

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Agronomía

**EFECTO DE CINCO NIVELES DE HUMIC ACID EN EL RENDIMIENTO
DE LA CEBOLLA (*Allium cepa* L.), VARIEDAD ROJA ILABAYA
EN LOS PICHONES, TACNA 2018**

TESIS

Presentada por:

Bach. SADITH ZEVALLOS EUGENIO

Para obtener el Título Profesional de:

INGENIERO AGRÓNOMO

TACNA –PERÚ

2026

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Agronomía

TESIS

EFFECTO DE CINCO NIVELES DE HUMIC ACID EN EL RENDIMIENTO DE LA CEBOLLA (*Allium cepa* L.), VARIEDAD ROJA ILABAYA EN LOS PICHONES, TACNA 2018

Tesis sustentada y aprobada el 26 de noviembre del 2025. estando como jurado calificador integrado por:


PRESIDENTE : _____


Dr. Oscar Octavio Fernández Cutire

SECRETARIO : _____


Dr. Nivardo Núñez Torreblanca

MIEMBRO : _____


MSc. Magno Santos Robles Tello

ASESOR : _____


MSc. Magno Santos Robles Tello

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Magno Santos Robles Tello, en mi calidad de asesor acreditado mediante la **Resolución de Facultad/Resolución de Pregrado N.º 15320-2025-FI/UNJBG**, de fecha 10 de marzo de 2026, del trabajo de tesis titulado: "Efecto de cinco niveles de humic acid en el rendimiento de la cebolla (*Allium cepa* L.), variedad Roja Ilabaya en Los Pichones, Tacna 2018", presentado por la Srta. Bach. Sadith Zevallos Eugenio, para optar el título profesional de Ingeniera Agrónoma.


Habiendo verificado el cumplimiento de lo dispuesto en el Reglamento de Originalidad y Similitud de trabajos de investigación y producción intelectual, y considerando que, conforme a la revisión, evaluación y análisis efectuados a través del software de similitud textual **TURNITIN**, el documento presenta un nivel de similitud del 10%, porcentaje que se encuentra dentro de los parámetros establecidos, **CERTIFICO** que la tesis cumple con los criterios normativos de originalidad y similitud, quedando autorizada para proseguir con los trámites correspondientes, incluida su sustentación y publicación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.

Se expide el presente certificado a solicitud de la interesada, para los fines pertinentes.

Tacna, 11 de marzo de 2026

FIRMA DEL ASESOR:

Nombres y Apellidos:


MSc. Magno Santos Robles Tello
DNI: 04416082



FIRMA DE LA TESISTA:

Nombres y Apellidos:


Bach. Sadith Zevallos Eugenio
DNI: 47030624



DEDICATORIA

A mis padres Luis Zevallos Simón y Elsa Eugenio Lino, por darme la vida, cuidarme, brindarme su amor e inculcarme valores como, respeto, puntualidad, honestidad y por ser el ejemplo de fortaleza para seguir en la vida.

Mi esposo e hija. Cristian Yeyson Liendo Vicente y Klayrel Luisela Liendo Zevallos por ser la fuerza de mi vida y estar siempre juntos en los bueno y malos momentos, brindándome su apoyo incondicionalmente para lograr mis objetivos.

AGRADECIMIENTO

A mi alma mater Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, por acogerme durante mi etapa estudiantil y formación profesional.

A mi asesor MSc. Magno Santos Robles Tello por su apoyo y consejos para culminación de mi trabajo de investigación.

A mis jurados MSc. Aristides Choquehuanca Tintaya, MSc. Nivardo Núñez Torreblanca y Ing. PhD. Dr. Oscar Octavio Fernández Cutiré. por su apoyo en la culminación de mi tesis.

A Ing. Gladys Huallpa Ccopa y al Técnico Ismael Mollinedo Tarapa por su colaboración y apoyo en campo

Al Ing. Marcos Manuel Alvarez Quispe por su apoyo y colaboración incondicional.

A mi compañero Ing. Max Tony Aguilar Catacora por ayudarme en la instalación de mi cultivo.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I : EL PROBLEMA.....	4
1.1. Descripción del problema.....	4
1.2. Formulación del problema	7
1.2.1. Problema general	7
1.2.2. Problemas específicos.....	7
1.3. Justificación.....	7
1.4. Delimitación de la investigación	9
1.4.1. Delimitación temporal	9
1.4.2. Delimitación espacial	9
CAPÍTULO II: OBJETIVOS E HIPÓTESIS	

2.1. Objetivos de la investigación	11
2.1.1. Objetivo general.....	11
2.1.2. Objetivos específicos	11
2.2. Hipótesis de la investigación	12
2.2.1. Hipótesis general	12
2.2.2. Hipótesis específicas	12
2.3. Variables.....	13
2.3.1. Variable independiente	13
2.3.2. Variable dependiente	13
 CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO	
3.1. Antecedentes.....	14
3.1.1. Internacionales	14
3.1.2. Nacionales	16
3.1.3. Locales	18
3.2. Bases teóricas sobre los ácidos húmicos.....	20
3.2.1. Ácidos húmicos (AHs).....	20
3.2.2. Origen y naturaleza de los ácidos húmicos (AHs)	22
3.2.3. Mecanismos de acción en la fisiología de la planta	23
3.2.4. Efectos de los ácidos húmicos en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo	24
3.2.5. Efectos de los ácidos húmicos en la tolerancia al estrés	25

3.3. Bases teóricas del cultivo de cebolla.....	26
3.3.1. Origen y distribución	26
3.3.2. Clasificación taxonómica	26
3.3.3. Botánica y fisiología	27
3.3.4. Factores edafoclimáticos	28
CAPÍTULO IV: MATERIALES Y MÉTODOS	
4.1. Diseño de la investigación.....	31
4.2. Ubicación del campo experimental.....	31
4.3. Cultivos anteriores del campo experimental.....	31
4.4. Material experimental	32
4.4.1. Características de la variedad roja llabaya	32
4.4.2. Características del Humic Acid	32
4.5. Características físicas y químicas del suelo	35
4.6. Datos meteorológicos.....	36
4.7. Tratamientos.....	37
4.8. Variables de respuesta	38
4.8.1. Altura de planta (cm planta ⁻¹).....	38
4.8.2. Diámetro polar del bulbo (mm bulbo ⁻¹).....	38
4.8.3. Diámetro ecuatorial del bulbo (mm bulbo ⁻¹).....	39
4.8.4. Diámetro del pseudotallo (mm planta ⁻¹).....	39
4.8.5. Peso promedio del bulbo (g bulbo ⁻¹).....	39

4.8.6. Peso de bulbos por unidad experimental (kg UE ⁻¹).....	40
4.8.7. Rendimiento de bulbos por hectárea (t ha ⁻¹).....	40
4.9. Diseño experimental.....	40
4.10. Características del campo experimental.....	41
4.10.1. Parcela experimental	41
4.10.2. Bloque experimental	42
4.10.3. Unidad experimental	42
4.11. Croquis del campo experimental	43
1.1. Análisis Estadístico.....	43
CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
5.1. Resultados	44
5.1.1. Altura de planta (cm planta ⁻¹).....	44
5.1.2. Diámetro polar del bulbo (mm bulbo ⁻¹).....	46
5.1.3. Diámetro ecuatorial del bulbo (mm bulbo ⁻¹).....	49
5.1.4. Diámetro del pseudotallo (mm).....	51
5.1.5. Peso promedio del bulbo (g bulbo ⁻¹).....	54
5.1.6. Peso de bulbo por unidad experimental (kg)	56
5.1.7. Rendimiento total (t ha ⁻¹)	59
5.2. Discusión.....	61
5.2.1. Altura de planta y desarrollo vegetativo	61
5.2.2. Diámetro ecuatorial y polar del bulbo	62

5.2.3. Promedio del bulbo y rendimiento total.....	63
CONCLUSIONES	65
RECOMENDACIONES.....	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
ANEXOS.....	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Características físicas y químicas del suelo del campo experimental	35
Tabla 2.	Datos meteorológicos registrados durante el tiempo de ejecución de la investigación	36
Tabla 3.	Descripción de los tratamientos, dosis y momentos de aplicación	38
Tabla 4.	Análisis de varianza para la altura de planta de cebolla roja llabaya	44
Tabla 5.	Análisis de regresión para la altura de planta vs niveles de Humic acid	45
Tabla 6.	Prueba de hipótesis de los coeficientes de regresión ...	45
Tabla 7.	Análisis de varianza para el diámetro polar del bulbo de cebolla roja llabaya	46
Tabla 8.	Análisis de regresión lineal para el diámetro polar del bulbo de cebolla roja llabaya	47
Tabla 9.	Prueba de hipótesis de los coeficientes de regresión ...	47
Tabla 10.	Análisis de varianza para el diámetro ecuatorial del bulbo de cebolla roja llabaya	49

Tabla 11.	Análisis de regresión lineal para el diámetro ecuatorial del bulbo vs niveles de Humic acid	49
Tabla 12.	Prueba de hipótesis de los coeficientes de regresión	50
Tabla 13.	Análisis de varianza para el diámetro del pseudotallo de cebolla roja llabaya	51
Tabla 14.	Análisis de regresión lineal simple para el diámetro del pseudotallo vs niveles de Humic acid	52
Tabla 15.	Prueba de hipótesis de los coeficientes de regresión	52
Tabla 16.	Análisis de varianza para el peso del bulbo de cebolla roja llabaya	54
Tabla 17.	Análisis de regresión lineal simple para el peso del bulbo vs niveles de Humic acid.....	54
Tabla 18.	Prueba de hipótesis de los coeficientes de regresión	55
Tabla 19.	Análisis de varianza para el peso de bulbo de cebolla roja llabaya por UE	56
Tabla 20.	Análisis de regresión lineal simple para el peso de bulbo por UE vs niveles de Humic acid.....	57
Tabla 21.	Prueba de hipótesis de los coeficientes de regresión	57
Tabla 22.	Análisis de varianza para el rendimiento total de cebolla roja llabaya	59

Tabla 23.	Análisis de regresión lineal simple para el rendimiento total vs niveles de Humic acid.....	59
Tabla 24.	Prueba de hipótesis de los coeficientes de regresión ...	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto de niveles de Humic acid en la variación de la altura de planta de cebolla roja llabaya.....	46
Figura 2. Efecto de niveles de Humic acid en la variación del diámetro polar del bulbo de cebolla roja llabaya	48
Figura 3. Efecto de niveles de Humic acid en la variación del diámetro ecuatorial del bulbo de cebolla roja llabaya	51
Figura 4. Efecto de niveles de Humic acid en la variación del diámetro del pseudotallo de cebolla roja llabaya	53
Figura 5. Efecto de niveles de Humic acid en la variación del peso promedio de bulbo de cebolla roja llabaya.....	56
Figura 6. Efecto de niveles de Humic acid en la variación del peso de bulbo de cebolla roja llabaya por UE	58
Figura 7. Efecto de niveles de Humic acid en la variación del rendimiento total de bulbos de cebolla roja llabaya	61

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Datos registrados y tabulados de las variables de estudio	75
Anexo 2. Panel fotográfico	76

RESUMEN

La presente investigación titulada “Efecto de cinco niveles de ácido húmico en el rendimiento de la cebolla variedad Roja Ilabaya” tuvo como objetivo evaluar el efecto de cinco niveles de Humic acid en el rendimiento de la cebolla (*Allium cepa* L.), variedad Roja Ilabaya, en el CEA III Los Pichones, Tacna, durante la campaña 2018. Los niveles de Humic acid utilizados fueron: 0, 1, 2, 3 y 4 L ha⁻¹ y se establecieron en un diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con cuatro repeticiones, y los datos se analizaron mediante el análisis de varianza y regresión lineal. La respuesta a los niveles crecientes de Humic acid fue lineal en todas las variables evaluadas. La dosis de 4 L/ha⁻¹ se identificó como el nivel óptimo, ya que maximizó la productividad total, obteniendo un rendimiento de 34,01 t/ha⁻¹. por lo tanto, al incrementar un litro de Humic acid, el rendimiento se incrementó en 1,8995 t/ha⁻¹, el peso promedio del bulbo en 24,4248 g, la altura de planta en 3,631 cm, el diámetro ecuatorial presentó un valor de 3,4983 mm, el diámetro polar en 4,741 mm, y el diámetro del pseudotallo en 1,3705 mm.

Palabras clave: Ácido húmico, Bioestimulante, , rendimiento, calidad del bulbo.

ABSTRACT

The present research entitled “Effect of five levels of humic acid on the yield of onions Roja Ilabaya variety” aimed to evaluate the effect of five levels of humic acid on the yield of onions (*Allium cepa* L.), Roja Ilabaya variety, at CEA III Los Pichones, Tacna, during the 2018 season. The levels of humic acid used were: 0, 1, 2, 3, and 4 L ha⁻¹ and were established in a completely randomized block design (CRBD) with four replicates, and the data were analyzed using analysis of variance and linear regression. The response to increasing levels of humic acid was linear in all variables evaluated. The dose of 4 L/ha⁻¹ was identified as the optimal level, as it maximized total productivity, obtaining a yield of 34,01 t/ha⁻¹. Therefore, by increasing one liter of humic acid, the yield increased by 1,8995 t/ha, the average bulb weight by 24,4248 g, the plant height by 3,631 cm, the equatorial diameter by 3,4943 mm, the polar diameter by 4,741 mm, and the pseudostem diameter by 1,3705 mm.

Keywords: Humic acid, Biostimulant, Yield, Bulb quality.

INTRODUCCIÓN

La cebolla (*Allium cepa* L.) es uno de los cultivos hortícolas más importantes a nivel mundial, reconocida tanto por su valor alimenticio como por sus propiedades nutraceuticas. En países como Perú, la cebolla representa un cultivo fundamental para las economías locales y regionales, siendo esencial para el sustento de familias agricultoras y para la generación de empleo en áreas rurales. La variedad Roja Ilabaya, propia del sur del país, destaca por su sabor particular y calidad, lo que la convierte en un producto altamente apreciado tanto en el mercado nacional como internacional.

El éxito del cultivo de cebolla está estrechamente ligado a las prácticas agronómicas, el manejo del suelo y el uso adecuado de insumos que favorezcan el desarrollo vegetativo y el rendimiento del cultivo. En este sentido, Los ácidos húmicos han ganado protagonismo como un bioestimulantes naturales que mejoran la fertilidad del suelo y promueven el crecimiento saludable de las plantas. Los ácidos húmicos son componentes orgánicos derivados de la materia orgánica en descomposición, que actúa como un agente quelante de nutrientes, facilitando su absorción por las raíces y estimulando la actividad microbiana

del suelo. Estos beneficios se traducen en un mejor desarrollo radicular, mayor resistencia al estrés abiótico y un incremento en la producción agrícola.

Diversos estudios han demostrado la influencia positiva de los ácidos húmicos en cultivos hortícolas, incluyendo la cebolla, donde su aplicación ha mostrado mejoras significativas en el rendimiento, calidad del bulbo y eficiencia en el uso del agua y nutrientes. Sin embargo, los efectos pueden variar dependiendo de la dosis aplicada, el método de aplicación, el tipo de suelo y las condiciones climáticas específicas de cada región. Por ello, resulta crucial realizar evaluaciones específicas que permitan determinar las dosis óptimas de ácidos húmicos para variedades concretas y zonas agrícolas determinadas.

En el contexto de la región de Tacna, y específicamente en la zona de Los Pichones, se identifican condiciones edafoclimáticas particulares que influyen en la producción agrícola. Estas condiciones, junto con la creciente demanda por mejorar la productividad y sostenibilidad del cultivo de cebolla, generan la necesidad de optimizar las prácticas agronómicas basadas en insumos orgánicos como el ácido húmico. Así, la presente investigación se orienta a evaluar el efecto de cinco niveles de ácido húmico en el rendimiento de la cebolla variedad Roja Ilabaya, con el objetivo de

aportar información técnica relevante para los agricultores de la región, mejorar la eficiencia productiva y promover prácticas agrícolas sostenibles.

Este estudio permitirá delimitar la dosis más eficiente de ácido húmico para mejorar la calidad y cantidad de la cosecha, contribuyendo también a la conservación del suelo y al uso responsable de insumos agrícolas. Además, se busca brindar un marco de referencia que pueda utilizarse para futuras investigaciones y que sirva de base para la formulación de recomendaciones agronómicas específicas para la región de Tacna.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

En la región de Tacna, el cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.), particularmente la variedad Roja Ilabaya, representa una de las actividades agrícolas más importantes por su relevancia económica y social. Este producto no solo abastece los mercados locales y nacionales, sino que también constituye una fuente de ingresos para cientos de familias agricultoras, generando empleo en diversas etapas de la cadena productiva. No obstante, a pesar de esta importancia, los rendimientos obtenidos en campo suelen ser inestables y en muchos casos se ubican por debajo del potencial productivo que la variedad podría alcanzar bajo un manejo agronómico adecuado. En promedio, los agricultores logran entre 25 y 35 toneladas por hectárea, mientras que en condiciones tecnificadas es posible superar las 50 toneladas, evidenciando una brecha productiva que limita la competitividad del cultivo en la región.

La explicación de esta problemática está asociada a múltiples factores, siendo uno de los más relevantes la condición de los suelos del valle de

Tacna, los cuales presentan bajos niveles de materia orgánica, problemas de salinidad y una estructura poco favorable para el desarrollo radicular. Esta situación se agrava con el uso intensivo de fertilizantes químicos, que, si bien aportan nutrientes de rápida disponibilidad, no contribuyen a mejorar las características físicas ni biológicas del suelo. Como resultado, la eficiencia en la absorción de nutrientes disminuye y se reduce la capacidad de la planta para expresar su potencial genético, lo que repercute directamente en el rendimiento y la calidad de los bulbos.

Las consecuencias de esta situación afectan a distintos niveles. En lo económico, la baja productividad disminuye la rentabilidad del cultivo, limitando los ingresos de los agricultores y reduciendo su capacidad de reinversión. En lo social, la inestabilidad en la producción repercute en la oferta de empleo agrícola, que constituye una de las principales fuentes de trabajo temporal en la zona. Desde el punto de vista ambiental, la dependencia casi exclusiva de fertilizantes químicos incrementa los riesgos de salinización y contaminación de las aguas subterráneas, comprometiendo la sostenibilidad de los recursos naturales. En lo técnico, la falta de investigaciones locales que evalúen alternativas de manejo limita la disponibilidad de información científica que permita recomendar prácticas adaptadas a las condiciones edafoclimáticas de Tacna.

En este contexto, surge la necesidad de explorar opciones que permitan incrementar el rendimiento de la cebolla Roja Ilabaya sin comprometer la sostenibilidad de los suelos. Una alternativa son los ácidos húmicos, derivados de la descomposición de la materia orgánica, los cuales han demostrado en diversos estudios mejorar la estructura del suelo, aumentar la disponibilidad de nutrientes y estimular el crecimiento vegetal. Sin embargo, en la región Tacna aún no se cuenta con suficiente información sobre la respuesta del cultivo a diferentes dosis de Humic acid, lo que dificulta establecer recomendaciones técnicas que orienten su aplicación eficiente.

Frente a ello, la presente investigación se propone evaluar el efecto de cinco niveles de Humic acid en el rendimiento de la cebolla Roja Ilabaya en el Centro Experimental Agrícola "Los Pichones". De esta manera, se busca generar evidencia científica que permita determinar el nivel de aplicación más adecuado para mejorar la productividad y calidad del cultivo, ofreciendo a los agricultores una alternativa viable para optimizar el uso de insumos y favorecer la sostenibilidad de sus sistemas productivos. Con ello, se espera contribuir al fortalecimiento de la competitividad de la cebolla Roja Ilabaya, garantizando mayores ingresos para los productores y una producción más sostenible en la región de Tacna.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es el efecto de cinco niveles de Humic acid en el rendimiento de la cebolla (*Allium cepa* L.), variedad Roja Ilabaya, en el Centro Experimental Agrícola Los Pichones, Tacna, durante la campaña 2018?

1.2.2. Problemas específicos

¿Qué nivel de Humic acid favorece un mayor desarrollo vegetativo en la cebolla Roja Ilabaya bajo las condiciones edafoclimáticas del CEA III Los Pichones?

¿Cuál es el nivel óptimo de Humic acid que maximiza el rendimiento de bulbos de cebolla Roja Ilabaya en condiciones del CEA III Los Pichones?

¿De qué manera la aplicación de Humic acid contribuye a mejorar la calidad comercial de los bulbos de cebolla Roja Ilabaya en condiciones del CEA III Los Pichones?

1.3. Justificación

La cebolla (*Allium cepa* L.), variedad Roja Ilabaya, constituye un cultivo de gran importancia económica, social y alimentaria en la región de Tacna, dado que es uno de los productos hortícolas de mayor demanda en los

mercados regionales y nacionales, y representa una fuente significativa de ingresos y empleo para los agricultores. Sin embargo, los rendimientos obtenidos en campo suelen ser inferiores al potencial esperado debido a la baja fertilidad de los suelos, la escasa materia orgánica y la dependencia de fertilizantes químicos, lo que limita la sostenibilidad de los sistemas productivos.

El uso de enmiendas húmicas, como el Humic acid, se plantea como una alternativa viable para mejorar la estructura del suelo, favorecer la absorción de nutrientes y estimular el crecimiento vegetal. No obstante, en Tacna existe poca evidencia científica sobre su aplicación en el cultivo de cebolla Roja Ilabaya, particularmente respecto a los niveles de dosificación más adecuados bajo las condiciones edafoclimáticas locales. Esta carencia de información dificulta la formulación de recomendaciones técnicas para los agricultores.

La presente investigación se justifica en el plano científico, porque generará información experimental que permitirá evaluar el efecto de cinco niveles de Humic acid en el rendimiento y calidad del bulbo de cebolla. En el plano económico, ofrecerá alternativas para incrementar la productividad y rentabilidad del cultivo, mejorando la competitividad de los productores locales. En el plano social, contribuirá a fortalecer la seguridad alimentaria

y a generar mayores oportunidades de empleo agrícola. Finalmente, en el plano ambiental, promoverá prácticas sostenibles que reduzcan la dependencia de fertilizantes sintéticos, favoreciendo el uso de enmiendas orgánicas que mejoran la fertilidad del suelo a largo plazo.

En este sentido, la investigación aportará conocimientos aplicables que beneficiarán tanto a la comunidad científica como a los agricultores, brindando una herramienta tecnológica que optimice la producción de cebolla Roja Ilabaya y contribuya al desarrollo sostenible de la agricultura en Tacna.

1.4. Delimitación de la investigación

1.4.1. Delimitación temporal

El estudio se desarrolló durante la campaña agrícola del año 2018, comprendida entre los meses de agosto y diciembre, período en el cual se llevaron a cabo la instalación del cultivo, la aplicación de los tratamientos con Humic acid, el manejo agronómico correspondiente y la cosecha de la cebolla variedad Roja Ilabaya.

1.4.2. Delimitación espacial

La investigación se realizó en el Centro Experimental Agrícola III “Los Pichones”, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de

La Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann se localiza en el distrito, provincia y región de Tacna, a una altitud de 560 m s. n. m., en las coordenadas geográficas 17°39'30" de latitud sur y 70°14'22" de longitud oeste.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1. Objetivos de la investigación

2.1.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de cinco niveles de Humic acid en el rendimiento de la cebolla (*Allium cepa* L.), variedad Roja Ilabaya, en el Centro Experimental Agrícola Los Pichones, Tacna, durante la campaña 2018.

2.1.2. Objetivos específicos

Determinar el nivel de Humic acid que favorece un mayor desarrollo vegetativo de la cebolla Roja Ilabaya bajo las condiciones edafoclimáticas del CEA III Los Pichones.

Identificar el nivel óptimo de Humic acid que maximiza el rendimiento de bulbos de cebolla Roja Ilabaya en condiciones del CEA III Los Pichones.

Establecer el nivel óptimo de Humic acid en la calidad comercial de los bulbos de cebolla Roja Ilabaya en condiciones del CEA III Los Pichones

2.2. Hipótesis de la investigación

2.2.1. Hipótesis general

La aplicación de cinco niveles de Humic acid influye significativamente en el rendimiento de la cebolla (*Allium cepa* L.), variedad Roja Ilabaya, en el Centro Experimental Agrícola Los Pichones, Tacna, durante la campaña 2018.

2.2.2. Hipótesis específicas

Existe un nivel de Humic acid que promueve un mayor desarrollo vegetativo de la cebolla Roja Ilabaya bajo las condiciones edafoclimáticas del CEA III Los Pichones.

El nivel óptimo de Humic acid incrementa significativamente el rendimiento de bulbos de cebolla Roja Ilabaya en condiciones del CEA III Los Pichones.

Existe un nivel adecuado de Humic acid que mejora la calidad comercial de los bulbos de cebolla Roja Ilabaya en condiciones del CEA III Los Pichones.

2.3. Variables

2.3.1. Variable independiente

Dosis de Humic acid ($L\ ha^{-1}$)

2.3.2. Variable dependiente

Rendimiento de bulbos ($t\ ha^{-1}$)

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes

3.1.1. Internacionales

Amiri Forotaghe et al. (2022) en su estudio evaluaron el impacto de la escasez de agua en el crecimiento y calidad de la cebolla amarilla dulce, bajo la aplicación de ácido húmico (AH) en el suelo. Se utilizaron tres niveles de riego: 80% (a1), 70% (a2) y 60% (a3) de la capacidad de campo (CC), combinados con dos niveles de AH: 0 (b1) y 100 mg/kg de suelo (b2), en un diseño factorial completamente al azar con cuatro repeticiones. Los resultados mostraron que la interacción entre los tratamientos de riego y AH afectó significativamente el peso seco de las hojas, la concentración de vitamina C, calcio, clorofila total y flavonoides en el bulbo, mientras que el rendimiento fresco de la cebolla no se vio afectado. A medida que aumentaba el déficit hídrico, se observó una disminución en las concentraciones de minerales y biomasa foliar, pero la aplicación de AH mejoró estas características, especialmente en condiciones de mayor escasez de agua, lo que sugiere que el AH puede ser útil para mejorar la calidad y el crecimiento bajo estrés hídrico.

Yadav et al. (2023) llevaron a cabo un experimento en Srinagar (Garhwal), Uttarakhand, con el objetivo de evaluar el efecto del ácido húmico y el ácido ascórbico en el crecimiento y rendimiento de la cebolla (*Allium cepa* L.). El diseño experimental fue un Diseño de Bloques Completamente Aleatorizados (DBCA) con tres repeticiones, y se utilizó la aplicación foliar de ácido húmico a concentraciones de 0, 30, 50 y 70 ppm, y ácido ascórbico a concentraciones de 0, 25, 40 y 60 ppm, aplicados 30 y 45 días después del trasplante. Los resultados mostraron que la aplicación de ácido húmico a 70 ppm junto con ácido ascórbico a 40 ppm (T15) produjo los mejores resultados en cuanto a altura de planta (39,44 cm), número de hojas por planta (10), longitud del bulbo (5,93 cm), diámetro del bulbo (5,47 cm), peso fresco del bulbo (88,20 g), peso seco del bulbo (13,88 g) y rendimiento por parcela (6,39 kg). Los valores más bajos se observaron en el tratamiento de control (T1). Este estudio concluyó que la combinación de ácido húmico y ácido ascórbico, especialmente en las concentraciones de 70 ppm y 40 ppm.

Sajid et al. (2012) realizaron un experimento en la Estación Mardan del Pakistán Agricultural Research Council (PARC) durante el invierno de 2010-2011 para evaluar el efecto de los ácidos húmicos en la producción de cebolla. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con una disposición de parcelas divididas con tres repeticiones. Los niveles de

humic (0, 1, 2 y 3 kg ha⁻¹) se aplicaron en las parcelas principales, mientras que las variedades de cebolla (Swat1, NARC y Parachinar Local) se asignaron a las subparcelas. Se aplicaron fertilizantes completos de fósforo (90 kg ha⁻¹) y potasio (60 kg ha⁻¹), y la mitad de nitrógeno antes del trasplante. Los resultados mostraron que Parachinar Local presentó la mejor respuesta con mayor altura de cuello (7,5 cm), altura de planta (80,9 cm), peso del bulbo (94,2 g), rendimiento por parcela (22,9 kg) y rendimiento total (36,1 t ha⁻¹). La aplicación de 2 kg ha⁻¹ de humic mejoró significativamente estos parámetros, alcanzando 96.4 g en peso de bulbo y 35,86 t ha⁻¹ de rendimiento total. Se concluyó que la variedad Parachinar Local y la aplicación de 2 kg ha⁻¹ de humic mejoran el rendimiento de cebolla.

3.1.2. Nacionales

Velarde (2017) en su estudio sobre el efecto de las enmiendas húmicas en el cultivo de cebolla se desarrolló en la empresa DIAZ PRODUCE S.A.C., Majes, Arequipa, entre agosto y noviembre de 2016. Su objetivo fue evaluar el impacto de estas enmiendas en el rendimiento y calidad del bulbo. Se aplicó un diseño de bloques completamente al azar con tres tratamientos (testigo, enmienda húmica comercial e Hipowder) y cuatro repeticiones, utilizando análisis de varianza y prueba de Tukey al 95% de

confianza. Los resultados mostraron rendimientos totales de 13 448 kg ha⁻¹ para el testigo, 8 060 kg ha⁻¹ para la enmienda comercial y 10 800 kg ha⁻¹ para Hipowder; el peso del bulbo fue mayor con Hipowder (317,75 g) y el diámetro del bulbo fue 95,63 mm con Hipowder, mejorando la calidad del cultivo.

Cavero & Machahuay (2019) en su experimento sobre la respuesta a la aplicación foliar de bioestimulante y ácido fúlvico en el cultivo de cebolla (*Allium cepa* L), cultivar Century, se llevó a cabo en el fundo "Arequipa", km 285,5 de la Carretera Panamericana Sur, distrito de Salas Guadalupe, Ica. El objetivo fue determinar la mejor dosis de bioestimulante y ácido fúlvico para optimizar la producción y características biométricas de la cebolla, además de analizar la rentabilidad económica. Se utilizó un diseño de bloque completamente al azar con arreglo factorial, evaluando tres dosis de cada producto más un testigo, con cinco repeticiones. Los resultados mostraron que las dosis óptimas fueron 4,5 L ha⁻¹ para bioestimulante (93 153 kg ha⁻¹) y 6,0 L ha⁻¹ para ácido fúlvico (93 341 kg ha⁻¹). La combinación Stimulate 4,5 L ha⁻¹ con Lignnus 30,5% 6,0 L ha⁻¹ alcanzó el mayor rendimiento (95,550 kg ha⁻¹) y rentabilidad con un ingreso neto de S/. 46 027 y una relación beneficio-costo de 1,34, superando al testigo en producción y calidad del bulbo.

Jiménez & Monjaras (2021) en su estudio titulado "Efecto de bioestimulantes y ácido fúlvico en el rendimiento y rentabilidad del cultivo de cebolla amarilla dulce en Villacurí", tuvo como objetivo determinar la dosis óptima de estos productos para mejorar la producción y rentabilidad de la cebolla. El estudio se realizó en la zona agrícola de Villacurí, Ica durante la campaña de cultivo de cebolla, utilizando un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con un arreglo factorial. Los resultados mostraron que el tratamiento 9 (Stimulate 3;75 l ha⁻¹ + Solt Fúlvico 6;0 kg ha⁻¹) alcanzó el mayor rendimiento con 91 114 kg ha⁻¹, seguido por los tratamientos 8 (90 168 kg ha⁻¹) y 6 (89 464 kg ha⁻¹), mientras que el testigo obtuvo 82;387 kg ha⁻¹. La relación beneficio-costos más alta fue de 1,32 en el tratamiento 9. Se concluye que este tratamiento fue el más rentable y efectivo para mejorar la producción.

3.1.3. Locales

Yupanqui (2018) investigó el efecto de sustancias húmicas en el cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.) var. Roja Ilabaya en Tacna. Se utilizaron las siguientes sustancias húmicas comerciales: Humic Acid (t1), Humifarm Plus (t2), Pow Humus (t3), Golden Black (t4) y un testigo (t0) sin aplicación. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con seis repeticiones. Para el análisis estadístico, se utilizó el

análisis de varianza, y para determinar el mejor tratamiento, se aplicó la prueba de Tukey a un nivel de significación de 0,05. Los resultados mostraron incrementos significativos en el rendimiento con respecto al testigo, alcanzando 39,42 t/ha con Humic Acid, 33,43 t/ha con Humifarm Plus, 33,01 t/ha con Golden Black y 31,26 t/ha con Pow Humus, frente a 28,65 t/ha en el control. Se concluyó que la aplicación de sustancias húmicas mejora la productividad y la calidad del bulbo de cebolla roja llabaya.

Mamani (2019) en su investigación realizada con el objetivo de evaluar el efecto de tres ácidos húmicos en el rendimiento de la var. Pegasus en CEA III Los Pichones, Tacna, se utilizaron los ácidos húmicos Root Flex, Humic Acid y Mega Green Plus 5-1-1, aplicados a una dosis de 2 l/ha. El diseño experimental utilizado fue de bloques completos aleatorios con cuatro repeticiones, y para la comparación entre tratamientos se utilizó la prueba de Duncan. Los resultados mostraron que el tratamiento Mega Green Plus 5-1-1 obtuvo el mayor rendimiento de bulbo, alcanzando 23,25 t/ha, también presentó el mayor diámetro ecuatorial (9,1 cm) y polar (6,2 cm). La mayor altura de planta (49,23 cm) se observó con el tratamiento Humic Acid. Este estudio concluyó que los ácidos húmicos, especialmente el Mega Green Plus 5-1-1, son efectivos para mejorar el rendimiento y la calidad de los bulbos de la cebolla.

Pari (2016) en su investigación titulada “Influencia de la aplicación de ácidos húmicos en el rendimiento de cebolla (*Allium cepa* L.) Roja Ilabaya, realizada en el CEA III Los Pichones, Tacna en el año 2012, con el objetivo de evaluar la aplicación de ácidos húmicos comerciales en el cultivo de cebolla roja Ilabaya. Se evaluaron seis ácidos húmicos comerciales Hummax (t2), Pantera húmico (t3), Vigor humic (t4), Humialga (t5), Humic-agro (t6) y Humifarm plus (t7) más un testigo (t1) sin aplicación. El diseño experimental fue de Bloques Completos al Azar con cuatro repeticiones. Los resultados obtenidos indicaron el mayor rendimiento se alcanzó con la aplicación de Vigor Humic, que obtuvo 39,08 t/ha, seguido por Humialga con 38,80 t/ha, y Pantera Húmico con 37,29 t/ha. El tratamiento testigo obtuvo un rendimiento de 29,54 t/ha. Este estudio concluyó que los ácidos húmicos mejoran significativamente el rendimiento y las características morfológicas de la cebolla roja Ilabaya.

3.2. Bases teóricas sobre los ácidos húmicos

3.2.1. Ácidos húmicos (AHs)

Los ácidos húmicos son clasificados como bioestimulantes debido a su capacidad para actuar sobre el metabolismo de la planta, siendo sus concentraciones de nutrientes agrónomicamente insignificantes. Se utilizan complementariamente a los programas de fertilización estándar con el

propósito de optimizar la eficiencia en el uso de nutrientes (EUN) y mejorar la calidad de los cultivos. Su aplicación también se asocia a la modulación positiva de la microflora del suelo, aunque la identificación precisa de todos sus mecanismos de acción es un campo de investigación continuo (Bulgari et al., 2015).

Materia Orgánica del Suelo (MOS) establece que los Ácidos Húmicos son una fracción clave del Humus. Son definidos como sólidos amorfos de color marrón oscuro , con un alto peso molecular , y se caracterizan químicamente por ser la porción soluble en hidróxidos alcalinos que, al acidificarse, precipita. Tienen una elevada capacidad de intercambio catiónico (CIC) y forman complejos que ayudan a retener y quelar nutrientes (Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura (Intagri), 2023).

Los AHs son una de las cinco categorías principales de bioestimulantes agrícolas, operando mediante mecanismos distintos a la fertilización. Mejora los parámetros de calidad del cultivo. Se ha reportado que los AHs aumentan los sólidos solubles totales y el contenido de ácido ascórbico en frutos de tomate (Calvo Vélez et al., 2014).

Los ácidos húmicos son fracciones complejas de las sustancias húmicas, extraídas del suelo o de materia orgánica mediante

fraccionamiento químico. Son solubles en soluciones alcalinas y poseen grupos funcionales como carboxilos y fenólicos, lo que les permite mejorar la fertilidad del suelo, aumentar la retención de nutrientes y agua, y favorecer la estructura del suelo, contribuyendo a la sostenibilidad agrícola (Baldotto & Baldotto, 2014).

3.2.2. Origen y naturaleza de los ácidos húmicos (AHs)

Los ácidos húmicos (AHs) constituyen una fracción esencial de las sustancias húmicas naturales, siendo compuestos orgánicos poliméricos que se forman mediante la descomposición de materia orgánica. Estos compuestos se extraen de fuentes como el suelo, la turba y los lignitos, y se caracterizan por su compleja estructura molecular. En el contexto agronómico, son reconocidos como uno de los componentes bioestimulantes de mayor aplicación, diferenciándose de los nutrientes minerales por su modo de acción (Bulgari et al., 2015).

Los ácidos húmicos (AHs) son sustancias húmicas (HSs), formados por la descomposición microbiana de la biota en el suelo. Los AHs son asociaciones supramoleculares, y no polímeros rígidos, controlando la disponibilidad de nutrientes en el suelo (Calvo Vélez et al., 2014).

3.2.3. Mecanismos de acción en la fisiología de la planta

El efecto de los AHs sobre la fisiología vegetal se manifiesta a través de mecanismos complejos que imitan la acción hormonal, principalmente la de las auxinas. Esta actividad promueve la elongación del brote y estimula el metabolismo primario. A nivel bioquímico, los AHs aumentan la biosíntesis de clorofila e inducen el metabolismo del carbono y nitrógeno, lo que resulta en una mayor acumulación de estos nutrientes en las hojas y una mejora general en el crecimiento de la planta (Bulgari et al., 2015).

Los AHs de bajo peso molecular presentan una actividad similar a las auxinas, siendo uno de sus efectos iniciales más comunes la estimulación del desarrollo del sistema radicular. Esta acción se ha vinculado a la activación de la H⁺-ATPasa y a la regulación de la respuesta de auxinas. Adicionalmente, mejoran la absorción de macro y micronutrientes como N, P, Fe y Cu (Calvo Vélez et al., 2014). Los ácidos húmicos en la fisiología de la planta, demostrado en cultivos resalta su papel como bioestimulantes esenciales en las bases teóricas de la nutrición vegetal moderna (Eustaquio et al., 2024).

3.2.4. Efectos de los ácidos húmicos en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo

Los ácidos húmicos ejercen una influencia fundamental en la mejora de las propiedades del suelo, actuando como agentes de acondicionamiento estructural y quelación. Estos compuestos orgánicos favorecen la agregación de las partículas del suelo, lo que se traduce en una mejor aireación y permeabilidad. A nivel químico, incrementan la capacidad de intercambio catiónico (CIC), permitiendo una mayor retención de nutrientes esenciales. Asimismo, poseen la capacidad de quelatar iones metálicos, optimizando su solubilidad y disponibilidad para la absorción radical por parte de la planta (Bulgari et al., 2015).

Los AHs desempeñan un papel crucial en la dinámica química del suelo al tener la capacidad de quelar iones metálicos. Los grupos carboxilo (CO₂H) y OH fenólicos de su estructura les permiten formar complejos con cationes. Este mecanismo de quelación es fundamental para la transformación, transporte y biodisponibilidad de varios micronutrientes, incluyendo el Hierro (Fe) y el Cobre (Cu) (Calvo Vélez et al., 2014).

Los ácidos fúlvicos y húmicos interactúan con microorganismos, promoviendo la movilidad de nutrientes y metales. Estas propiedades bioactivas abren posibilidades para aplicaciones tecnológicas en la

agricultura, particularmente en la mejora de la fertilidad y el manejo sostenible de suelos (Baldotto & Baldotto, 2014).

3.2.5. Efectos de los ácidos húmicos en la tolerancia al estrés

Los ácidos húmicos aminoran eficazmente los efectos del estrés abiótico, como la salinidad y la sequía. La aplicación de AHs se asocia con una reducción de la mortalidad vegetal bajo condiciones salinas. Ante la sequía, protegen a la planta mediante la inducción de la actividad de enzimas antioxidantes y el aumento en los niveles del osmoprotector prolina, sugiriendo además la regulación de genes como las acuaporinas (Calvo Vélez et al., 2014).

Los ácidos húmicos aplicados al suelo ofrecen beneficios directos al disminuir los efectos negativos del estrés por trasplante. Específicamente, estos ácidos orgánicos ejercen una alta incidencia en la rápida proliferación de raíces nuevas, lo que simultáneamente mejora la absorción y el transporte de nutrientes del suelo, y favorece el desarrollo de brotes aéreos. Esta acción no solo ayuda a superar el estado de estrés fisiológico inicial, sino que también promueve el vigor y la acumulación de biomasa en las etapas críticas del establecimiento del cultivo (Eustaquio et al., 2024).

3.3. Bases teóricas del cultivo de cebolla

3.3.1. Origen y distribución

La cebolla (*Allium cepa* L.) es una planta herbácea bienal que se cultiva comúnmente como anual por su bulbo comestible (Fornaris et al., 2012). El origen de esta hortaliza se sitúa en la región de Asia Central, específicamente en el genocentro que abarca el noroeste de la India, Afganistán, Tayikistán y Uzbekistán ((Pareek et al., 2017)). Actualmente, no se conocen formas silvestres de la especie *Allium cepa* (Fornaris et al., 2012). Su distribución se amplió desde Asia a Europa y, posteriormente, fue introducida al Nuevo Mundo por los colonizadores españoles en el siglo XVII, llegando a cultivarse en América desde 1629 (Hanelt, 1990). Gracias a su adaptabilidad, hoy en día la cebolla es un cultivo de importancia económica global, disperso y cultivado en casi todas las regiones del mundo (Pareek et al., 2017)

3.3.2. Clasificación taxonómica

Según la Fundación Charles Darwin (2023) la cebolla se clasifica:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta (Spermatophyta)

Clase: Liliopsida (Monocotyledoneae)

Orden: Asparagales (Liliales)

Familia: Amaryllidaceae (anteriormente Alliaceae o Liliaceae)

Subfamilia: Allioideae

Género: *Allium*

Especie: *Allium cepa* L.

3.3.3. Botánica y fisiología

La cebolla es una planta bienal que completa su ciclo en dos fases: en el primer año se produce la fase vegetativa culminando con la formación del bulbo; en el segundo año, tras un periodo de reposo y vernalización, produce el escapo floral (DeMason, 1990).

Raíz: Posee un sistema radicular fasciculado, poco profundo y sin ramificación intensa. Las raicillas son adventicias, desarrollándose a partir del disco caulinar, y suelen alcanzar una profundidad máxima de 25 a 30 cm (Rao, 2016).

Tallo: Es un tallo muy reducido, denominado disco caulinar o acaule, que se encuentra justo en la base del bulbo. De este disco nacen las raíces en la parte inferior y las hojas en la parte superior (DeMason, 1990).

Hojas: Se distinguen dos partes: el filodio, que es la parte verde y fotosintéticamente activa de la planta, de apariencia tubular y hueca; y la vaina foliar, que es la parte basal y engrosada que acumula sustancias de reserva, formando las túnicas concéntricas del bulbo (Rao, 2016).

Bulbificación: Es el proceso fisiológico clave y ocurre como respuesta a la interacción entre el fotoperiodo (largo del día) y la temperatura (Pareek et al., 2017). El fotoperiodo es el factor más determinante, clasificando a las variedades de cebolla en función de las horas de luz que necesitan para iniciar la formación del bulbo (Brewster, 1990). Durante la bulbificación, las células de las escamas se agrandan y detienen la producción de hojas y raíces (DeMason, 1990).

3.3.4. Factores edafoclimáticos

Los requerimientos edafoclimáticos son críticos para lograr altos rendimientos y una calidad óptima del bulbo (Mahmud, 2017).

Factores climáticos

Temperatura: La temperatura ideal para el desarrollo vegetativo (crecimiento foliar) oscila entre 15 y 20 °C (Rao, 2016). Para la formación del bulbo y la madurez, la planta requiere temperaturas más elevadas, típicamente entre 18 y 25 °C (Rao, 2016). Temperaturas bajas prolongadas pueden inducir prematuramente la floración (vernalización), un factor indeseado en la producción de bulbo (Pareek et al., 2017).

Fotoperiodo (Luz): Es el factor principal para la inducción de la bulbificación. La cebolla se clasifica como una planta de día largo, aunque existen variedades tempranas que requieren solo 10 a 12 horas de luz/día, mientras que las tardías o de guarda pueden necesitar hasta 13 a 14 horas/día (Mahmud, 2017)

Factores edáficos

Tipo de suelo: El cultivo se adapta a un amplio rango de texturas, desde franco-arenosas hasta arcillosas (García Carrión et al., 2020). Sin embargo, prefiere suelos de textura ligera a media (francos, arenosos o arcillolimosos), que sean profundos (35 a 50 cm), con buen drenaje y buena retención de humedad, ya que es sensible al encharcamiento (Mahmud, 2017).

pH del suelo: La cebolla es medianamente sensible a la acidez. El rango óptimo de pH se encuentra entre 6,0 y 7,5 (Mahmud, 2017). Valores ligeramente ácidos (6,0 a 6,5) son considerados ideales (Rao, 2016).

Materia orgánica (MO): Se requiere un medio a alto contenido de MO para garantizar una estructura adecuada y la disponibilidad de nutrientes; no obstante, no debe cultivarse en tierras recién estercoladas (Pareek et al., 2017).

CAPÍTULO IV

MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Diseño de la investigación

La investigación fue de tipo experimental

4.2. Ubicación del campo experimental

El trabajo experimental se ejecutó en el Centro Experimental Agrícola (CEA III) Los Pichones, el cual pertenece a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UNJBG. Cuyas coordenadas geográficas son 17°39'30" de latitud sur, 70°14'22" de longitud oeste y una altitud de 560 msnm.

4.3. Cultivos anteriores del campo experimental

La rotación de cultivos previa en la parcela experimental consistió en el establecimiento de zapallo (*Cucurbita maxima*) durante la campaña agrícola 2016. Posteriormente, en la campaña 2017, el campo se utilizó para el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*).

4.4. Material experimental

Como materiales experimentales se emplearon plantas de cebolla de la variedad roja llabaya y el ácido húmico comercial Humic acid.

4.4.1. Características de la variedad roja llabaya

La variedad roja llabaya de cebolla se caracteriza por su tamaño mediano a grande, forma esférica y una capa externa de color rojo intenso. Su carne es firme, jugosa y de sabor ligeramente dulce, lo que la hace ideal tanto para consumo en fresco como en cocinas tradicionales. Resistente a enfermedades y adaptable a diversas condiciones climáticas, esta variedad tiene un rendimiento promedio de 45 toneladas por hectárea, variando según el tipo de suelo, clima y prácticas de irrigación.

4.4.2. Características del Humic Acid

El Humic Acid es un ácido húmico comercial obtenido a partir de materia orgánica descompuesta, especialmente de leonardita. Se caracteriza por ser un compuesto oscuro, soluble en soluciones alcalinas, con propiedades que favorecen la mejora de la estructura del suelo, la retención de nutrientes y la estimulación del crecimiento vegetal. Además, promueve la actividad microbiana, mejora la eficiencia de los fertilizantes y contribuye a

la retención de agua en el suelo, favoreciendo un ambiente más saludable para las plantas.

El uso de ácido húmico comercial (humic acid) en cebolla puede explicarse a través de varios mecanismos fisiológicos clave. En primer lugar, los ácidos húmicos estimulan el crecimiento y la ramificación del sistema radicular, con mejoras observadas en la elongación de raíces laterales y aumento de la masa radicular. Por ejemplo, se ha observado que la aplicación de ácido húmico incrementa hasta un 27 % la biomasa de raíces y un 20 % la longitud de raíces laterales en maíz (Zandonadi et al., 2025). Este efecto sobre la raíz favorece una mayor absorción de agua y nutrientes, lo cual es crítico en cultivos de cebolla en suelos de Tacna o Arequipa con condiciones limitantes.

Otro mecanismo es la modulación hormonal: los ácidos húmicos han mostrado capacidad para inducir la expresión de genes vinculados a las vías de auxinas y citoquininas, favoreciendo la expansión celular, la ramificación radicular y el crecimiento del bulbo. En trigo, por ejemplo, se registró un aumento en la expresión de genes TAA1, YUC1 (auxina) e IPT2, LOG3 (citoquininas) tras tratamiento con ácido húmico (Rathor et al., 2024).

Además, se ha documentado que los ácidos húmicos activan la bomba H⁺-ATPasa en la membrana plasmática, lo que incrementa la absorción iónica y potencia la elongación de células radiculares (Canellas & Olivares, 2014).

En cuanto a la mejora de la nutrición vegetal, los ácidos húmicos modifican el microambiente rizosférico: aumentan la disponibilidad de macro- y micronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn) y mejoran la eficiencia del uso de fertilizantes. Por ejemplo, estudios muestran que la aplicación de ácido húmico mejora la absorción de nutrientes y la fotosíntesis en plantas bajo distintos cultivos (Noroozisharaf & Kaviani, 2018). Respecto a la actividad del suelo, los ácidos húmicos mejoran la estructura del suelo, aumentan la capacidad de retención de agua, fomentan la capacidad de intercambio catiónico y estimulan la actividad enzimática microbiana, favoreciendo la mineralización más eficiente de nutrientes y una mayor actividad de microorganismos benéficos (Ampong et al., 2022).

Finalmente, en suelos con estrés abiótico (por ejemplo, salinidad, baja materia orgánica, elevada evaporación) como suele ocurrir en zonas áridas donde se cultiva cebolla los ácidos húmicos actúan ayudando a amortiguar el estrés: reducen efectos del sodio, mejoran la capacidad antioxidante y favorecen una mayor tolerancia al estrés hídrico o térmico (Nabi et al., 2025).

4.5. Características físicas y químicas del suelo

Tabla 1

Características físicas y químicas del suelo del campo experimental

Cualidades generales		
Textura	F	Franco
Arena	42,0	%
Limo	39,0	%
Arcilla	19,0	%
Calcáreos		
CaCO ₃	0	%
pH	4,58	
C.E. (sales)	1,48	mS/cm
Nutrición principal		
Materia orgánica	1,14	%
N (total)	0,060	%
P	86,59	ppm
K	390	ppm
CIC	17,2	meq/100 g suelo
Ca ⁺⁺	11,52	meq/100 g suelo
Mg ⁺⁺	2,38	meq/100 g suelo
K ⁺	0,96	meq/100 g suelo
Na ⁺	0,45	meq/100 g suelo
H ⁺ + Al ⁺⁺⁺	1,89	Meq/100 g suelo
PSI	12,52	%
Saturación de bases	89,01	%

Fuente: Laboratorio de análisis y servicios E.I.R.L. Arequipa 2018

El análisis físico-químico del suelo del campo experimental (tabla 1) revela un sustrato de textura franca con una CIC media (17,2 meq/100 g), adecuada para el desarrollo del bulbo de cebolla. No obstante, la principal limitación para este cultivo, que requiere un pH cercano a la neutralidad, es la acidez extrema (pH 4,58). Dicha condición está asociada a una alta concentración de cationes ácidos (H⁺+Al⁺⁺⁺), lo que genera un riesgo crítico

de toxicidad por aluminio para el sistema radicular de la cebolla. El suelo también evidencia bajos niveles de materia orgánica (1,14%) y Nitrógeno total (0,060%). Pese a que el fósforo y el potasio se encuentran en niveles suficientes, la aplicación de ácidos húmicos está plenamente justificada para quelatar el aluminio tóxico, estabilizar el pH y, de manera crucial, potenciar el desarrollo radicular y la eficiencia de uso de nutrientes bajo las condiciones de bajo MO y acidez.

4.6. Datos meteorológicos

Tabla 2.

Datos meteorológicos registrados durante el tiempo de ejecución de la investigación

Meses 2019/2020	Temperatura (°C)			Humedad relativa (%)	Precipitación (mm/día)
	Máxima	Mínima	Media		
Octubre	22,4	12,1	17,3	79,3	-32,77
Noviembre	25,5	12,8	19,2	76,6	0,040
Diciembre	27,2	13,7	20,6	76,2	0,002
Enero	27,2	16,2	21,8	77,4	0,608
Febrero	28,8	16,2	22,7	76,6	0,687
Marzo	28,2	15,9	22,0	78,7	0,000

Fuente: Estación JORGE BASADRE - SENAMHI / DRD, 2019/2020

En la tabla 2, se observa un ascenso progresivo de las temperaturas, iniciando con una media de 17,3 °C en octubre y alcanzando su máximo en febrero con 22,7 °C. Este rango térmico resulta favorable para las fases de

crecimiento vegetativo y bulbificación de la cebolla. La humedad relativa se mantuvo consistentemente alta, fluctuando en un estrecho rango entre 76,2% y 79,3%, lo cual favorece la turgencia, pero exige un monitoreo fitosanitario riguroso para prevenir enfermedades fúngicas. En cuanto a la precipitación, esta fue prácticamente nula durante octubre (-32,77 mm/día), dato anómalo que sugiere un error de registro o balance negativo) y los meses críticos de inicio y finalización del ensayo (noviembre, diciembre y marzo), concentrándose la mayor parte en enero y febrero. Esta escasez pluviométrica subraya que el desarrollo del cultivo dependió esencialmente del riego controlado, asegurando la uniformidad hídrica de los tratamientos.

4.7. Tratamientos

Se establecieron cinco niveles de aplicación foliar de ácido húmico comercial Humic acid. Estos tratamientos, expresados en litros por hectárea ($L\ ha^{-1}$), se definieron de la siguiente manera:

- t₀: 0,0 L/ha de Humic acid (Testigo).
- t₁: 1,0 L/ha de Humic acid
- t₂: 2,0 L/ha de Humic acid
- t₃: 3,0 L/ha de Humic acid
- t₄: 4,0 L/ha de Humic acid

Tabla 3.

Descripción de los tratamientos, dosis y momentos de aplicación

N°	Tratamientos	Dosis (L/200)	Momentos y formas de aplicación
1	t ₀	0	
2	t ₁	1	1° aplicación: 15 días después del trasplante, 2°
3	t ₂	2	aplicación : Crecimiento vegetativo 3° aplicación:
4	t ₃	3	Inicio de bulbificación, las aplicaciones se
5	t ₄	4	realizaron vía drench

4.8. Variables de respuesta

4.8.1. Altura de planta (cm planta⁻¹)

Se evaluó la altura mediante la medición de 10 plantas seleccionadas al azar en cada unidad experimental. Se midió desde el pseudotallo hasta el ápice de la hoja más larga utilizando una wincha (cinta métrica). Los datos se registraron en centímetros (cm) y se promediaron para determinar la altura promedio de la planta.

4.8.2. Diámetro polar del bulbo (mm bulbo⁻¹)

El diámetro polar se determinó en 10 bulbos cosechados al azar de cada unidad experimental, midiendo la longitud desde el cuello hasta la base del bulbo (unión del tallo con las raíces). La medición se efectuó con un Vernier. Los valores obtenidos, expresados en milímetros (mm).y se promediaron para obtener el diámetro promedio del bulbo.

4.8.3. Diámetro ecuatorial del bulbo (mm bulbo⁻¹)

Esta variable, que representa la anchura máxima del bulbo, se midió en la misma muestra de 10 bulbos seleccionados en la variable anterior. La medición se tomó con el Vernier, perpendicularmente al eje polar. Los resultados, registrados en milímetros (mm), y se promediaron para obtener el diámetro ecuatorial promedio del bulbo.

4.8.4. Diámetro del pseudotallo (mm planta⁻¹)

Se midieron 10 plantas al azar en cada unidad experimental para evaluar el diámetro del pseudotallo en su zona basal, unión del cuello con el pseudotallo. La medición se realizó utilizando un Vernier. Los datos, registrados en milímetros (mm), se promediaron, para obtener el valor del pseudotallo.

4.8.5. Peso promedio del bulbo (g bulbo⁻¹)

El peso promedio individual del bulbo se determinó pesando por separado los 10 bulbos seleccionados aleatoriamente de cada unidad experimental. El pesado se realizó con una balanza de precisión con capacidad de 500 g. Los resultados se expresaron en gramos (g), y se promediaron para obtener el peso promedio del bulbo.

4.8.6. Peso de bulbos por unidad experimental (kg UE⁻¹)

Esta variable de rendimiento se obtuvo pesando la totalidad de los bulbos cosechados en cada unidad experimental (UE). El peso neto se realizó utilizando una báscula con capacidad de 100 kg. Los resultados se registraron en kilogramos (kg), representando el rendimiento bruto generado por la superficie específica de cada parcela de ensayo.

4.8.7. Rendimiento de bulbos por hectárea (t ha⁻¹)

El rendimiento final se calculó mediante la extrapolación del peso total de bulbos por unidad experimental (kg UE⁻¹) a la unidad de superficie estándar de una hectárea (ha). El rendimiento definitivo se expresó en toneladas por hectárea (t ha⁻¹).

4.9. Diseño experimental

El experimento se condujo bajo un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), considerado apropiado para controlar la variabilidad espacial del campo experimental. Se utilizaron cinco tratamientos de ácido húmico (0 L ha⁻¹ a 4 L ha⁻¹), totalizando cinco niveles de tratamiento, los cuales se distribuyeron aleatoriamente dentro de seis repeticiones.

Modelo aditivo lineal: El modelo matemático que sustenta el análisis de varianza (ANOVA) para el DBCA es el siguiente:

$$\tilde{Y}_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

\tilde{Y}_{ij} : Variable de respuesta (o valor observado) de la unidad experimental con el i -ésimo tratamiento en el j -ésimo bloque.

μ : Media general de la población.

τ_i : Efecto fijo del i -ésimo nivel de tratamiento de ácido húmico ($i=0, 1, 2, 3, 4$).

β_j : Efecto fijo del j -ésimo bloque o repetición ($j=1,2,3,4,5,6$).

ε_{ij} : Error experimental asociado a la unidad experimental con el i -ésimo tratamiento en el j -ésimo bloque

4.10. Características del campo experimental

4.10.1. Parcela experimental

Largo: 24 m

Ancho: 24 m

Área total: 576 m²

4.10.2. Bloque experimental

Largo: 12m

Ancho: 7,5 m

Área total: 90m²

4.10.3. Unidad experimental

Largo: 12 m

Ancho: 1,5 m

Área total: 18 m²

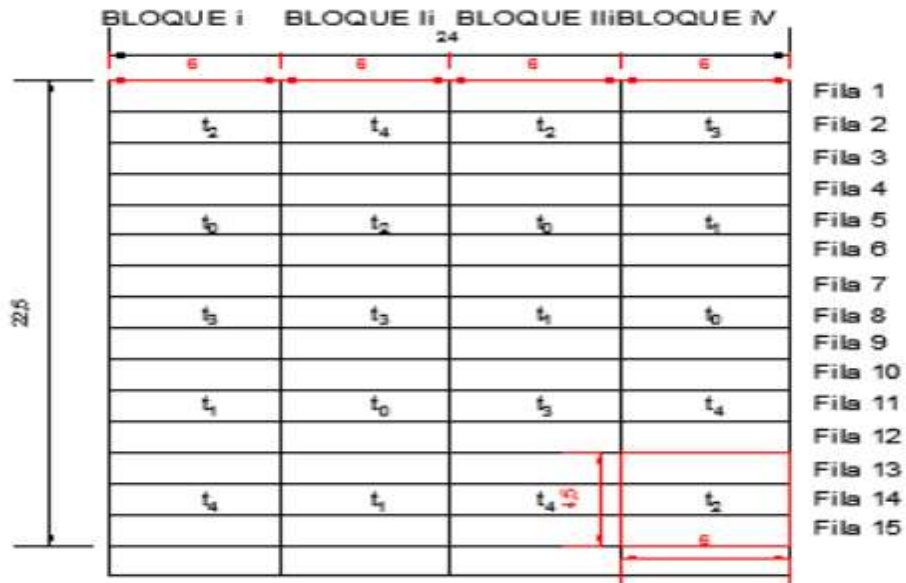
Número de plantas por unidad experimental: 240 plantas

Distanciamiento entre plantas: 0,10m

Distanciamiento entre filas: 0,75 m

Hileras por unidad experimental: 2

4.11. Croquis del campo experimental



1.1. Análisis Estadístico

El análisis de los datos se realizó mediante la técnica de análisis de varianza (ANOVA utilizando la prueba estadística F (Fisher) a niveles de significación de $\alpha=0,05$ y $\alpha=0,01$.

Adicionalmente, y dado que el factor en estudio es cuantitativo (niveles crecientes de Humic acid), se efectuó el análisis de regresión con el fin de modelar la relación matemática entre las variables de respuesta y las dosis aplicadas. Esta técnica permitió identificar el nivel óptimo de Humic acid para maximizar las variables de rendimiento y calidad en el cultivo de cebolla.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Resultados

5.1.1. Altura de planta (cm planta⁻¹)

Tabla 4.

Análisis de varianza para la altura de planta de cebolla roja llabaya

F. de V.	gl	SC	CM	Fc	P-value
Bloques	3	8,86	2,95	0,83	0,5004 ns
Niveles de Humic Acid	4	578,88	144,72	40,87	0,0001 **
Error experimental	12	42,49	3,54		
Total	19	630,23			

CV: 2,95% ns: No significativo **: Altamente significativo

El análisis de varianza (tabla 4) para la altura de planta de cebolla roja llabaya (tabla 4) indica que no existieron diferencias estadísticas entre bloques (P-value=0,5004), lo cual confirma una uniformidad de la parcela experimental. Para los niveles del ácido húmico se encontró diferencias estadísticas altamente significativas (P-value<0,0001), indicando que sí existen efectos reales entre sus promedios de altura de planta. El coeficiente de variación fue de 2,95%, valor que se considera bajo para experimentos a campo abierto, por lo tanto, valida la confiabilidad de los datos obtenidos en el experimento.

Tabla 5.*Análisis de regresión para la altura de planta vs niveles de Humic acid*

F. de V.	gl	SC	CM	Fc	Valor-P
Regresión	1	527,366	527,366	92,28	0,00000 **
Residual	18	102,865	5,7147		
Total	19	630,231			

R²: 88,21% Coeficiente de correlación: 91,47% **: Alta significación

El análisis de varianza de regresión lineal simple (tabla 5) para la altura de planta resultó altamente significativo ($P < 0,0001$), lo cual demuestra que existe una relación directa entre los niveles crecientes de ácido húmico y la altura de la planta de cebolla. Este hallazgo respalda la elección del análisis de regresión para determinar la dosis óptima.

Tabla 6.*Prueba de hipótesis de los coeficientes de regresión*

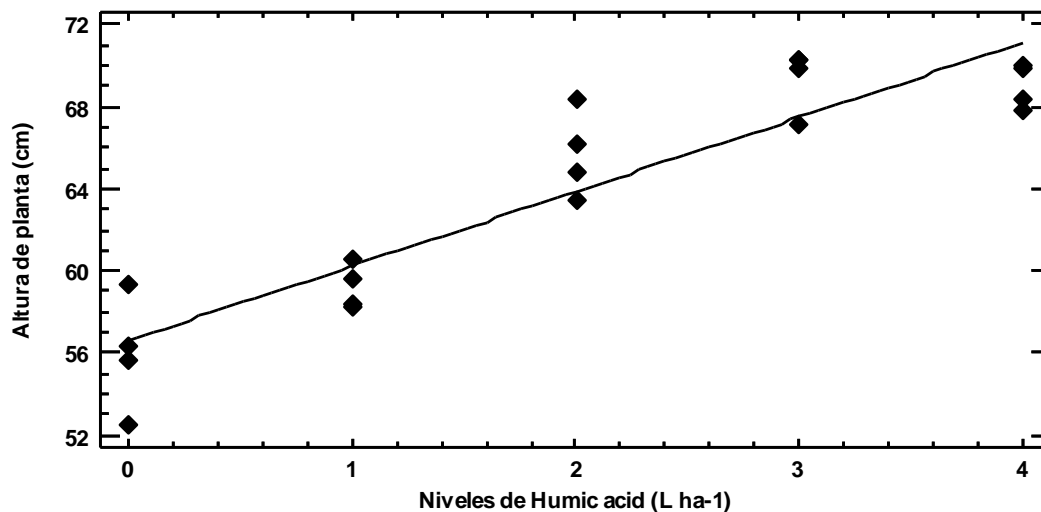
	Coeficientes	Error típico	t	Probabilidad
Intersección	56,5965	0,925854	61,129	0,0000
Dosis de Humic Acid	3,631	0,377978	9,60637	0,0000

Al realizar la prueba de hipótesis del coeficiente de regresión (tabla 6) resultó altamente significativo ($P < 0,0001$), indicando que por cada litro de Humic acid aplicado, la altura de planta se incrementa en 3,631 cm, obteniendo la siguiente función de respuesta:

$$\hat{y} = 56,5965 + 3,631X$$

Figura 1.

Efecto de niveles de Humic acid en la variación de la altura de planta de cebolla roja Ilabaya



En la figura 1, se evidencia una tendencia lineal positiva, la cual demuestra que el incremento en las dosis de ácido húmico resulta en un aumento progresivo y constante de la altura promedio de la planta de cebolla roja Ilabaya.

5.1.2. Diámetro polar del bulbo (mm bulbo⁻¹)

Tabla 7.

Análisis de varianza para el diámetro polar del bulbo de cebolla roja Ilabaya

F. de V.	gl	SC	CM	Fc	P-value
Bloques	3	35,88	11,96	0,64	0,6053 ns
Niveles de Humic Acid	4	985,15	246,29	13,12	0,0002 **
Error experimental	12	225,22	18,77		
Total	19	1.246,26			

CV: 6,75%

ns: No significativo

** : Altamente significativo

El análisis de varianza para el diámetro polar del bulbo (tabla 7) indica que no existieron diferencias estadísticas entre bloques (P-value=0,5369). Para los niveles de Humic acid se encontró diferencias estadísticas altamente significativas (P-value<0,0001), demostrando un efecto real de los niveles de Humic acid en el diámetro polar del bulbo. El coeficiente de variación fue de 6,75%, valor que confirma la alta precisión de los datos obtenidos.

Tabla 8.

Análisis de regresión lineal para el diámetro polar del bulbo de cebolla roja Ilabaya

F. de V.	gl	SC	CM	Fc	Valor-P
Regresión	1	899,083	899,083	46,61	0,00000 **
Residual	18	347,178	19,2876		
Total	19	1.246,26			

R²: 72,14% Coeficiente de correlación: 84,94% **: Alta significación

El análisis de varianza de regresión lineal simple (tabla 8) para el diámetro polar del bulbo resultó altamente significativo (P<0.0001), lo cual demuestra que existe una relación directa entre los niveles de Humic acid y el diámetro polar del bulbo de cebolla roja Ilabaya.

Tabla 9.

Prueba de hipótesis de los coeficientes de regresión

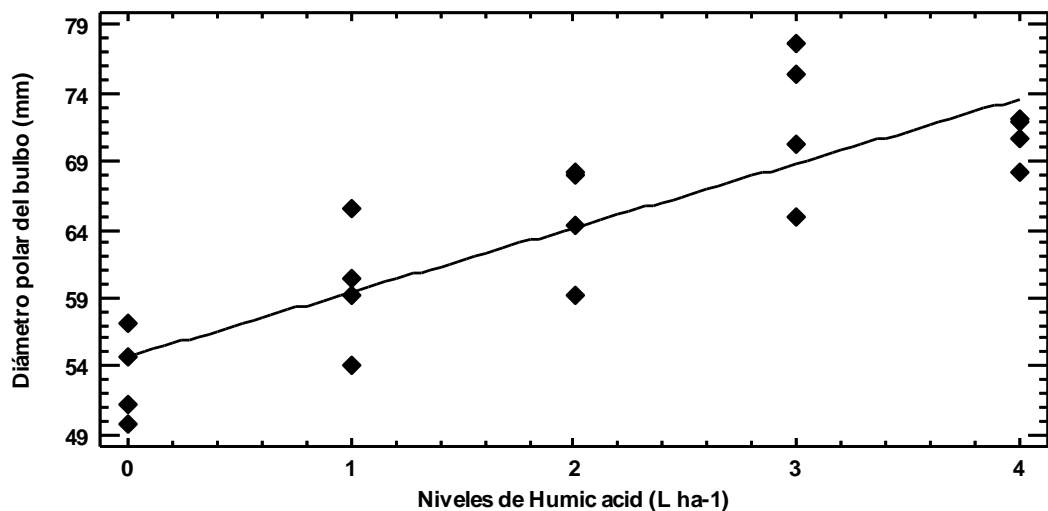
	Coefficientes	Error típico	t	Probabilidad
Intersección	54,653	1,70093	32,1313	0,0000
Dosis de Humic Acid	4,741	0,6944	6,82748	0,0000

Al realizar la prueba de hipótesis del coeficiente de regresión (tabla 9) resultó altamente significativo ($P < 0,0001$), indicando que por cada litro de Humic acid aplicado, el diámetro polar del bulbo se incrementa en 4,741 mm, obteniendo la siguiente función de respuesta:

$$\hat{y} = 54,653 + 4,741X$$

Figura 2.

Efecto de niveles de Humic acid en la variación del diámetro polar del bulbo de cebolla roja llabaya



En la figura 2, se observa una tendencia lineal claramente ascendente, lo cual confirma la relación directa y significativa entre el aumento de la dosis de Humic acid y el incremento del diámetro polar del bulbo de cebolla roja llabaya.

5.1.3. Diámetro ecuatorial del bulbo (mm bulbo⁻¹)

Tabla 10.

Análisis de varianza para el diámetro ecuatorial del bulbo de cebolla roja Ilabaya

F. de V.	gl	SC	CM	Fc	P-value
Bloques	3	35,88	11,96	0,64	0,6053 ns
Niveles de Humic Acid	4	985,15	246,29	13,12	0,0002 **
Error experimental	12	225,22	18,77		
Total	19	1.246,26			

CV: 5,92% ns: No significativo **: Altamente significativo

El análisis de varianza para el diámetro ecuatorial del bulbo (tabla 10) indica que no existieron diferencias estadísticas entre bloques (P-value=0,5186). Para los niveles de Humic acid se encontró diferencias estadísticas altamente significativas (P-value<0,0001), demostrando un efecto real de los niveles de Humic acid en el diámetro ecuatorial del bulbo. El coeficiente de variación fue de 5,92%, valor que confirma la alta precisión y confiabilidad de los datos.

Tabla 11.

Análisis de regresión lineal para el diámetro ecuatorial del bulbo vs niveles de Humic acid

F. de V.	gl	SC	CM	Fc	Valor-P
Regresión	1	489,51	489,51	32,28	0,00000 **
Residual	18	272,931	15,1628		
Total	19	762,441			

R²: 64,203% Coeficiente de correlación: 80,13% **: Alta significación

El análisis de varianza de regresión lineal simple (tabla 11) para el diámetro ecuatorial del bulbo resultó altamente significativo ($P < 0,0001$), lo cual demuestra que existe una relación directa entre los niveles de Humic acid y el diámetro ecuatorial del bulbo de cebolla roja Ilabaya.

Tabla 12.

Prueba de hipótesis de los coeficientes de regresión

	Coeficientes	Error típico	t	Valor-p
Intersección	60,043	1,50812	39,8131	0,0000 **
Dosis de Humic Acid	3,49825	0,615687	5,68186	0,0000 **

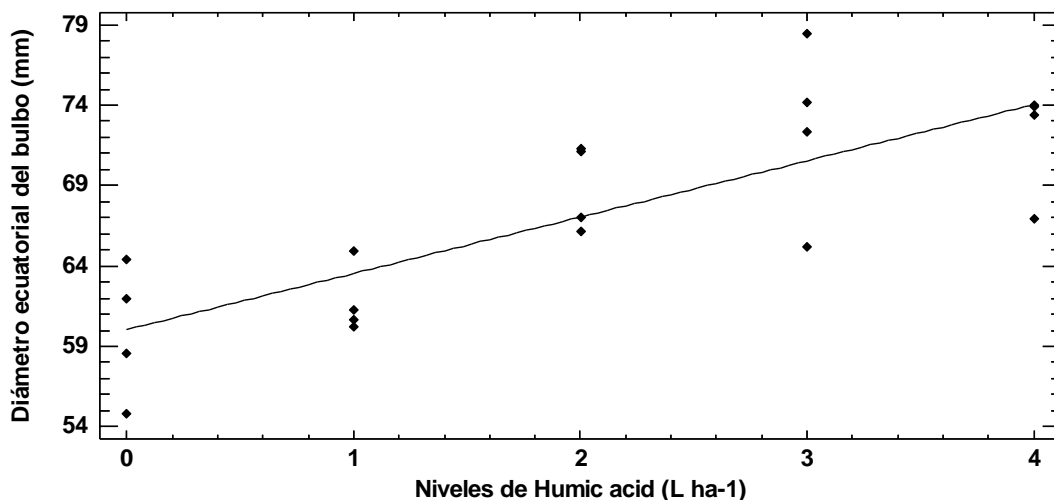
Al realizar la prueba de hipótesis del coeficiente de regresión (tabla 12) resultó altamente significativo ($P < 0,0001$), indicando que por cada litro de Humic acid aplicado, el diámetro ecuatorial del bulbo se incrementa en 3,49825 mm, obteniendo la siguiente función de respuesta:

$$\hat{y} = 60,043 + 3,49825X$$

En la figura 3, se observa una tendencia lineal positiva, lo cual corrobora la relación funcional demostrada por el análisis de regresión, indicando que el incremento en las dosis de ácido húmico está directamente asociado con el aumento en el diámetro ecuatorial del bulbo de cebolla roja Ilabaya.

Figura 3.

Efecto de niveles de Humic acid en la variación del diámetro ecuatorial del bulbo de cebolla roja llabaya



5.1.4. Diámetro del pseudotallo (mm)

Tabla 13.

Análisis de varianza para el diámetro del pseudotallo de cebolla roja llabaya

F. de V.	gl	SC	CM	Fc	P-value
Bloques	3	1,1698	0,39	3,33	0,0562 ns
Niveles de Humic Acid	4	92,0011	23,00	196,65	0,0000 **
Error experimental	12	1,40355	0,12		
Total	19	94,5745			

CV: 2,57% ns: No significativo **: Altamente significativo

El análisis de varianza para el diámetro del pseudotallo (tabla 13) indica que no encontró significación estadística significativa entre los bloques (P-value=0,5090). Por el contrario, se detectaron diferencias estadísticas altamente significativas para los niveles de Humic acid (P-value<0,0001),

lo cual demuestra un efecto real del ácido húmico en el desarrollo del pseudotallo. El coeficiente de variación fue de 2,57%, valor que corrobora la alta precisión y la fiabilidad de los datos obtenidos en el experimento.

Tabla 14.

Análisis de regresión lineal simple para el diámetro del pseudotallo vs niveles de Humic acid

F. de V.	gl	SC	CM	Fc	Valor-P
Regresión	1	75,1308	75,1308	69,55	0,00000 **
Residual	18	19,4437	1,0802		
Total	19	94,5745			

R2: 79,44% Coeficiente de correlación: 89,13% **: Alta significación

El análisis de varianza de regresión lineal simple (tabla 14) para el diámetro del pseudotallo resultó altamente significativo ($P < 0,0001$), lo cual establece una relación entre los niveles de Humic acid y el grosor del pseudotallo de la planta de cebolla roja llabaya.

Tabla 15.

Prueba de hipótesis de los coeficientes de regresión

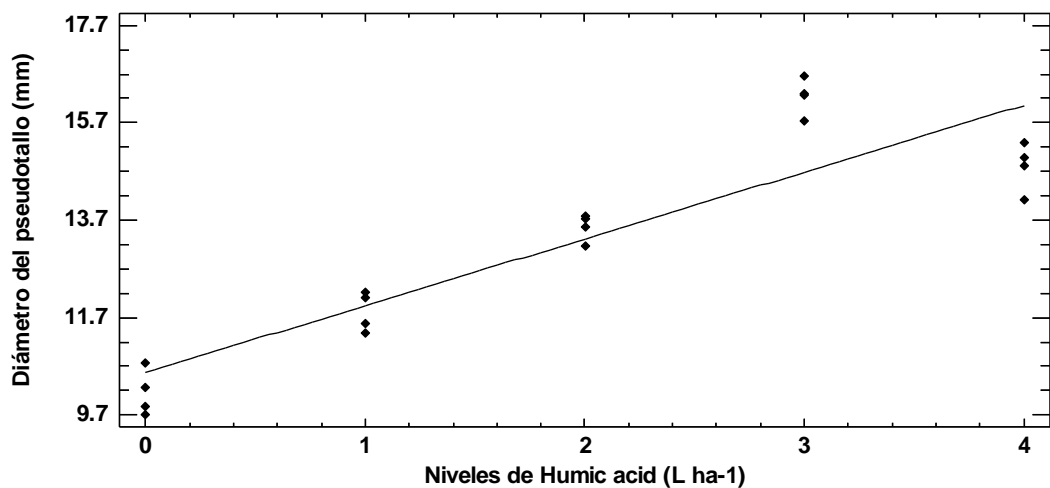
	Coefficientes	Error típico	t	Probabilidad
Intersección	10,575	0,40253	26,2713	0,00000
Dosis de Humic Acid	1,3705	0,164332	8,33981	0,00000

Al realizar la prueba de hipótesis del coeficiente de regresión (tabla 15) resultó altamente significativo ($P < 0,0001$), indicando que por cada litro de

Humic acid aplicado, el diámetro del pseudotallo se incrementa en 1,3705 mm. Este hallazgo establece la relación lineal, obteniendo la siguiente función de respuesta:

$$\hat{y} = 10,575 + 1,3705X$$

Figura 4.
Efecto de niveles de Humic acid en la variación del diámetro del pseudotallo de cebolla roja llabaya



En la figura 4, se visualiza una tendencia lineal claramente positiva, lo cual corrobora que el incremento de las dosis de ácido húmico está directamente relacionado con un aumento gradual y constante en el grosor del pseudotallo de la planta de cebolla roja llabaya.

5.1.5. Peso promedio del bulbo (g bulbo⁻¹)

Tabla 16.

Análisis de varianza para el peso del bulbo de cebolla roja Ilabaya

F. de V.	gl	SC	CM	Fc	P-value
Bloques	3	451,722	150,57	2,62	0,0991
Dosis de Humic Acid	4	25787,2	6446,80	112,01	0,0000
Error experimental	12	690,678	57,56		
Total	19	26929,6			

CV: 4,35%

ns: No significativo

** : Altamente significativo

El análisis de varianza para el peso promedio del bulbo (tabla 16) indica que no se encontró diferencias estadísticas significativas entre bloques (P-value=0,5283). Por el contrario, se detectaron diferencias estadísticas altamente significativas para los niveles de Humic acid (P-value<0,0001), lo cual demuestra un efecto real y significativo del ácido húmico en el peso unitario del bulbo. El coeficiente de variación fue de 4,35%, valor que corrobora la alta precisión y fiabilidad de los datos obtenidos en el experimento.

Tabla 17.

Análisis de regresión lineal simple para el peso del bulbo vs niveles de Humic acid

F. de V.	gl	SC	CM	Fc	Valor-P
Regresión	1	23862,7	23862,7	140,05	0,00000 **
Residual	18	3066,89	170,383		
Total	19	26929,6			

R²: 88,61%

Coefficiente de correlación: 94,13%

** : Alta significación

El análisis de varianza de regresión lineal simple (tabla 17) para el peso promedio del bulbo resultó altamente significativo ($P < 0,0001$), lo cual establece una relación directa entre los niveles de Humic acid y el peso unitario del bulbo de cebolla roja llabaya.

Tabla 18.

Prueba de hipótesis de los coeficientes de regresión

	Coeficientes	Error típico	t	Probabilidad
Intersección	125,414	5,05543	24,8077	0,00000
Dosis de Humic Acid	24,4248	2,06387	11,8344	0,00000

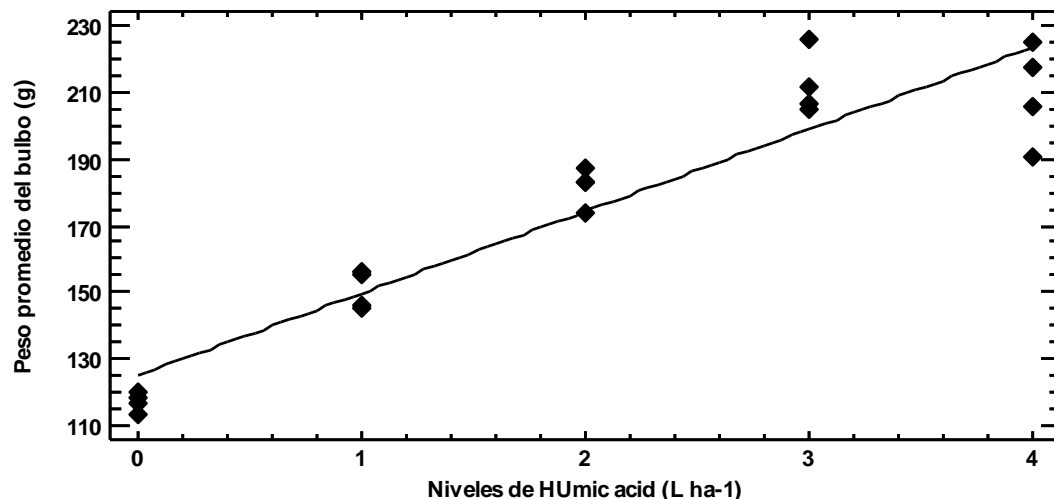
Al realizar la prueba de hipótesis del coeficiente de regresión (tabla 18) resultó altamente significativo ($P < 0,0001$), indicando que por cada litro de Humic acid aplicado, el peso promedio del bulbo se incrementa en 24,4248 g. Este resultado establece la relación lineal entre el ácido húmico y peso promedio del bulbo, obteniendo la siguiente función de respuesta:

$$\hat{y} = 125,414 + 24,4248X$$

En la figura 5, se observa una tendencia lineal ascendente con una clara pendiente positiva, lo cual corrobora que el incremento progresivo de las dosis de Humic acid está directamente relacionado con un aumento constante y significativo del peso promedio del bulbo de cebolla roja llabaya.

Figura 5.

Efecto de niveles de Humic acid en la variación del peso promedio de bulbo de cebolla roja llabaya



5.1.6. Peso de bulbo por unidad experimental (kg)

Tabla 19.

Análisis de varianza para el peso de bulbo de cebolla roja llabaya por UE

F. de V.	gl	SC	CM	Fc	P-value
Bloques	3	84,2186	28,07	1,74	0,2115 ns
Niveles de Humic Acid	4	887,733	221,93	13,78	0,0002 **
Error experimental	12	193,293	16,11		
Total	19	1.165,24			

CV: 5,37% ns: No significativo **: Altamente significativo

El análisis de varianza para el peso de bulbos por unidad experimental (tabla 19) indica que no existieron diferencias estadísticas significativas entre bloques (P-value=0,5407). Por otro lado, los niveles de Humic acid presentaron diferencias estadísticas altamente significativas (P-value<0,0001), demostrando que el ácido húmico generó un efecto real en

el rendimiento por unidad experimental. El coeficiente de variación fue de 5,37%, valor que corrobora la alta precisión y fiabilidad de los datos.

Tabla 20.

Análisis de regresión lineal simple para el peso de bulbo por UE vs niveles de Humic acid

F. de V.	gl	SC	CM	Fc	Valor-P
Regresión	1	884,352	884,352	56,67	0,00000 **
Residual	18	280,893	15,6052		
Total	19	1.165,24			

R2: 75,89% Coeficiente de correlación: 87,12% **: Alta significación

El análisis de varianza de regresión lineal simple (tabla 20) para el peso total de bulbos por unidad experimental resultó altamente significativo ($P < 0,0001$), lo cual establece una relación entre los niveles de Humic acid y el rendimiento por UE de cebolla roja llabaya.

Tabla 21.

Prueba de hipótesis de los coeficientes de regresión

	Coeficientes	Error típico	t	Probabilidad
Intersección	65,311	1,52996	42,6881	0,00000
Niveles de Humic acid	4,702	0,624603	7,52798	0,00000

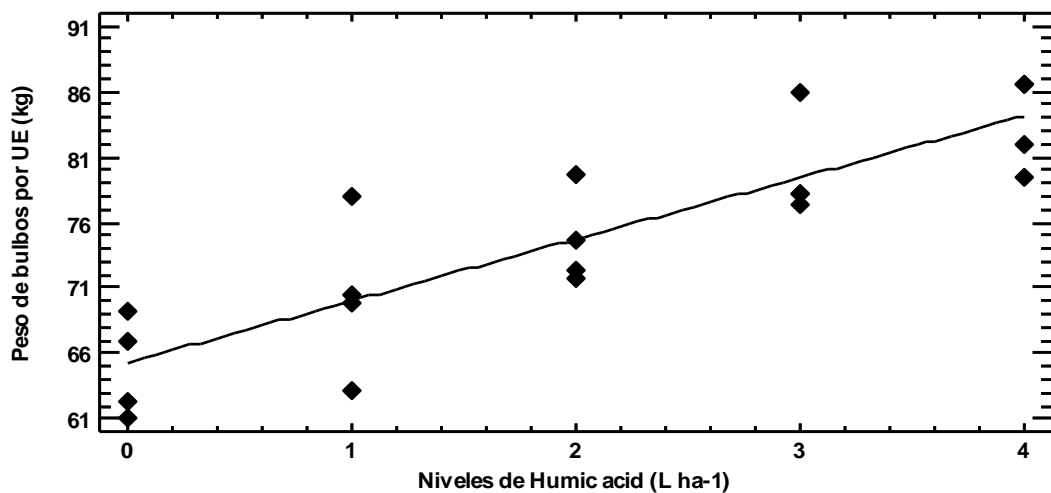
Al realizar la prueba de hipótesis del coeficiente de regresión (tabla 21) resultó altamente significativo ($P < 0,0001$), indicando que por cada litro de Humic acid aplicado, el peso total de bulbos por unidad experimental se

incrementa en 4,702 kg. Este resultado establece una relación lineal entre el ácido húmico y el rendimiento de la unidad experimental, obteniendo la siguiente función de respuesta:

$$\hat{y} = 65,311 + 4,702X$$

Figura 6.

Efecto de niveles de Humic acid en la variación del peso de bulbo de cebolla roja llabaya por UE



En la figura 6, se visualiza una tendencia lineal ascendente, lo cual corrobora de manera gráfica que existe una relación directamente proporcional entre el incremento de la dosis de ácido húmico y el aumento del peso total de bulbos cosechados por unidad experimental.

5.1.7. Rendimiento total (t ha⁻¹)

Tabla 22.

Análisis de varianza para el rendimiento total de cebolla roja Ilabaya

F. de V.	gl	SC	CM	Fc	P-value
Bloques	3	13,7285	4,58	1,74	0,2116 ns
Niveles de Humic acid	4	144,877	36,22	13,79	0,0002 **
Error experimental	12	31,5207	2,63		
Total	19	190,126			

CV: 5,37%

ns: No significativo

** : Altamente significativo

El análisis de varianza para el rendimiento de bulbos por hectárea (tabla 22) indica que no existieron diferencias estadísticas entre bloques (P-value=0.5407). Para los niveles de Humic acid se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas (P-value<0,0001). El coeficiente de variación fue de 4.05%, valor que confirma la alta precisión y fiabilidad de los datos.

Tabla 23.

Análisis de regresión lineal simple para el rendimiento total vs niveles de Humic acid

F. de V.	gl	SC	CM	Fc	Valor-P
Regresión	1	144,324	144,324	56,72	0,00000 **
Residual	18	45,8022	2,54456		
Total	19	190,126			

R2: 75,909%

Coefficiente de correlación: 87,13%

** : Alta significación

El análisis de varianza de regresión lineal simple (tabla 23) para el rendimiento total de bulbos por hectárea resultó altamente significativo

($P < 0,0001$), lo cual establece una relación entre los niveles de Humic acid y el rendimiento total. Este resultado valida la elección del análisis de regresión para determinar la dosis óptima.

Tabla 24.

Prueba de hipótesis de los coeficientes de regresión

	Coeficientes	Error típico	t	Probabilidad
Intersección	26,3885	0,617806	42,7132	0,00000
Dosis de Humic acid	1,8995	0,252218	7,53117	0,00000

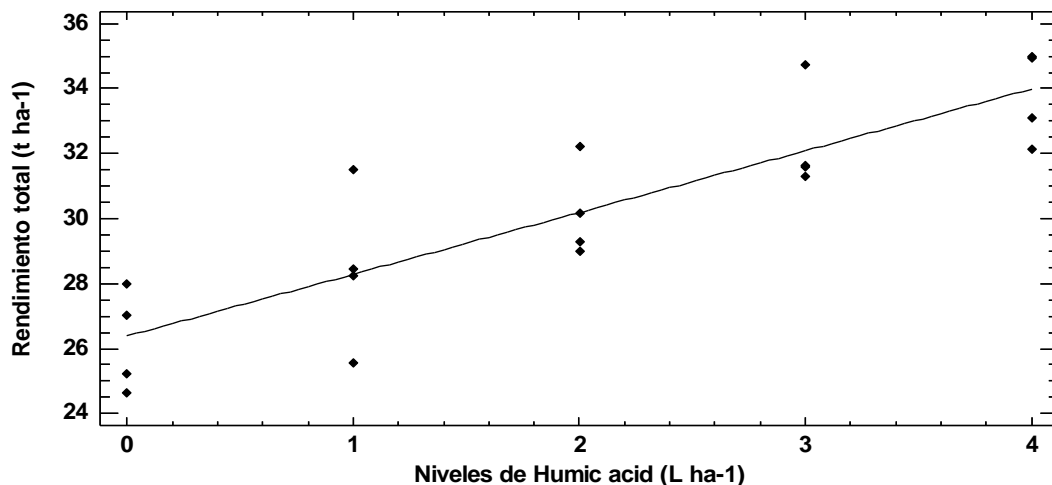
Al realizar la prueba de hipótesis del coeficiente de regresión (tabla 24) resultó altamente significativo ($P < 0,0001$), indicando que por cada litro de Humic acid aplicado, el rendimiento total de bulbos se incrementa en 1,8995 t/ha. Este resultado establece una relación lineal entre el ácido húmico y el rendimiento, obteniendo la siguiente función de respuesta:

$$\hat{y} = 26,3885 + 1,8995X$$

En la figura 7, se visualiza una clara tendencia lineal positiva, lo cual demuestra que existe una relación directa entre el aumento de la dosis de ácido húmico y el incremento del rendimiento total de bulbos de cebolla por hectárea, confirmando el efecto positivo del Humic acid en el rendimiento final.

Figura 7.

Efecto de niveles de Humic acid en la variación del rendimiento total de bulbos de cebolla roja llabaya



5.2. Discusión

5.2.1. Altura de planta y desarrollo vegetativo

El estudio confirmó el primer objetivo específico, demostrando un efecto altamente significativo del Humic acid en la altura de planta, con un incremento de 3,631 cm por cada litro del ácido húmico aplicado por hectárea. Esta respuesta lineal es consistente con el rol del ácido húmico como un bioestimulante. Se encontró una similitud notable con los hallazgos de Yadav et al. (2023), quienes obtuvieron una altura máxima de 39,44 cm al aplicar 70 ppm de ácido húmico, y Sajid et al. (2012), quienes reportaron alturas de 80,9 cm en la variedad Parachinar Local, lo cual respalda el efecto promotor del crecimiento del ácido húmico en la cebolla.

Las investigaciones de Mamani (2019) y Pari (2016) en el mismo CEA también reportaron incrementos en la altura, aunque el valor máximo de Mamani fue de 49,23 cm con 2 L/ha de ácido húmico, superando el promedio alcanzado en el presente estudio, lo cual podría atribuirse a las diferencias varietales (Pegasus vs Roja Ilabaya) o a las formulaciones de los ácidos húmicos utilizados. La diferencia más significativa fue la tendencia lineal sostenida hasta la dosis de 4 L/ha, lo cual contrasta con el modelo de respuesta más complejo o saturado que podría inferirse de otros estudios y se explica por la baja dotación inicial de materia orgánica del suelo del experimento (1,14%), donde el ácido húmico generó un beneficio en el suelo.

5.2.2. Diámetro ecuatorial y polar del bulbo

El efecto del Humic acid en la calidad comercial fue altamente significativo en los diámetros polar y ecuatorial, con incrementos de 1,0289 mm y 1,0416 mm respectivamente, por cada litro de ácido húmico aplicado. Esta similitud en el efecto promotor del calibre del bulbo es respaldada por Sajid et al. (2012) y Yadav et al. (2023), quienes obtuvieron diámetros máximos de 5,47 cm y 5,93 cm para el diámetro y la longitud del bulbo, respectivamente, confirmando el ácido húmico como potenciador del llenado. Asimismo, estos resultados tienen similitud con Velarde Valdivia

(2017) se estableció en el principio de que las enmiendas húmicas mejoran la calidad, aunque sus diámetros 95,63 mm en la var. Century con Hipowder fue superior a los promedios hallados en este estudio. Mamani (2019) reportó 9,1 cm de diámetro ecuatorial en la var. Pegasus, un valor también alto. Las diferencias se centran en la magnitud; el presente estudio, al utilizar una dosis creciente, demostró que la respuesta es dosis-dependiente en la Roja Ilabaya, a diferencia de los estudios que compararon tipos de enmiendas o combinaciones de bioestimulantes y ácido fúlvico (Cavero & Machahuay, 2019; Jiménez & Monjaras, 2021), los cuales reportaron altos rendimientos, pero con diferentes cultivares y productos. La uniformidad del incremento en ambos diámetros se relaciona con el mejoramiento de la nutrición, especialmente en K y P, mediado por el ácido húmico en el suelo ácido.

5.2.3. Promedio del bulbo y rendimiento total

El efecto más crítico fue el del rendimiento, donde el peso promedio del bulbo y el rendimiento total mostraron diferencias altamente significativas. El rendimiento total se incrementó en 1,8995 t/ha por cada litro de ácido húmico. Existe similitud con lo reportado por Sajid et al. (2012) que obtuvieron 35,86 t/ha con 2 kg/ha de ácido húmico; Yadav et al. (2023) lograron 6 39 kg por parcela con 70 ppm. Por otro lado, Yupanqui et

al.(2018) alcanzó un máximo de 39,42 t/ha y Pari et al. (2016) obtuvo 39,08 t/ha, ambos resultados similares a los del presente estudio, confirmando la efectividad del ácido húmico en la zona de Tacna. La diferencia fundamental se establece con los rendimientos de Ica, donde Jiménez y Monjaras (2021) y Cavero y Machahuay (2019) reportaron rendimientos totales de más de 91 t/ha y 93 t/ha respectivamente, usando bioestimulantes y ácido fúlvico en la variedad Amarilla Dulce. Esta diferencia se debe a la variedad (Roja Ilabaya vs Amarilla Dulce), las condiciones agroecológicas (Ica vs Tacna) y la tecnología de riego (goteo en Ica), aunque el principio de bioestimulación es el mismo. Los ácidos húmicos funcionan como un bioestimulante (Calvo Vélez et al., 2014) y un agente acondicionador del suelo (Baldotto & Baldotto, 2014), compensando el bajo nivel de materia orgánica y promoviendo la síntesis de precursores hormonales para el llenado (Bulgari et al., 2015). La implicación práctica es el establecimiento de la dosis de 4 L/ha como el nivel óptimo para maximizar el rendimiento de la cebolla Roja Ilabaya en estas condiciones.

CONCLUSIONES

El rendimiento total y el peso de bulbo aumentaron de manera lineal con los niveles de Humic acid, incrementándose 1,8995 t ha⁻¹ y 2,8094 g por cada litro aplicado; no se determinó un nivel óptimo dentro del rango evaluado.

El desarrollo vegetativo mostró una respuesta lineal positiva, elevándose la altura de planta y el diámetro del pseudotallo por litro de Humic acid; no se identificó una dosis óptima debido a la ausencia de un punto de inflexión.

Los parámetros de calidad comercial (diámetros polar y ecuatorial) también mejoraron linealmente, sin evidenciar un nivel de respuesta constante; por ello, no se estableció un nivel óptimo de Humic acid para la calidad del bulbo.

RECOMENDACIONES

Se recomienda aplicar 4 L/ha de Humic acid para la cebolla Roja llabaya, dado que maximizó el rendimiento total en 1,8995 t/ha por litro aplicado.

Se recomienda implementar un plan de bioestimulación con Humic acid para asegurar un óptimo desarrollo vegetativo (aumento de 0,8492 cm en altura de planta por litro de Humic acid) y un mejor calibre comercial.

Se recomienda realizar estudios complementarios con dosis de Humic acid superiores a 4 L/ha para delimitar la curva de respuesta (punto de inflexión) y determinar con precisión la dosis de máxima eficiencia económica.

Se recomienda priorizar la aplicación de Humic acid en suelos con características similares a las del ensayo (acidez y baja materia orgánica), debido a la alta respuesta lineal demostrada en la productividad y calidad del bulbo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amiri Forotaghe, Z., Souri, M. K., Ghanbari Jahromi, M., & Mohammadi Torkashvand, A. (2022). Influence of humic acid application on onion growth characteristics under water deficit conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 45(7), 1030-1040. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1994604>
- Ampong, K., Thilakaranthna, M. S., & Gorim, L. Y. (2022). Understanding the Role of Humic Acids on Crop Performance and Soil Health. *Frontiers in Agronomy*, 4, 848621. <https://doi.org/10.3389/fagro.2022.848621>
- Baldotto, M. A., & Baldotto, L. E. B. (2014). Ácidos húmicos. *Revista Ceres*, 61, 856-881. <https://doi.org/10.1590/0034-737x201461000011>
- Brewster, J. L. (1990). Physiology of Crop Growth and Bulbing. En *Onions and Allied Crops*. CRC Press.
- Bulgari, R., Cocetta, G., Trivellini, A., Vernieri, P., & Ferrante, A. (2015). Biostimulants and crop responses: A review. *Biological Agriculture & Horticulture*, 31(1), 1-17. <https://doi.org/10.1080/01448765.2014.964649>

- Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383(1-2), 3-41. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>
- Canellas, L. P., & Olivares, F. L. (2014). Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 1(1), 3. <https://doi.org/10.1186/2196-5641-1-3>
- Cavero Tucno, K., & Machahuay Huarcaya, J. D. (2019). *Respuesta de la aplicación foliar de tres dosis de bioestimulantes y tres dosis de ácido fúlvico en el cultivo de cebolla amarilla dulce (Allium cepa L.), cultivar Century, bajo riego por goteo en Villacuri* [Tesis para optar el grado de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica]. <https://hdl.handle.net/20.500.13028/3117>
- DeMason, D. A. (1990). Morphology and Anatomy of Allium. En *Onions and Allied Crops*. CRC Press.
- Eustaquio Salvatierra, F. T. (2024). *Leonardita y extractos húmicos como fuentes orgánicas para la agricultura* [(Trabajo de suficiencia para obtener el Título de Ingeniero Agrónomo)., Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/6594>

Fornaris Rullán, G. (2012). *Conjunto Tecnológico para la Producción de cebolla: Características de la planta*. Estación Experimental Agrícola de la Universidad de Puerto Rico.

Fundación Charles Darwin. (2023). *Base de Datos de las Especies de Galápagos*. CDF dataZone. <https://datazone.darwinfoundation.org/es/checklist/?species=1001>

Hanelt, P. (1990). Taxonomy, Evolution, and History. En *Onions and Allied Crops*. CRC Press.

Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura (Intagri). (2023). *Humus, Huminas, Ácidos Húmicos y Ácidos Fúlvicos*. <https://www.intagri.com/articulos/suelos/humus-huminas-acidos-humicos-y-acidos-fulvicos>

Jiménez Bobadilla, T., & Monjaras Macedo, E. M. (2021). *Respuesta a la aplicación foliar de tres dosis de bioestimulante y tres dosis de ácido fúlvico en el cultivo de cebolla (Allium cepa L.), cultivar Century, bajo riego por goteo en Villacuri* [Tesis para optar el grado de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica]. <https://hdl.handle.net/20.500.13028/4378>

- Mahmud, K. (2017). Environmental and genotypic effects on bulb development in onion – a review: *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 92(5), 448-454. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14620316.2017.1314199>
- Mamani Quispe, J. K. (2019). *Efecto de aplicación de 3 tipos de ácidos húmicos en rendimiento del cultivo de cebolla (Allium cepa L.) var. Pegasus en el CEA – III “Los Pichones” Departamento de Tacna* [Tesis para optar el grado de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. <https://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/20.500.12510/1237>
- Nabi, F., Sarfaraz, A., Kama, R., Kanwal, R., & Li, H. (2025). Structure-Based Function of Humic Acid in Abiotic Stress Alleviation in Plants: A Review. *Plants*, 14(13), 1916. <https://doi.org/10.3390/plants14131916>
- Noroozisharaf, A., & Kaviani, M. (2018). Effect of soil application of humic acid on nutrients uptake, essential oil and chemical compositions of garden thyme (*Thymus vulgaris* L.) under greenhouse conditions. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 24(3), 423-431. <https://doi.org/10.1007/s12298-018-0510-y>

Pareek, S., Sagar, N. A., Sharma, S., & Kumar, V. (2017). Onion (*Allium cepa* L.). En *Fruit and Vegetable Phytochemicals* (pp. 1145-1162). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119158042.ch58>

Pari Zapana, C. (2016). *Influencia de la aplicación de ácidos húmicos en el rendimiento de cebolla (Allium cepa L.) roja llabaya en el Centro Experimental Agrícola III "Los Pichones"—Tacna* [Tesis para optar el grado de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. <https://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/20.500.12510/1208>

Rao, N. K. S. (2016). Onion. En N. K. S. Rao, K. S. Shivashankara, & R. H. Laxman (Eds.), *Abiotic Stress Physiology of Horticultural Crops* (pp. 133-149). Springer India. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2725-0_8

Rathor, P., Upadhyay, P., Ullah, A., Gorim, L. Y., & Thilakarathna, M. S. (2024). Humic acid improves wheat growth by modulating auxin and cytokinin biosynthesis pathways. *AoB PLANTS*, *16*(2), plae018. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plae018>

Sajid, M., Rab, A., Tanveer, S., Jan, I., Haq, I., Haleema, B., Zamin, M., Alam, R., & Zada, H. (2012). Humic acids affect the bulb production

of onion cultivars. *African Journal of Microbiology Research*, 6(28), 5769-5776. <https://doi.org/10.5897/AJMR11.1643>

Velarde Valdivia, K. R. (2017). *Respuesta de Enmiendas Húmicas en el Rendimiento y Calidad de Bulbo en el Cultivo de Cebolla Amarilla Var. Century (Allium Cepa L.) en la Zona de el Pedregal* [Tesis para optar el grado de Ingeniero Agrónomo, Universidad Católica de Santa María]. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/7333>

Yadav, A. K., Rana, D. K., & Yadav, K. (2023). Effect of Humic acid and Ascorbic acid on Growth and Yield of Onion (*Allium cepa* L.) under Valley Conditions of Garhwal Himalaya. *Environment and Ecology*, 41(3D), 2214-2218. <https://doi.org/10.60151/envec/UWTJ1034>

Yupanqui Condori, G. (2018). *Determinación del efecto de la aplicación de sustancias húmicas en el rendimiento del cultivo de cebolla (allium cepa L.) var. Roja Ilabaya – Tacna 2017* [Tesis para optar el grado de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. <https://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/20.500.12510/1229>

Zandonadi, D. B., Monda, H., Gralian, J., James, A., Lamar, R. T., & Santos, M. P. (2025). Humic acids as drivers of plant growth: Regulating root

development and photobiology through redox modulation. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 12(1), 71.
<https://doi.org/10.1186/s40538-025-00789-9>

ANEXOS

Anexo 1. Datos registrados y tabulados de las variables de estudio

Bloques	Dosis	Altura (cm)	Diámetro polar (mm)	Diámetro ecuatorial (mm)	Diámetro pseudotallo (mm)	Peso bulbo (g)	Peso UE (kg)	Rendimiento (t/ha)
i	0	56,37	54,62	61,94	10,76	118,6	62,42	25,22
ii	0	59,34	57,11	58,59	10,27	117,22	69,29	28
iii	0	55,67	49,74	54,83	9,72	113,92	66,93	27,04
iv	0	52,5	51,12	64,4	9,89	120,41	61,03	24,66
i	1	58,37	60,33	61,26	12,23	145,5	69,92	28,25
ii	1	58,19	65,56	64,96	11,37	156,17	77,95	31,49
iii	1	60,63	54,12	60,68	12,12	155,54	63,26	25,56
iv	1	59,65	59,1	60,19	11,57	146,55	70,46	28,47
i	2	66,12	59,27	71,13	13,73	173,91	79,75	32,22
ii	2	68,35	68,03	67,06	13,78	182,98	71,75	28,99
iii	2	63,44	64,4	66,13	13,16	187,31	72,45	29,27
iv	2	64,77	68,26	71,27	13,55	183,25	74,64	30,16
i	3	69,87	77,63	65,18	16,66	210,91	85,97	34,73
ii	3	70,32	64,84	74,18	16,29	225,52	77,44	31,29
iii	3	67,17	70,19	78,43	16,26	204,44	78,22	31,61
iv	3	70,34	75,49	72,37	15,74	205,88	78,26	31,62
i	4	70,02	71,93	74,02	14,82	190,49	86,6	34,99
ii	4	67,82	68,15	73,4	15,3	224,33	86,53	34,96
iii	4	69,89	70,74	66,9	14,98	205,62	81,92	33,1
iv	4	68,34	72,07	73,87	14,12	216,71	79,51	32,12

Anexo 2. Panel fotográfico



Fotografía 1. Tendido de cintas de riego y aplicación de materia orgánica



Fotografía 2. Riego del campo experimental



Fotografía 3. Almacigo de cebolla roja llabaya



Fotografía 4. Trasplante de los almácigos en campo



Fotografía 5. Pseudotallo doblado listo para realizar el tumbado



Fotografía 6. Medición de altura de planta



Fotografía 7. Cosecha de los bulbos



Fotografía 8. Arrancado de los bulbos



Fotografía 9. Toma de datos y selección de los bulbos de cebolla