

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Agronomía

TESIS

**RENDIMIENTO DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea* var.
Italica) "ATLAS" CON DOSIS DE ÁCIDO HÚMICO
COMERCIAL EN EL CENTRO EXPERIMENTAL
AGRÍCOLA III "LOS PICHONES" TACNA**

Presentada por:

Bach. GLORIA ELIZA SARMIENTO CHURA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO AGRÓNOMO

TACNA –PERÚ

2024

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Agronomía

TESIS

**RENDIMIENTO DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea* var. *Italica*) "ATLAS"
CON DOSIS DE ÁCIDO HÚMICO COMERCIAL EN EL CENTRO
EXPERIMENTAL AGRÍCOLA III "LOS PICHONES" TACNA**

**TESIS SUSTENTADA Y APROBADA EL 14 DE DICIEMBRE DEL 2023,
SIENDO EL JURADO CALIFICADOR:**

PRESIDENTE:



DR. OSCAR OCTAVIO FERNANDEZ CUTIRE

SECRETARIO:



MSc. MAGNO SANTOS ROBLES TELLO

VOCAL:



MSc. ARÍSTIDES CHOQUEHUANCA TINTAYA

ASESOR:

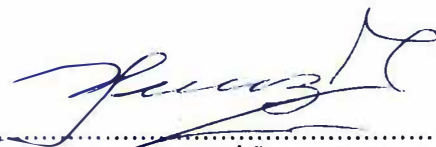


MSc. NIVARDO NÚÑEZ TORREBLANCA

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, MSC. Nivardo Núñez Torreblanca , en calidad de asesor del trabajo de tesis titulado RENDIMIENTO DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea* var. *Italica*) "ATLAS" CON DOSIS DE ÁCIDO HÚMICO COMERCIAL EN EL CENTRO EXPERIMENTAL AGRÍCOLA III "LOS PICHONES" TACNA , presentado por la bachiller Gloria Eliza Sarmiento Chura, con el propósito de que sea incluido en el repositorio institucional, certifico haber cumplido con todas las disposiciones establecidas en el reglamento de originalidad y similitud para trabajos de investigación y producción intelectual. Basándome en la evaluación realizada mediante el software de detección de similitud textual Turnitin, se ha determinado que el nivel de similitud es conforme a los parámetros permitidos, con un porcentaje total de similitud del 12%. En virtud de lo anterior, certifico que el contenido de esta tesis cumple con el nivel de similitud aceptable.

Por lo tanto, otorgo este certificado para dar continuidad a los procedimientos correspondientes, incluyendo la preparación del trabajo para su publicación.



MSC. NIVARDO NÚÑEZ TORREBLANCA
DNI: 01248854
ASESOR DE TESIS



BACH. GLORIA ELIZA SARMIENTO CHURA
DNI: 47345321



DEDICATORIA

Agradezco a mi padre celestial por bendecirme, protegerme y guiarme en el camino hacia el éxito y la felicidad. También quiero agradecer a mi papá Juan Sarmiento Chura y a mi mamá Hermelinda Chura Aquino por darme la vida, cuidarme, protegerme y educarme para enfrentar los desafíos de la vida con éxito. Les agradezco por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Escuela Profesional de Agronomía, por haberme acogido durante toda mi etapa como estudiante.

Agradezco a los docentes de la Escuela Profesional de Agronomía por sus enseñanzas y experiencias compartidas durante estos años de estudio.

También quiero agradecer al MSc. Nivardo Núñez Torreblanca por su asesoría en la ejecución y culminación de este trabajo de investigación.

Asimismo, agradezco a los jurados por su apoyo y revisión del presente trabajo de investigación.

Finalmente, agradezco a mis amigos por su apoyo incondicional en la ejecución y culminación de mi trabajo de tesis.

CONTENIDO

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I EL PROBLEMA	3
1.1. Planteamiento del problema	3
1.2. Formulación del problema	4
1.2.1. Problema general	4
1.2.2. Problema específico	4
1.3. Delimitación de la investigación	5
1.3.1. Espacio	5
1.3.2. Tiempo	5
1.4. Justificación	5

CAPÍTULO II OBJETIVOS E HIPÓTESIS	6
2.1. Objetivos.....	6
2.1.1. General.....	6
2.1.2. Específico	6
2.3. Hipótesis	6
2.3.1. General.....	6
2.3.2. Específica	7
2.2. Variables.....	7
2.2.1. Independiente.....	7
2.2.2. Dependiente	7
CAPÍTULO III MARCO TEÓRICO	8
3.1. Antecedentes.....	8
3.2. Sustancias húmicas	17
3.2.1. Caracterización química de las sustancias húmicas	17
3.2.1. Efectos fisiológicos de las sustancias húmicas en las plantas	17
3.2.3. Efectos de las sustancias húmicas sobre el suelo.....	18
3.2.4. Efectos de las sustancias húmicas en la nutrición mineral de las plantas	20
3.2. Aspectos generales del brócoli	20
3.1.1. Origen.....	20
3.1.2. Clasificación botánica.....	21

3.1.3. Morfología de la planta de brócoli	22
3.1.4. Etapas de crecimiento del brócoli	23
3.1.5. Factores agroclimáticos del brócoli	26
CAPÍTULO IV MATERIALES Y MÉTODOS	27
4.1. Tipo de investigación.....	27
4.2. Ubicación del campo experimental	27
4.3. Cultivos anteriores en campo experimental	27
4.4. Análisis físico químico de suelo del campo experimental.....	27
4.5. Condiciones meteorológicas	29
4.6. Material experimental	30
4.6.1. Características del cultivar ‘Atlas’	30
4.6.2. Características del Full Humic 15	30
4.7. Tratamientos en estudio.....	31
4.8. Variables de respuesta.....	31
4.8.1. Altura de planta (cm).....	31
4.8.2. Diámetro de tallo principal.....	31
4.8.3. Diámetro de ecuatorial de inflorescencia	31
4.8.4. Peso de inflorescencia	32
4.8.5. Rendimiento	32
4.9. Diseño experimental.....	32
4.10. Características del campo experimental.....	33

4.10.1. Parcela	33
4.10.2. Bloque	33
4.10.3. Unidad experimental	33
4.11. Aleatorización de los tratamientos	34
4.12. Análisis estadístico	34
4.13. Instalación y conducción del experimento	34
4.13.1. Análisis de suelo	34
4.13.2. Preparación del terreno.....	35
4.13.3. Desinfección del suelo	35
4.13.4. Parcelamiento y surcado.....	35
4.13.5. Fertilización de fondo	35
4.13.6. Almacigado.....	36
4.13.7. Trasplante.....	36
4.13.8. Replante o recalce	37
4.13.9. Aplicación de ácidos húmicos y fúlvicos	37
4.13.10. Riegos	38
4.13.11. Deshierbado	38
4.13.12. Control fitosanitario	38
4.13.13. Cosecha	39
CAPÍTULO V RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
5.1. Resultados.....	40

5.1.1. Altura de planta (cm).....	40
5.1.2. Diámetro de tallo (cm).....	42
5.1.3. Diámetro de inflorescencia (cm).....	44
5.1.4. Peso de inflorescencia.....	47
5.1.5. Rendimiento de inflorescencias (t/ha).....	49
5.2. Discusión.....	51
5.2.1. Altura de planta.....	51
5.2.2. Diámetro de tallo.....	52
5.2.3. Diámetro de inflorescencia.....	53
5.2.4. Peso de inflorescencia.....	54
5.2.5. Rendimiento.....	55
CONCLUSIÓN.....	57
RECOMENDACIONES.....	58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59
ANEXOS.....	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Resultados del análisis del suelo del campo experimental CEA III “Los Pichones”	28
Tabla 2.	Registro de los datos climáticos durante el periodo de ejecución de la investigación	29
Tabla 3.	Análisis de varianza de altura de planta de brócoli ‘Atlas’	40
Tabla 4.	Regresión polinomial de la altura de planta de brócoli ‘Atlas’	40
Tabla 5.	Prueba de hipótesis de los coeficientes de regresión de la altura de planta de brócoli ‘Atlas’	41
Tabla 6.	Análisis de varianza de diámetro de tallo de brócoli ‘Atlas’	42
Tabla 7.	Regresión polinomial de diámetro de tallo de brócoli ‘Atlas’	43
Tabla 8.	Prueba de hipótesis de los coeficientes de regresión de diámetro de tallo de brócoli ‘Atlas’	43
Tabla 9.	Análisis de varianza de diámetro de inflorescencia de brócoli ‘Atlas’	45

Tabla 10	Análisis de regresión de diámetro de inflorescencia de brócoli 'Atlas'	45
Tabla 11	Prueba de hipótesis de los coeficientes de regresión de diámetro de inflorescencia de brócoli 'Atlas'	46
Tabla 12	Análisis de varianza de peso de inflorescencia de brócoli 'Atlas'	47
Tabla 13	Análisis de regresión lineal de peso de inflorescencia del brócoli 'Atlas'	47
Tabla 14	Análisis de las hipótesis del coeficiente de regresión de peso de inflorescencia de brócoli 'Atlas'	48
Tabla 15	Análisis de varianza del rendimiento del brócoli 'Atlas'	49
Tabla 16.	Regresión lineal de rendimiento de inflorescencias de brócoli 'Atlas'	50
Tabla 17.	Prueba de hipótesis de los coeficientes de regresión para el rendimiento del brócoli 'Atlas'	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de los tratamiento en el campo experimental	34
Figura 2. Regresión lineal de altura de planta en relación con los niveles de ácido húmico	42
Figura 3. Regresión lineal de diámetro de tallo en relación con los niveles de ácido húmico	44
Figura 4. Regresión polinómica de diámetro de inflorescencia en relación con los niveles de ácido húmico	46
Figura 5. Regresión lineal de peso de inflorescencia de brócoli 'Atlas' en relación a los niveles de ácido húmico	48
Figura 6. Regresión lineal de rendimiento de inflorescencia del brócoli 'Atlas' en relación a los niveles de ácido húmico ..	51

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Resultados del análisis de suelo del campo experimental	66
Anexo 2. Datos de las variables en estudio en el cultivo de brócoli	
'Atlas'	67
Anexo 3. Panel fotográfico de la conducción del cultivo	72
Anexo 4. Panel fotográfico de toma de datos.....	75

RESUMEN

En este trabajo de investigación se buscó determinar el efecto de diferentes niveles del Full Humic 15 en el rendimiento del brócoli cultivar 'Atlas' en el CEA III "Los Pichones". Los niveles de Full Humic 15 utilizados fueron: 25, 30, 45 y 60 en L ha⁻¹, y se establecieron en un diseño experimental de bloques completos al azar con seis repeticiones. Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza y se realizó un análisis de regresión para determinar la tendencia y encontrar el nivel que genera el mayor rendimiento. Se encontró que la respuesta del rendimiento en relación a los niveles de Full Humic 15 fue lineal, lo que significa que un incremento de un litro de Full Humic 15 resultó en un incremento de 0,028 t ha⁻¹ en el rendimiento.

Palabras clave: ácido húmico, peso de Inflorescencia, cultivar 'Atlas', niveles de Full Humic

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the effect of different levels of Full Humic 15 on the yield of broccoli cultivar 'Atlas' at CEA III "Los Pichones". The levels of Full Humic 15 used were: 25, 30, 45 and 60 in L ha⁻¹, and were established in a randomized complete block experimental design with six replications. The data were analyzed by analysis of variance and a regression analysis was performed to determine the trend and find the level that generates the highest yield. It was found that the yield response in relation to Full Humic 15 levels was linear, meaning that an increase of one liter of Full Humic 15 resulted in an increase of 0,028 t ha⁻¹ in yield.

Key words: humic acid, inflorescence weight, cultivar 'Atlas', Full Humic levels.

INTRODUCCIÓN

El brócoli, es una hortaliza de invierno de la familia Brassicaceae, está influenciado por diversos factores como la temperatura, humedad y estrés biótico y abiótico, lo que afecta su crecimiento y rendimiento. Esta hortaliza es muy nutritiva y se puede consumir fresca o cocida, ya que es rica en fibra, vitaminas A, C y K, y minerales como potasio y ácido fólico. En Tacna, los suelos agrícolas son salinos y el uso excesivo de agroquímicos deteriora sus propiedades químicas y físicas, lo que afecta su fertilidad y aptitud productiva.

El ácido húmico es una sustancia derivada de la descomposición de materia orgánica, como residuos vegetales y animales. Las sustancias húmicas tienen un papel importante en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, así como en la fertilidad y producción de cultivos, tanto de forma directa como indirecta. Los efectos directos incluyen la estimulación del crecimiento de raíces y la mejora de la disponibilidad de nutrientes en condiciones de estrés salino, hídrico y biótico. Los efectos indirectos incluyen el aumento de la capacidad de intercambio catiónico, la regulación del pH del suelo y la mejora de la estructura y retención de

humedad del suelo. El ácido húmico es actualmente un fertilizante de bajo costo utilizado en la producción de cultivos.

Las investigaciones llevadas a cabo han demostrado que el ácido húmico desempeña una función crucial en la absorción de los macronutrientes primarios, como el nitrógeno, el fósforo y el potasio, los cuales son esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. El nitrógeno, en particular, es un nutriente limitante en la producción y forma parte de la estructura de la planta, mientras que el fósforo promueve el desarrollo de las raíces y proporciona energía a través de la síntesis de ATP. Por su parte, el potasio actúa como activador de enzimas y regula la osmótica en el metabolismo de los carbohidratos.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

El brócoli es una hortaliza que se produce en pequeñas parcelas de una a dos hectáreas, lo que la convierte en una alternativa viable para los pequeños agricultores. En el Perú, se siembran anualmente 2 500 hectáreas de brócoli, y toda la producción se destina al consumo interno (MIDAGRI, 2023).

No obstante, la agricultura se enfrenta a un problema importante relacionado con la dependencia y uso indiscriminado de fertilizantes químicos y plaguicidas, como insecticidas, fungicidas y herbicidas. Estos productos afectan negativamente la micro y macrofauna del suelo, contaminando y volviendo infértil gran parte de los suelos agrícolas en todo el mundo. Esto, a su vez, pone en riesgo la seguridad alimentaria y la salud de los consumidores.

Para abordar este problema, es necesario implementar prácticas agrícolas sostenibles que hagan uso de fuentes orgánicas y productos de origen natural. De esta manera, se puede reducir el uso de agroquímicos

evitar la pérdida de suelos fértiles, contribuyendo a la conservación de los ecosistemas agrícolas y a la seguridad alimentaria.

El uso excesivo de fertilizantes sintéticos causa daño al suelo debido a los residuos que dejan. La ecoagricultura es una alternativa que utiliza productos amigables con el medio ambiente para evitar dañar los ecosistemas. Una solución para este problema es el uso de ácidos húmicos naturales, los cuales ayudan a mejorar las propiedades del suelo, reducir la salinización y evitar la pérdida de fertilidad. La aplicación de ácidos húmicos mejora el crecimiento y rendimiento de las plantas al aumentar la absorción de nutrientes y la capacidad de intercambio catiónico. Estos ácidos son de origen natural y se obtienen de la leonardita, un material rico en materia orgánica. Para evaluar los efectos de los ácidos húmicos y fúlvicos en el cultivo de brócoli se formularon las preguntas.

1.2 Formulación del Problema

1.2.1 Problema General

¿La aplicación del ácido húmico comercial Full Humic 15 logrará incrementar el rendimiento del cultivo de brócoli 'Atlas' en el Centro de Experimentación Agrícola III "Los Pichones" Tacna?

1.2.2 Problemas Específicos

¿Cuál es será el nivel apropiado del ácido húmico comercial Full Humic 15, para obtener el mayor rendimiento de brócoli 'Atlas'?

¿Cuál será el nivel de ácido húmico comercial Full Humic 15 con el que se obtiene el mayor incremento de los indicadores de crecimiento de brócoli 'Atlas'?

1.3 Delimitación de la Investigación

1.3.1 Espacio

La investigación se llevó a cabo en el Fundo Los Pichones del Centro Experimental Agrícola III de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.

1.3.2 Tiempo

El estudio se realizó desde septiembre hasta diciembre de 2019.

1.4 Justificación

Con el presente trabajo de investigación se buscan nuevas alternativas para reducir el uso de fertilizantes sintéticos y desarrollar una agricultura menos dañina para los ecosistemas, incrementando los rendimientos y brindando productos de calidad para los consumidores.

El objetivo de este estudio es encontrar soluciones para reducir el uso indiscriminado de fertilizantes químicos y plaguicidas, los cuales causan daños irreparables en los ecosistemas agrícolas y pérdida de suelos. Para ello, se propone el uso de un ácido húmico comercial en el cultivo de brócoli, el cual puede mejorar la estructura del suelo, incrementar la absorción de nutrientes por parte de la planta, aumentar la biota y microbiota del suelo, y mejorar la fertilidad del suelo. Además, se espera que esta alternativa permita reducir el uso de fertilizantes sintéticos y desarrollar una agricultura más sostenible y productiva.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos

2.1.1 General

Determinar el incremento del ácido húmico comercial *Full Humic 15* en el rendimiento del brócoli 'Atlas' en el CEA III "Los Pichones", Tacna.

2.1.2 Específico

Determinar el nivel apropiado del ácido húmico comercial *Full Humic 15* con el que se obtiene el mayor rendimiento del brócoli 'Atlas'.

Determinar el nivel con el que se obtiene el mayor incremento de los indicadores de crecimiento del brócoli 'Atlas'.

2.2 Hipótesis

2.2.1 General

El rendimiento del brócoli 'Atlas' se incrementa con la aplicación de ácido húmico comercial *Full Humic 15* en el CEA III "Los Pichones", Tacna.

2.2.2 Específica

Existe una dosis del ácido húmico comercial *Full Humic 15* con el cual se obtiene el mayor rendimiento del brócoli 'Atlas'.

Existe una dosis de ácido húmico comercial *Full Humic 15* que permite obtener el mayor incremento de los indicadores de crecimiento del brócoli 'Atlas'.

2.3 Variables

2.3.1 Independiente

Niveles de ácido húmico (X)

2.3.2 Dependiente

Rendimiento por parcela (Y)

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes

En el estudio realizado por Hidrogo (2015), se evaluaron diferentes dosis de ácido húmico granulado derivado de la leonardita, así como ácidos fúlvicos enriquecidos con macro y micronutrientes, en el brócoli cultivar Royal Favor F-1 Hyb. Los resultados mostraron que la aplicación de 30 y 50 L ha⁻¹ y 200 kg ha⁻¹ de ácidos húmicos y fúlvicos, respectivamente, condujo a un aumento en el rendimiento. Se obtuvieron rendimientos de 14,67; 15,07 y 14,47 t ha⁻¹. Además, esta aplicación también resultó en un incremento en la rentabilidad del cultivo.

En el estudio llevado a cabo por Zamora (2014), se evaluó el efecto de ácidos húmicos y fúlvicos en dos cultivares *Brassica oleracea* var. Italica específicamente 'Avenger' y 'Legacy', en condiciones de Ambato, Ecuador. Se observó que el cultivar Avenger respondió de manera más favorable a la aplicación de ácidos húmicos y fúlvicos, logrando un rendimiento de 21,44 t ha⁻¹. Además, presentó una altura de planta de 66,21 cm, un diámetro del florete de 30,56 cm y un peso de florete de 0,728 kg. Por otro lado, el ácido húmico Pieler demostró tener mayor efecto en el brócoli, con

un rendimiento de floretes de $18,09 \text{ t ha}^{-1}$, una altura de planta de $60,68 \text{ cm}$ y un diámetro y peso de florete de $29,19 \text{ cm}$ y $0,597 \text{ kg}$ respectivamente. Como conclusión, se determinó que los ácidos húmicos y fúlvicos mejoran el crecimiento y desarrollo del cultivo, aumentando su rendimiento.

Selim & Ali Mosa (2012) llevaron a cabo una investigación sobre los efectos de la fertirrigación con ácidos húmicos en el cultivo de brócoli. Aplicaron diferentes tratamientos con y sin ácidos húmicos, evaluando el rendimiento, la calidad y la disponibilidad de nutrientes en el suelo. Los resultados mostraron que la fertirrigación con ácidos húmicos incrementó la retención de agua en la zona radicular, mejoró el rendimiento y el diámetro de la inflorescencia del brócoli. Además, se observó una mejora en los parámetros de calidad, como los sólidos solubles totales, las proteínas y la vitamina C. También se encontraron concentraciones más altas de nutrientes en las inflorescencias y en el suelo después de la cosecha, lo que indicó una mejora en la fertilidad del suelo. En conclusión, la fertirrigación con ácidos húmicos se considera una opción interesante para mejorar el estado del agua y los nutrientes del suelo, lo que resulta en un mejor crecimiento y desarrollo de las plantas de brócoli.

En el estudio realizado por Yılmaz et al. (2013), se examinó el efecto del ácido húmico en la absorción de zinc en el cultivo de brócoli cv. Marathon. Se aplicaron 2 g.m^{-2} de $\text{Zn SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y se evaluó la interacción

entre el ácido húmico y el zinc. Los resultados revelaron que el ácido húmico y la aplicación de Zinc no tuvieron un efecto significativo en la altura de la planta, la longitud de la inflorescencia y el peso seco. Sin embargo, se observó un aumento en el número de hojas y el rendimiento total de inflorescencias comercializables del brócoli.

En el estudio realizado por Hawall et al. (2018), se evaluó el efecto de distintos niveles de ácido húmico aplicados tanto por vía foliar como al suelo sobre el crecimiento y los componentes del rendimiento del brócoli (*Brassica oleracea* L. var. *corato*). Se utilizaron tres dosis foliares (2,5; 3,5 y 4,5 ml L⁻¹) y tres dosis aplicadas al suelo (1,5; 2,5 y 3,5 ml L⁻¹), comparándolas con un grupo control sin aplicación. El ácido húmico fue aplicado cuatro veces, dos semanas después del trasplante. Los resultados mostraron que la aplicación de ácido húmico al suelo a una dosis de 1,5 ml L⁻¹ produjo la mayor altura de planta (53 cm), el mayor peso de la inflorescencia (403,5 g) y un rendimiento de 50 t ha⁻¹. Por otro lado, la aplicación foliar de ácido húmico a una dosis de 2,5 ml L⁻¹ mejoró el diámetro de la inflorescencia, mientras que la dosis de 3,5 ml L⁻¹ tuvo un impacto en los sólidos solubles totales (SST). En conclusión, los autores sugirieron que la aplicación de ácido húmico al suelo a una dosis de 1,5 ml L⁻¹ podría ser una estrategia efectiva para aumentar el rendimiento en el cultivo de brócoli.

3.2 Ácidos Húmicos Importancia y Efectos

Los ácidos húmicos (AH) son componentes esenciales de la materia orgánica del suelo, jugando un papel fundamental en la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos debido a sus propiedades fisicoquímicas y bioquímicas únicas. Constituyen aproximadamente el 60% de la materia orgánica del suelo y se forman a través de procesos de descomposición microbiana de residuos vegetales y animales bajo condiciones específicas de temperatura, humedad y aireación (Veobides-Amador et al., 2018). Se clasifican en humina, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos, dependiendo de su solubilidad en diferentes pH (Montoya Salazar et al., 2001; Veobides-Amador et al., 2018).

3.2.1 Beneficios para el Suelo y las Plantas

Mejora de la Estructura del Suelo: Los AH contribuyen significativamente a la estructura del suelo, mejorando su capacidad de retención de agua y su capacidad de intercambio catiónico. Esto resulta en un suelo más fértil y con mejores condiciones para el crecimiento de las plantas (Mosquera et al., 2007).

3.2.1.1 Biostimulantes y Alivio del Estrés. Los AH actúan como biostimulantes, promoviendo el crecimiento y desarrollo de las plantas. Se ha demostrado que pueden aliviar el estrés abiótico, como la sequía, al mejorar los sistemas de defensa antioxidante de las plantas (Peleato, 2015). En condiciones de estrés nutricional, los AH han mostrado efectos positivos en el crecimiento de plántulas de maíz, evidenciando su capacidad para mejorar la absorción de nutrientes bajo condiciones adversas (Nardi et al., 2016).

3.2.1.2 Interacciones con Contaminantes y Enmiendas del Suelo. Los AH pueden asociarse con una variedad de compuestos inorgánicos y orgánicos, incluyendo metales tóxicos y contaminantes orgánicos persistentes, reduciendo su toxicidad y mejorando la bioaccesibilidad de nutrientes inmóviles (Matuszak-Slamani et al., 2023). Estas propiedades son cruciales para la remediación de suelos contaminados, como se observa en estudios donde complejos de humato-calcita disminuyeron significativamente la concentración de Cd y As en plantas cultivadas en suelos contaminados (Moreno, 2023).

3.2.1.3 Procesos Moleculares y Genéticos. Los AH influyen en varios procesos moleculares dentro de las plantas, incluyendo modificaciones genéticas, post-transcripcionales y post-traduccionales, que fortalecen la tolerancia de las plantas a diversos tipos de estrés abiótico. Estas sustancias pueden inducir redes metabólicas y hormonales que mejoran la salud y productividad de las plantas (Moreno, 2023).

3.3 Ácidos Fúlvicos

Los ácidos fúlvicos son un componente esencial de la materia orgánica del suelo y juegan un papel crucial en la fertilidad y salud del suelo. Estos ácidos son una fracción de los humatos y se caracterizan por su baja masa molecular y alta solubilidad en un rango amplio de pH, lo que los hace altamente móviles en el suelo y disponibles para las plantas.

Los ácidos fúlvicos tienen la capacidad de quelar nutrientes, es decir, formar complejos solubles con minerales y metales, mejorando así su disponibilidad para las plantas. Esto es particularmente importante para micronutrientes como el hierro, zinc y manganeso, que a menudo están en formas insolubles y no disponibles para la absorción de las plantas (Vivas, 2001).

Además, los ácidos fúlvicos mejoran la estructura del suelo al promover la agregación de partículas, lo que aumenta la porosidad y la capacidad de retención de agua del suelo. También actúan como agentes

antioxidantes y pueden neutralizar radicales libres, protegiendo así a las raíces de las plantas del estrés oxidativo (Vivas, 2001).

En términos de salud del suelo, los ácidos fúlvicos también desempeñan un papel vital en la actividad microbiana. Proporcionan una fuente de carbono fácilmente accesible para los microorganismos del suelo, lo que puede aumentar la actividad microbiana y, en consecuencia, la descomposición de materia orgánica y la liberación de nutrientes esenciales (Oxford Academic, 2024).

3.3.1 Funciones y Beneficios de los Ácidos Húmicos en el Suelo

3.3.2 Mejora de la Estructura del Suelo

Los ácidos húmicos desempeñan un papel crucial en la mejora de la estructura del suelo. Estos compuestos orgánicos aumentan la formación de agregados del suelo, mejorando así la porosidad y la capacidad de retención de agua. La presencia de ácidos húmicos en el suelo promueve la estabilidad de los agregados, lo que facilita la penetración y el crecimiento de las raíces. Según estudios recientes, los ácidos húmicos pueden aumentar la resistencia a la compactación del suelo, lo que es vital para mantener un entorno saludable para las raíces de las plantas (Moreno, 2023).

3.3.3 Retención de Nutrientes

Los ácidos húmicos mejoran significativamente la retención de nutrientes en el suelo, actuando como una reserva de nutrientes esenciales para las plantas. Estos ácidos tienen la capacidad de quelar cationes metálicos como el hierro, el magnesio y el zinc, haciendo más disponibles para la absorción por las plantas. Esto no solo mejora la eficiencia del uso de fertilizantes, sino que también reduce la pérdida de nutrientes por lixiviación, un problema común en suelos arenosos o muy lluviosos (Espinosa-Antón et al., 2020).

3.3.4 Interacción con Microorganismos

La interacción de los ácidos húmicos con los microorganismos del suelo es otro beneficio importante. Estos ácidos proporcionan una fuente de carbono y energía para los microorganismos del suelo, lo que aumenta su actividad y población. Una mayor actividad microbiana conduce a un mejor procesamiento de la materia orgánica y a la liberación gradual de nutrientes para las plantas. Además, los ácidos húmicos pueden ayudar a suprimir patógenos del suelo, mejorando la salud general del ecosistema del suelo (Moreno, 2023).

Estas funciones y beneficios hacen que los ácidos húmicos sean un componente esencial en la gestión sostenible del suelo, promoviendo una agricultura más eficiente y ecológica. La mejora de la estructura del suelo,

la retención de nutrientes y la interacción con los microorganismos son solo algunas de las maneras en que los ácidos húmicos contribuyen al mantenimiento de suelos saludables y productivos.

3.4 Huminos

Los huminos representan una fracción importante y compleja de la materia orgánica del suelo. A diferencia de los ácidos húmicos y fúlvicos, los huminos son las fracciones de la materia orgánica del suelo que no son solubles en agua bajo condiciones ácidas ni alcalinas, lo que les confiere una alta estabilidad en el suelo.

Los huminos se caracterizan por su estructura altamente condensada y su elevado peso molecular, lo que les permite desempeñar un papel crucial en la retención de carbono en el suelo. Esta fracción contribuye significativamente a la estructura física del suelo, mejorando su capacidad para retener agua y nutrientes, y actuando como una reserva a largo plazo de materia orgánica (Li et al., 2024).

Además, los huminos exhiben una notable capacidad para adsorber y desactivar contaminantes orgánicos e inorgánicos, lo que ayuda a mitigar la toxicidad en el entorno del suelo. Esta capacidad de adsorción se debe a la abundancia de grupos funcionales reactivos, como grupos ácidos, fenólicos y amínicos, presentes en su estructura (Li et al., 2024).

En estudios recientes, se ha observado que los huminos tienen una estructura tridimensional compacta que les permite interactuar de manera efectiva con otros componentes del suelo, como minerales y microorganismos, contribuyendo así a la estabilidad y fertilidad del suelo (Espinosa-Antón et al., 2020).

3.5 Sustancias Húmicas

3.5.1 Caracterización Química de las Sustancias Húmicas

Las sustancias húmicas carecen de una estructura definida y su composición física y química varía según su origen, método de extracción y otros parámetros (Lobartini & Orioli, 1996). Se dividen en dos grupos: ácidos húmicos y ácidos fúlvicos. La reacción de estas sustancias en las plantas y los suelos está relacionada estrechamente con la concentración y el tipo de grupos funcionales presentes, como carboxilos, alcoholes, hidroxilos y carbonilos, especialmente dentro del grupo de oxigenados. Además, se ha demostrado ampliamente la presencia de grupos nitrogenados en estas sustancias (Vivas, 2001).

3.5.2 Efectos Fisiológicos de las Sustancias Húmicas en las Plantas

Las sustancias húmicas tienen una acción fisiológica directa que estimula el crecimiento y desarrollo de las plantas, así como efectos en la absorción y transporte de nutrientes y en el metabolismo de las plantas (Vivas, 2001). Aunque no son fuentes significativas de nitrógeno, fósforo y

azufre, su influencia beneficiosa en la nutrición de las plantas es motivo de continuos estudios en la agricultura (Lobartini & Orioli, 1996).

Las investigaciones han revelado que las sustancias húmicas ejercen efectos fisiológicos en el crecimiento y el metabolismo de las plantas, dependiendo de su fuente, concentración y peso molecular. Las sustancias húmicas de bajo peso molecular son fácilmente absorbidas y tienen un impacto positivo en la absorción de nutrientes, como el nitrato (NO₃), al interactuar con la membrana plasmática de las células vegetales. Por otro lado, las sustancias húmicas de alto peso molecular interactúan principalmente en la pared celular (Serenella Nardi et al., 2023).

Aunque los efectos de las sustancias húmicas en el metabolismo aún no están completamente comprendidos, se ha observado que pueden influir en procesos fisiológicos como la fotosíntesis y la respiración, además de mostrar actividad similar a las fitohormonas. No está claro si la actividad está relacionada con la estructura química de las sustancias húmicas o las fitohormonas, en cualquier caso, se ha comprobado que las sustancias húmicas estimulan el crecimiento y desarrollo de las células vegetales (Nardi et al., 2016).

3.5.3 Efectos de las Sustancias Húmicas Sobre el Suelo

Las sustancias húmicas tienen múltiples efectos en la productividad y fertilidad del suelo, afectando propiedades como el color, la estructura, el

intercambio iónico, la complejación y quelación, la absorción de nutrientes, la combinación con moléculas orgánicas, la acción biológica, el poder descontaminante y la bioprotección (Vivas, 2001).

Se ha encontrado que las sustancias húmicas, como los ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas, promueven la formación de agregados de mayor estabilidad y persistencia en el suelo. Varios estudios han concluido que la materia orgánica del suelo desempeña un papel relevante en la formación de agregados estables, mejorando así las características físicas del suelo (Ruiz et al., 1997).

Las sustancias húmicas tienen un impacto en las propiedades fisicoquímicas del suelo y en la disponibilidad de nutrientes. Su naturaleza coloidal y la presencia de diversos grupos funcionales en su estructura les permite formar derivados órgano-minerales que regulan la dinámica de muchas moléculas orgánicas e inorgánicas en el suelo (Vivas, 2001).

La importancia y el efecto de las sustancias húmicas en el suelo han sido reconocidos desde hace mucho tiempo. Incluso una pequeña cantidad de estas sustancias presente en el suelo confiere propiedades favorables, mejorando la aireación, permeabilidad, estructura, estabilidad y retención de humedad del suelo debido a su capacidad para formar agregados estables (Lobartini & Orioli, 1996).

3.5.4 Efectos de las Sustancias Húmicas en la Nutrición Mineral de las Plantas

Los efectos de las sustancias húmicas en la nutrición mineral han sido objeto de numerosos estudios. Se ha observado que estas sustancias tienen un impacto en la solubilidad de los nutrientes, especialmente en el caso de los fosfatos de baja solubilidad como la apatita y los fosfatos de hierro y aluminio. La interacción entre las sustancias húmicas y estos fosfatos conduce a la formación de un producto insoluble llamado SH-catió, mientras que el anión fosfato queda en la solución del suelo, disponible para la absorción por parte de las raíces de las plantas (Lobartini & Orioli, 1996).

3.6 Aspectos Generales del Brócoli

3.6.1 Origen

3.6.1.1 Origen del Brócoli

El brócoli, originario del Mediterráneo oriental y Asia Menor, fue cultivado en Italia durante la época romana y posteriormente se introdujo en Inglaterra y América en el siglo XVIII. Los orígenes de esta verdura se remontan a la costa europea, donde todavía se pueden encontrar especies silvestres de brócoli y col en los acantilados de rocas de caliza en el Reino Unido y los Países Bajos (Escaff & Bruna, 1984).

3.6.2 Clasificación Botánica

Según Valadez (1989) el brócoli se clasifica de la siguiente manera:

Reino	: Vegetal
División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida (Dicotiledoneas)
Sub-Clase	: Dillenidae
Orden	: Capareles
Familia	: Brassicaceae
Género	: Brassica
Especie	: Oleraceae
N. común	: Brócoli

3.6.3 Morfología de la Planta de Brócoli

3.6.3.1 Raíz. El brócoli posee una raíz pivotante con abundantes raíces secundarias, que se extienden de manera profusa. La raíz puede penetrar hasta una profundidad de 120 cm (Casseres, 1966).

3.6.3.2 Hojas. Las hojas del brócoli son de color verde oscuro y presentan un limbo hendido con estipulas largas. Se caracterizan por tener una nervadura central muy pronunciada desde la base de la hoja. El limbo está compuesto por pequeños fragmentos que forman foliolos. Las hojas tienen una longitud de 40 a 50 cm (Casseres, 1980).

3.6.3.3 Flor. El brócoli produce una gran cantidad de flores pequeñas. Estas flores son hipóginas, regulares y completas, y constan de cuatro sépalos y cuatro pétalos amarillos dispuestos en ángulo agudo, generalmente en forma de cruz. Cuentan con seis estambres, cuatro largos y dos cortos, así como un pistilo con dos carpelos y lóbulos (Vigliola, 2003).

3.6.3.4 Inflorescencia. La inflorescencia del brócoli, también conocida como florete o pella, consiste en una cabeza principal y otras laterales formadas por yemas florales. Estas inflorescencias son de color verde oscuro, semicompactas y se asientan sobre un tallo floral corto pero bien desarrollado (Toledo, 2003).

3.6.3.5 Frutos. Los frutos del brócoli, botánicamente llamados silicuas, tienen una longitud de 3 a 4 cm y presentan un color verde oscuro. En su interior se encuentran las semillas (Vigliola, 2003).

3.6.3.6 Semilla. Las semillas del brócoli son de color marrón oscuro, tienen un diámetro de 2 a 3 mm y una forma similar a la de una munición (Toledo, 2003).

3.6.4 Etapas de Crecimiento del Brócoli

El brócoli es una planta anual de estación fría que normalmente completa su ciclo de vida en una sola temporada de cultivo. Sin embargo, es importante destacar que genéticamente las plantas de brócoli están diseñadas para crecer como plantas bienales, lo que implica completar su ciclo de vida en dos años (Escaff. & Bruna, 1984).

3.6.4.1 Germinación. El primer paso de la germinación del brócoli es la aparición de la radícula, también conocida como raíz primaria, al romper la cubierta de la semilla. La función de la radícula es anclar las plántulas de brócoli en el suelo, permitiendo que las plantas se mantengan en posición vertical. Una vez que la radícula emerge, comienza a absorber la humedad y los nutrientes del suelo, impulsando así el crecimiento de la planta. En condiciones normales, esta etapa suele comenzar entre 5 y 10 días después de la siembra (Toledo, 2003).

3.6.4.2 Formación de la Primera Hoja Verdadera. Durante este periodo, el crecimiento de la planta de brócoli es gradual debido a los recursos limitados de los que dispone. La plántula recién brotada depende de las reservas internas de nutrientes del endospermo para llevar a cabo sus procesos metabólicos, pero estas reservas van disminuyendo con el tiempo. Es crucial que el brócoli desarrolle hojas y comience la fotosíntesis para poder producir su propio alimento y sustentar su crecimiento. A medida que se inicia la fotosíntesis, la planta adquiere mayor autonomía y puede utilizar la energía del sol para impulsar su desarrollo.

3.6.4.3 Formación de la Tercera hoja Verdadera

La capacidad de realizar fotosíntesis acelera el crecimiento de la planta de brócoli al trabajar a toda máquina las hormonas del crecimiento vegetal que se encuentran en el interior de las células indiferenciadas

recién desarrolladas de la planta de semillero. Estas hormonas impulsan el desarrollo de nuevas hojas, incluyendo el tercer conjunto de hojas verdaderas, lo que a su vez aumenta la tasa de fotosíntesis y promueve un crecimiento acelerado (Casseres, 1981).

3.6.4.4 Emergencia Floral

Durante la etapa de emergencia floral, que ocurre aproximadamente entre las 18 y 20 hojas y tras 40 a 45 días desde el trasplante, las flores comienzan a aparecer en las plantas. A partir de este punto, la planta experimenta un crecimiento lineal, donde su enfoque principal se dirige al desarrollo de la cabeza floral. Como resultado, se observa una disminución en la tasa de emisión de hojas, la expansión de la superficie foliar y el crecimiento del tallo (Casseres, 1980).

3.6.4.5 Cosecha

La cosecha del brócoli se realiza cuando la cabeza central ha alcanzado su completo desarrollo, pero antes de que los brotes individuales se abran y muestren pequeñas flores amarillas. En ese momento, la cabeza principal se encuentra apretada y compacta, y los ramilletes exhiben un color verde intenso y vibrante. Es importante que cada flor tenga aproximadamente el tamaño de una cerilla para garantizar la calidad óptima de la cosecha (INTAGRI, 2021).

3.6.5 Factores agroclimáticos del brócoli

3.6.5.1 Temperatura. La temperatura desempeña un papel fundamental en el crecimiento del brócoli. Durante la etapa de germinación, la planta requiere un rango de temperatura de 5 a 25 °C. Para un crecimiento y desarrollo óptimos, la temperatura fluctúa entre 15 a 25 °C, siendo 17 °C la temperatura ideal. Sin embargo, temperaturas por debajo de 0 °C o superiores a 30 °C inhiben el desarrollo de las inflorescencias (Vigliola, 2003).

3.6.5.2 Suelo. La planta de brócoli se adapta a diversos tipos de suelo, pero muestra un mejor rendimiento en suelos profundos y de textura franca. Es recomendable que los suelos contengan un alto contenido de materia orgánica para obtener un buen rendimiento de la planta. Además, el pH del suelo debe estar en el rango de 6,0 a 6,8, ya que el brócoli tiene poca tolerancia a la acidez (Toledo, 2003).

CAPÍTULO IV

MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Tipo de Investigación

La investigación fue de tipo experimental.

4.2 Ubicación del Campo Experimental

La investigación se llevó a cabo en el Centro Experimental Agrícola III "Los Pichones", el cual es propiedad de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann y se encuentra en la región Tacna. Sus coordenadas geográficas son 17° 39' 30" S y 70° 14' 22" W, con una altitud de 560 metros sobre el nivel del mar (msnm).

4.3 Cultivos Anteriores en Campo Experimental

En el espacio experimental se llevaron a cabo diferentes cultivos. En la campaña del año 2017 se cultivó arveja, mientras que en el año 2018 se cultivó pepinillo.

4.4 Análisis del Suelo

El análisis del suelo del campo experimental reveló diversas propiedades físicas, químicas y biológicas, las cuales se presentan en la tabla 1. Los

resultados indican lo siguiente: el pH del suelo es 4,74, lo cual indica una fuerte acidez. Además, se determinó que el suelo no es salino, con una conductividad eléctrica (CE) de 2,44. El contenido de materia orgánica (MO) es bajo, con un valor de 1,21%. Se observa un exceso de fósforo, con 85,11 ppm, y un alto nivel de potasio, con 630 ppm. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se considera media, lo que indica una buena disponibilidad de nutrientes en el suelo. El PSI (porcentaje de sodio intercambiable) es bajo, lo que significa que el suelo no presenta una alta concentración de sodio, lo cual es favorable para el crecimiento del cultivo.

Tabla 1

Resultados del análisis del suelo del campo experimental CEA III “Los Pichones”

Parámetro	Unidad	Valor
Arena	%	61,2
Limo	%	28,4
Arcilla	%	10,4
Clase textural	Fco. Arenoso	
pH		4,74
CE	dS/m	2,44
CaCO ₃	%	0
MO	%	1,21
Nitrógeno (N)	%	0,064
Fósforo (P)	ppm	85,11
Potasio (K)	ppm	630
CIC	meq/100 g	13,4
PSI	%	3,88
Saturación de bases	%	85,22
Cationes		
Ca ⁺⁺	meq/100 g	7,89
Mg ⁺⁺	meq/100 g	1,56
K ⁺	meq/100 g	1,45
Na ⁺	meq/100 g	0,52

Fuente: Laboratorio de Análisis Químicos & Servicios de Arequipa, 2019

4.5 Condiciones Meteorológicas

Las condiciones meteorológicas registradas durante el trabajo de investigación no tuvieron un impacto significativo en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Tanto las temperaturas como la humedad relativa se mantuvieron dentro del rango óptimo para el cultivo del brócoli. La temperatura máxima registrada fue de 22,4 °C en octubre, mientras que la mínima se alcanzó en agosto, con 9,6 °C. En cuanto a la humedad relativa, el valor más bajo fue de 79,3 % en octubre, y el más alto se presentó en agosto, con 89,9 %. Estas condiciones climáticas se consideran idóneas para el adecuado desarrollo del brócoli.

Tabla 2

Registro de los datos climáticos durante el periodo de la investigación

Meses	Temperatura		Humedad relativa (HR)	Precipitación
	Máxima	Mínima	(%)	(mm/día)
Junio	19,9	11,6	86,4	0,0
Julio	18,4	10,8	88,5	0,0
Agosto	18,8	9,6	89,8	0,0
Setiembre	20,5	11,2	88,0	0,2
Octubre	22,4	12,0	79,3	0,1
Noviembre	24,9	14,8	74,6	0,0

Fuente: Estación meteorológica Jorge Basadre MET MAP, Tacna 2019

4.6 Material Experimental

En el experimento se emplearon plantas de brócoli cv. 'Atlas' y se utilizó el ácido húmico comercial denominado Full Humic 15, cuya composición incluye ácidos húmicos y fúlvicos.

4.6.1 Características del Cultivar 'Atlas'

El cultivar 'Atlas' es un brócoli con un ciclo de vida de 70 a 75 días desde el trasplante. Tiene tallos cortos y cilíndricos, con una masa compacta de yemas florales en la parte superior. Las hojas son de color verde oscuro, ligeramente rizadas y festoneadas, más estrechas que las hojas de la coliflor. Las pellas son pequeñas, claras y granuladas, formando conglomerados cónicos. Los floretes son simétricos, uniformes y de color verde oscuro, con un diámetro de hasta 20 cm. El cultivar 'Atlas' también muestra resistencia o tolerancia a enfermedades como la alternaria y el mildiu polvoso.

4.6.2 Características del Full Humic 15

El Full Humic 15 es una solución derivada de leonardita que contiene elevados niveles de ácidos húmicos y fúlvicos, y se utiliza como un complemento para la materia orgánica con el fin de mejorar la fertilidad del suelo. Se recomienda diluirlo siempre antes de su aplicación, especialmente cuando se va a incorporar directamente al suelo. Este producto es particularmente adecuado para su uso en sistemas de fertirrigación. Tiene una apariencia líquida de color negro, un pH que varía

entre 11 y 12, y una densidad de 1,1 a 1,2 g/cc. Sus principales componentes incluyen un extracto húmico total (15%), ácidos húmicos (12%), ácidos fúlvicos (3%), nitrógeno (1%), fósforo (1%) y potasio (5%).

4.7 Tratamientos en Estudio

Los tratamientos utilizados fueron los siguientes: t_1 : 25 L ha⁻¹, t_2 : 30 L ha⁻¹, t_3 : 45 L ha⁻¹ y t_4 : 60 L ha⁻¹, de Full Humic 15.

4.7.1 Variables de Respuesta

4.7.2 Altura de Planta (cm)

La altura de las plantas se registró en tres momentos distintos después del trasplante: a los 30, 60 y 90 días. Se midió desde la base del cuello de la planta hasta la parte superior de la hoja utilizando una cinta métrica. Se tomaron al azar 10 plantas por unidad experimental para realizar las mediciones.

4.7.3 Diámetro de Tallo Principal

El diámetro del tallo principal se midió a nivel del suelo. Para ello, se seleccionaron aleatoriamente 10 plantas por cada unidad experimental. Las evaluaciones se realizaron a los 30, 60 y 90 días después del trasplante.

4.7.4 Diámetro de Ecuatorial de Inflorescencia

Se midió el diámetro ecuatorial de la inflorescencia utilizando una cinta métrica. Se seleccionaron aleatoriamente 10 plantas de cada unidad experimental. Esta evaluación se llevó a cabo en el momento de la cosecha.

4.7.5 Peso de Inflorescencia

El peso de las inflorescencias se registró en el momento de la cosecha. Utilizando una balanza de precisión, se promediaron los pesos de 10 inflorescencias seleccionadas al azar de cada unidad experimental. Los valores se expresaron en gramos.

4.7.6 Rendimiento

El rendimiento se determinó mediante el peso total de las inflorescencias cosechadas en cada unidad experimental. Esta evaluación se realizó durante la cosecha, cuando las plantas alcanzaron su madurez comercial. Los valores se expresaron en toneladas por hectárea.

4.8 Diseño Experimental

El diseño experimental utilizado fue el de bloques completos aleatorizados con seis repeticiones, siguiendo el siguiente modelo estadístico lineal:

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

Donde:

Y_{ij} = unidad experimental que recibe el tratamiento i y está en el bloque j

μ = Medio

β_j = Efecto del j -ésimo bloque

τ_i = Efecto del i -ésimo tratamiento

ε_{ij} = Efecto de la unidad experimental en el j-ésimo bloque sujeta al i-ésimo tratamiento (error experimental).

$i = 1, 2, 3, 4$, $t =$ número de tratamientos

$j = 1, 2, 3, 4, 5, 6$, $r =$ número de bloques

4.9 Características del Campo Experimental

4.9.1 Parcela

Largo: 24 m

Ancho: 24 m

Área total: 576 m²

4.9.2 Bloque

Largo: 8 m

Ancho: 12 m

Área total: 96 m²

4.9.3 Unidad experimental

Largo: 8 m

Ancho: 3 m

Área total: 24 m²

Distancia entre surcos: 1,5 m

Distancia entre plantas: 0,4 m

Número de plantas por unidad experimental: 40

4.10 Aleatorización de los Tratamientos

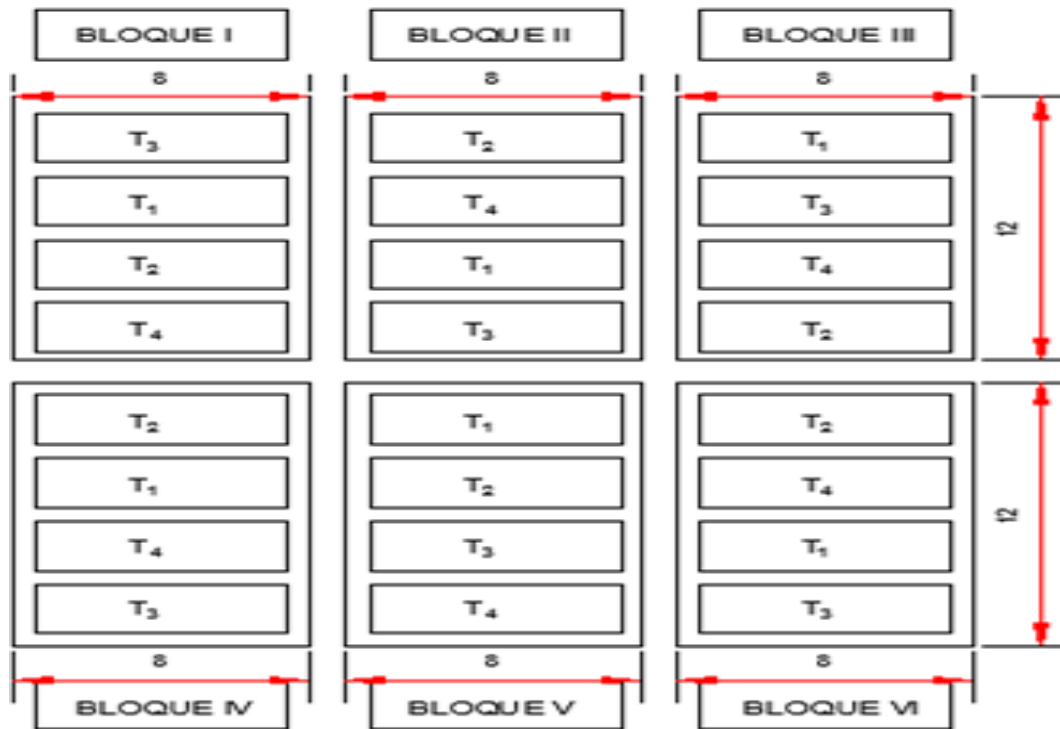


Figura 1. Distribución de los tratamientos en el campo experimental

4.11 Análisis Estadístico

Se utilizó la técnica de análisis de varianza para llevar a cabo el análisis estadístico. Se empleó la prueba estadística F con un nivel de significación del 5% o 1% (0,05 o 0,01). Con el objetivo de determinar el nivel óptimo y analizar las variables de respuesta en relación a los niveles de ácido húmico, se realizó el análisis de regresión.

4.12 Instalación y Conducción del Experimento

4.12.1 Análisis de Suelo

Para llevar a cabo el análisis fisicoquímico del suelo, se recolectaron diez submuestras siguiendo un patrón en zigzag en la zona donde se

realizó el ensayo. Estas submuestras se combinaron para formar una muestra compuesta, la cual fue enviada al Laboratorio de Análisis Químicos y Servicios en Arequipa para su evaluación.

4.12.2 Preparación del Terreno

Para preparar el terreno, se empleó maquinaria agrícola, específicamente un tractor, para realizar labores de arado y rastrillado. Posteriormente, se procedió a nivelar y delimitar el campo experimental.

4.12.3 Desinfección del Suelo

Se realizó la desinfección del suelo aplicando una mezcla de Chlorpirifos y Cipermetrina a una dosis de 1,5 ml por litro. Esta intervención se efectuó cinco días antes del trasplante con el objetivo de controlar gusanos trozadores como *Agrotis*, *Copitarsia*, *Feltia*, entre otros.

4.12.4 Parcelamiento y Surcado

Para delinear las parcelas o unidades experimentales, así como los caminos, se utilizaron estacas y cordeles. Este trazado se realizó dentro del bloque experimental, siguiendo las dimensiones previamente establecidas para el ensayo. Los surcos se formaron manualmente con el uso de una lampa, asegurando que cada surco recibiera riego de manera individualizada.

4.12.5 Fertilización de Fondo

La aplicación de fertilizantes y estiércol se llevó a cabo conforme al análisis del suelo y las necesidades específicas del cultivo. Se incorporaron

10 toneladas por hectárea de estiércol de vaca, junto con la totalidad del fósforo y potasio requeridos, además de la mitad del nitrógeno, cuatro días antes del trasplante. La fórmula utilizada para la fertilización fue de 190 kg ha⁻¹ de nitrógeno (N), 30 kg ha⁻¹ de fósforo (P₂O₅) y 30 kg ha⁻¹ de potasio (K₂O).

4.12.6 Almacigado

Previo a la siembra, se desinfectó el sustrato utilizando aproximadamente 2 litros de agua caliente para eliminar la mayor cantidad posible de microorganismos patógenos presentes en el suelo. La siembra se realizó en bandejas de propagación, colocando una semilla por celda, utilizando un sustrato compuesto por una mezcla de tierra agrícola, arena y abono orgánico en una proporción 1:1:1. Posteriormente, las semillas fueron cubiertas con humus. Este proceso de almacigado se llevó a cabo en el tinglado del fundo Los Pichones. Una vez finalizada la siembra, se realizó un riego abundante con agua para asegurar la adecuada humedad del sustrato.

4.12.7 Trasplante

El trasplante de los plantines se efectuó una vez que estos desarrollaron cuatro hojas verdaderas. Esta actividad se llevó a cabo durante la tarde para aprovechar las horas más frescas del día, facilitando así un mejor prendimiento. El trasplante se realizó de manera manual, abriendo pequeños hoyos en los cuales se colocaron los plantines. La

distancia de plantación establecida fue de 0,4 metros entre plantas y 1,45 metros entre surcos.

4.12.8 Replante o Recalce

Una semana después del trasplante, se llevó a cabo el proceso de replanteo o recalce. Durante este procedimiento, se reemplazaron aquellas plantas que no lograron arraigarse adecuadamente. Esta tarea es crucial para asegurar una densidad de cultivo uniforme y maximizar el rendimiento del campo. Las plantas sustitutas fueron seleccionadas cuidadosamente para garantizar que estuvieran en condiciones óptimas y se trasplantaron siguiendo los mismos cuidados empleados en el trasplante inicial. De este modo, se minimizó el impacto del fallo en el prendimiento de las plantas originales y se promovió un desarrollo homogéneo en toda la parcela experimental.

4.12.9 Aplicación de Ácidos Húmicos y Fúlvicos

Se llevaron a cabo aplicaciones de ácidos húmicos y fúlvicos (Full Humic 15) en cuatro dosis diferentes (25, 30, 45 y 60 l/ha), respetando una frecuencia específica de aplicación. Estas intervenciones se realizaron en momentos clave del ciclo del cultivo: inicialmente al momento del trasplante y luego a intervalos de 15, 30, 45 y 60 días posteriores al trasplante. Este enfoque buscó optimizar la absorción de nutrientes y mejorar el desarrollo del cultivo en cada etapa crucial de su crecimiento.

4.12.10 Riegos

Se utilizó el sistema de riego por goteo, instalando las cintas de riego tras la preparación de los surcos y realizando el primer riego de manera inmediata. Durante el ciclo de crecimiento del cultivo, se tuvo en cuenta las etapas fenológicas críticas para determinar el régimen de riego. Así, se llevó a cabo un riego regular con una frecuencia de dos veces por semana, específicamente los lunes y jueves, con una duración de una hora en cada riego. Este esquema de riego fue diseñado para asegurar una distribución adecuada de agua en momentos clave para el desarrollo óptimo del cultivo.

4.12.11 Deshierbado

El deshierbado se realizó en dos momentos clave: antes y después de la segunda aplicación de fertilización con nitrógeno. Para llevar a cabo esta labor, se utilizó una herramienta adecuada para eliminar las malezas sin dañar las plantas cultivadas. Tras cada intervención, se evaluó la presencia de malezas en el campo, y en función de los resultados obtenidos, se procedió a realizar un nuevo deshierbado para asegurar que la competencia por nutrientes, agua y luz fuera mínima, favoreciendo así el crecimiento del cultivo.

4.12.12 Control Fitosanitario

Se realizaron controles fitosanitarios luego de efectuar una evaluación visual detallada sobre la incidencia y la severidad de plagas y enfermedades en el cultivo. Estas evaluaciones se llevaron a cabo de

manera periódica durante todo el ciclo de crecimiento del cultivo, permitiendo un monitoreo constante de la salud de las plantas. En función de los resultados obtenidos, se aplicaron las medidas fitosanitarias necesarias para prevenir y controlar posibles brotes, garantizando así un desarrollo óptimo del cultivo y minimizando el impacto de estos factores en su rendimiento final.

4.12.13 Cosecha

La cosecha se realizó cuando la inflorescencia alcanzó la madurez comercial, lo que se define por la presencia de flores cerradas, sin considerar su tamaño. Esta acción se llevó a cabo siguiendo las especificaciones del mercado, antes de que la inflorescencia perdiera su forma compacta a causa de la maduración de las flores.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Resultados

5.1.1 Altura de Planta (cm)

Tabla 3

Análisis de varianza de altura de planta de brócoli 'Atlas'

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Bloques	5	50,78	10,16	2,77	0,0579 ns
Tratamientos	3	354,34	118,11	32,16	<0,0001 **
Error	15	55,08	3,67		
Total	23	460,20			

CV: 7,38 %

ns= No significativo

** Altamente significativo

En la Tabla 3 se presenta el análisis de la varianza, donde se observa que no se detectó ninguna diferencia estadísticamente significativa entre los bloques. Sin embargo, los tratamientos mostraron una diferencia estadística relevante, lo que sugiere que al menos uno de los tratamientos presentó valores significativamente distintos en comparación con los demás. Además, el coeficiente de variación registrado fue del 7,38%, lo que indica una variabilidad moderada en los datos obtenidos.

Tabla 4

Regresión polinomial de la altura de planta de brócoli 'Atlas'

Fuente	gl	SC	CM	Fc	Valor-P
Regresión	1	351,18	351,18	70,87	0,0001
Residual	22	109,02	4,96		
Total	23	460,20			

El análisis de regresión de la altura de la planta se presenta en la tabla 4, y los resultados fueron altamente significativos. Esto significa que las diferentes dosis de ácido húmico tuvieron un impacto positivo en la altura de la planta del cultivar de brócoli 'Atlas'. Además, el coeficiente de determinación fue del 76,31%, lo que indica que el modelo de regresión explica el 76,31% de la variabilidad observada en la altura de la planta.

Tabla 5

Prueba de hipótesis de los coeficientes de regresión de la altura de planta de brócoli 'Atlas'

	Coeficiente	Error típico	Tc	p-valor
Intercepción	14,78	1,40	10,53	<0,0001 **
Ácido húmico	0,28	0,03	8,42	<0,0001 **

La prueba de hipótesis para el coeficiente de regresión arrojó un resultado altamente significativo (tabla 5). Este hallazgo indica que, al agregar un litro de ácido húmico, la altura de la planta experimenta un incremento de 0,28 cm. La función de respuesta correspondiente a este efecto puede ser expresada como:

$$\hat{Y} = 14,78 + 2,28 X$$

La figura 2 exhibe una relación lineal, lo cual implica que, por cada litro de ácido húmico incrementado, la altura de la planta aumenta en 0,28 cm. Esta observación respalda la existencia de una tendencia positiva y constante en el efecto del ácido húmico sobre la altura de la planta.

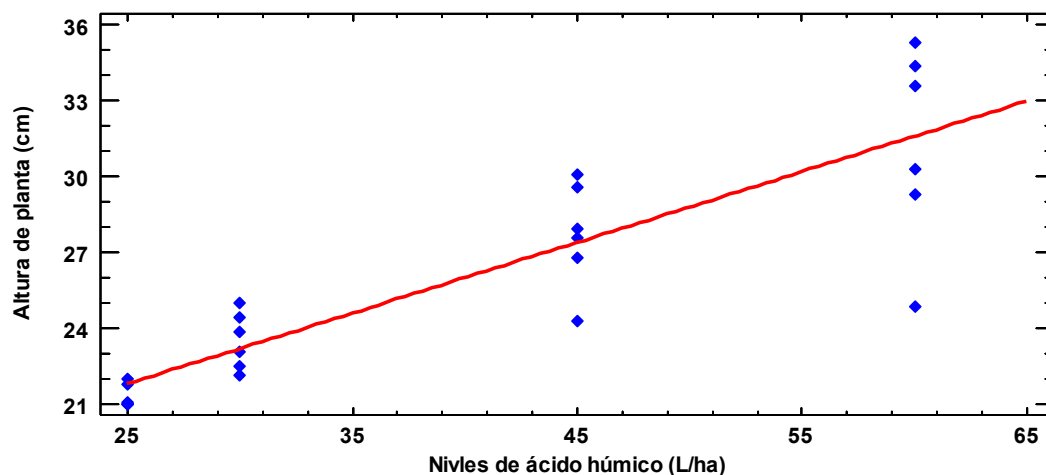


Figura 2. : Regresión lineal de altura de planta en relación con los niveles de ácido húmico

5.1.2 Diámetro de Tallo (cm)

Tabla 6

Análisis de varianza de diámetro de tallo de brócoli 'Atlas'

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Bloques	5	0,08	0,02	0,72	0,6198 ns
Dosis de ácido húmico	3	4,48	1,49	65,39	<0,0001 **
Error	15	0,34	0,02		
Total	23	4,91			

CV: 5,75 %

* Significativo

** Altamente significativo

El análisis de varianza, presentado en la Tabla 6, muestra que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los bloques. En cambio, los tratamientos exhibieron diferencias altamente significativas desde el punto de vista estadístico. Asimismo, el coeficiente de variación fue del 5,75%, lo que indica una baja variabilidad en los datos y refuerza la precisión de los resultados obtenidos.

Tabla 7*Regresión polinomial de diámetro de tallo de brócoli 'Atlas'*

Fuente	gl	SC	CM	Fc	Valor-P
Regresión	1	4,3245	4,3245	162,61	0,0000
Residual	22	0,5850	0,0266		
Total	23	4,9095			

El análisis de regresión se presenta en la Tabla 7. Dado que el valor-p en el análisis de varianza es inferior a 0,05, se puede concluir que existe una relación estadísticamente significativa entre el diámetro del tallo y los niveles de ácido húmico. Además, el coeficiente de determinación alcanzó un valor de 88,08%, lo que indica que el modelo de regresión explica el 88,08% de la variabilidad observada en el diámetro del tallo en función de los niveles de ácido húmico, lo que demuestra una fuerte correlación entre ambas variables.

Tabla 8*Prueba de hipótesis de los coeficientes de regresión de diámetro de tallo de brócoli 'Atlas'*

	Coefficientes	Error típico	Tc	Valor-P
Intercepción	1,38917	0,102781	13,5157	0,0000
Ácido húmico	0,031	0,002431	12,7518	0,0000

En la Tabla 8 se muestran los resultados del ajuste de un modelo lineal que describe la relación entre el diámetro del tallo y los niveles de ácido húmico. La ecuación correspondiente al modelo ajustado es la siguiente:

$$\hat{Y} = 1,38917 + 0,031 X$$

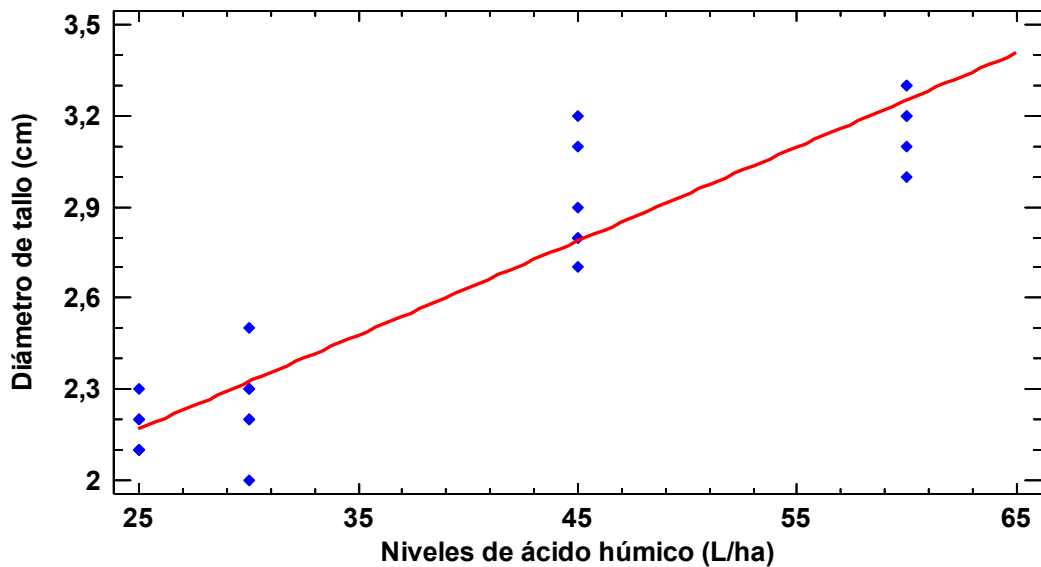


Figura 3. Regresión lineal de diámetro de tallo en relación con los niveles de ácido húmico

La figura 3 presenta una relación lineal, lo que indica que, por cada litro de ácido húmico incrementado, se observa un aumento de 0,031 cm en el diámetro del tallo. Este hallazgo respalda la existencia de una tendencia positiva y constante en el efecto del ácido húmico sobre el diámetro del tallo de la planta.

5.1.3 Diámetro de Inflorescencia (cm)

El análisis de varianza realizado en el brócoli 'Atlas' reveló diferencias significativas entre los bloques y tratamientos. Al menos un tratamiento mostró un diámetro de inflorescencia mayor en comparación con los demás. Además, se obtuvo un bajo coeficiente de variación del 1,73%, indicando consistencia en las mediciones.

Tabla 9*Análisis de varianza de diámetro de inflorescencia de brócoli 'Atlas'*

F.V.	gl	SC	CM	Fc	p-valor
Bloques	5	1,74	0,35	2,99	0,0454 *
Tratamientos	3	23,92	7,97	68,44	<0,0001 **
Error	15	1,75	0,12		
Total	23	27,42			

CV: 1,73% *= Significativo ** Altamente significativo

El análisis de regresión del diámetro de la inflorescencia, presentado en la tabla 10, reveló una alta significación estadística. Esto implica que los niveles de ácido húmico ejercieron una influencia positiva en el diámetro de la inflorescencia del brócoli 'Atlas'. Además, el coeficiente de determinación fue del 80%.

Tabla 10*Análisis de regresión de diámetro de inflorescencia de brócoli 'Atlas'*

Fuente	gl	SC	CM	Fc	Valor-P
Regresión	2	23,6551	11,8275	66,04	0,00000
Residuo	21	3,76117	0,179103		
Total	23	27,4163			

La prueba de hipótesis de los coeficientes de regresión, mostrada en la Tabla 11, ofrece información sobre el ajuste de un modelo polinómico de segundo orden para describir la relación entre el diámetro de la inflorescencia y los niveles de ácido húmico. La ecuación del modelo ajustado se presenta a continuación:

$$\hat{Y} = 11,9133 + 0,34022 X - 0,0032222X^2$$

Tabla 11

Prueba de hipótesis de los coeficientes de regresión de diámetro de inflorescencia de brócoli 'Atlas'

	Coeficientes	Error típico	Tc	p-valor
Intercepción	11,9133	1,15132	10,3475	0,0000
Ácido húmico	0,340222	0,05937	5,73007	0,0000
Ácido húmico ²	-0,0032222	0,000694	-4,63914	0,0001

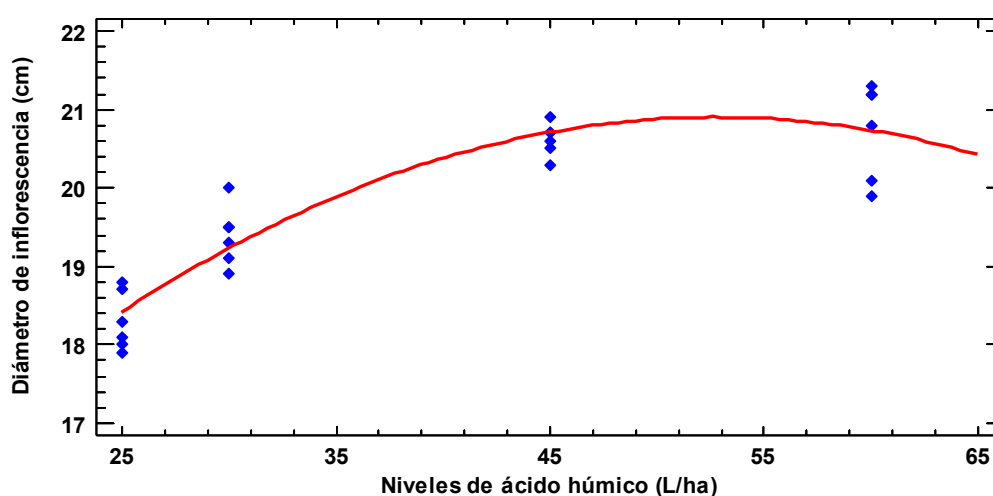


Figura 4. *Regresión polinómica de diámetro de inflorescencia en relación con los niveles de ácido húmico*

La figura 4 ilustra que a medida que se incrementan las dosis de ácido húmico, el diámetro de la inflorescencia del brócoli 'Atlas' aumenta hasta alcanzar un punto máximo de crecimiento. Posteriormente, el diámetro deja de aumentar y comienza a disminuir. Además, al derivar la ecuación, se determinó una dosis óptima de 52,79 L/ha de ácido húmico, que resultó en un diámetro de inflorescencia de 20,89 cm. Esto indica que

existe un nivel específico de ácido húmico que maximiza el tamaño de la inflorescencia en el brócoli 'Atlas'.

5.1.4 Peso de Inflorescencia

Tabla 12

Análisis de varianza de peso de inflorescencia de brócoli 'Atlas'

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Bloques	5	0,03	0,01	1,45	0,263 ns
Tratamientos	3	0,55	0,18	53,06	<0,0001 **
Error	15	0,05	0,003		
Total	23	0,63			

CV: 2,97 % ns= No significativo ** Altamente significativo

Los resultados del análisis de varianza para el peso de la inflorescencia se presentan en la Tabla 12. Se observó que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre los bloques. Sin embargo, los tratamientos revelaron diferencias altamente significativas desde el punto de vista estadístico. Esto permite concluir que el ácido húmico tiene un efecto positivo en el peso de la inflorescencia. Además, el coeficiente de variación fue del 2,97%, lo que indica una baja variabilidad en los datos y refuerza la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Tabla 13

Análisis de regresión lineal de peso de inflorescencia del brócoli 'Atlas'

Fuente	gl	SC	CM	Fc	Valor-P
Regresión	1	0,501389	0,501389	89,24	0,00000 **
Residuo	22	0,123611	0,00561869		
Total	23	0,625			

El análisis de regresión, como se muestra en la tabla 13, revela una significancia estadística, lo que implica que existe una relación entre los niveles de ácido húmico y el peso de la inflorescencia en el brócoli 'Atlas'.

Además, el coeficiente de determinación fue del 80%, lo que indica que el modelo de regresión explica el 80% de la variabilidad observada en el peso de la inflorescencia.

Tabla 14

Análisis de las hipótesis del coeficiente de regresión de peso de inflorescencia de brócoli 'Atlas'

s	Coefficientes	Error típico	Tc	p-valor
Intercepción	1,55	0,05	32,87	<0,0001
Ácido húmico	0,01	0,0011	9,45	<0,0001

La prueba de hipótesis del coeficiente de regresión arrojó un resultado altamente significativo (ver tabla 14). Esto indica que, al agregar un litro de ácido húmico, el peso de la inflorescencia experimenta un incremento de 0,01 kg. La función de respuesta correspondiente a este efecto puede ser expresada como:

$$\hat{Y} = 1,55 + 0,01 X$$

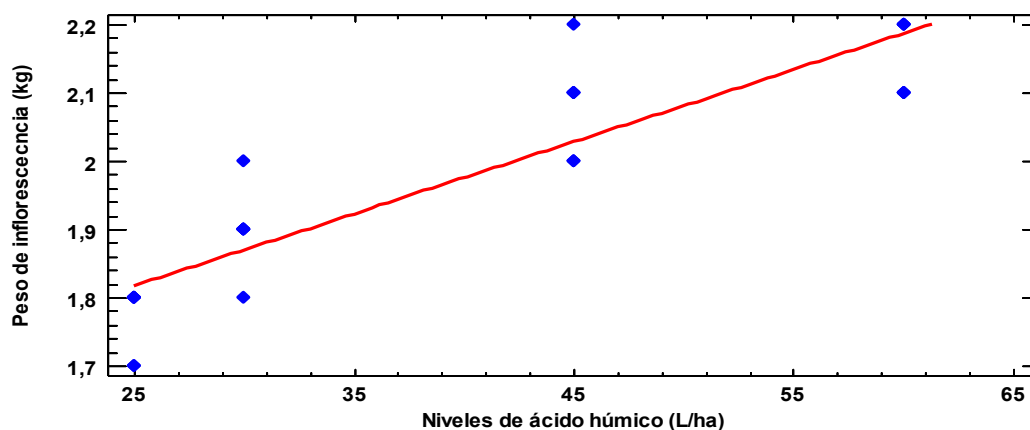


Figura 5. *Regresión lineal de peso de inflorescencia de brócoli 'Atlas' en relación a los niveles de ácido húmico*

La Figura 5 muestra una clara tendencia lineal, lo que sugiere que, a medida que aumenta la cantidad de ácido húmico por litro, también lo hace el peso de la inflorescencia. Este hallazgo respalda la hipótesis de una relación positiva y proporcional entre la aplicación de ácido húmico y el incremento en el peso de la inflorescencia, indicando que mayores dosis de ácido húmico favorecen el desarrollo del cultivo.

5.1.5 Rendimiento de Inflorescencias (t/ha)

Los resultados del análisis de varianza para el rendimiento, presentados en la Tabla 15, muestran diferencias estadísticas significativas entre los bloques. Además, los tratamientos evidenciaron diferencias altamente significativas desde el punto de vista estadístico. Esto permite concluir que el ácido húmico tuvo un efecto positivo en el rendimiento del cultivo. Asimismo, el coeficiente de variación fue del 2,97%, lo que sugiere una baja variabilidad en los datos y refuerza la consistencia de los resultados obtenidos.

Tabla 15

Análisis de varianza del rendimiento del brócoli 'Atlas'

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Bloques	5	2,64	0,53	5,99	0,0031
Dosis de ácido húmico	3	3,75	1,25	14,2	0,0001
Error	15	1,32	0,09		
Total	23	7,71			

CV: 2,97 % ns= No significativo ** Altamente significativo

Dado que el valor-p en el análisis de varianza de regresión es menor que 0,01 (ver tabla 16), se puede concluir que existe una relación estadísticamente significativa entre el rendimiento de la inflorescencia y los

niveles de ácido húmico. Además, el coeficiente de determinación fue del 45,7%.

Tabla 16

Regresión lineal de rendimiento de inflorescencias de brócoli Atlas

Fuente	gl	SC	CM	Fc	Valor-P
Regresión	1	3,528	3,528	18,54	0,0003
Residuo	22	4,18533	0,190242		
Total	23	7,71333			

La Tabla 17 muestra los resultados del ajuste de un modelo lineal que describe la relación entre el rendimiento de las inflorescencias y los niveles de ácido húmico. La ecuación correspondiente al modelo ajustado es la siguiente:

$$\hat{Y} = 13,8633 + 0,028 X$$

Tabla 17

Prueba de hipótesis de los coeficientes de regresión para el rendimiento del brócoli 'Atlas'

	Coefficientes	Error típico	Tc	Valor-P
Intercepción	13,8633	0,274897	50,431	0,0000
Ácido húmico	0,028	0,00650201	4,30636	0,0003

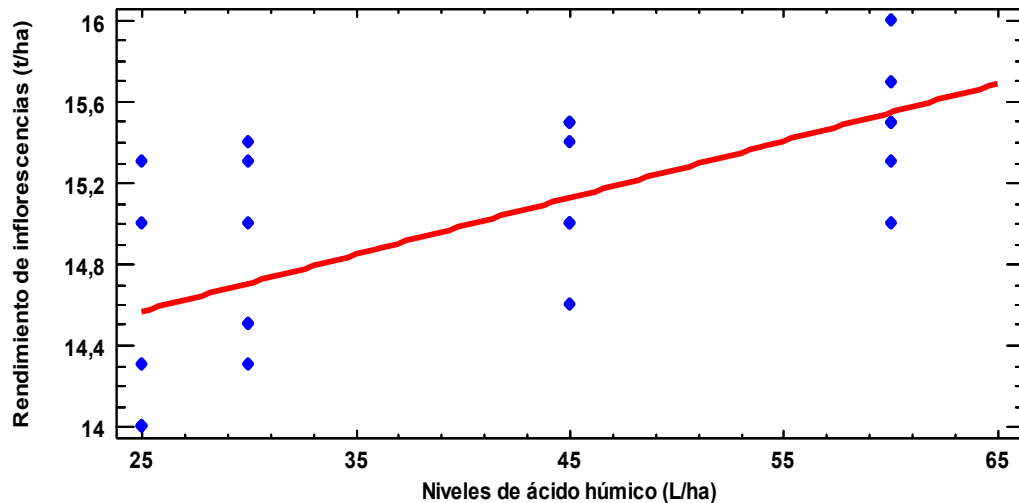


Figura 6. *Regresión lineal de rendimiento de inflorescencia del brócoli ‘Atlas’ en relación a los niveles de ácido húmico*

En la figura 6 se puede apreciar que, por cada litro de ácido húmico aplicado, se observa un incremento en el rendimiento de 0,028 toneladas por hectárea.

5.2 Discusión

5.2.1 Altura de Planta

Los resultados obtenidos en el presente estudio revelan alturas de planta superiores a las reportadas por Hidrogo (2015), quien obtuvo una altura de planta de 23,9 cm con 30 L/ha de ácido húmico. Esta discrepancia podría atribuirse al hecho de que el ácido húmico proporciona mejores condiciones de suelo para el crecimiento de las plantas. Sin embargo, nuestros resultados son consistentes con los hallazgos de Zamora (2014),

quien informó plantas con una altura de 66 cm en el cultivar Avenger, y con los de Hawall et al. (2018), quienes obtuvieron plantas de 53 cm de altura.

El crecimiento observado en las plantas puede ser atribuido a los efectos beneficiosos de los ácidos húmicos en el suelo. Estos compuestos mejoran las propiedades físicas del suelo, aumentan la resistencia de las plantas al estrés biótico y abiótico, regulan el pH del suelo, aumentan la solubilidad de los nutrientes y mejoran su absorción por parte de las plantas. Además, los ácidos húmicos también influyen en los niveles hormonales, estimulando así el crecimiento y desarrollo de las plantas (Karakurt et al., 2009).

Es importante destacar que, por otro lado, Vivas (2001) encontró que la aplicación de ácidos húmicos no generó diferencias significativas en la altura de planta en tomates y pimientos.

5.2.2 *Diámetro de Tallo*

Los resultados obtenidos en este estudio muestran diámetros de tallo similares a los reportados por Zamora (2014), quien obtuvo diámetros de 3,97 cm. Además, son inferiores a los diámetros de tallo reportados por Hidrogo (2015), quien obtuvo diámetros de 4,81 cm.

Podemos inferir que el aumento en las dosis de ácido húmico se relaciona con un incremento en el diámetro del tallo, posiblemente debido a que el ácido húmico mejora las propiedades físicas y químicas del suelo, lo que a su vez promueve el crecimiento de las plantas. Karakurt et al. (2009) afirmaron que los ácidos húmicos estimulan el crecimiento de las plantas al mejorar la absorción de nutrientes, actuar como reguladores del

crecimiento que controlan los niveles hormonales y mejorar la tolerancia al estrés. Además, los ácidos húmicos tienen una menor estabilidad que los quelatos sintéticos con hierro, cobre, zinc y manganeso, lo que aumenta la disponibilidad de estos metales en la solución del suelo y permite que las plantas los absorban.

Lobartini & Orioli (1996) sostienen que los ácidos húmicos tienen efectos directos en el crecimiento de las plantas, los cuales no están relacionados con la nutrición mineral, sino con su crecimiento y desarrollo. Por ejemplo, se ha observado que generan un mayor crecimiento del sistema radicular, efecto atribuido a la función hormonal de los ácidos húmicos. Además, participan en diversos procesos metabólicos, como la respiración.

5.2.3 *Diámetro de Inflorescencia*

Los resultados obtenidos en nuestro estudio muestran diámetros de inflorescencia inferiores a los reportados por Zamora (2014), quien obtuvo diámetros de 29,19 cm y 28,03 cm utilizando diferentes fuentes de ácidos húmicos.

La diferencia en el diámetro de las inflorescencias puede deberse a varios factores. Es probable que la aplicación de ácidos húmicos haya contribuido a una mayor retención de humedad en el suelo, lo que proporciona un ambiente favorable para el crecimiento de las plantas. Además, los ácidos húmicos pueden mejorar la capacidad de absorción de nutrientes por parte de las raíces de las plantas, lo cual tiene un impacto directo en su crecimiento y desarrollo. Esta mejora en la absorción de

nutrientes puede influir en el aumento del diámetro de las inflorescencias, como se ha señalado en estudios anteriores por Selim & Ali Mosa (2012).

En resumen, nuestros resultados indican que, aunque los diámetros de las inflorescencias obtenidos en nuestro estudio son inferiores a los reportados previamente, la aplicación de ácidos húmicos podría contribuir a un mejor desarrollo de las plantas al favorecer la retención de humedad y mejorar la absorción de nutrientes, lo que eventualmente podría influir en un mayor diámetro de las inflorescencias.

5.2.4 *Peso de Inflorescencia*

El peso de las inflorescencias obtenido en nuestra investigación es superior a los reportados en estudios previos. Por ejemplo, Hidrogo (2015) obtuvo inflorescencias con un peso de 360 g, mientras que Zamora (2014) reportó pesos de inflorescencias de 597,1 g con la aplicación de Pieler humus y 551,6 g con Humimax. Además, Hawall et al. (2018) obtuvieron un peso de 403,5 g para la inflorescencia principal y 596,6 g para la inflorescencia lateral.

Estas diferencias en el peso de las inflorescencias pueden atribuirse al efecto positivo que ejerce el ácido húmico tanto en las raíces como en la parte aérea de las plantas. Se ha observado que los ácidos húmicos tienen efectos fisiológicos en las plantas, como la mejora de la respiración y la mayor absorción de nutrientes. Además, actúan como quelantes, lo que favorece la disponibilidad de metales como el hierro, zinc, cobre y manganeso en el suelo (Mackowiak et al., 2001).

Es importante destacar que las diferencias en el peso de las inflorescencias también pueden estar relacionadas con el momento de aplicación del ácido húmico. Factores como la dosis, la frecuencia y el momento de aplicación pueden influir en la respuesta de las plantas y, por ende, en el peso de las inflorescencias.

En conclusión, nuestros resultados indican que la aplicación de ácido húmico ha demostrado tener un efecto positivo en el peso de las inflorescencias. Los ácidos húmicos pueden mejorar el desarrollo de las raíces y la parte aérea de las plantas, así como influir en diversos procesos fisiológicos y mejorar la disponibilidad de nutrientes. Sin embargo, es importante considerar otros factores, como el momento de aplicación, para obtener los mejores resultados en términos de peso de las inflorescencias.

5.2.5 Rendimiento

El Full Humic 15, al igual que en otras variables evaluadas como la altura de planta, diámetro de tallo, diámetro y peso de inflorescencia, también ha demostrado aumentar el rendimiento. Los rendimientos obtenidos en nuestro estudio son similares a los reportados por Hidrogo (2015), quien obtuvo un rendimiento de 15,03 t ha⁻¹ con ácido húmico líquido de leonardita y 14,7 t ha⁻¹ con leonardita sólida aplicada al suelo. Sin embargo, los rendimientos reportados por Zamora (2014) con la aplicación de Pieler humus y Humimax fueron superiores, alcanzando 18,1 t ha⁻¹ y 16,4 t ha⁻¹, respectivamente. Por otro lado, Hawall et al. (2018) rendimientos significativamente más altos, alcanzando los 50t ha⁻¹.

Estas diferencias en los rendimientos pueden ser atribuidas a los efectos beneficiosos que los ácidos húmicos ejercen sobre la absorción de macronutrientes como el nitrógeno, potasio, calcio y magnesio (Karakurt et al., 2009). Los ácidos húmicos mejoran la solubilidad de los nutrientes y tienen una interacción especial con fosfatos de baja solubilidad, como los fosfatos de hierro, aluminio y apatitas. Además, actúan como quelantes, proporcionando micronutrientes esenciales a las plantas. Otro aspecto importante es el efecto directo de los ácidos húmicos en las plantas, promoviendo un mayor crecimiento de las raíces y del tejido vegetativo, lo que resulta en una mayor absorción y asimilación de nutrientes, y, en última instancia, un aumento en el rendimiento del cultivo (Lobartini & Orioli, 1996).

En conclusión, el uso de Full Humic 15 ha demostrado ser beneficioso para incrementar el rendimiento de los cultivos. Los ácidos húmicos presentes en este producto posiblemente han favorecido a la absorción de nutrientes esenciales, mejorando la solubilidad de estos y promoviendo un mayor crecimiento de raíces y tejido vegetativo. Sin embargo, es importante considerar que otros factores, como las dosis y la aplicación adecuada, también pueden influir en la magnitud del aumento en el rendimiento.

CONCLUSIÓN

El rendimiento mostró una relación lineal con los niveles de Full Humic 15, lo que significa que aumentar un litro de ácido húmico se traduce en un incremento de 0,028 toneladas por hectárea en el rendimiento.

Se determinó que la aplicación de diferentes niveles de Full Humic 15 demostró un impacto positivo en los indicadores de crecimiento. Se observó que la altura de la planta aumentó en 0.28 cm por cada litro de ácido húmico aplicado; el diámetro del tallo se incrementó en 0.031 cm por litro; y el diámetro de la inflorescencia alcanzó los 20.89 cm al aplicar la dosis óptima de 52.79 L/ha de ácido húmico. Finalmente, el peso de la inflorescencia mostró un aumento de 0.01 kg por cada litro de ácido húmico utilizado.

RECOMENDACIONES

Para mejorar el vigor, robustez y desarrollo adecuado de las plantas de brócoli cultivar 'Atlas' en el centro experimental agrícola "Los Pichones", se sugiere utilizar una dosis de 45,75 L ha⁻¹ de Full Humic 15.

Se recomienda ampliar investigaciones con Full Humic 15 en otras zonas productoras de brócoli.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Canellas, L. P., & Olivares, F. L. (2014). Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 1(1).
- Casseres, E. (1966). *Produccion de hortalizas*. Bib. Orton IICA / CATIE.
- Casseres, E. (1980). *Producción de hortalizas*. Editorial IICA.
- Casseres, E. (1981). *Producción de hortalizas*. <https://repositorio.inia.int/handle/11324/6792>
- Escaff G., M., & Bruna V., A. (1984). *Brócoli*. <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/39592>
- Espinosa-Antón, A. A., Hernández-Herrera, R. M., & González-González, M. (2020). Extractos bioactivos de algas marinas como bioestimulantes del crecimiento y la protección de las plantas. *Bioteología Vegetal*, 20(4), 257-282.
- Fronteras en la ciencia vegetal. (2021). Salud del suelo y densidad de nutrientes: más allá de la agricultura orgánica frente a la convencional. Recuperado de <https://www.front.org.org/articulos//10.3389/fpls.2021/lleno>
- Hawall, I. A., Raheem, S. M., & Tofiq, G. K. (2018). Growth and Yield of Broccoli (*Brassica oleracea* L. Var. Corato) as affected by humic acid

application. *Journal of Plant Production*, 9(9), 739-741.
<https://doi.org/10.21608/jpp.2018.36398>

Hidrogo, J. C. (2015). *“Dosis de ácido húmico granulado de leonardita y ácidos húmicos fúlvicos con macro y micro elementos en el cultivo de brócoli (Brassica oleracea) sector de quillo allpa-Distrito y provincia de Lamas”* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto]. <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/685>

PMC. (2024). Grape Seed Oil Compounds: Biological and Chemical Actions for Health. Recuperado de <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/INTAGRI>.
(2021). Cultivos de Brócoli y Coliflor | Intagri (Artículos técnicos de Intagri N.o 31). <https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/cultivos-de-brocoli-y-coliflor>

Karakurt, Y., Unlu, H., Unlu, H., & Padem, H. (2009). The influence of foliar and soil fertilization of humic acid on yield and quality of pepper. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 59(3), 233-237. <https://doi.org/10.1080/09064710802022952>

Li, X., Li, J., Zhao, Z., Zhou, K., Zhan, X., Wang, Y., Liu, N., Han, X. y Li, X. (2024). Características del carbono orgánico del suelo y del humus: respuesta y evolución al retorno directo/carbonizado de paja al campo a largo plazo. *Agronomía*, 14 (10), 2400. <https://doi.org/10.3390/agronomy14102400>

- Lobartini, J. C., & Orioli, G. A. (1996). Las sustancias húmicas y la nutrición vegetal. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 101(2), 201-209.
- Mackowiak, C. L., Grossl, P. R., & Bugbee, B. G. (2001). Beneficial Effects of Humic Acid on Micronutrient Availability to Wheat. *Soil Science Society of America Journal*, 65(6), 1744-1750. <https://doi.org/10.2136/sssaj2001.1744>
- Matuszak-Slamani, R., Bejger, R., Włodarczyk, M., Kulpa, D., Sienkiewicz, M., Gołębiowska, D., & Ukalska-Jaruga, A. (2023). Effect of Humic Acids on Soybean Seedling Growth under Polyethylene-Glycol-6000-Induced Drought Stress. MDPI.
- MINISTERIO DE DESARROLLO AGRARIO Y RIEGO. (2023) Anuario estadístico: producción ganadera y avícola 2022. Dirección de Estadística e información agraria.
- Montoya Salazar, J. C., Menjivar Flores, J. C., & Bravo Realpe, I. D. S. (2013). Fraccionamiento y cuantificación de la materia orgánica en Andisoles bajo diferentes sistemas de producción. *Acta agronómica*, 62(4), 333-343.
- Moreno, J. J. G. (2023). Bioestimulantes, clave para una agricultura más sostenible y rentable. *Mundo del agrónomo: la revista del Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos de Centro y Canarias*, (52), 4-9.

- Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A., & Vianello, A. (2016). Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(11), 1527-1536. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(02\)00174-8](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00174-8)
- Oxford Academic. (2024). Anthocyanins: A Comprehensive Review of Their Chemical Properties and Health Effects on Cardiovascular and Neurodegenerative Diseases. Recuperado de <https://academic.oup.com/>
- Peleato, P. (2015). Por qué los bioestimulantes son necesarios para la agricultura. *Terralia*, (101), 12-14.
- PLOS ONE. (2020). La agricultura orgánica mejora la abundancia y la actividad microbiana del suelo: un metaanálisis y una metarregresión. Recuperado de <https://journals.org/.pl.org/plosone/articulo?id=10,137/diario.pone.0243345>
- Ruiz, M., Elizalde, G., & Paolini, J. (1997). Caracterización de las sustancias húmicas presentes en microagregados de suelos de dos toposecuencias. *Agronomía Tropical*, 47(4), 381-395.
- Serenella Nardi, Michela Schiavon, Adele Muscolo, Diego Pizzeghello, Andrea Ertani, Luciano Pasqualoto Canellas, & Jose M. Garcia-Mina. (2023). Molecular characterization of humic substances and regulatory processes activated in plants. *Frontiers in Plant Science*.

- Selim, E., & Ali Mosa, A. (2012). Fertigation of humic substances improves yield and quality of broccoli and nutrient retention in a sandy soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175(2), 273-281. <https://doi.org/10.1002/jpln.201100062>
- Toledo, J. (2003). *Cultivo del brócoli*. <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/895>
- Trevisan, S., Pizzeghello, D., Ruperti, B., & Nardi, S. (2010). Humic substances and plant defense metabolism: phenylpropanoid pathway and induced resistance. *BioMed Research International*.
- Veobides-Amador, H., Guridi-Izquierdo, F., & Vázquez-Padrón, V. (2018). Las sustancias húmicas como bioestimulantes de plantas bajo condiciones de estrés ambiental. *Cultivos tropicales*, 39(4), 102-109.
- Vigliola, M. I. (2003). *Manual de horticultura*. Ed. Hemisferio Sur. https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Manual+de+horticultura&author=Vigliola%2C+M.I.&publication_year=2003
- Vivas, M. J. (2001). *Mejora del desarrollo y la producción vegetal por bioestimuladores: Sustancias húmicas comerciales y alcoholes* [Tesis Doctoral, Universidad de Alicante]. <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/4133>

- Yılmaz, E., Geboloğlu, N., Şahin, S., Durukan, A., Sağlam, N., & Aydın, M. (2013). Interactive Effects of Humic Acid and Zinc on Yield and Quality in Broccoli. *Soil-Water Journal*, 2146-7072, 2(2 (1)), 287-293.
- Zamora, F. V. (2014). *Evaluación del efecto a la aplicación de ácidos húmicos y fúlvicos en el cultivo de brócoli (Brassica oleracea Var. Itálica)* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/6994>

ANEXOS

Anexo 1. Resultados del análisis de suelo del campo experimental

INFORME DE ENSAYO N° 047 - 06 – SUE – 2019

ANALISIS DE SUELO

1. INFORMACION PRELIMINAR

SOLICITANTE : GLORIA ELIZA SARMIENTO CHURA
DIRECCIÓN : FUNDO: CENTRO EXPERIMENTAL AGRÍCOLA CEA III
PICHONES – TACNA.
TIPO DE MUESTRA : SUELO
SERVICIO SOLICITADO : ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN DE SUELO
CODIGO REGISTR. LABORATORIO : M-1 = 281
LUGAR DE MUESTREO : Fundo Los Pichones CEA III
CULTIVO ANTERIOR : Maíz Morado
CULTIVO A INSTALAR : Brócoli
FECHA DE MUESTREO : 12 de Junio del 2019
PRESENTACION : 01 bolsa de plástico con 1.0 Kg. de muestra aprox.
FECHA DE RECEPCION : 12 de Junio del 2019
FECHA ENTREGA RESULTADO : 19 de Junio del 2019

II-RESULTADO ANALISIS DE CARACTERIZACION EN SUELOS

Cod. Lab.	ANALISIS MECANICO				ANALISIS QUIMICO					ELEMENTOS DISPONIBLES	
	Arena %	Arcilla %	Limo %	Clase Textural	CO ₂ Ca %	pH	C.E. mS/cm	Mat. Org. %	Nitróg. % N.	Fósforo ppm P	Potasio ppm K
M-1 281	61.2	10.4	28.4	Fco. Arenoso	0.0	4.74	2.44	1.21	0.064	85.11	630

Abreviaturas: Fco. Arenoso = Franco Arenoso
 C.E.= Conductividad Eléctrica mS/cm=milisiemens por cm=mmho por cm %=Porcentaje ppm=partes por millón
 pH y C.E.= extracto/ suelo 1 : 2.5 CO₂Ca = Carbonato de Calcio

Cod. Lab.	CAPACIDAD DE INTERCAMBIO DE CATIONES CAMBIABLES					CIC	PSI	Saturación de Bases
	Ca ⁺⁺ meq/100 gs	Mg ⁺⁺ meq/100gs	K ⁺ meq/100gs	Na ⁺ meq/100gs	Acidez Cambiable H ⁺ +Al ⁺⁺⁺	Capacidad de Intercambio Catiónico meq/100gs	Porcentaje de Sodio Intercambiable %	%
M-1 281	7.89	1.56	1.45	0.52	1.98	13.4	3.88	85.22

Abreviaturas
 CIC= Capacidad de Intercambio Catiónico meq/100gs= miliequivalentes x 100gs de suelo
 PSI=Porcentaje de Sodio Intercambiable

III. INTERPRETACION DE LOS ANALISIS DE CARACTERIZACION

Cod. Lab.	CO ₂ Ca	pH	C.E.	MAT. ORG.	NITROG.	FOSFORO	POTASIO
M-1 281	Deficiente	Fuertemente Ácido	Salino	Deficiente	Bajo	Excesivo	Alto
Cod. Lab.	CAPACIDAD DE INTERCAMBIO BASES CAMBIABLES				CIC	PSI	
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺			
M-1 281	Medio	Medio	Muy Alto	Medio	Medio	No Sódico	

PROHIBIDA LA REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL DE ESTE INFORME
 VALIDO SOLO PARA LA MUESTRA ANALIZADA

Fuente: Laboratorio de Análisis Químicos & Servicios de Arequipa, 2019

Anexo 2. Datos de las variables en estudio en el cultivo de brócoli ‘Atlas’

Bloques	Niveles de ácido húmico	Altura de planta
i	25 L ha ⁻¹	21,8 cm
i	30 L ha ⁻¹	22,15 cm
i	45 L ha ⁻¹	27,6 cm
i	60 L ha ⁻¹	35,3 cm
ii	25 L ha ⁻¹	21 cm
ii	30 L ha ⁻¹	23,1 cm
ii	45 L ha ⁻¹	29,6 cm
ii	60 L ha ⁻¹	34,33 cm
iii	25 L ha ⁻¹	22 ,00cm
iii	30 L ha ⁻¹	25,00 cm
iii	45 L ha ⁻¹	30,14 cm
iii	60 L ha ⁻¹	33,6 cm
iv	25 L ha ⁻¹	21,05 cm
iv	30 L ha ⁻¹	24,44 cm
iv	45 L ha ⁻¹	27,90 cm
iv	60 L ha ⁻¹	29,25 cm
v	25 L ha ⁻¹	21,00 cm
v	30 L ha ⁻¹	23,88 cm
v	45 L ha ⁻¹	26,77 cm
v	60 L ha ⁻¹	30,3 cm
vi	25 L ha ⁻¹	21,00 cm
vi	30 L ha ⁻¹	22,5 cm
vi	45 L ha ⁻¹	24,3 cm
vi	60 L ha ⁻¹	24,88 cm

Cuadro 1. Datos de altura de planta del brócoli ‘Atlas’

Bloques	Dosis de ácido húmico	Diámetro de tallo
i	25 L ha ⁻¹	3,0 cm
i	30 L ha ⁻¹	3,2 cm
i	45 L ha ⁻¹	4,0 cm
i	60 L ha ⁻¹	3,8 cm
ii	25 L ha ⁻¹	3,1 cm
ii	30 L ha ⁻¹	3,3 cm
ii	45 L ha ⁻¹	4,0 cm
ii	60 L ha ⁻¹	4,0 cm
iii	25 L ha ⁻¹	3,0 cm
iii	30 L ha ⁻¹	3,2 cm
iii	45 L ha ⁻¹	4,0 cm
iii	60 L ha ⁻¹	4,0 cm
iv	25 L ha ⁻¹	2,4 cm
iv	30 L ha ⁻¹	2,9 cm
iv	45 L ha ⁻¹	3,5 cm
iv	60 L ha ⁻¹	3,3 cm
v	25 L ha ⁻¹	2,0 cm
v	30 L ha ⁻¹	2,3 cm
v	45 L ha ⁻¹	2,8 cm
v	60 L ha ⁻¹	2,8 cm
vi	25 L ha ⁻¹	2,5 cm
vi	30 L ha ⁻¹	2,9 cm
vi	45 L ha ⁻¹	3,5 cm
vi	60 L ha ⁻¹	3,0 cm

Cuadro 2. Datos de diámetro del tallo de la planta del brócoli 'Atlas'

Bloques	Tratamientos	Diámetro de inflorescencia
i	25 L ha ⁻¹	18,1 cm
i	30 L ha ⁻¹	19,1 cm
i	45 L ha ⁻¹	20,7 cm
i	60 L ha ⁻¹	20,1 cm
ii	25 L ha ⁻¹	18,0 cm
ii	30 L ha ⁻¹	18,9 cm
ii	45 L ha ⁻¹	20,5 cm
ii	60 L ha ⁻¹	21,2 cm
iii	25 L ha ⁻¹	18,8 cm
iii	30 L ha ⁻¹	20,0 cm
iii	45 L ha ⁻¹	20,6 cm
iii	60 L ha ⁻¹	21,3 cm
iv	25 L ha ⁻¹	17,9 cm
iv	30 L ha ⁻¹	19,5 cm
iv	45 L ha ⁻¹	20,3 cm
iv	60 L ha ⁻¹	19,9 cm
v	25 L ha ⁻¹	18,7 cm
v	30 L ha ⁻¹	19,3 cm
v	45 L ha ⁻¹	20,9 cm
v	60 L ha ⁻¹	20,8 cm
vi	25 L ha ⁻¹	18,3 cm
vi	30 L ha ⁻¹	19,5 cm
vi	45 L ha ⁻¹	20,7 cm
vi	60 L ha ⁻¹	21,2 cm

Cuadro 3. Datos de diámetro de inflorescencia del brócoli 'Atlas'

Bloques	Tratamientos	Peso de inflorescencia
i	25 L ha ⁻¹	1,8 kg
i	30 L ha ⁻¹	1,9 kg
i	45 L ha ⁻¹	2,0 kg
i	60 L ha ⁻¹	2,2 kg
ii	25 L ha ⁻¹	1,7 kg
ii	30 L ha ⁻¹	2,0 kg
ii	45 L ha ⁻¹	2,2 kg
ii	60 L ha ⁻¹	2,2 kg
iii	25 L ha ⁻¹	1,8 kg
iii	30 L ha ⁻¹	1,9 kg
iii	45 L ha ⁻¹	2,1 kg
iii	60 L ha ⁻¹	2,2 kg
iv	25 L ha ⁻¹	1,8 kg
iv	30 L ha ⁻¹	1,9 kg
iv	45 L ha ⁻¹	2,1 kg
iv	60 L ha ⁻¹	2,1 kg
v	25 L ha ⁻¹	1,7 kg
v	30 L ha ⁻¹	1,8 kg
v	45 L ha ⁻¹	2,1 kg
v	60 L ha ⁻¹	2,1 kg
vi	25 L ha ⁻¹	1,8 kg
vi	30 L ha ⁻¹	1,9 kg
vi	45 L ha ⁻¹	2,0 kg
vi	60 L ha ⁻¹	2,1 kg

Cuadro 4. Datos de peso de inflorescencia del brócoli 'Atlas'

Bloques	Dosis de ácido húmico	Rendimiento
i	25 L ha ⁻¹	15,3 kg
i	30 L ha ⁻¹	15,3 kg
i	45 L ha ⁻¹	15,4 kg
i	60 L ha ⁻¹	15,5 kg
ii	25 L ha ⁻¹	14,0 kg
ii	30 L ha ⁻¹	14,3 kg
ii	45 L ha ⁻¹	15,0 kg
ii	60 L ha ⁻¹	15,3 kg
iii	25 L ha ⁻¹	15,0 kg
iii	30 L ha ⁻¹	15,4 kg
iii	45 L ha ⁻¹	15,5 kg
iii	60 L ha ⁻¹	15,7 kg
iv	25 L ha ⁻¹	14,0 kg
iv	30 L ha ⁻¹	14,5 kg
iv	45 L ha ⁻¹	15,0 kg
iv	60 L ha ⁻¹	15,5 kg
v	25 L ha ⁻¹	14,0 kg
v	30 L ha ⁻¹	15,0 kg
v	45 L ha ⁻¹	15,5 kg
v	60 L ha ⁻¹	16,0 kg
vi	25 L ha ⁻¹	14,3 kg
vi	30 L ha ⁻¹	14,5 kg
vi	45 L ha ⁻¹	14,6 kg
vi	60 L ha ⁻¹	15,0 kg

Cuadro 5. Datos de rendimiento de inflorescencia del brócoli 'Atlas'

Anexo 3. Panel fotográfico de la conducción del cultivo



Fotografía 1. Preparación del terreno



Fotografía 2. Trasplante y riego



Fotografía 3. Aplicación de Full humic 15



Fotografía 4. Riegos



Fotografía 5. Crecimiento del cultivo



Fotografía 6. Desarrollo de la inflorescencia

Anexo 4. Panel fotográfico de toma de datos



Fotografía 7. Medición de la altura de planta