que obtuvo mayor número de cabezas grandes en los tratamientos con compost. Esto demuestra que hay una influencia positiva generada por las enmiendas como mejoradores del suelo que beneficia la extracción de nutrientes por la planta.

La densidad de plantación para este trabajo fue de 23 mil plantas por hectárea con un peso fresco promedio de cabeza de 500 gr; esto se asemeja a lo obtenido por Infante (2018) y concuerda con Krarup (1992) citado por Toledo (2003) donde menciona que, para una densidad de 55,600 plantas por hectárea se obtiene un peso fresco promedio de 272 gr y para una población de 20 mil plantas se obtiene un peso fresco de 513 gr. Esto explicaría los datos obtenidos, ya que sí suelo, clima, riego entre otros factores no fueron una limitante para el desarrollo del cultivo y donde los tratamientos no ejercieron una influencia significativa, la densidad de siembra determinara el desarrollo foliar y ganancia de peso en la cabeza.

4.4. Diámetro de cabeza

Para esta evaluación, se midió el diámetro de las cabezas analizando los cuatro tratamientos, con cuatro repeticiones por tratamiento, tomándose diez muestras por cada repetición. Los resultados promedio se pueden observar en la (Figura 10).

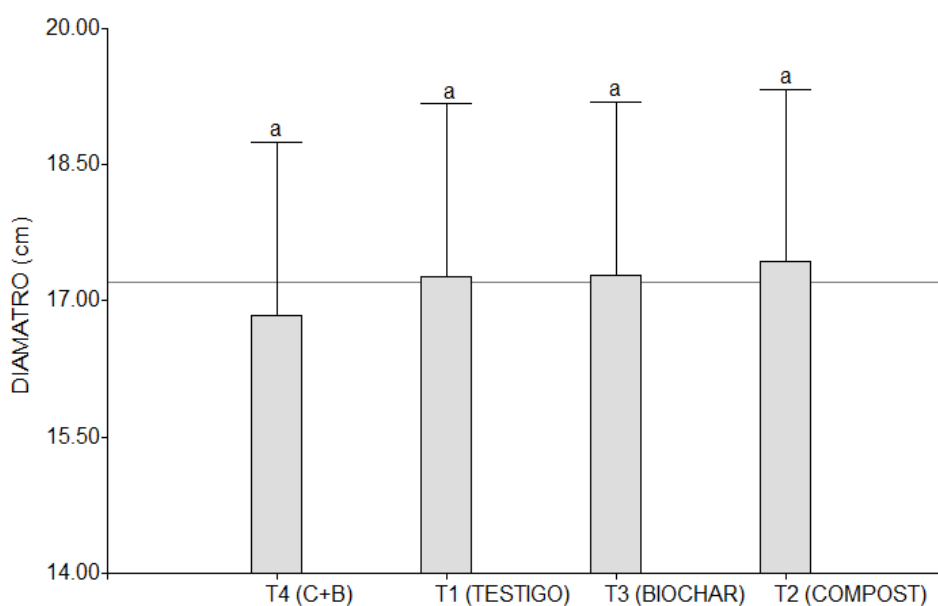


Figura 10: Diámetro de cabeza de brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) cv. Avenger empleando fuentes orgánicas

El diámetro de las cabezas a la cosecha, no presentaron diferencias estadísticamente significativas según el análisis de varianza y la prueba de Tukey al 0.05 (*Anexo 9*). Se puede observar que las plantas con el tratamiento T2 (compost 5 ton ha⁻¹) alcanzaron el mayor diámetro de cabeza con 17.43 cm; mientras que las plantas con el T4 (compost 2.5 ton ha⁻¹ + biochar 250 kg ha⁻¹) tuvieron el menor diámetro con 16.84 cm.

La investigación realizada por Parra (2012) revela datos del diámetro de cabeza para el brócoli en el cultivar Avenger de 17.46 cm, mientras que García (2016) obtuvo para el mismo cultivo y cultivar un diámetro de 13.9 cm. Por su parte, Infantes (2018) obtuvo una diferencia estadística con una menor densidad (20,000 plantas por hectárea) que alcanzo 14.38 cm respecto al tratamiento de mayor densidad (40 mil plantas por hectárea) que obtuvo un diámetro de 11.78 cm. Para la presente investigación el diámetro promedio alcanzado fue de 17.20 cm con una densidad de siembra de 23 mil plantas por hectárea.

Por otro lado, Cruz et al., (2018) presentó un diámetro cabeza de 20.2 cm en los tratamientos con compost a dosis de 2 kg m⁻², mientras que el tratamiento testigo tuvo 14.88 cm. Su análisis de varianza determinó que los abonos orgánicos influían positivamente sobre el diámetro de la cabeza, obteniendo el mejor resultado con la aplicación del compost sobre otras enmiendas orgánicas.

Para Vilema (2017) no encontró diferencias significativas entre los tratamientos sin compost respecto a los tratamientos con compost y biochar. Obteniendo un diámetro promedio de 8.58 cm para las cabezas de categoría uno (pequeñas), 12.44 cm para la categoría dos (medianas) y 16.37 cm para la categoría tres (grande).

El diámetro alcanzado por la inflorescencia va relacionado con el peso ganado de la misma, por tanto, cabezas con menor peso tendrán menor diámetro y a mayor peso mayor diámetro. A su vez esto depende de la densidad de siembra y otros factores de nutrición y clima. Toledo (2003) menciona que el diámetro de la cabeza principal varía entre 14 a 20 cm y Krarup (1992) citado por Toledo (2003) muestra que con una densidad de 20 mil plantas por hectárea se puede obtener un rendimiento de 9.5 ton ha⁻¹ con un peso de 513 gr de peso fresco de la cabeza y un diámetro de 16.2 cm en la inflorescencia principal.

En nuestro trabajo se obtuvo un diámetro promedio de 17.2 cm sin diferencias significativas entre los tratamientos al igual que Vilema (2017); el valor se encuentra en el rango señalado por Toledo (2003) y es similar a los resultados de Parra (2012) y superior a lo obtenido por García (2016). Podemos afirmar que lo alcanzado en peso y diámetro de la inflorescencia estuvo dentro de los parámetros previstos con una densidad de plantación de 23 mil plantas por hectárea sin que influyeran significativamente los tratamientos aplicados.

4.5. Biomasa fresca y seca

Para la evaluación de la materia fresca y seca se tomó una muestra de planta completa por unidad experimental. Analizando por separado el peso de las hojas, tallos y cabeza como se detalla a continuación:

4.5.1. Biomasa fresca

Para esta evaluación se tomó cuatro muestras por tratamiento, una por repetición. Los pesos promedio y totales por tratamiento se detallan en la (Figura 11) y la distribución porcentual de los mismos en la Tabla 8.

Tabla 8: Distribución porcentual de pesos frescos de cabezas, hojas y tallos en brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) cv. Avenger empleando fuentes orgánicas

Tratamientos	DISTRIBUCION (%)		
	CABEZA	TALLO	HOJAS
T1 (Testigo)	22	17	61
T2 (Compost)	22	16	62
T3 (Biochar)	22	18	60
T4 (C+ B)	22	16	62

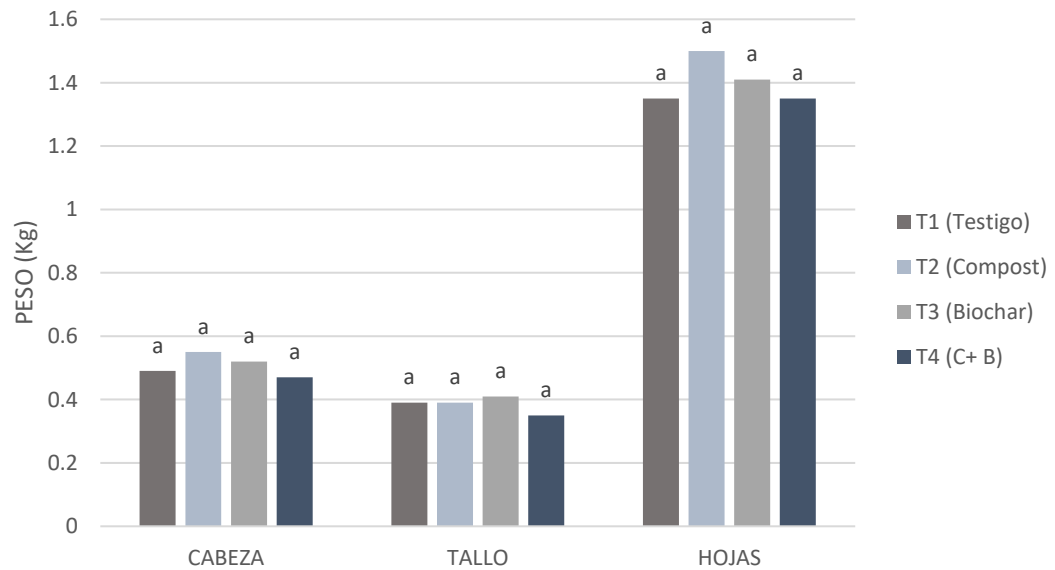


Figura 11: Pesos promedio frescos de cabezas, hojas y tallos en brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) cv. Avenger empleando fuentes orgánicas

Para la evaluación peso fresco de la cabeza no se encontró diferencias estadísticamente significativas según el análisis de varianza (ANVA) y la prueba de comparación Tukey al 0.05 (*Anexo 10*). El peso de las cabezas varió de 0.47 a 0.55 kg y en todos los casos representó el 22% del peso fresco total.

En la evaluación de peso fresco del tallo no se encontró diferencias estadísticamente significativas según el análisis de varianza (ANVA) y la prueba Tukey al 0.05 (*Anexo 11*). En los tratamientos T2 (compost 5 ton ha⁻¹) y T4 (compost 2.5 ton ha⁻¹+ biochar 250 kg ha⁻¹) los pesos fueron de 0.39 y 0.35 kg y representaron el 16% del peso total; mientras que el tratamiento T3 (biochar 500 kg ha⁻¹) obtuvo 0.41 kg con el 18% del peso total.

Finalmente, para la evaluación de peso fresco hojas no hubo diferencias estadísticamente significativas según el análisis de varianza (ANVA) y Tukey al 0.05 (*Anexo 12*). Los pesos variaron de 1.35 (T1 y T4) a 1.5 (T2) kg con una representación de 60 al 62% del peso fresco total.

4.5.2. Biomasa seca (%)

Para esta evaluación se tomó una muestra de 100 gr de materia fresca de cada órgano de la planta separando cabezas, tallos y hojas de cada unidad experimental. Los pesos promedio por tratamiento se detallan en la *Tabla 9*.

Tabla 9: Porcentaje promedio de materia seca en inflorescencia (cabeza), tallo y hojas en brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) cv. Avenger empleando fuentes orgánicas

MATERIA SECA (%)				
Tratamientos	CABEZA	TALLO	HOJAS	TOTAL
T1 (Testigo)	6.27	5.05	6.35	17.67
T2 (Compost)	6.6	5.23	7.24	19.07
T3 (Biochar)	7	5.68	7.67	20.35
T4 (C+ B)	7.56	5.1	7.39	20.05

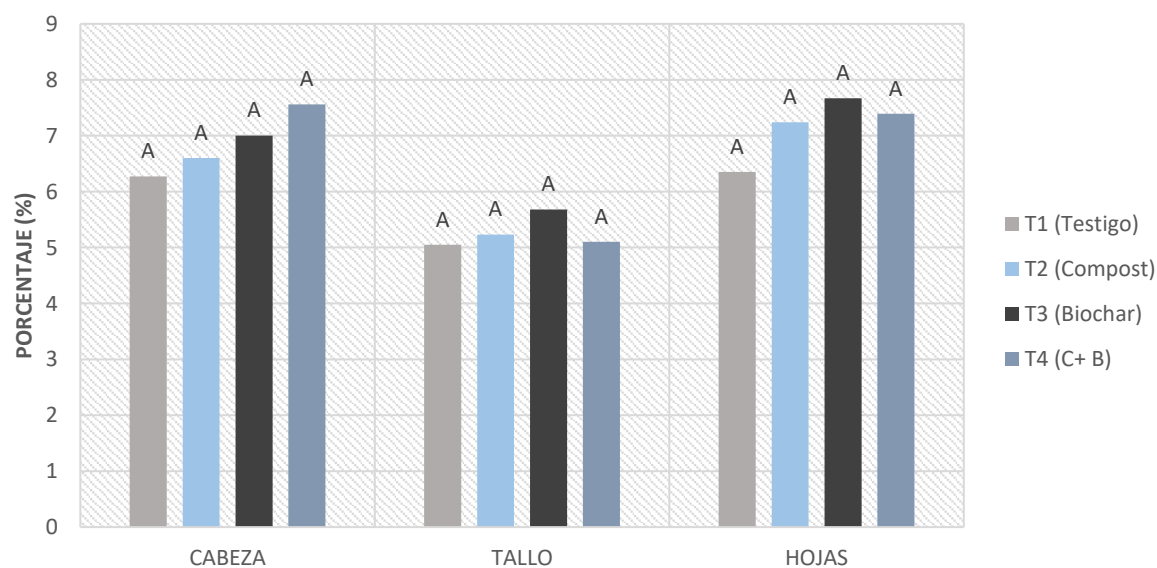


Figura 12: Porcentaje de materia seca en hojas, tallos y cabeza de brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) cv. Avenger empleando fuentes orgánicas

Los porcentajes de materia seca en las inflorescencias evaluadas al momento de cosecha no presentaron diferencias estadísticamente significativas según el análisis de varianza y la prueba de Tukey al 0.05 (*Anexo 13*). Los porcentajes de materia seca en las cabezas variaron entre 6.2 a 7.5%, donde el tratamiento T4 (compost 2.5 ton ha⁻¹ + biochar 250 kg ha⁻¹) obtuvo el mayor valor y el tratamiento T1 (testigo) el menor porcentaje. Por su parte Lima (2015) con su investigación de efectos de la aplicación de bocashi y EM's en brocoli indica entre 17 y 18% de materia seca de cabeza sin significancia estadística entre los tratamientos. En ambos trabajos no se obtuvo diferencia entre los ensayos, pero los porcentajes de materia seca de cabeza en nuestro ensayo fue menor; lo que puede deberse a las diferentes condiciones ambientales y de manejo entre ambos trabajos.

Los porcentajes de materia seca en tallos tampoco presentaron diferencias significativas entre tratamientos (*Anexo 14*). Los porcentajes de materia seca fluctuaron entre 5 a 5.68% donde las plantas con el tratamiento T3 (biochar 500 kg ha⁻¹) mostraron el mayor valor mientras que el tratamiento T1 (testigo) obtuvo el menor valor. Por su parte Noé (2020), en su trabajo de fertilización foliar con extractos de algas marinas en brócoli mostró resultados de materia seca en tallos que variaron entre 5.33 y 6.15%. En ambos trabajos no se encontró diferencias estadísticas significativas, los valores encontrados si se asemejan lo que puede deberse a las condiciones climáticas de la región costera y el manejo agronómico.

Los porcentajes de materia seca de las hojas no presentaron diferencias significativas entre tratamientos (*Anexo 15*). Los valores para esta evaluación estuvieron entre 6.3 a 7.6% donde el tratamiento T3 (biochar 500 kg ha⁻¹) obtuvo el mayor valor, mientras que las plantas con el tratamiento T1 (testigo) obtuvieron el menor valor. Así mismo, Noé (2020) en sus resultados de materia seca en hojas encontró que variaron entre 8.37 y 10.38% donde encontró diferencia estadística entre los diferentes extractos foliares aplicados que indican que, si hubo influencia positiva en la asimilación de nutrientes para los órganos de mayor demanda; por nuestra parte los valores obtenidos fueron menores sin diferencia estadística mostrando que no hubo una marca absorción de nutrientes entre los tratamientos.

Para Jiménez (2016) en su trabajo con brócoli indico que el promedio de porcentaje de materia seca fue de 15.14%. Por su parte Rosales (2014), para su trabajo de aplicación de compost y biol en distintas dosis en brócoli obtuvo una materia seca promedio que osciló entre 6.3 a 15.2% en sus diferentes ensayos y para Noé (2020) en su trabajo de fertilización foliar con distintos extractos marinos obtuvo entre 23 y 25% de materia seca total. Para

nuestro ensayo los valores entre los tratamientos fluctuaron entre 17.3 y 20.3% de materia seca total que es superior a lo encontrado por Jiménez (2016) y Rosales (2014), pero por debajo de lo encontrado por Noé (2020), estos resultados pueden deberse a que el suelo de la Molina es un suelo ya con materia orgánica estable que brinda nutrición al cultivo, por otra parte, los tratamientos aplicados no resultaron en una adición nutricional al mismo que pueda incrementar la materia seca.

En la (Figura 13), se muestra la distribución de los porcentajes de materia seca de cada órgano de la planta para cada tratamiento. Las hojas representan entre el 63 a 66%, los tallos representan del 12 al 14% y por último las cabezas con el 22 a 23%. De estos resultados podemos observar que los que acumulan mayor porcentaje de materia seca son las hojas y cabezas.

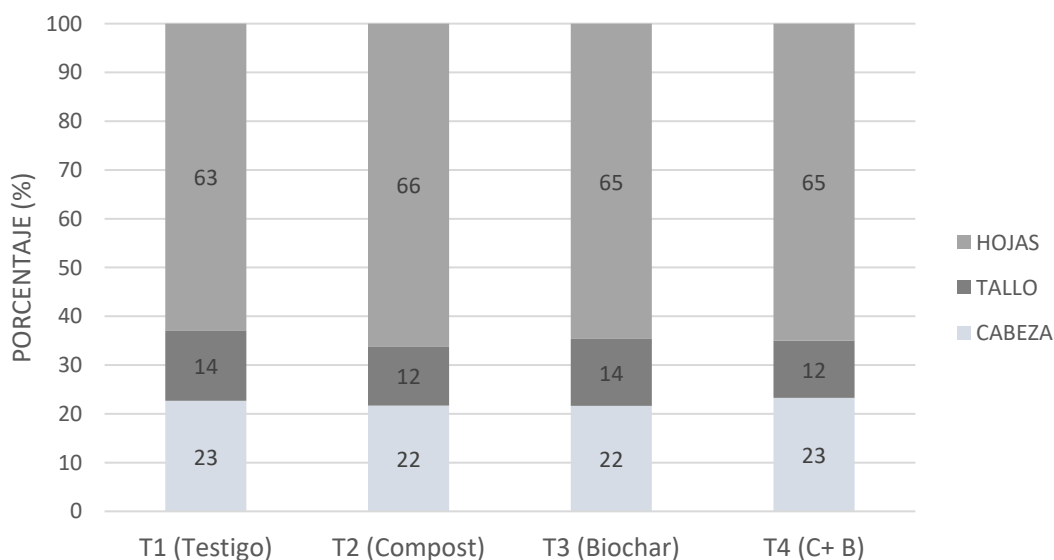


Figura 13: Distribución en porcentaje de materia seca en hojas, tallos y cabezas en brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) cv. Avenger empleando fuentes orgánicas

La investigación de Peralta et al., (2019) con uso de enmiendas orgánicas en el cultivo de brócoli encontró que hubo una mayor materia fresca de órganos y total en las plantas manejadas con compost a dosis de 19 ton ha⁻¹ en comparación a los tratamientos con biol y testigo sin ninguna aplicación. En tanto, la materia seca se vio incrementada en los tratamientos con compost + microorganismos eficientes.

Por su parte, Coaquira (2019) encontró que el porcentaje de materia seca al momento de la cosecha para el cultivar Avenger fue de 12.3%. dicho trabajo se llevó a cabo en Arequipa a 2469 m.s.n.m. las características climáticas de la zona pudieron influir para una mayor ganancia de materia seca respecto a lo encontrado en nuestra investigación que se asemeja a lo hallado por Noé (2020) quien realizó su trabajo en la zona costera de Cañete a 40 m.s.n.m.

Rincón et al. (1999) analizó el crecimiento vegetativo del cultivo obteniendo a los 87 DDT un peso total de materia seca acumulada de 6.2 kg/ha; donde las hojas y peciolo contribuyeron con el 42.1%, la inflorescencia con el 39.1% y los tallos con el 18.8% de la materia seca total.

En ambos trabajos puede observarse una mayor contribución porcentual por la inflorescencia y hojas, aunque en diferentes proporciones.

El brócoli es un cultivo que requiere de materia orgánica para su desarrollo, por lo que se recomienda aplicarla 1 o 2 meses antes del trasplante o al momento de la preparación de terreno para dejar tiempo a la materia orgánica descomponerse y entrar en interacción con el suelo, así los beneficios físicos, químicos y biológicos que aportan puedan ser aprovechados por las plantas y este se vea reflejado en un mayor crecimiento vegetativo con mayor absorción de nutrientes.

En el presente trabajo la incorporación de las enmiendas orgánicas se hizo 2 semanas DDT, esto podría explicar porque no se encontró diferencias significativas entre las variables evaluadas para los tratamientos con aplicación de compost y biochar.

Por otra parte, el suelo del área donde se llevó a cabo los ensayos contiene materia orgánica residual por los trabajos de incorporación del rastrojo, lo que brindan un suelo homogéneo y fértil, por ello tampoco se encontró diferencias entre los tratamientos con enmienda orgánica respecto al testigo sin aplicación.

V. CONCLUSIONES

1. No se obtuvieron incrementos significativos en el rendimiento del cultivo por el uso de compost y biochar en las dosis aplicadas respecto al testigo bajo las condiciones del experimento.
2. El tratamiento con la mezcla de compost y biochar no mostró diferencias significativas en el rendimiento ni en otras características de calidad evaluadas del cultivo en comparación a los otros tratamientos.
3. Para las características de calidad como altura de planta, peso y diámetro de inflorescencia no se encontraron diferencias estadísticas significativas, en todas las evaluaciones el tratamiento con compost obtuvo los mayores valores seguidos del tratamiento con biochar. En la evaluación de peso seco no se obtuvo diferencias estadísticas significativas.

VI. RECOMENDACIONES

Al término de la investigación se pueden dar las siguientes recomendaciones:

- Incorporar las enmiendas en todo el terreno con el fin de que se tenga un suelo más homogéneo y con mayor tiempo de reacción entre la materia orgánica y el suelo.
- Hacer estudios en ese mismo campo después de por lo menos seis meses después de la incorporación de las enmiendas en suelo.
- Probar otras combinaciones de enmiendas en cultivos anuales.
- Probar distintas dosis de biochar.
- Probar biochar como sustrato para plantines.
- Evaluar las condiciones del suelo antes y después de la aplicación de las enmiendas orgánicas para analizar si ocurren cambios fisicoquímicos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altieri, M. (2009). La agricultura moderna: impactos ecológicos y la posibilidad de una verdadera agricultura sustentable. Universidad de California, Berkeley, USA.
Recuperado de:
http://www.mda.gov.br/sitemda/sites/sitemda/files/user_arquivos_64/Agroecologia_-_principios_y_estrategias.pdf.
- Amonette, J; Camps, M; Lin, Y; Munroe, P; Hook, J; Kimber, S; Lehmann, J. (2010). An investigation into the reactions of biochar in soil. Australia journal of soil research. Australia. Recuperado de:
<file:///D:/CHROME/Aninvestigationintothereactionsofbiocharinsoil.pdf>
- Bohorquez, W. (2019). El proceso de compostaje. Colombia. Recuperado de:
https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=-X_1DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA7&dq=proceso+de+compostaje+residuos+org%C3%A1nicos&ots=0IkN4UYEC6&sig=PmSyOG15rwKOWmkxLdsbytGOWfA#v=onepage&q=proceso%20de%20compostaje%20residuos%20org%C3%A1nicos&f=false
- Brechelt, A. (2004). Manejo ecológico del suelo. Red de acción en plaguicidas y sus alternativas para América Latina. República Dominicana. Recuperado de:
<https://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/ais-2015/manejo-ecol-suelo-fama.pdf>
- Cerdas, M. (2002). Guía técnica postcosecha. Calidad en los productos hortofrutícolas. San José, CR. Dirección de calidad agrícola. 8-9.p. Recuperado de:
<http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/J11-8683.pdf>

- Coaquira, B. (2018). Comparativo en post cosecha de seis cultivares de brócoli (*Brassica oleraceae* var. *italica*) Cayma. (Tesis para obtener el grado de ingeniera Agrónomo. Facultad de agronomía. Universidad nacional de san Agustín de Arequipa- Perú). Recuperado de:
<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/9761/AGcomebb.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cotrina, J. (2013). Efecto de dos tipos de “Biofermentos” y “Estiercol de lombriz” en la producción orgánica de brocoli (*Brassica oleraceae* L.) cv. Legacy en la campiña de Arequipa. (Tesis para obtener el grado de ingeniera Agrónomo. Facultad de ciencias biológicas y agropecuarias. Universidad nacional de san Agustín de Arequipa). Perú Recuperado de:
<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/4113/AGcocajc024.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Corbella, R; Fernández, J. (2012). Materia orgánica del suelo. Universidad nacional de Tucumán. Argentina. Recuperado de:
[file:///D:/CHROME/Materia%20Organica%20del%20Suelo%20\(2\).pdf](file:///D:/CHROME/Materia%20Organica%20del%20Suelo%20(2).pdf)
- Cruz, E; Vega, J; Gutiérrez, A; Gonzales, M; Saltos, R; Gonzales, V (2018). Efecto de la aplicación de abonos orgánicos en la producción de brócoli (*Brassica oleraceae*). Revista de investigación talentos-España. Recuperado de:
<https://talentos.ueb.edu.ec/index.php/talentos/article/view/23/24>
- Díaz, C; Jaramillo, J. (2006). El cultivo de crucíferas Brócoli, coliflor, col repollo y china (Manual técnico N 20). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. 30-40 pp.
- Dimas, J; Díaz, A; Martínez, E; Valdez R. (2001). Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. México. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/573/57319401.pdf>

Docampo, R. (2014). La importancia de la materia orgánica del suelo y su manejo en la producción frutícola. INIA las brujas- Uruguay. Recuperado de:
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/1199/1/128221131113111309.pdf>
<file:///D:/CHROME/Tecnolog%C3%ADa%20de%20producci%C3%B3n%20de%20br%C3%B3coli.pdf>.

García, R. (2016). Determinación de los requerimientos hídricos del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. var. Avenger) bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo. (Tesis para obtener el grado de ingeniera Agrónomo. Facultad de agronomía. Universidad politécnica de Chimborazo-Ecuador). Recuperado de:
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4831/1/13T0823%20.pdf>

Haro, M; Maldonado, L. (2009). Guía Técnica para el cultivo de Brócoli en la Serranía Ecuatoriana. Riobamba. Editorial Pedagógica Freire 8-67pp.
<https://talentos.ueb.edu.ec/index.php/talentos/article/view/23/24>

Huanca, G. (2019). Efecto de tres dosis de compost en el cultivo (*Brassica oleraceae*) en ambiente atemperado en el municipio del alto. Tesis para obtener el grado de ingeniera Agrónomo. Facultad de agronomía. Universidad mayor de San Andrés. La Paz- Bolivia). Recuperado de:
<https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/23170/T-2689.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Iglesias, E. (2014). Aspectos físico-químicos, bioquímicos y microbiológicos del proceso de compostaje. Evaluación de la calidad. Instituto de recursos naturales y agroecología de Salamanca – España. Recuperado de:
<https://digital.csic.es/bitstream/10261/92881/1/3%202%20Unidad%20tematica%204.pdf>

Infante, O. (2018). Rendimiento y calidad de brócoli (*Brassica oleraceae* var. *italica*) empleando cuatro densidades de siembra. (Tesis para obtener el grado de ingeniera Agrónomo. Facultad de agronomía. Universidad agraria la molina- Lima).

Recuperado de: <http://190.119.243.88/bitstream/handle/UNALM/3717/infante-fuentes-oscar-julian.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Jaramillo, D. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. Universidad nacional de Colombia facultad de ciencias Medellín. 442pp.

Lehmann, J; Joseph, S. (2009). Biochar for Environmental Management: Science and Technology. Sterling, London, Earthscan. p. 1-9. Recuperado de: <http://www.css.cornell.edu/faculty/lehmann/publ/First%20proof%202013-01-09.pdf>

León, R. (2014). Respuesta del cultivo de quinua (*chenopodium quinoa* willd.) línea mutante 'la molina 89-77' a tres regímenes de riego, en condiciones de la molina. (Tesis para obtener el grado de Ingeniero Agrónomo, Facultad de agronomía, Universidad agraria la molina- Lima). Recuperado de: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1387/T007129.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Lima, J. (2015). Cultivo orgánico de Brócoli (*Brassica oleracea* L.) con aplicaciones de bocashi y microorganismos eficaces en el valle de Chilina-Arequipa. (Tesis para obtener el grado de ingeniero agrónomo. Facultad de agronomía. Universidad nacional de san Agustín de Arequipa). Recuperado de: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/399/M-21606.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Limongelli, J. (1979). El repollo y otras crucíferas de importancia en la huerta comercial. Buenos Aires, Argentina. Ed. Hemisferio Sur.

Major, J. (2010). Guidelines on practical aspects of biochar application to field soil in various soil management systems. Estados unidos. Recuperado de: <https://www.biochar-international.org/wp>

Maroto, J. (2002). Horticultura herbácea especial. 5ta ed. Madrid, ES.

- Martínez, C. (2015). Efectos de enmiendas de biochar sobre el desarrollo en *Cucumis sativus* L. Var. SMR-58. (Tesis para obtener el grado de maestro en ciencias en biosistemática y manejo de recursos naturales y agrícolas. Facultad de ciencias, Universidad de Guadalajara- Jalisco - México). Recuperado de: http://repositorio.cucba.udg.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5921/Martinez_Chavez_Carla_Cristina.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Mendoza, A. (2019). Compost y biochar en la producción y calidad de vainita (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Jade en la Molina. (Tesis para obtener el grado de ingeniera Agrónoma. Facultad de agronomía, Universidad agraria la molina- Lima). Recuperado de: <file:///D:/CHROME/mendoza-tenicela-angie-gabriela.pdf>
- MINAGRI. (2017). Análisis económico de principales frutas y verduras. Recuperado de: [file:///D:/CHROME/boletin-frutas-verduras%20\(2\).pdf](file:///D:/CHROME/boletin-frutas-verduras%20(2).pdf)
- Molina, D. (2013). Evaluación de la aplicación de biochar en un cultivo de *Physalis peruviana* L. (Uchuva). (Tesis para obtener el grado para obtener el título de biólogo. Facultad de Ciencias, Pontificia universidad javeriana- Bogotá – Colombia). Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/71420371.pdf>
- Moreno, J.; Moral, R. (2008). Compostaje. Madrid-España. Recuperado de: <https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=APuzwas6rrcC&oi=fnd&pg=PA4&dq=proceso+de+compostaje+residuos+org%C3%A1nicos&ots=BSPoL3nyP9&sig=jUqHDe90aJFwfq8o014o28b8YjM#v=onepage&q=proceso%20de%20compostaje%20residuos%20org%C3%A1nicos&f=false>
- Navarro, G. (2003). Química agrícola. Segunda edición. España. 50- 57pp.
- Noé, M. (2020). Fertilización foliar con extractos de algas marinas en el rendimiento y calidad de brócoli (*Brassica oleraceae* L. var. italica cv. “Paraíso”). (Tesis para obtener el grado de ingeniera Agrónoma. Facultad de agronomía, Universidad agraria la molina- Lima). Recuperado de: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4340/noe-soria-maria-jose.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Olmo, M. (2016). Efectos del biochar sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal. (Tesis para obtener el grado doctoral. Universidad de Córdoba-España). Recuperado de:
<https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/13381/2016000001398.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Orozco, R; Muñoz, R. (2012). Efectos de abonos orgánicos en las propiedades químicas del suelo y el rendimiento de la mora (*Rubus adenotrichus*) en dos zonas agroecológicas de Costa Rica. Recuperado de: [file:///D:/CHROME/Dialnet-EfectoDeAbonosOrganicosEnLasPropiedadesQuimicasDel-4835576%20\(1\).pdf](file:///D:/CHROME/Dialnet-EfectoDeAbonosOrganicosEnLasPropiedadesQuimicasDel-4835576%20(1).pdf)
- Palencia, P., Martínez, F., Medina, J; Medina L. (2013). Strawberry yield efficiency and its correlation with temperature and solar radiation. Horticultura Brasileira. Recuperado de: <https://www.scielo.br/pdf/hb/v31n1/v31n1a15.pdf>
- Parra, C. (2012). Evaluación de la aclimatación y rendimiento de 20 cultivares de brócoli (*Brassica oleraceae* var. italica), a campo abierto, en Guayllabamba, cantón chambo, provincia de Chimborazo. (Tesis para obtener el grado de ingeniera Agrónomo. Facultad de agronomía. Universidad politécnica de Chimborazo-Ecuador). Recuperado de:
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1834/1/13T0735%20.pdf>
- Peralta, A; Bernardo, G; Watthier, M; Silva, R. (2019). Compost, bokashi y microorganismos eficientes: sus beneficios en cultivos sucesivos de brócolis. Artículos de investigación- Chile. Recuperado de:
<https://scielo.conicyt.cl/pdf/idesia/v37n2/0718-3429-idesia-37-02-00059.pdf>
- Rebolledo, E; Pérez, G; Hidalgo, C; López, J; Campo, J; Valtierra, E. (2016). Biochar, naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. México. Recuperado de:
<http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n3/2395-8030-tl-34-03-00367.pdf>
- Rincón, L; Sáez, J; Pérez, J; Gómez, M; Pellicer, C (1999). Crecimiento y absorción de nutrientes del brócoli. Unidad de investigación y producción hortofrutícola-España. Recuperado de: <http://www.inia.es/IASPV/1999/vol14/19.L.Rincon.pdf>

Rivera, W. (2016). Humus de lombriz en el rendimiento de brócoli (*Brassica oleracea* L.) cv. "Legacy" bajo cobertura de plástico y mulch orgánico en sistema de riego por goteo en Cayma-Arequipa. (Tesis para obtener el grado de ingeniero agrónomo. Facultad de agronomía. Universidad nacional de san Agustín de Arequipa). Recuperado de:
<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/2372/AGribewd.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rosales, A. (2014). Aplicación de compost y biol en el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* var. Legacy). (Tesis para obtener el grado de ingeniera Agrónomo. Facultad de agronomía. Universidad nacional Santiago Antúnez de Mayolo-Huaraz- Perú). Recuperado de:
http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/1608/T033_44635774_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sakata (2017). Recuperado de:
<https://www.sakata.com.br/es/hortalizas/brassicas/brocoli/cabeza-unica-de-invierno/avenger>

Sánchez, G; Vergara, C. (2003). Plagas de hortalizas. Universidad nacional agraria la molina. 65-74pp.

Santoyo, A; Martínez, C. (2011). Tecnología de producción de brócoli. Recuperado de:
<http://www.scielo.org.mx/pdf/iit/v19n4/1405-7743-iit-19-04-e036.pdf>

Schaczenski, J (2010). Biochar and Sustainable Agriculture. pp. 1-12. In: H. Michels (Ed.). National Sustainable Agriculture Information. Recuperado de:
<http://pacificfarmers.com/wp-content/uploads/2015/08/biochar.pdf>

SENASA. 2018. Estadísticas de producción orgánica nacional 2018. Perú. Recuperado de:
<https://www.senasa.gob.pe/senasa/descargasarchivos/2019/07/Cuadro-1-2018-ESTAD%3%8DSTICAS-DE-PRODUCCI%3%93N-ORG%3%81NICA-NACIONAL-.pdf>

- Sierra, C.; Rojas, C. (2002). La materia orgánica y su efecto como enmienda y mejorador de la productividad de los cultivos. Instituto de investigación agropecuaria. Centro regional de investigación La Platina. Santiago- Chile. Recuperado de:
<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/8762/NR28123.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Soto, G; Muñoz, C. (2002). Consideraciones teóricas y prácticas sobre el compost, y su empleo en la agricultura orgánica. Agricultura orgánica- Costa rica. Recuperado de:
<http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/5955/A2037e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Stoppani, M.; Francescangeli, N. (2010). El brócoli y su potencial: Hortaliza top del tercer milenio. Recuperado de:
<http://www.fca.uner.edu.ar/files/academica/deptos/catedras/horticultura/El%20brocoli%20y%20su%20potencial.pdf>
- Toledo, H. (2003). Cultivo del brócoli. INIA. Serie manual RI 2003 N° 1. Recuperado de:
http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/895/1/Toledo-Cultivo_brocoli.pdf
- Ugas, R; Siura, S; De la Flor, F; Casas, A; Toledo, J. (2000). Hortalizas, datos básicos. Programa de hortalizas. Facultad de agronomía. Universidad nacional agraria la Molina. 29 – 31pp.
- Unger, R; Killorn, R. (2011). Effect of the application of biochar on selected soil chemical properties, corn grain, and biomass yields in Iowa. *Commun. Soil Sci.* Recuperado de:
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00103624.2011.609253?scroll=top&needAccess=true>
- Vallejo, J. (2013). Elaboración de un manual guía técnico practico del cultivo de hortalizas de mayor importancia socio-económica de la región interandina. Universidad central del Ecuador, Quito, Ecuador. Recuperado de:
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2037/1/T-UCE-0004-37.pdf>

Valadez, A. (1994). Producción de Hortalizas, editorial Lima, S.A. grupo Noriega editores. Balderas 95, México, D.F. Pag. 123-134. Recuperado de:

<https://biblioteca.uaaan.mx/cgi-bin/koha/opac-search.pl?q=su:%22HORTALIZAS-PRODUCCION%22>

Verheijen, F; Jeffery, S; Bastos, A; Van der Velde, M; Diafas, I. (2010). Biochar application to soils - A critical scientific review of effects on soil properties.

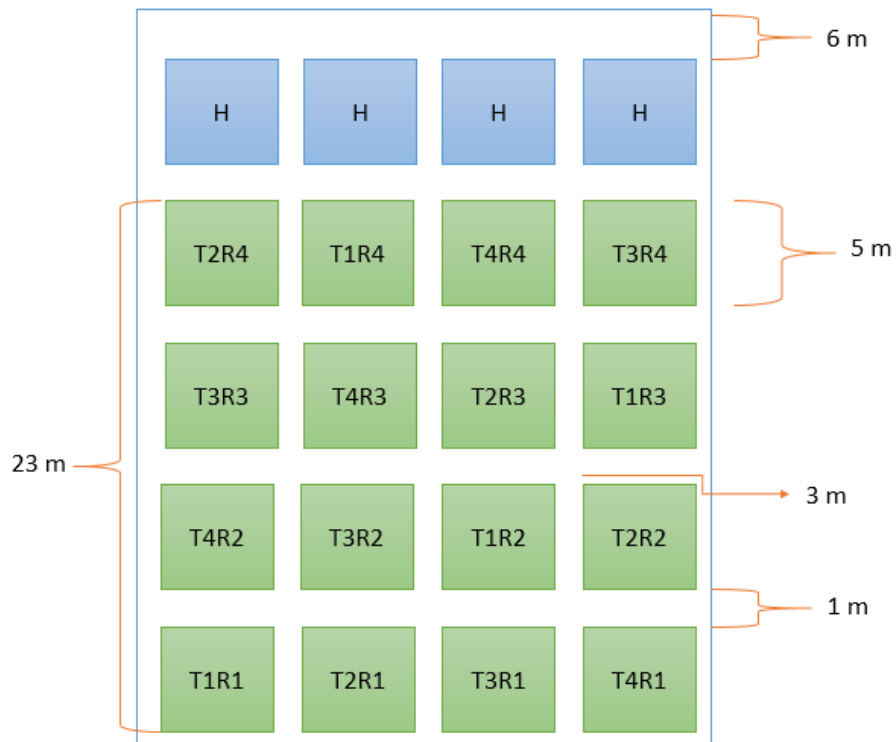
Recuperado de:

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/9425519/biochar.pdf?1329561258=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DBiochar_application_to_soils.pdf&Expires=1

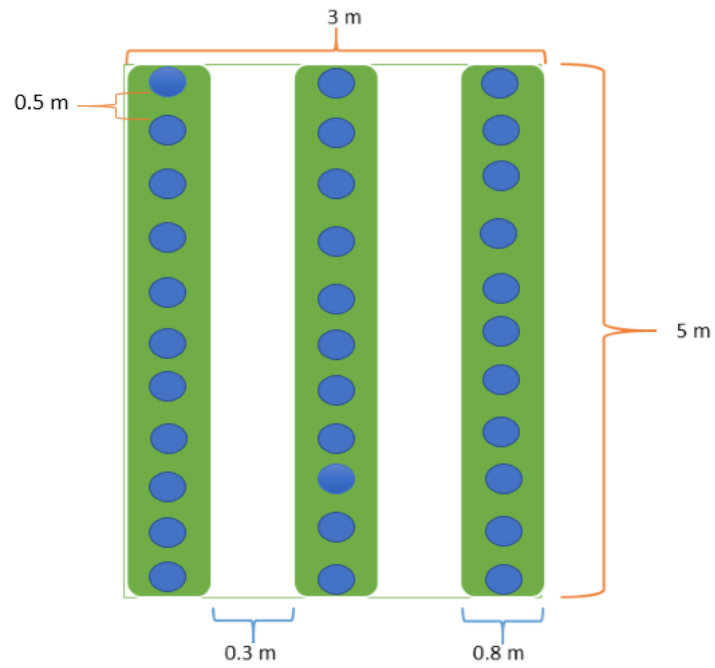
Vilema, M. (2017). Evaluación de zeolita y carbón activado en el cultivo de brócoli (*Brassica oleraceae* var. Avenger) en la granja la pradera, canton Antonio ante, provincia de Imbabura. (Tesis para obtener el grado de ingeniera Agrónomo. Facultad de agronomía. Universidad técnica del norte- Ecuador). Recuperado de: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/6956/2/ARTICULO.pdf>

VIII. ANEXOS




ANEXO 1: Croquis del área experimental



Unidad experimental



ANEXO 2: Índice de madurez del cultivo de brócoli

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

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

ANEXO 3: Altura de planta a los 31 días después del trasplante.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ALTURA (CM)	16	0.59	0.31	5.13

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.91	6	0.48	2.14	0.1466
TRATAMIENTOS	1.22	3	0.41	1.80	0.2172
BLOQUES	1.68	3	0.56	2.48	0.1273
Error	2.04	9	0.23		
Total	4.94	15			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.05003

Error: 0.2263 gl: 9

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.
T1	8.80	4	0.24 A
T3	9.33	4	0.24 A
T4	9.43	4	0.24 A
T2	9.51	4	0.24 A

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

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.05003

Error: 0.2263 gl: 9

BLOQUES	Medias	n	E.E.
1	8.80	4	0.24 A
2	9.13	4	0.24 A
4	9.54	4	0.24 A
3	9.60	4	0.24 A

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

ANEXO 4: Altura de planta a la cosecha

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ALTURA (CM)	16	0.16	0.00	2.78

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.91	6	0.32	0.28	0.9315
TRATAMIENTOS	1.22	3	0.40	0.36	0.7839
BLOQUES	0.69	3	0.23	0.20	0.8910
Error	10.15	9	1.13		
Total	12.05	15			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2.34366

Error: 1.1272 gl: 9

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.
T3	37.75	4	0.53 A
T1	37.98	4	0.53 A
T4	38.35	4	0.53 A
T2	38.43	4	0.53 A

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

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2.34366

Error: 1.1272 gl: 9

BLOQUES	Medias	n	E.E.
3	37.90	4	0.53 A
4	37.95	4	0.53 A
1	38.25	4	0.53 A
2	38.40	4	0.53 A

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

ANEXO 5: Rendimiento en toneladas por hectárea por tratamiento

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RENDIMIENTO (Tn/ha)	16	0.13	0.00	20.60

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7.44	6	1.24	0.22	0.9603
TRATAMIENTOS	0.95	3	0.32	0.06	0.9814
BLOQUES	6.49	3	2.16	0.38	0.7669
Error	50.64	9	5.63		
Total	58.07	15			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=5.23609

Error: 5.6264 gl: 9

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.
T4	11.28	4	1.19 A
T1	11.34	4	1.19 A
T3	11.56	4	1.19 A
T2	11.90	4	1.19 A

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

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=5.23609

Error: 5.6264 gl: 9

BLOQUES	Medias	n	E.E.
3	10.47	4	1.19 A
4	11.60	4	1.19 A
1	11.86	4	1.19 A
2	12.14	4	1.19 A

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

ANEXO 6: Porcentaje de cabezas de categoría uno por tratamiento

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Cl (gr)	16	0.33	0.00	156.62

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	420.65	6	70.11	0.75	0.6253
TRATAMIENTO	120.00	3	40.00	0.43	0.7381
BLOQUE	300.65	3	100.22	1.07	0.4088
Error	841.84	9	93.54		
Total	1262.49	15			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=21.34935

Error: 93.5383 gl: 9

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T1	3.05	4	4.84 A
T4	4.35	4	4.84 A
T3	7.13	4	4.84 A
T2	10.18	4	4.84 A

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

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=21.34935

Error: 93.5383 gl: 9

BLOQUE	Medias	n	E.E.
2	1.00	4	4.84 A
4	2.85	4	4.84 A
1	9.65	4	4.84 A
3	11.20	4	4.84 A

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

ANEXO 7: Porcentaje de cabezas de categoría dos por tratamiento

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
C2 (gr)	16	0.21	0.00	67.78

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1847.05	6	307.84	0.40	0.8596
TRATAMIENTO	1181.14	3	393.71	0.52	0.6820
BLOQUE	665.91	3	221.97	0.29	0.8313
Error	6878.11	9	764.23		
Total	8725.16	15			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=61.02435

Error: 764.2342 gl: 9

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T2	28.23	4	13.82 A
T3	37.85	4	13.82 A
T4	46.45	4	13.82 A
T1	50.63	4	13.82 A

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

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=61.02435

Error: 764.2342 gl: 9

BLOQUE	Medias	n	E.E.
1	32.03	4	13.82 A
2	37.23	4	13.82 A
3	46.23	4	13.82 A
4	47.68	4	13.82 A

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

ANEXO 8: Porcentaje de cabezas de categoría tres por tratamiento

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
C3 (gr)	16	0.14	0.00	60.00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1457.18	6	242.86	0.24	0.9518
TRATAMIENTO	550.31	3	183.44	0.18	0.9065
BLOQUE	906.86	3	302.29	0.30	0.8257
Error	9110.03	9	1012.23		
Total	10567.21	15			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=70.23095

Error: 1012.2256 gl: 9

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T1	46.30	4	15.91 A
T4	49.18	4	15.91 A
T3	55.03	4	15.91 A
T2	61.60	4	15.91 A

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

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=70.23095

Error: 1012.2256 gl: 9

BLOQUE	Medias	n	E.E.
3	42.55	4	15.91 A
4	49.48	4	15.91 A
1	58.30	4	15.91 A
2	61.78	4	15.91 A

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

ANEXO 9: Diámetro de cabeza a la cosecha

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DIAMATRO (cm)	16	0.20	0.00	5.03

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.66	6	0.28	0.37	0.8802
TRATAMIENTO	0.77	3	0.26	0.34	0.7950
BLOQUE	0.89	3	0.30	0.40	0.7577
Error	6.74	9	0.75		
Total	8.40	15			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.90992

Error: 0.7486 gl: 9

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T4	16.84	4	0.43 A
T1	17.27	4	0.43 A
T3	17.29	4	0.43 A
T2	17.43	4	0.43 A

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

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.90992

Error: 0.7486 gl: 9

BLOQUE	Medias	n	E.E.
3	16.91	4	0.43 A
4	17.11	4	0.43 A
2	17.26	4	0.43 A
1	17.56	4	0.43 A

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

ANEXO 10: Peso fresco de cabeza por tratamiento

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
PESO (kg)	16	0.51	0.18	11.95

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.04	6	0.01	1.56	0.2628
TRATAMIENTO	0.01	3	4.2E-03	1.11	0.3937
BLOQUE	0.02	3	0.01	2.01	0.1831
Error	0.03	9	3.8E-03		
Total	0.07	15			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.13588

Error: 0.0038 gl: 9

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T4	0.48	4	0.03 A
T1	0.51	4	0.03 A
T3	0.52	4	0.03 A
T2	0.56	4	0.03 A

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

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.13588

Error: 0.0038 gl: 9

BLOQUE	Medias	n	E.E.
1	0.46	4	0.03 A
3	0.50	4	0.03 A
4	0.54	4	0.03 A
2	0.56	4	0.03 A

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

ANEXO 11: Peso fresco de tallo por tratamiento

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
PESO (kg)	16	0.64	0.40	8.65

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.02	6	3.0E-03	2.66	0.0910
TRATAMIENTO	0.01	3	2.3E-03	2.05	0.1776
BLOQUE	0.01	3	3.7E-03	3.26	0.0734
Error	0.01	9	1.1E-03		
Total	0.03	15			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.07450

Error: 0.0011 gl: 9

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T4	0.36	4	0.02 A
T2	0.40	4	0.02 A
T1	0.40	4	0.02 A
T3	0.41	4	0.02 A

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

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.07450

Error: 0.0011 gl: 9

BLOQUE	Medias	n	E.E.
3	0.36	4	0.02 A
4	0.38	4	0.02 A
1	0.40	4	0.02 A
2	0.43	4	0.02 A

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

ANEXO 12: Peso fresco de hojas por tratamiento

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
M.S (%)	16	0.61	0.36	9.43

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6.53	6	1.09	2.39	0.1163
TRATAMIENTO	4.00	3	1.33	2.92	0.0927
BLOQUE	2.53	3	0.84	1.85	0.2083
Error	4.10	9	0.46		
Total	10.63	15			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.49078

Error: 0.4561 gl: 9

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T1	6.34	4	0.34 A
T2	7.24	4	0.34 A
T4	7.39	4	0.34 A
T3	7.67	4	0.34 A

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

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.49078

Error: 0.4561 gl: 9

BLOQUE	Medias	n	E.E.
4	6.57	4	0.34 A
2	7.04	4	0.34 A
1	7.44	4	0.34 A
3	7.60	4	0.34 A

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

ANEXO 13: Porcentaje de materia seca en cabeza por tratamiento

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
M.S (%)	16	0.64	0.40	10.76

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8.62	6	1.44	2.69	0.0883
TRATAMIENTO	5.18	3	1.73	3.23	0.0749
BLOQUE	3.44	3	1.15	2.15	0.1640
Error	4.81	9	0.53		
Total	13.42	15			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.61296

Error: 0.5339 gl: 9

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T1	6.01	4	0.37 A
T2	6.60	4	0.37 A
T3	7.00	4	0.37 A
T4	7.56	4	0.37 A

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

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.61296

Error: 0.5339 gl: 9

BLOQUE	Medias	n	E.E.
4	6.06	4	0.37 A
3	6.85	4	0.37 A
1	6.91	4	0.37 A
2	7.34	4	0.37 A

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

ANEXO 14: Porcentaje de materia seca en tallo por tratamiento

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
M.S (%)	16	0.19	0.00	19.24

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.11	6	0.35	0.34	0.8974
TRATAMIENTO	0.97	3	0.32	0.32	0.8139
BLOQUE	1.14	3	0.38	0.37	0.7771
Error	9.24	9	1.03		
Total	11.35	15			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2.23695

Error: 1.0269 gl: 9

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T1	5.06	4	0.51 A
T4	5.10	4	0.51 A
T2	5.23	4	0.51 A
T3	5.68	4	0.51 A

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

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2.23695

Error: 1.0269 gl: 9

BLOQUE	Medias	n	E.E.
2	5.00	4	0.51 A
4	5.09	4	0.51 A
3	5.29	4	0.51 A
1	5.69	4	0.51 A

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

ANEXO 15: Porcentaje de materia seca en hojas por tratamiento

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV
M.S (%)	16	0.61	0.36	9.43	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6.53	6	1.09	2.39	0.1163
TRATAMIENTO	4.00	3	1.33	2.92	0.0927
BLOQUE	2.53	3	0.84	1.85	0.2083
Error	4.10	9	0.46		
Total	10.63	15			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.49078

Error: 0.4561 gl: 9

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T1	6.34	4	0.34 A
T2	7.24	4	0.34 A
T4	7.39	4	0.34 A
T3	7.67	4	0.34 A

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

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.49078

Error: 0.4561 gl: 9

BLOQUE	Medias	n	E.E.
4	6.57	4	0.34 A
2	7.04	4	0.34 A
1	7.44	4	0.34 A
3	7.60	4	0.34 A

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

ANEXO 16: Fotografías del campo en la investigación



Fotografía 1. Vista general del campo experimental lado izquierdo



Fotografía 2. Vista general del campo experimental lado derecho



Fotografía 3. Formación de cabeza cabeza



Fotografía 4. Medición del diámetro de



Fotografía 5. Inflorescencia compacta para la cosecha



Fotografía 6. Cosecha de cabezas

ANEXO 17: Cronograma de actividades

MES	DIA	ACTIVIDAD
ABRIL	6	Trasplante
	6	aplicación de insecticida
	10	riego
	16	deshierbo
	17	riego
	18	Aplicación
	20	Aplicación de tratamiento
	23	deshierbo
	24	riego
	27	cambio de surco y deshierbo
	30	aplicación de insecticida
MAYO	3	riego
	4	deshierbo
	8	riego
	9	aplicación de insecticida
	10	toma de datos de altura de planta
	15	riego
	15 y 17	toma de datos de calidad de planta
	22	aplicación química
	24	riego
	30	riego
JUNIO	6	toma de datos de altura de planta
	7	riego
	12	deshierbo
	13	riego
	19	riego
	20	primera cosecha
	22	segunda cosecha
	26	tercera cosecha