



Pontificia Universidad Católica del Ecuador  
Sede Ibarra

ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES

INFORME FINAL DEL PROYECTO

TEMA:

“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE QUITOSANO EN LA GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO DE  
PLÁNTULAS DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) VARIEDAD CRESPA VERDE, COMO  
BIOESTIMULANTE, EN EL CANTÓN IBARRA – PROVINCIA DE IMBABURA.”

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
Ingeniera Agropecuaria

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

LÍNEA 4. Gestión sostenible y aprovechamiento de los recursos naturales

SUB LÍNEA: 4.1. Desarrollo y sostenibilidad

AUTORA: Madelaine Elizabeth Hurtado Bastidas

ASESOR: José Valdemar Andrade Cadena

Ibarra, junio de 2023



## CERTIFICACIÓN DEL ASESOR DE TESIS

**Ibarra, junio del 2023**

José Valdemar Andrade Cadena

ASESOR

### **CERTIFICA:**

Haber revisado el presente informe final de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (ECAA), de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI); en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

José Valdemar Andrade Cadena

C.C. 1001927167



## PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El jurado examinador, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI):

José Valdemar Andrade Cadena

C.C. 1001927167

Recalde Posso Edmundo Rene

C.C.: 1001774494

Cayambe Terán Jhenny Marlene

C.C.: 1721122370



## ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Madelaine Elizabeth Hurtado Bastidas, declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 165 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, que manifiesta textualmente: “Se reconoce facultad de los autores y demás titulares de derechos de disponer de sus derechos o autorizar las utilidades de sus obras o prestaciones, a título gratuito u oneroso, según las condiciones que determinen. Esta facultad podrá ejercerse mediante licencias libres, abiertas y otros modelos alternativos de licenciamiento o la renuncia”.

**Ibarra, junio del 2023**

Madelaine Elizabeth Hurtado Bastidas  
C.C.: 1003952486



## AUTORÍA

Yo, Madelaine Elizabeth Hurtado Bastidas, portadora de la cédula de ciudadanía N° 1003952486, declaró que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y eximo expresamente a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra de posibles reclamos o acciones legales.

Madelaine Elizabeth Hurtado Bastidas

C.C.: 1003952486



## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo: Madelaine Elizabeth Hurtado Bastidas, con CC: 1003952486, autor del trabajo de grado intitulado: “Evaluación del efecto de quitosano en la germinación y crecimiento de plántulas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) variedad crespa verde, como bio-estimulante, en el cantón Ibarra – provincia de Imbabura”, previo a la obtención del título profesional de Ingeniera Agropecuaria, en la Escuela de Ciencias Ambientales Agrícolas y Ambientales

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede- Ibarra, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra a difundir a través del sitio web de la Biblioteca de la PUCE SI el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de la Universidad.

Ibarra, junio del 2023

(f.)

Madelaine Elizabeth Hurtado Bastidas

C.C. 1003952486



## **DECLARACIÓN DE COMPORTAMIENTO ÉTICO EN LA ELABORACIÓN, DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE TRABAJOS DE TITULACIÓN**

Por medio de la presente declaro conocer y aplicar en la elaboración, desarrollo y evaluación del Proyecto de Titulación: “Evaluación del efecto de quitosano en la germinación y crecimiento de plántulas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) variedad crespa verde, como bio-estimulante, en el cantón Ibarra – provincia de Imbabura”, lo propuesto en el Código de Ética de la investigación y el Aprendizaje de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, aprobada por el Consejo Superior de la PUCE con fecha 01 de diciembre de 2022

Para constancia firma:

Madelaine Elizabeth Hurtado Bastidas

C:C 100395248 6

Carrera: Ingeniería Agropecuaria

Ibarra, 08 de diciembre de 2022



## DEDICATORIA

Dedico mi trabajo de titulación a mis padres por siempre apoyarme para seguir adelante durante toda mi vida, a mis abuelos paternos por heredarme el amor y cariño al campo, a mi rayo de sol Elisa Aguilar, a mí misma por siempre levantarme después de cada caída o dificultad y sobre todo a Dios que me ha guiado y fortalecido en cada momento.

*Madelaine.*



## AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis seres queridos: padres, abuelos, hermanos, tía, prima y demás por estar presentes en mi vida para ayudarme a seguir adelante en esta aventura que ha sido mi carrera universitaria.

Agradezco a mi asesor Valdemar Andrade por su enseñanza y amistad, a mi colega Wilson que me ha ayudado a concluir satisfactoriamente mi investigación, y a la empresa “*La Praderita*” donde realice la fase de campo.

Y agradezco a mi Padre Celestial por darme vida y salud para llevar a cabo mi deseo de ser alguien la vida.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	IX
ÍNDICE DE TABLAS .....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XIII
ÍNDICE DE ANEXOS .....	XIV
RESUMEN .....	XVI
ABSTRACT.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS .....	3
2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivos específicos .....	3
2.3. Hipótesis .....	3
ESTADO DEL ARTE .....	4
3.1. Quitosano .....	4
3.1.1. Quitosano en la Agricultura.....	6
3.1.2. Quitosano en Latinoamérica .....	10
3.2. Cultivo de Lechuga.....	10
3.2.1. Origen .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
3.2.2. Cultivo en Ecuador .....	12
3.2.2. Taxonomía .....	11
3.2.3. Botánica .....	11
3.2.3. Manejo agronómico del cultivo de Lechuga.....	13
3.2.4. Variedades de Lechuga.....	18

MATERIALES Y MÉTODOS .....	20
4.1. Materiales.....	20
4.1.1. Materiales de laboratorio .....	20
4.1.2. Materiales en campo .....	20
4.2. Métodos .....	21
4.2.1. Localización del área de estudio .....	21
4.2.2. Diseño experimental .....	22
4.2.2. Manejo de datos .....	23
4.3. Variables .....	27
4.3.1. Variables Independientes.....	27
4.3.2. Variables dependientes .....	24
4.4. Manejo del ensayo .....	30
4.4.1. Fase de laboratorio.....	30
4.4.2. Fase de campo.....	32
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	34
5.1. Prueba de normalidad y homogeneidad de la varianza.....	34
5.2. Análisis estadístico de la variable en fase de laboratorio .....	36
5.2.1. Porcentaje de germinación.....	36
5.3. Análisis estadístico de las variables en campo .....	38
5.3.2. Altura de plántulas de lechuga a los 30 días después de siembra.....	41
5.3.3. Biomasa foliar.....	44
5.3.4. Biomasa radicular .....	48

CONCLUSIONES .....	53
RECOMENDACIONES.....	55
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	56
ANEXOS .....	66

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Taxonomía de la lechuga .....	11
Tabla 2 Requerimientos edafoclimáticos de la lechuga.....	12
Tabla 3. Densidad de siembra de la lechuga.....	17
Tabla 4 Descripción de la variedad de lechuga utilizada.....	19
Tabla 5 Descripción del área de estudio .....	22
Tabla 6 Esquema ANOVA de fase de laboratorio.....	23
Tabla 7 Tratamientos en fase de laboratorio.....	24
Tabla 8 Esquema ANOVA en fase de campo.....	26
Tabla 9 Tratamientos en fase de campo.....	26
Tabla 10 Determinación de volumen de solución madre para cada tratamiento .....	31
Tabla 11 Resultados de la prueba de normalidad y homogeneidad de varianzas.....	35
Tabla 12 Análisis de varianza del porcentaje de germinación en cámara .....	36
Tabla 13 Análisis de varianza (ANOVA) del porcentaje de emergencia en bandeja.....	39
Tabla 14 Análisis de varianza (ANOVA) para la variable altura de plántulas .....	41
Tabla 15 Análisis de varianza (ANOVA) de biomasa foliar fresca .....	44
Tabla 16 Análisis de varianza (ANOVA) para la variable masa foliar seca .....	46
Tabla 17 Análisis de varianza (ANOVA) de biomasa radicular fresca.....	48
Tabla 18 Análisis de varianza (ANOVA) de biomasa radicular seca.....	50

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructura del quitosano .....	4
Figura 2 Desacetilización de la quitina .....	5
Figura 3 Comparación múltiple de promedios Tukey al 5% en fase de laboratorio .....	37
Figura 4 Comparación de promedios para porcentaje de emergencia en bandeja.....	40
Figura 5 Altura de plántulas de lechuga a los 30 días después de siembra .....	43
Figura 6 Comparación de medias para la variable masa foliar fresca .....	45
Figura 7 Peso de materia foliar seca de plántulas de lechuga.....	47
Figura 8 Comparación múltiple de promedios Tukey al 5% .....	49
Figura 9 Comparación de medias con respecto a masa radicular seca .....	51

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Variable analizada en fase de laboratorio .....	66
Anexo 2 Variables analizadas en fase de campo .....	67
Anexo 3 Quitosano puro .....	68
Anexo 4 Pesaje de quitosano puro .....	68
Anexo 5 Disolución de quitosano a 10 g/l para solución madre .....	69
Anexo 6 Limpieza y desinfección de cámara de germinación .....	69
Anexo 7 Preparación de tratamientos y soluciones de quitosano .....	70
Anexo 8 Siembra de lechuga en laboratorio .....	70
Anexo 9 Instalación del ensayo fase de laboratorio .....	71
Anexo 10 Condiciones controladas .....	71
Anexo 11 Conteo de germinación séptimo día .....	72
Anexo 12 Siembra de lechuga en bandejas de germinación .....	72
Anexo 13 Cinco días después de siembra .....	73
Anexo 14 Ocho días desde de siembra .....	73
Anexo 15 Raleo de plántulas .....	74
Anexo 16 Riego por aspersión .....	74
Anexo 17 Inmersión en solución de quitosano .....	75
Anexo 18 Plántulas con poli sombra .....	75
Anexo 19 Unidades experimentales en laboratorio .....	76
Anexo 20 Plántulas escogidas al azar .....	76
Anexo 21 Altura de plántulas .....	77

Anexo 22 Lechugas libres de sustrato .....	77
Anexo 23 Masa radicular fresca .....	78
Anexo 24 Desección de masa radicular .....	78
Anexo 25 Lavado de sustrato.....	79
Anexo 26 Lechugas sin sustrato .....	79
Anexo 27 Pesaje de material vegetal .....	80
Anexo 28 Muestras de materia seca .....	80
Anexo 29 <i>Datos de germinación por día desde siembra en laboratorio</i> .....	81

## RESUMEN

La descontrolada aplicación de estimulantes de crecimiento en la agricultura es un problema de absoluta relevancia, debido a la elevada toxicidad química que contienen estas sustancias, concluyendo en afectaciones a la salud y la contaminación de los ecosistemas. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del quitosano como Bio-estimulante en el crecimiento vegetal, determinando su influencia en la germinación de semillas de lechuga y la respuesta vegetativa de plántulas de lechuga bajo condiciones de vivero. Se sometió semillas de lechuga a cuatro concentraciones de quitosano (0, 1000, 2000 y 3000 mg/l) por un tiempo de imbibición de 10 minutos. Al cabo de 7 días se determinó el porcentaje de germinación en la fase de laboratorio. Revelando como la mejor concentración al tratamiento T2 (1000 mg/l de quitosano) dando como resultado un 93% de germinación; esta dosis fue usada en fase de campo. Para determinar la frecuencia ideal de aplicación se evaluó tres tratamientos (T1: sin aplicación de quitosano, T2: una aplicación quitosano a los 10 DDS (días después de siembra) y T3: dos aplicaciones de quitosano a los 10 y 20 DDS), al cabo de 30 días se determinó que el porcentaje de emergencia fue de 90.4% y no tuvo diferencias significativas entre frecuencias, con T3 se obtuvo los mejores resultados en altura de plántula (11,059 cm), biomasa foliar fresca y seca (0,9416 y 0,065 gramos); biomasa radicular fresca y seca (0,203 y 0,016 gramos). La concentración T2 (1000 mg/l) en fase de laboratorio es ideal para la germinación de lechuga variedad cressa verde; la frecuencia T3 (dos inmersiones) en fase de campo influye positivamente en el crecimiento de plántulas de lechuga.

**Palabras clave:** agricultura, germinación, quitosano, lechuga, crecimiento.

## ABSTRACT

The uncontrolled application of growth stimulants in agriculture is a problem of absolute relevance, due to the high chemical toxicity of these substances, resulting in health effects and contamination of ecosystems. The objective of this study was to evaluate the effect of chitosan as a biostimulant in plant growth, determining its influence on lettuce seed germination and vegetative response of lettuce seedlings under nursery conditions. Lettuce seeds were subjected to four concentrations of chitosan (0, 1000, 2000 and 3000 mg/l) for an imbibition time of 10 minutes. After 7 days, the germination percentage was determined in the laboratory phase. The best concentration was found to be the T2 treatment (1000 mg/l of chitosan), resulting in a 93% germination rate; this dose was used in the field phase. To determine the ideal frequency of application, three treatments were evaluated (T1: no application of chitosan, T2: one application of chitosan at 10 DDS (days after planting) and T3: two applications of chitosan at 10 and 20 DDS), after 30 days it was determined that the percentage of emergence was 90. The best results were obtained with T3 in seedling height (11.059 cm), fresh and dry leaf biomass (0.9416 and 0.065 grams), and fresh and dry root biomass (0.203 and 0.016 grams). The T2 concentration (1000 mg/l) in the laboratory phase is ideal for the germination of lettuce green cressa variety; the T3 frequency (two immersions) in the field phase positively influences the growth of lettuce seedlings.

**Keywords:** agriculture, germination, chitosan, lettuce, growth.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

El sector agrícola en Ecuador, de acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección General de Agricultura (MAG, 2021), aporta con el 8% al producto Interno Bruto, siendo un sector importante en la economía del país, además de generar fuentes de empleo contribuyendo a reducir la pobreza en el campo. El sector agrícola está en constante crecimiento, según datos del Banco Central de Ecuador, Dirección Nacional De Programación y Regulación Monetaria y Financiera (BCE, 2021), se estima que el crecimiento en este sector sea del 1 al 2% en superficie, significando un incremento del 4% en el volumen de producción.

Hunt y Teixeira (2020), afirman que el deterioro de la salud del suelo provoca un bajo rendimiento de los cultivos, lo que genera una mayor presión sobre los suelos mientras los agricultores se esfuerzan por satisfacer las demandas de alimentos y ganarse la vida. Uno de los objetivos principales de los agricultores es mejorar el rendimiento en sus cultivos, lo que ha llevado al uso de productos sintéticos como estimulantes de crecimiento, reguladores vegetales, fitohormonas, con la finalidad incrementar la rentabilidad en sus cultivos, producir más en la misma área de cultivo provocando prácticas intensivas y por consecuencia el empleo de químicos en exceso (Huaraca et al. 2020).

Ariza et al. (2019), explica que la contaminación resultante de sectores agroalimentarios específicamente del procesamiento de crustáceos es una situación latente que merece interés por parte de investigadores y estudiantes afines para contener y minimizar este impacto negativo al medio ambiente. De acuerdo con López et al. (2019), la contaminación por sub productos

resultantes de la actividad agropecuaria afectan al medio ambiente, tomando en consideración al sector acuícola en la costa ecuatoriana, estos autores expresan que del 50% a 70% del cangrejo y camarón es desecho. Guirao (2021), menciona que el exoesqueleto de los crustáceos y artrópodos contiene quitina, que es un biopolímero similar a la celulosa, además es un producto de difícil degradación; de este biopolímero se puede obtener un subproducto denominado quitosano, el cual es un polímero empleado como bio-estimulante del crecimiento vegetal, bio-bactericida, biocida, bio-fungicida, entre otras cualidades; otorgando un valor agregado a un producto considerado desecho, que además contribuye a contrarrestar una causa importante de contaminación al ecosistema (Anaya et al. 2020).

En la presente investigación se estudió la aplicación del quitosano en la fase inicial del cultivo de lechuga para evaluar sus efectos en el desarrollo vegetativo como una solución pronta y eficaz para minimizar impactos negativos del sector agrícola. El estudio del quitosano es de gran importancia debido a que al ser un subproducto de varios organismos marinos minimiza la generación de desechos y contaminación en mares (Ariza et al. 2019), así también al emplear el quitosano se combate el uso indiscriminado de sustancias químicas y sintéticas utilizadas en la producción agrícola, de tal manera se contrastó estos resultados con investigaciones previas sobre la efectividad del quitosano aportando nueva información con relación al uso de este biopolímero (Anaya et al. 2020).

## **CAPÍTULO II**

### **OBJETIVOS**

#### **2.1. Objetivo general**

Evaluar el efecto de quitosano en lechuga (*Lactuca sativa* L.) variedad Crespa verde, como bio-estimulante en el desarrollo vegetativo en el cantón Ibarra – Imbabura – Ecuador.

#### **2.2. Objetivos específicos**

- Determinar la influencia y la mejor dosis de quitosano en la germinación de semillas lechuga variedad crespa verde.
- Evaluar la respuesta fisiológica de plántulas de lechuga a la aplicación de quitosano en dos frecuencias, mediante la valoración de parámetros morfológicos pre trasplante.

#### **2.3. Hipótesis**

Hipótesis nula (Ho): el uso de quitosano no contribuye a mejorar el desarrollo vegetativo de la lechuga variedad crespa verde, en la germinación ni en el crecimiento.

Hipótesis alternativa (Ha): la influencia de quitosano presenta diferencias significativas en la mejora del desarrollo vegetativo de la lechuga variedad crespa verde.

## CAPÍTULO III

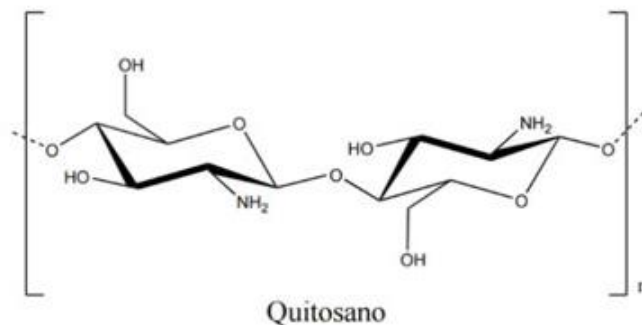
### ESTADO DEL ARTE

#### 3.1. Quitosano

El quitosano es un biopolímero natural, con un peso molecular comprendido entre 10 000 a 1 000 000 Dalton; es un compuesto derivado de la quitina, uno de los polímeros más concentrados en la naturaleza luego de la celulosa (López et al. 2019). De acuerdo con Bautista et al. (2016), es biodegradable, biocompatible con el medio ambiente y no tóxico. Este polisacárido como indica la Figura 1. es denominado 2-Amino-2-deoxybeta- D-glucosamina (Abdel et al. 2010), desarrolla carga positiva en solución acida  $\text{pH} < 5,5$ , esta característica lo hace soluble en medio acuoso (Lárez, 2008). Es un elemento presente en el exoesqueleto de un gran número de organismos marinos tales como crustáceos incluso se presentan en insectos y hongos en menor cantidad (Ariza et al. 2019).

#### Figura 1

*Estructura del quitosano*



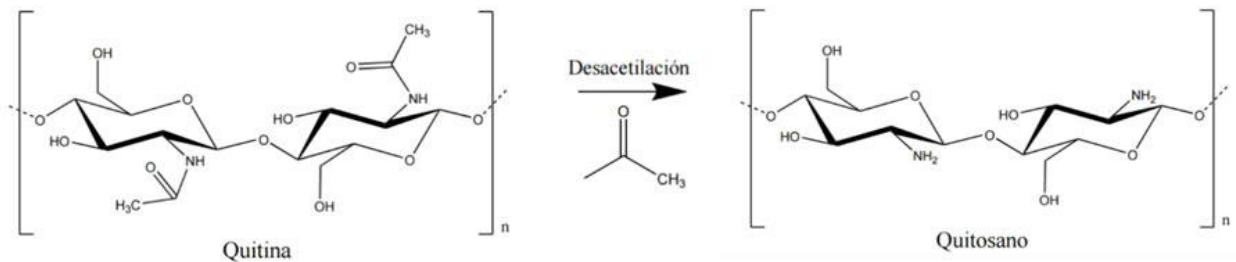
*Nota.* Estructura química del quitosano. Tomado de (Abdel et al. 2010)

### 3.1.1. Método de obtención del quitosano

De acuerdo con Ariza et al. (2019), uno de los métodos de obtención del quitosano a partir de la quitina es la desacetilación (DDA), de la cual se obtienen varios polímeros dependiendo del grado de desacetilación. La quitina se puede obtener de varias conchas de organismos marinos, insectos u hongos (*Zygomycetes*), en su estructura tiene incontables grupos aminos los cuales pueden ser ionizados, lo que promueve su disolución; el grado de acetilación indica un equilibrio entre quitosano y quitina, mediante este proceso se eliminan los grupos acetilo (Figura 2), sin embargo, produce una despolimerización reflejada en los cambios de peso molecular (Bautista et al. 2016). El rendimiento de quitosano y quitina en exoesqueletos está condicionado por el tipo de materia prima, proveniencia y el método de extracción, donde el quitosano ha llegado a figurar hasta un 78% de la quitina (López et al. 2019).

**Figura 2**

*Desacetilización de la quitina*



*Nota.* Proceso de desacetilación de la quitina en quitosano. Tomado de (Bautista et al. 2016)

### ***3.1.1. Aplicaciones del quitosano en la Agricultura***

El papel del quitosano en la agricultura se estudia a partir de las dos últimas décadas y ha demostrado ser multifacético (Morin et al. 2019). Este compuesto se ha destacado por su eficaz contribución al rendimiento y la sostenibilidad agroambiental, ya que tiene gran importancia como promotor del crecimiento vegetal, recubrimiento de semillas, eliminación de agentes patógenos, entre otros. Shahrajabian et al. (2021), manifiesta que tiene gran relevancia en la mejora de sistemas agrícolas ya que evita la lixiviación de nutrientes y al mismo tiempo mejora las propiedades del suelo con la eliminación de metales pesados.

Dentro de los estudios realizados a la aplicación del quitosano en la agricultura se puede describir las siguientes características:

#### ***3.1.1.1. Bioestimulante***

De acuerdo con López et al. (2019), es un bioproducto ampliamente aplicado en algunos cultivos y mejora el crecimiento vegetativo ya que estimula la producción de fitohormonas estrechamente asociadas con el sistema radicular y su desarrollo, es sabido que las hormonas sintetizadas tienen un papel fundamental en la división celular. El quitosano de acuerdo con Li et al. (2020), figura en la agricultura como bio-regulador en plantas y posible autor en los mecanismos de respuestas metabólicas, estas investigaciones que facilitan su aplicación en la agricultura.

#### ***3.1.1.2. Antiviral***

Este polímero tiene el potencial para combatir virus fitopatógenos, se ha demostrado que los cultivos pueden resistir mejor las enfermedades previas y posteriores a la cosecha tras recibir

quitosano como tratamiento de semillas, enmiendas al suelo o pulverización foliar (Riseh et al. 2022). Lárez (2008), menciona que el quitosano tiene efecto inhibitorio en enfermedades causadas por virus y viroides sin embargo su eficacia depende de la reacción hospedante - virus, forma de aplicación y concentración; además se ha evaluado el efecto de quitosano en partes localizadas y se concluye que el quitosano resulta sistémico en la planta, es decir tiene efecto en partes donde no se trató directamente.

#### ***3.1.1.3. Bactericida***

El quitosano es un hidrocoloide con pH positivo, su acción se ve limitada por el tipo de cepa y las características del quitosano, de tal manera que la concentración efectiva varía significativamente para cada grupo de bacterias (Riseh et al. 2022). El papel bactericida se ve afectado por el grado de desacetilación y la longitud de la molécula, sustrato, condiciones ambientales, pH, etc., a mayor grado de desacetilación mayor actividad antimicrobiana y el complejo polielectrolito del quitosano bloquea físicamente la membrana celular de la bacteria, imposibilitando el flujo normal de sustancias de esta forma causa la muerte (Vargas et al. 2018).

#### ***3.1.1.4. Inducción a la Resistencia***

Este polímero ejerce sensibilidad en las plantas, lo que provoca un mecanismo de respuesta más rápido y eficiente a los ataques de patógenos, son mecanismos de defensa que promueven la producción de sustancias como proteínas enlazadas a la patogénesis, fitoalexinas, inhibidores proteicos, ligninas, entre otras (Abdel et al. 2010). Según López et al. (2019), el quitosano se cataloga como modulador de la defensa de plantas ya que desempeña un papel determinado en la colonización fúngica volviéndose indispensable en aplicaciones agrobiotecnologías y médicas.

### ***3.1.1.5. Protección de Vegetales y Frutos Frescos***

Este bioproducto posee la capacidad para formar una película que crea una atmósfera interna que evita la transpiración y por ende la conservación del material por más tiempo, se ha demostrado que el recubrimiento de frutas y vegetales con quitosano es eficaz para reducir microorganismos nocivos y prolongar la vida útil de estos productos con calidad en la textura, lo que lo vuelve un conservante natural (Duan et al. 2019). Las películas o revestimientos comestibles a base de quitosano actúan como barrera en la superficie de las frutas y verduras lo que provoca una retención de humedad, crea microambientes favorables al optimizar la concentración de gases y de esta manera retrasa la maduración (Nair et al. 2020).

### ***3.1.1.6. Protección de Plántulas***

Lárez (2008), demostró que el quitosano es eficaz para inhibir el crecimiento de *Botrytis cinerea* en plántulas de uva, activando mecanismos de defensa en estas plántulas. En plántulas de tomate es eficaz ya que fomenta la resistencia hacia *Fusarium oxysporum*, debido a que el quitosano induce la acumulación excesiva de sustancias fungí toxicas y la formación de una barrera, misma que impide el flujo libre de nutrientes hacia el patógeno (Lárez, 2008).

López et al. (2019), lograron aumentar el porcentaje de germinación a niveles aptos y requeridos para certificaciones comerciales; fomentando el crecimiento de órganos importantes de la plántula como raíz, hojas y tallos. Así mismo, el desarrollo y crecimiento de plántulas se ve afectado por la sequía que provoca un estrés abiótico, el quitosano mitiga considerablemente las consecuencias negativas del estrés preservando la integridad de membranas vegetales (Ali et al. 2021).

### **3.1.1.7. Biocida**

La quitina estimula el crecimiento o proliferación de bacterias y hongos hematófagos ya que se alimentan de ella, y una vez consumida la quitina; se ven obligados a buscarla de otras fuentes como nematodos y sus huevos (Rasheed et al. 2019). El cambio climático ha convertido los nematodos en parásitos de las plantas y por consecuencia una amenaza de gran importancia en cultivos comerciales, el quitosano mejora el parasitismo de nematodos por el hongo *Pochonia chlamydosporia* que actúa como bio-control (Suarez et al. 2021).

### **3.1.1.8. Fungicida**

El quitosano ha tenido efectos favorables para combatir hongos fitopatógenos, entre ellos: *Alternaria*, *Mucoraceae*, *Pleosporaceae*, *Glomerellaceae*, *Rhizopus stolonifer*, *Colletotrichum gloeosporioides*, *Fusarium oxysporum*, *Aspergillus flavus* y algunas especies de *Penicillium* (Bautista et al. 2016). Su efectividad se ve reflejada sobre conidios u hifas de algunos hongos patógenos, cabe recalcar que la vulnerabilidad de estos organismos varía con el estadio de desarrollo del mismo, el quitosano tiene un efecto sobre la permeabilidad de la membrana plasmática que altera las funciones principales del hongo e inhibe la producción de enzimas para su supervivencia (Rola y Chowaniec, 2023).

### **3.1.1.9. Liberación Controlada de Agroquímicos**

El uso de quitosano como nanotransportadores es decir nanomateriales capaces de encapsular fármacos o químicos y liberarlos selectivamente es una faceta de este polímero que emerge con fuerza en la agricultura, nanopartículas de quitosano son cargadas con productos naturales para el control de ciertos fitopatógenos responsables de la degradación de la madera, es

ventajoso puesto que la liberación es controlada y da lugar al ahorro del producto (Sánchez et al. 2022).

### **3.1.2. Quitosano en Latinoamérica**

Lárez (2008), señala que la producción mundial de quitosano aumento un 16 % en el 2010, sin embargo, Latinoamérica no representa un actor importante en la fabricación de este biopolímero, aun así, existen varios países de la región que han establecido fabricas productoras de quitosano y quitina, enfocados en la comercialización principalmente para el sector agrícola, empleando materia prima proveniente de residuos de la industria pesquera. Se visualiza un gran futuro en la producción del quitosano debido a la facilidad en su obtención, baja repercusión en el medio ambiente, baja toxicidad para animales y humanos, innumerables formas de uso y basta aplicación en la agricultura (Iber et al. 2022).

### **3.2. Lechuga (*Lactuca sativa* L.)**

Esta planta apareció en forma de roseta por la disposición de sus hojas y ha sido representada en pinturas que se remontan hasta alrededor de 2500 años antes de Cristo, la variedad más antigua utilizada para la alimentación humana se desarrolló debido al uso de semillas para la fabricación de aceite (Blancard et al. 2005). La lechuga como hoy la conocemos cambio morfológica y genéticamente con el paso del tiempo; el primer dato de su cultivo se encuentra en el herbario de Schöffer alrededor de 1480 en Europa, en el cual se describen cuatro tipos de lechuga y se sabe que Cristóbal Colón la introdujo a América en alguno de sus viajes (Saavedra et al. 2017).

### 3.2.2. Taxonomía

La familia *Asteraceae* pertenece al grupo de las dicotiledóneas más grande del reino, su clasificación taxonómica se especifica en la tabla 1, este cultivo hortícola presenta muchas variedades en la especie, que son muy importantes a nivel mundial (Saavedra et al. 2017).

**Tabla 1**

*Taxonomía de la lechuga*

<b>Reino</b>	<b><i>Plantae</i></b>
Subreino	<i>Viridaeplantae</i>
División	<i>Tracheophyta</i>
Subdivisión	<i>Spermatophytina</i>
Infradivisión	<i>Angiospermae</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Asterales</i>
Familia	<i>Asteraceae</i>
Género	<i>Lactuca</i>
Especie	<i>Lactuca sativa</i> L.

*Nota.* Detalle de taxonomía de la lechuga. Tomado de (Saavedra et al. 2017)

*Lactuca sativa* fue descrita por Carlos Linneus en 1753, *Lactuca* viene del latín “*lac*” que significa leche, por el exudado que produce el tallo de color blanquecino y “*sativa*” hace referencia al cultivo de plantas (Saavedra et al. 2017).

### 3.2.3. Botánica

Es una planta anual que puede medir hasta 50 cm de alto en periodo vegetativo, tiene raíz principal con raíces laterales favorable para la absorción de agua y nutrientes; las hojas son sésiles dispuestas en espiral sobre un tallo corto, las mismas tiene una diversidad de formas y colores, en

fase de reproducción el tallo se elonga hasta alcanzar el metro de altura y termina con una inflorescencia de tipo panícula formada por muchos capítulos amarillos, producen un fruto de tipo aquenio y madura a las dos semanas por fertilización (Saavedra et al. 2017).

La planta de lechuga presenta en su ciclo diferentes fases: formación de una roseta con sus hojas, formación del cogollo y por último fase de reproducción, la segunda fase difiere entre variedades y tipo de lechuga puesto que es de carácter genético. Es importante mencionar que la formación del cogollo no solo es influenciada por la genética sino también por varias condiciones entre ellas: temperatura y luz, precipitación o disponibilidad de agua y la fertilización (Lardizabal y Arias, 2009).

## **Tabla 2**

### *Requerimientos edafoclimáticos de la lechuga*

<b>Requerimientos edafoclimáticos de la lechuga</b>	
Altitud	Se desarrolla bien por encima de los 1100 metros sobre el nivel del mar
Ciclo del cultivo	Anual
Temperatura	Valores óptimos 18° a 24° Centígrados, con requerimiento de 10° a 15° para el desarrollo floral
Suelo	Suelos bien drenados, pH optimo 5.5 y 6.5 y adecuado drenaje
Luminosidad	3000 horas de luz al año

*Nota.* Descripción de los requerimientos edafoclimáticos de la lechuga. Adaptado de (Lardizabal y Arias, 2009)

### **3.2.2. Cultivo en Ecuador**

En Ecuador las hortalizas más consumidas son el tomate (*Solanum lycopersicum*) y la lechuga (*Lactuca sativa* L.), son de gran importancia en la dieta especialmente por su uso en comidas típicas que forman parte de la gastronomía ecuatoriana, estas hortalizas son utilizadas

frecuentemente en ensaladas y sándwiches, Romero et al. (2020), manifiestan que cada ecuatoriano consume cuatro kilos de tomate y es más elevado el consumo de lechuga como promedio al año.

En Ecuador de acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección General de Agricultura. (2021), existen 1.145 hectáreas de lechuga con un rendimiento promedio de 7.9 kg por hectárea. De la producción total, el 70 % es de lechuga criolla, mientras el 30% es de variedades como la roja, la roma o la salad. Así mismo el MAG expresa que las provincias con mayor producción de lechuga son: Cotopaxi (481 ha), Tungurahua (325 ha) y Carchi (96 ha). De acuerdo con el III Censo nacional agropecuario, Estadísticas agropecuarias. (2009), la producción de lechuga en Ecuador tiene ocho variedades, pero solo una se lleva el 70 % del mercado, siendo la lechuga criolla o “repollo” la elegida por los ecuatorianos.

El cultivo de lechuga en Ecuador generalmente este situado en la región interandina, esta actividad es llevada a cabo por pequeños y grandes agricultores, gracias a las condiciones climáticas y geográficas que permiten el cultivo de hortalizas (Zea, 2020). Este cultivo se lo realiza en zonas en donde se cuenta con una precipitación de 400 – 600 mm durante el ciclo del cultivo, 12 horas diarias de luminosidad y una temperatura que va entre 12 y 18 °C. Entre las variedades más utilizadas están Great Lakes 188, Chaparral, Great Lakes 366; Great Lakes 659 y Calmar (MAG, 2011).

### ***3.2.3. Manejo agronómico del cultivo de Lechuga***

Saavedra et al. (2017), señala la importancia sobre el manejo del cultivo para garantizar el crecimiento vegetal y elongación de tejidos, un buen cultivo inicia con la semilla ya que debe tener los nutrientes necesarios para germinar, cuando la plántula emerge se vuelve autótrofa, cabe destacar que un factor valioso para germinación de la lechuga es la temperatura y el rango ideal es

de 18° a 21° Centígrados. De acuerdo con Terceros y Villacorta, (2019), la formación de hojas aumenta con la luz y con mayor temperatura de tal forma que un día largo con alta luminosidad aumenta el ancho de las hojas.

De acuerdo con Lardizabal (2019), los principales requerimientos del cultivo de lechuga son: el suelo, clima y época de siembra. A continuación, se detallan estos factores:

- **Suelo:** la lechuga requiere suelos francos con muy buen drenaje ya que tiene un sistema radicular particularmente sensible al exceso de agua. Su pH óptimo está entre 5.5 y 6.5, por lo que en la mayoría de las zonas en donde no se cumpla este nivel de pH los suelos requerirán una enmienda de pH.

- **Clima:** es un cultivo principalmente de zonas altas, donde su mejor desarrollo y calidad lo obtiene por encima de los 1,100 msnm. con una temperatura media alrededor de los 18°C. Es bastante tolerante a las bajas temperaturas, pero a altas temperaturas su calidad desmejora y la vida de anaquel se limita bastante (Lardizabal, 2019). Para un desarrollo normal de la planta, es necesario que las temperaturas durante la fase de crecimiento permanezcan entre 20 y 24°C. Para poder iniciar la fase de inducción floral necesita entre 10 y 15° C durante varias horas del día.

- **Época de Siembra:** se puede sembrar todo el año.

### ***3.2.3.1. Preparación del Suelo***

Para Lardizabal y Arias (2009), la agricultura se basa en el suelo y es uno de los componentes más importantes para un cultivo sano, se debe preparar adecuadamente y seguir un mantenimiento ideal del mismo para lograr éxito en la producción, antes del establecimiento de

cualquier cultivo es necesario un análisis de suelo para determinar labores a realizar como la fertilización, desinfección, riego, arado, rastreado, subsolado, etc.

Un análisis del suelo de acuerdo con Lardizabal (2019), es indispensable para determinar las características físicas y químicas del suelo, a partir de estos datos se puede diseñar las diferentes labores del cultivo de acuerdo a estas propiedades tales como: encalado, riego, fertilización, etc. La primera acción para la toma de decisiones de manera correcta debe ser el análisis de suelo en el laboratorio, el cual permite conocer las características físicas y químicas del suelo.

- **Físicas:** La estructura del suelo depende de varios factores como calcio en la zona de intercambio, materia orgánica, micro flora del suelo, rastros en descomposición, ácidos húmicos, etc. El conocimiento de estos factores permite diseñar actividades tan importantes como la preparación del suelo, riego y labores de conservación, entre otras (Osorio y Lobo, 2013).
- **Químicas:** la capacidad de intercambio catiónico (CIC), materia orgánica (MO), el pH y los niveles de los diferentes nutrientes son normalmente la información más utilizada para elaborar el programa de fertilización, determinar las enmiendas necesarias y tomar acción contra posibles toxicidades (Alzate y Loaiza, 2018).

### ***3.2.3.2. Semillero***

Para este cultivo es común sembrar en semilleros ya que garantiza la formación de plántulas de buena calidad, con esta técnica se optimiza el uso de la semilla y control en la fase inicial del cultivo (Lardizabal y Arias, 2009). Por lo general las semillas son tratadas con fungicidas o bactericidas para evitar la proliferación de enfermedades, la siembra directa no es

muy habitual por el tamaño de la semilla, esta condición conlleva varios problemas como el desperdicio de semilla, distribución errónea, deficiencia o superpoblación, además el costo de las semillas es alto, entonces sembrar en semilleros es una alternativa altamente eficaz para aprovechar al máximo los recursos (Saavedra et al. 2017).

Según Alker, Alvarez, y Servellón (2019), se debe realizar la siembra del semillero en bandeja de plástico, el material que se utiliza debe ser sustrato, la siembra debe de ser de una semilla por celda, luego se deja tres días en un cuarto oscuro esto es para ayudar a que la germinación sea más rápida, pasado los tres días se trasladan las bandejas al respectivo invernadero de plántulas donde se espera a que la planta de lechuga cumpla los 28 días que se requieren para ser trasplantada a campo directo.

### ***3.2.3.3. Densidad de Siembra***

La densidad de siembra depende de la variedad, sistema de riego y tipo de cultivo, el uso de plántulas facilita la mano de obra y la distribución, fijar correctamente los individuos dentro del cultivo promueve el desarrollo vigoroso de las plantas, Saavedra et al. (2017), indica que las plántulas con 6 hojas verdaderas y 8 a 10 cm de altura están listas para el trasplante.

De acuerdo con Lardizabal (2019), las densidades de siembra varían de acuerdo al sistema de siembra y tipo de riego, pero se recomienda estar en ciertos rangos (Tabla 3). La lechuga es muy versátil en el marco de plantación. La época del año puede ser determinante para escoger una densidad; por ejemplo, en la época lluviosa, es conveniente dar más espacio a las plantas por cuestiones sanitarias.

**Tabla 3.**

*Densidad de siembra de la lechuga*

<b>Distancia entre camas</b>	<b>Camas</b>	<b>Distancia entre plantas</b>	<b>Plantas/ hectárea</b>
1,0 m	2	0,25 m	80 000
1,5 m	3	0,25 m	80 000

*Nota.* Descripción de la densidad de siembra de la lechuga. Tomado de (Lardizabal, 2019)

#### ***3.2.3.4. Levantamiento de Camas***

La formación de camas con curvas promueve un correcto desarrollo del cultivo además de evitar el exceso de humedad, mejorar el drenaje, facilita aireación de suelo; este manejo se recomienda para cultivo de lechuga a pequeña escala (Lardizabal y Arias, 2009). Esto permite hacer un mejor trabajo y más rápido. Otra ventaja del uso de camas altas es que las personas caminan en el zanja y no sobre la cama (por la altura), evitando que se compacte la tierra donde crecen las raíces. Por último, una cama alta ayuda a drenar mejor los excesos de agua.

#### ***3.2.3.5. Riego***

Mantener el cultivo húmedo es fundamental para el correcto desarrollo, las plantas están compuestas por el 95% de agua además de que participa en actividades esenciales como: equilibrio homeostático, enfriamiento, transporte de nutrimentos, procesos metabólicos, etc. (Saavedra et al. 2017). Los riegos de acuerdo con Casaca (2005), deben realizarse de manera frecuente y con poca cantidad de agua, procurando que el suelo quede aparentemente seco en la parte superficial, para evitar podredumbres del cuello y de la vegetación que tiene contacto con el suelo.

### **3.2.3.6. Manejo Fitosanitario**

Se debe optar por varios sistemas o procedimientos sanitarios en el cultivo para prevenir, controlar y erradicar cualquier enfermedad o plaga que pueda presentarse, el manejo fitosanitario se conforma de estrategias como preparación del suelo, desinfección de utensilios, solarización, uso de herbicidas-fungicidas, eliminación de malezas, entre otros (Lardizabal y Arias, 2009).

### **3.2.3.7. Control de malezas y aporque**


Se realiza superficialmente con la finalidad de evitar roturas de las raíces, en cultivares precoces es suficiente una desyerba y esto acompañado de un aporque; lo contrario en los cultivares tardíos en la cual se practican de dos a tres desyerbas manuales, a los 15 y 30 días después 10 del transplante, además que ayudan en la formación de raíces nuevas y en la aireación del suelo (Sánchez, 2011).

### **3.2.4. Variedades de Lechuga**

En la especie *Lactuca sativa* L. se resaltan cinco variedades más significativas: *Lactuca sativa* L. var. Longifolia, *Lactuca sativa* L var. Capitata, *Lactuca sativa* L var. Acephala, *Lactuca sativa* L var augustuana All., y la variedad *Lactuca sativa* L var. crespa que se usó en esta investigación y es descrita en la siguiente tabla:

**Tabla 4**

*Descripción de la variedad de lechuga utilizada*

<b>Variedad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Ilustración</b>
<i>Latuca sativa</i> L. var. crespa	Llamadas <i>lollo Rosa</i> difieren de las demás por presentar hojas sueltas y dispersas, es decir no forman cogollo, tienen hojas grandes (20 a 30 cm) con nervaduras gruesas y se pueden ir cosechando hoja por hoja.	

*Nota.* Descripción de algunas variedades de lechuga. Adaptado de (Saavedra et al. 2017)

## CAPÍTULO IV

### 4. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 4.1. Materiales

##### *4.1.1. Materiales de laboratorio*

- Cámara de germinación
- Papel toalla
- Semillas de lechuga variedad crespa verde
- Bandejas plásticas capacidad de 3 litros
- Pipetas
- Matraz aforado 500 ml
- Solución madre de quitosano 10 g/l
- Rociador 500 mililitros
- Vasos de precipitación 250 mililitros
- Balanza analítica
- Agua destilada
- Pinzas

##### *4.1.2. Materiales en campo*

- Turba orgánica con perlita
- Tijeras podadoras
- Solución madre de Quitosano 10g/l

- Bandejas de germinación de 128 alveolos (A-BA128P), 55 x 29 cm con 25 mililitros de capacidad
- Rociador
- Gavetas de plástico 60 x 40 x 20 cm
- Balanza analítica Serie PW, Adam Equipment
- Balanza desecadora Sartorius Moisture Analyzer Modelo MA150
- Papel aluminio
- Metro
- Semillas de lechuga variedad crespa verde

## **4.2. Métodos**

### ***4.2.1. Localización del área de estudio***

Esta investigación se realizó en dos fases: la primera fase en el laboratorio de semillas en las instalaciones de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Ibarra, ubicada en la ciudadela “La Victoria” y la segunda fase de campo se llevó a cabo en un vivero en instalaciones de “La Praderita” en el barrio Andrade Marín en la ciudad de Atuntaqui, las dos localidades se encuentran en la provincia de Imbabura, a continuación, se describe el área de estudio:

**Tabla 5***Descripción del área de estudio*

	<i>Laboratorio</i>	<i>Campo</i>
Provincia	Imbabura	Imbabura
Cantón	Ibarra	Antonio Ante
Parroquia	El Sagrario	Andrade Marín
Sector	La Victoria	Santa Bernardita
Latitud (UTM)	10038766 norte	10034968 norte
Longitud (UTM)	822100 oeste	810813 oeste
Altitud (m s. n. m.)	2221	2520
Temperatura promedio anual	15,9 °C*	18,3 °C**
Humedad relativa	78%*	78,2%**

*Nota.* Descripción del área de estudio para fase de laboratorio y campo. Tomado de (Recalde-Posso, E.R. 2016)

#### **4.2.2. Fase de laboratorio**

La presente investigación se desarrolló en dos fases, la primera denominada fase de laboratorio en la cual se determinó el efecto del quitosano sobre el porcentaje de germinación.

##### **4.2.2.1. Diseño experimental**

El diseño experimental empleado para la fase de laboratorio fue un diseño completamente al azar (DCA) con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones con un total de dieciséis unidades experimentales. Para determinar el mejor tratamiento se usó la comparación múltiple de promedios, utilizando la prueba TUKEY 5%. Finalmente se utilizó la prueba de normalidad de *Shapiro-Wilk*, para determinar la normalidad de los datos obtenidos.

#### 4.2.2.2. Manejo de datos

Los datos obtenidos en esta investigación fueron tabulados para su análisis, mediante el programa Microsoft Excel 14.0 (Proveedor: BEDUCACION S.A. contrato: V8491445), para el análisis estadístico de cada variable dependiente se partió de la determinación de la normalidad de datos mediante la prueba *Shapiro-Wilk*, el análisis de varianza (ANOVA), y al encontrarse diferencias significativas entre tratamientos se realizó la prueba de Tukey al 5%.

#### Tabla 6

*Esquema ANOVA de fase de laboratorio*

<i>FV</i>	<i>GL</i>
<i>Total</i>	15
<i>Tratamientos</i>	3
<i>Error Experimental</i>	12

*Nota.* Descripción de las fuentes de variación del esquema ANOVA.

Las dosis establecidas en la fase de laboratorio se tomaron a partir del mejor tratamiento para la germinación y desarrollo vegetativo de plantas de tomate, según Reyes et al. (2020), a partir de allí se consideró una dosis baja y un alta, también se debió considerar un tratamiento testigo que tuvo solución de agua destilada para evitar diferencias en cuanto a humedad.

Los tratamientos para fase de laboratorio fueron:

## Tabla 7

### *Tratamientos en fase de laboratorio*

<b>Tratamientos</b>	
T1	0 ml de quitosano (agua destilada)
T2	1000 mg/l de quitosano
T3	2000 mg/l de quitosano
T4	3000 mg/l de quitosano

*Nota.* Descripción de los tratamientos en estudio. Adaptado de (Reyes et al. 2020)

Una vez concluida la fase de laboratorio mediante análisis estadísticos se determinó el mejor tratamiento, obteniendo una concentración para aplicar a plántulas de lechuga en fase de campo, en diferentes frecuencias: una aplicación de quitosano, dos aplicaciones de quitosano y un testigo que corresponde a la nula aplicación de quitosano.

#### **4.2.3. Variables dependientes en fase de laboratorio**

- ***Porcentaje de germinación***

La prueba de germinación tiene como finalidad determinar la viabilidad de un grupo de semillas, en la cual se determina el porcentaje de semillas que genero plántulas normales bajo condiciones adecuadas de luz, agua, aire y temperatura; el proceso de germinación consta de tres fases: imbibición de agua, activación del metabolismo (síntesis de proteínas y carbohidratos) y el desarrollo del embrión que desencadena una ruptura de la testa con la emergencia de la radícula (López et al. 2016). La germinación normal es con un hipocótilo, una raíz primaria normalmente desarrollada y dos cotiledones libres de necrosis enfermedad o decoloración (Grahn et al. 2018).

Según Contreras y Barros (2005), las semillas de lechuga germinan entre el cuarto y séptimo día después de siembra. La germinación se observó desde el primer día de siembra hasta el séptimo día establecido por Rao et al. (2007), el primer conteo debe darse el cuarto día y el último el séptimo día después de siembra (Peñaloza et al. 2005), para establecer el porcentaje de germinación se usó la siguiente fórmula:

$$\% G = \frac{SG}{STS} * 100$$

*Donde:*

*% G: Porcentaje de germinación*

*SG: Semillas germinadas es decir plantas sanas al último conteo (séptimo día)*

*STS: Semillas totales sembradas*

#### **4.2.3. Fase de campo**

En fase de campo se empleó un diseño completamente al azar (DCA) con tres tratamientos y cuatro repeticiones con resultado de doce unidades experimentales, para determinar el mejor tratamiento se usó la comparación múltiple de promedios, utilizando la prueba TUKEY 5%. Finalmente se utilizó la prueba de normalidad de *Shapiro-Wilk*, para determinar la normalidad de los datos obtenidos.

## Tabla 8

*Esquema ANOVA en fase de campo*

<i>FV</i>	<i>GL</i>
<i>Total</i>	11
<i>Tratamientos</i>	2
<i>Error Experimental</i>	9

*Nota.* Descripción de las fuentes de variación del esquema ANOVA.

Para la fase de campo se estableció el método de inmersión según Reyes-Pérez et al. (2020), que probó el quitosano en plántulas de tomate a varias concentraciones.

## Tabla 9

*Tratamientos en fase de campo*

<b>Tratamientos</b>
T1 Testigo (sin aplicación de quitosano)
T2 Una aplicación de quitosano (10 DDS)
T3 Dos aplicaciones de quitosano (10 DDS Y 20 DDS)

*Nota.* Descripción de los tratamientos en estudio. Adaptado de (Reyes-Pérez et al. 2020)

### **4.2.2.1. Unidad experimental**

En fase de laboratorio se obtuvo 16 unidades experimentales, cada una constituida por una bandeja de plástico transparente “repostera” de 15 x 20 x 5 cm, cada repostera protegida con una tapa para evitar la pérdida de humedad, se utilizaron 100 semillas por unidad experimental y fueron distribuidas uniformemente en 10 filas y diez columnas sobre el papel toalla humedecido con agua destilada en proporción 2.5 veces como lo indica Apaza et al. (2019).

En la fase de campo la unidad experimental se constituyó de una bandeja de germinación de poliestireno negro de 54 x 28 x 4 cm con 128 alveolos, y se sembró a razón de dos semillas por alveolo, se cultivó en vivero con cubrimiento de poli sombra del 30% y el riego de una vez al día.

#### ***4.2.2.2. Parcela neta***

En fase de laboratorio, al tener condiciones de germinación controladas se contabilizó la totalidad de las semillas puestas en experimentación. Para fase de campo la evaluación de las diferentes variables fue distinta, se tomó una muestra del 25% que equivale a 20 plántulas seleccionadas al azar, obviando dos columnas y dos filas de los bordes.

### **4.3. Variables**

#### ***4.3.1. Variables Independientes***

En fase de laboratorio la variable independiente son las diferentes concentraciones de quitosano:

C1:1000 mg/l

C2: 2000 mg/l

C3: 3000 mg/l

Y en fase de campo la variable independiente es la frecuencia de aplicación de solución de quitosano a plántulas de lechuga:

A1: sin aplicación

A2: una aplicación (a los 10 días después de siembra)

A3: dos aplicaciones (a los 10 y 20 días después de siembra).

#### **4.3.2.2. Variables dependientes en campo**

- ***Porcentaje de emergencia***

La emergencia se define como la aparición de los cotiledones por encima del sustrato (Peñaloza et al. 2005). La emergencia es un parámetro para determinar el vigor de las semillas, es muy importante para establecer la calidad y la obtención de plántulas sanas y productivas, para lechuga se realiza el último conteo al séptimo día después de siembra de acuerdo con López et al. (2016), el manejo se da en bandejas de germinación de 128 cavidades con riegos homogéneos, al final se divide el total de plántulas emergidas entre el número total de semillas sembradas:

$$\% E = \frac{\#PE}{STS} * 100$$

*Donde:*

*% E: Porcentaje de emergencia*

*#PE: Número de plántulas emergidas al último conteo (séptimo día)*

*STS: Semillas totales sembradas*

- ***Altura de plántula***

El análisis de altura se realizó a los 30 días después de siembra, momento óptimo para el trasplante a campo final o cuando la plántula tiene una altura sobre los 9 cm (Moncada et al. 2022).

Para el análisis se tomó una muestra del 25% de las plántulas al azar, se midió desde el cuello de la raíz hasta el ápice de la última hoja como lo indica Martínez et al. (2010). Estas mismas plántulas se utilizaron para el análisis de las demás variables de campo.

- ***Biomasa foliar fresca y seca***

Para el peso fresco se utilizó una balanza de precisión separando el área foliar del área radicular, mientras que para el peso seco se sometió el material vegetal a una desecadora a 110°C durante 2 horas como lo establece Martínez et al. (2019), y al final se determinó el peso seco en gramos con ayuda de la balanza de precisión. Se obtuvo el peso promedio de cada unidad experimental mediante la siguiente fórmula:

$$PS = \frac{a + b + c \dots}{\#P}$$

*Donde:*

*a: Planta 1*

*b: Planta 2*

*c: Planta 3*

*PS: Peso promedio*

*#P: número de plantas contabilizadas*

- ***Biomasa radicular fresca y seca***

Para el peso radicular fresco se utilizó una balanza de precisión separando el área foliar del área radicular, mientras que para el peso seco se sometió el material vegetal radicular a una desecadora a 110°C durante 2 horas como lo establece Martínez et al. (2019), y al final se determinó el peso seco en gramos con ayuda de la balanza de precisión. Se obtuvo el peso promedio de cada unidad experimental mediante la siguiente fórmula:

$$PS = \frac{a + b + c \dots}{\#P}$$

*Donde:*

*a: Planta 1*

*b: Planta 2*  
*c: Planta 3*  
*PS: Peso promedio*  
*#P: número de plantas contabilizadas*

#### **4.4. Manejo del ensayo**

##### **4.4.1. Fase de laboratorio**

- ***Disolución de quitosano 10 g/L***

Para obtener solución madre, se sometió 5 gramos de quitosano puro a un medio ácido necesario para ser asimilado por el material vegetal. Se obtuvo el volumen de solución madre para formar soluciones con 1000, 2000 y 3000 mg/l con la siguiente la fórmula (Hamamura, Negrón y Alarcón, 2012):

$$C1 * V1 = C2 * V2$$

*Donde:*

*C1: Concentración solución 1*

*V1: Volumen solución 1*

*C2: Concentración solución 2*

*V2: Volumen solución 2*

- ***Calibración de equipos***

Fue necesario el lavado y desinfección de la cámara de germinación con hipoclorito de sodio al 1%, para la calibración del equipo se estableció parámetros especiales para la semilla de lechuga, según Contreras y Barros (2005), la temperatura debe estar en  $20 \pm 1$  ° Centígrados, con luminosidad de 12 horas y con humedad relativa de 60%.

- *Inmersión de semillas en quitosano*

Se preparó soluciones de quitosano y agua destilada para los tratamientos en fase de laboratorio, en las cuales se sumergieron las semillas de lechuga por 10 minutos, contacto optimo establecido según Goñi et al. (2018). Saavedra et al. (2017), establece que las semillas deben embebecerse con agua para activar mecanismos fisiológicos y así iniciar con el desarrollo vegetativo. Los individuos pertenecientes al tratamiento testigo (T1: 0 mg/l de quitosano) tuvieron inmersión únicamente en agua destilada, de esta manera evitar interferencias entre tratamientos por desigualdad con respecto a humedad (Miniawy et al. 2013).

**Tabla 10**

*Determinación de volumen de solución madre para cada tratamiento*

<i>Volumen de solución madre 10</i>	<i>Concentración de tratamientos en 250 mililitros de agua</i>
<i>g/L</i>	<i>destilada</i>
0 ml	0 mg/l
25 ml	1000 mg/l
50 ml	2000 mg/l
75 ml	3000 mg/l

*Nota.* Determinación de los volúmenes de quitosano empleados.

***Lavado y desinfección***

Las bandejas, cámara de germinación, utensilios e instrumentos fueron previamente desinfectadas con hipoclorito de sodio al 1% y alcohol, para evitar contaminación que pudieran modificar los resultados de germinación de semillas (Rao et al. 2007).

### ***Siembra de lechuga***

Menciona Rao et al. (2007), para la determinación de germinación de lechuga fue importante utilizar papel toalla de alta calidad como sustrato el cual debe ser fuerte, no tóxico, y con un pH neutro, la siembra se realizó con el método de germinación sobre papel (SP) se colocó papel toalla previamente cortado para encajar en la bandeja y fue humedecido con agua destilada, la siembra se dispuso en diez columnas y diez filas, las bandejas deben tener tapa ajustada para evitar la pérdida de humedad ya que puede ser perjudicial en la germinación de semillas pequeñas como es el caso de la mayoría de hortalizas, se etiquetó todas las unidades experimentales de acuerdo con los tratamientos y repeticiones como se muestra en el Anexo 6, inmediatamente se colocó en la cámara de germinación misma que fue ambientada 12 horas antes de establecer el ensayo.

### ***Toma de datos***

Para la toma de datos en la variable porcentaje de germinación (%G) se realizó el conteo final al séptimo día como lo establece Rao et al. (2007), Peñaloza et al. (2019), y Grahn et al. (2018); sin embargo, se observó la germinación todos los días posterior al riego, es importante mencionar que fue necesario un preenfriamiento a 3° Centígrados de las semillas para romper la dormancia.

#### ***4.4.2. Fase de campo***

##### ***Instalaciones***

Se utilizó un invernadero presente en instalaciones de la empresa “La Praderita” ubicado en el cantón Atuntaqui, con luz eléctrica y disponibilidad de agua potable. Se desinfectó y limpio

el lugar de malezas que son posibles fuentes de infección, con soportes de bambú, ventanas tipo centinela y sombra gracias al sarán.

### ***Preparación y establecimiento del ensayo***

Se desinfectó las bandejas y utensilios con detergente y cloro, las semillas fueron desinfectadas previamente, la turba orgánica fue humedecida antes de colocar en las bandejas de germinación, la siembra fue de a dos semillas por alveolo con una profundidad de 1 cm y medio, ideal para lechuga como lo establece Martínez et al. (2019), fue importante que las bandejas permanezcan en sombra hasta la emergencia para retener humedad en el sustrato. El riego se dio diariamente en horas de la mañana para evitar quemaduras por temperatura, misma que fue monitoreada diariamente hasta culminar el ensayo.

### ***Aplicación de quitosano***

La concentración se estableció de acuerdo al mejor tratamiento en fase de laboratorio, la aplicación se dio por inmersión de bandejas en solución con quitosano, durante 10 minutos tiempo ideal como lo establece Martínez et al. (2019), se muestra en el Anexo 15.

### ***Cuantificación de variables***

El análisis del porcentaje de emergencia se realizó en campo al séptimo día después de siembra como lo establece (López et al. 2016), a los 30 días se contempló la culminación del ensayo y se tomó datos de altura de plántula, biomasa foliar fresca y seca, biomasa radicular fresca y seca, el análisis de plántulas se dio en laboratorios de la Universidad católica del Ecuador sede Ibarra.

## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 5.1. Prueba de normalidad y homogeneidad de la varianza

Los datos se tabularon y analizaron, mediante Excel®; se realizó la prueba de Normalidad de Shapiro-Wilk, obteniendo valores de p-value ( $>0.05$ ) en todas las variables dependientes en fase de laboratorio y en fase de campo, para la homogeneidad de varianzas se utilizó pruebas de Levene, el ANOVA permite la comparación de dos o más tratamientos, los datos están en la Tabla 11 presentada a continuación:

**Tabla 11***Resultados de la prueba de normalidad y homogeneidad de varianzas*

<i>Variables</i>	<i>Observaciones</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación estándar</i>	<i>Shapiro test</i>	<i>p-value</i>	<i>Levene test</i>	<i>p-value</i>
<i>Fase laboratorio</i>							
<i>Germinación en cámara (%)</i>	16	87,125	5,201	0,972	0,868	0,463	0,713
<i>Fase campo</i>							
<i>Emergencia en bandeja (%)</i>	12	90,433	1,600	0,956	0,728	0,478	0,635
<i>Altura (cm)</i>	12	10,599	0,691	0,977	0,969	2,144	0,173
<i>Masa foliar fresca (g)</i>	12	0,842	0,118	0,957	0,743	0,590	0,575
<i>Masa foliar seca (g)</i>	12	0,055	0,010	0,875	0,077	0,154	0,859
<i>Masa radicular fresca (g)</i>	12	0,165	0,041	0,967	0,877	0,024	0,977
<i>Masa radicular seca (g)</i>	12	0,013	0,004	0,954	0,697	6,548	0,018

*Nota.* Descripción de los métodos de análisis utilizados en cada variable, Shapiro- Wilk test p-value >0.05., pruebas de normalidad y homogeneidad.

## 5.2. Análisis estadístico de la variable en fase de laboratorio

### 5.2.1. Porcentaje de germinación en cámara

**Tabla 12**

*Análisis de varianza del porcentaje de germinación en cámara*

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F. cal</i>	
<i>Total</i>	15	27,05		
<i>Tratamientos</i>	3	96,250	9,872	**
<i>Error experimental</i>	12	9,750		

*CV*                      3,74%

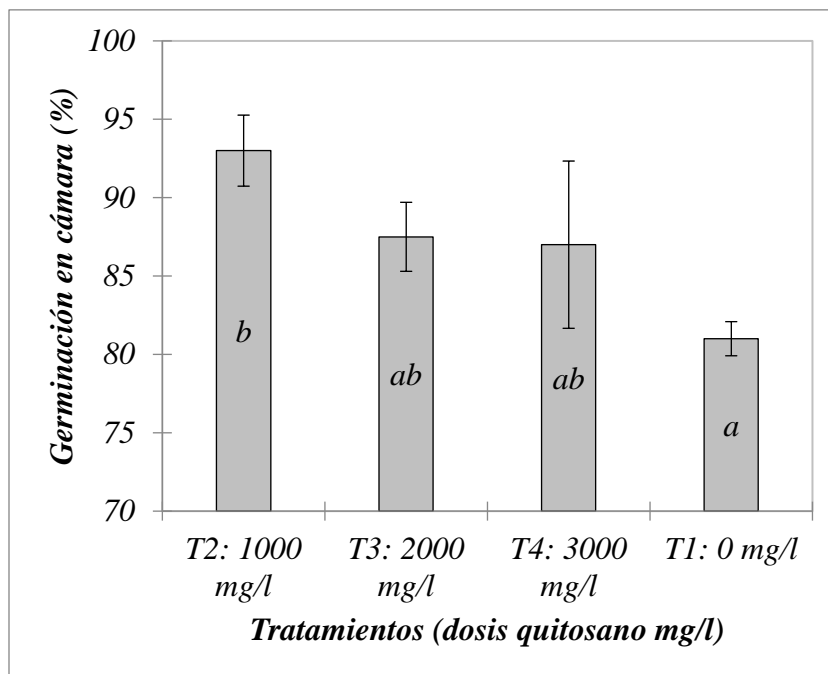
*Promedio*            87,125%

*Nota.* FV: fuentes de variación, GL: grados de libertad, CM: cuadrados medios, F. cal: F calculada, \*: Diferencia significativa, \*\*: Diferencia altamente significativa, ns: No existe diferencia significativa.

Una vez realizado el ANOVA de la variable porcentaje germinación en cámara (Tabla 12), se determinó que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos (dosis de quitosano), el coeficiente de variación obtenido es de 3.74 %, lo que indica una baja dispersión de los datos observados en esta investigación. Se obtuvo una media aritmética de las 16 unidades experimentales de un porcentaje de germinación del 87.12% en las semillas de lechuga en la cámara de germinación con condiciones controladas (temperatura  $20 \pm 1^\circ$  Centígrados; fotoperiodo 12 horas, 60% de Humedad Relativa) durante 7 días, Anexo 10.

### Figura 3

Comparación múltiple de promedios Tukey al 5% en fase de laboratorio



*Nota.* Promedios de los tratamientos con respecto al porcentaje de germinación de 100 semillas por unidad experimental analizadas en fase de laboratorio.

Al presentarse diferencias altamente significativas en el análisis de varianza se realizó la prueba de comparación múltiple de promedios por Tukey al 5%, esta prueba señala que el tratamiento (T2) con 1000 mg/l de quitosano fue el mejor con 93.00% en la germinación de semillas durante 7 días; el tratamiento testigo (T1) con 0 mg/l de quitosano obtuvo el porcentaje más bajo de germinación con un 81.00% de germinación, mientras que los tratamientos T3 y T4 con 2000 y 3000 mg/l respectivamente se presentaron estadísticamente iguales, todos los tratamientos fueron aplicados a las semillas por un tiempo de imbibición de 10 minutos establecido como el tiempo adecuado por Goñi et al. (2018).

El quitosano emplea en la agricultura, desde la germinación de semillas en los que se ha observado efectos positivos, sin embargo, la concentración efectiva varía dependiendo del cultivo, procedencia de quitosano y tiempo imbibición de semilla, la influencia de quitosano en la germinación actúa de forma dosis-dependiente, con efectos sobre índices de germinación siempre positivamente correlacionado con una mayor imbibición de semillas (Xin et al. 2020). Li et al. (2020), afirman que el quitosano incrementó la germinación de semillas y el vigor de plántulas de trigo en bajas concentraciones al potencializar su actividad fisiológica, pero en altas concentraciones presenta actividad inhibitoria ya que puede causar apoptosis celular en tejidos vegetales. Así también Peñaloza et al. (2005), comprobaron con su investigación que el porcentaje de germinación de las semillas de lechuga acondicionadas con quitosano fue estadísticamente superior al del testigo, datos que al contrastar con los obtenidos en esta investigación muestran un comportamiento similar. Determinando el efecto positivo de la aplicación de quitosano en la fase de germinación de las semillas de lechuga.

### **5.3. Análisis estadístico de las variables en campo**

Una vez determinada la dosis de quitosano efectiva para obtener un alto porcentaje de germinación se procedió a la fase de campo, en la cual se evaluará la respuesta fisiológica de la planta a la aplicación de quitosano en la mejor dosis para lechuga que fue previamente establecida en el diseño experimental.

### 5.3.1. Porcentaje de emergencia

**Tabla 13**

*Análisis de varianza (ANOVA) del porcentaje de emergencia en bandeja*

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F. cal</i>	
<i>Total</i>	11	2,561		
<i>Tratamientos</i>	2	0,966	0,331	ns
<i>Error experimental</i>	9	2,915		

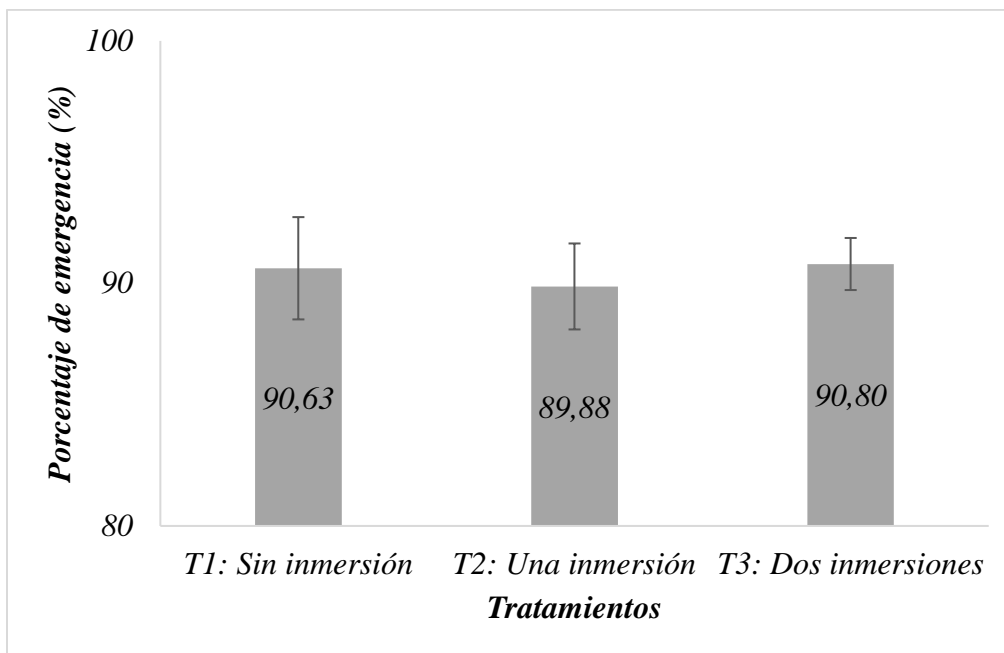
<i>CV</i>	1,77%
<i>Promedio</i>	90.433%

*Nota.* FV: fuentes de variación, GL: grados de libertad, CM: cuadrados medios, F. cal: F calculada, \*: Diferencia significativa, \*\*: Diferencia altamente significativa, ns: No existe diferencia significativa.

El ANOVA con respecto a la variable porcentaje de emergencia en bandeja, muestra que entre tratamientos (aplicación de 1000 mg/l de quitosano en diferentes frecuencias) no hay diferencias estadísticamente significativas, ya que todos los tratamientos tuvieron imbibición de solución de quitosano por 10 minutos pre-siembra. El coeficiente de variación en este caso es 1.77% lo que indica una baja dispersión de datos con respecto a la media que es 90.433% de plantas emergidas hasta el séptimo día posterior a la siembra como lo establece Peñaloza et al. (2019).

#### Figura 4

Comparación de promedios para la variable porcentaje de emergencia en bandeja



*Nota.* Demostración grafica de media de porcentaje de emergencia en bandeja correspondiente a tratamientos (frecuencia de aplicación de quitosano en fase de campo)

En la Figura 4 se observa los promedios de los tratamientos analizados en campo: T1 (sin inmersión de quitosano), T2 (una inmersión de solución de quitosano a 1000 mg/l a los 10 D.D.S.) y T3 (dos inmersiones en solución de quitosano a 1000 mg/l a los 10 y 20 D.D.S.). Obteniendo como la media más alta la obtenida por el tratamiento T3 con un 90.8% de emergencia, seguido por el 90.6% y 89.8% de emergencia de T1 y T2 respectivamente, es necesario aclarar que los tratamientos no tienen diferencias estadísticamente significativas ya que hasta el séptimo día de conteo tuvieron el mismo manejo, entendiéndose que la emergencia de las plántulas estuvo condicionada por el poder germinativo de las semillas y la imbibición de quitosano pre-siembra.

La emergencia de plántulas implica la utilización de biomoléculas almacenadas como carbohidratos y proteínas ya que existe un alta demanda de energía para el metabolismo y síntesis de reservas alimenticias de las semillas, la ruptura de la cubierta de la semillas y como resultado la emergencia de la plántulas, semillas imbuidas con nanopartículas de quitosano mostraron un crecimiento acelerado en comparación con las semillas del control no tratadas, el porcentaje de emergencia se considera un indicativo de vigor de las semillas que determina la calidad de semillas (López et al. 2016).

La emergencia de plantas es directamente proporcional a las semillas que germinan, Kananont et al. (2010), observo que los seis tipos de orquídeas y cuatro concentraciones de quitosano analizadas mejoro el factor germinación en comparación a las que germinaban sin quitosano, con distinta respuesta en cada tipo por lo tanto se debe evaluar la aplicación adecuada en germinación y desarrollo para cada especie vegetal.

### 5.3.2. Altura de plántulas de lechuga a los 30 días después de siembra

**Tabla 14**

*Análisis de varianza (ANOVA) para la variable altura de plántulas*

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F. cal</i>
<i>Total</i>	11	0,477	
<i>Tratamientos</i>	2	1,616	7,229 *
<i>Error experimental</i>	9	0.224	

*CV* 6,24%

*Promedio* 10,599 cm

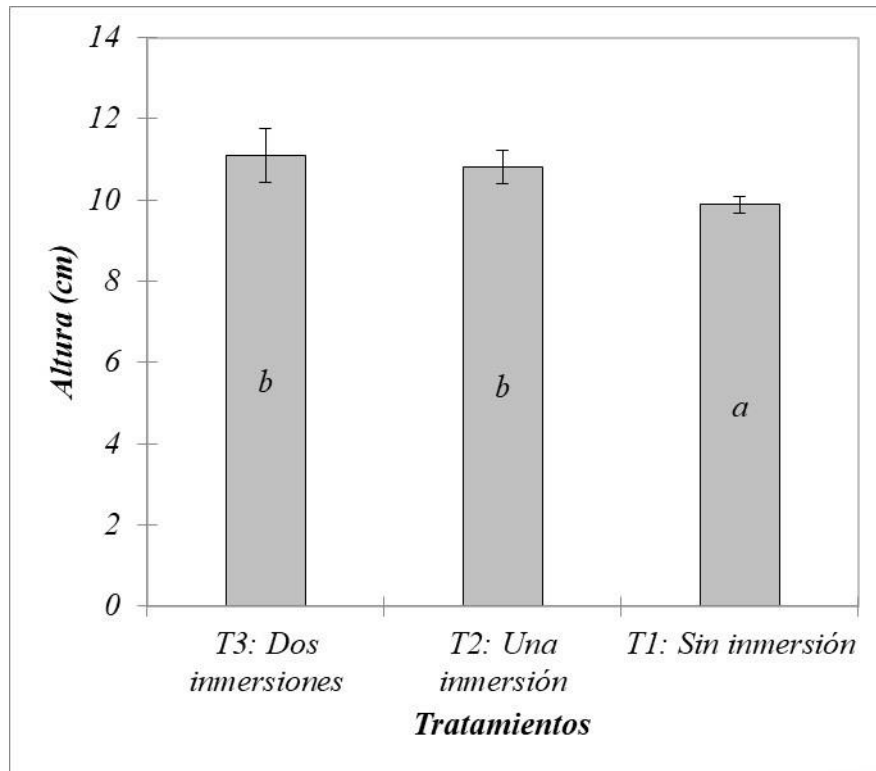
*Nota.* FV: fuentes de variación, GL: grados de libertad, CM: cuadrados medios, F. cal: F calculada, \*: Diferencia significativa, \*\*: Diferencia altamente significativa, ns: No existe diferencia significativa.

El ANOVA con respecto a la variable altura de plántula, muestra que entre tratamientos (aplicación de 1000 mg/l de quitosano en diferentes frecuencias) si hay diferencias estadísticamente significativas, los tratamientos con una (T2) y dos (T3) inmersiones muestran valores más altos con respecto al tratamiento sin inmersión de quitosano (T1); la prueba de Tukey 5% establece como mejor tratamiento en altura de plántula al tratamiento con dos inmersiones (T3) con una media de 11,059 cm, luego el tratamiento con una inmersión (T2) y su media de 10,82 cm y por último el tratamiento sin inmersión (T1) con una media de 9,883 cm. El coeficiente de variación en este caso es 6,24 % lo que indica una baja dispersión de datos con respecto a la media que es 10,599 cm de altura en plántulas de lechuga, altura óptima para el trasplante como lo establece Peñaloza et al. (2019).

Se ha demostrado que la influencia de quitosano en etapas iniciales del cultivo favorece el crecimiento de las plantas y también aumenta su tolerancia al estrés abiótico, varios estudios sugieren que el quitosano tiene un efecto positivo en el crecimiento de plántulas de trigo debido a una mayor adsorción en la superficie de las semillas debido a la actividad fisiológica positiva de los oligosacáridos naturales tal y como lo establece Li et al. (2020).

**Figura 5**

*Altura de plántulas de lechuga a los 30 días después de siembra*



*Nota.* Representación gráfica de las medias de la variable altura de plántula de cada tratamiento con la prueba Tukey 5%.

De igual manera se puede observar la diferencia de altura en plántulas de lechuga en la figura 5, en la cual es notorio que los tratamientos con una y dos inmersiones de quitosano tienen medias de altura mayores al tratamiento sin inmersión de quitosano, el mejor tratamiento con dos inmersiones (T3) y una media en altura de 11,059 cm a comparación con el tratamiento sin inmersión (T1) que obtuvo una media de 9.88 cm en altura de plántulas.

### 5.3.3. Biomasa foliar

**Tabla 15**

*Análisis de varianza (ANOVA) de biomasa foliar fresca*

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F. cal</i>	
<i>Total</i>	11	0,014		
<i>Tratamientos</i>	2	0,050	8,389	**
<i>Error experimental</i>	9	0,006		

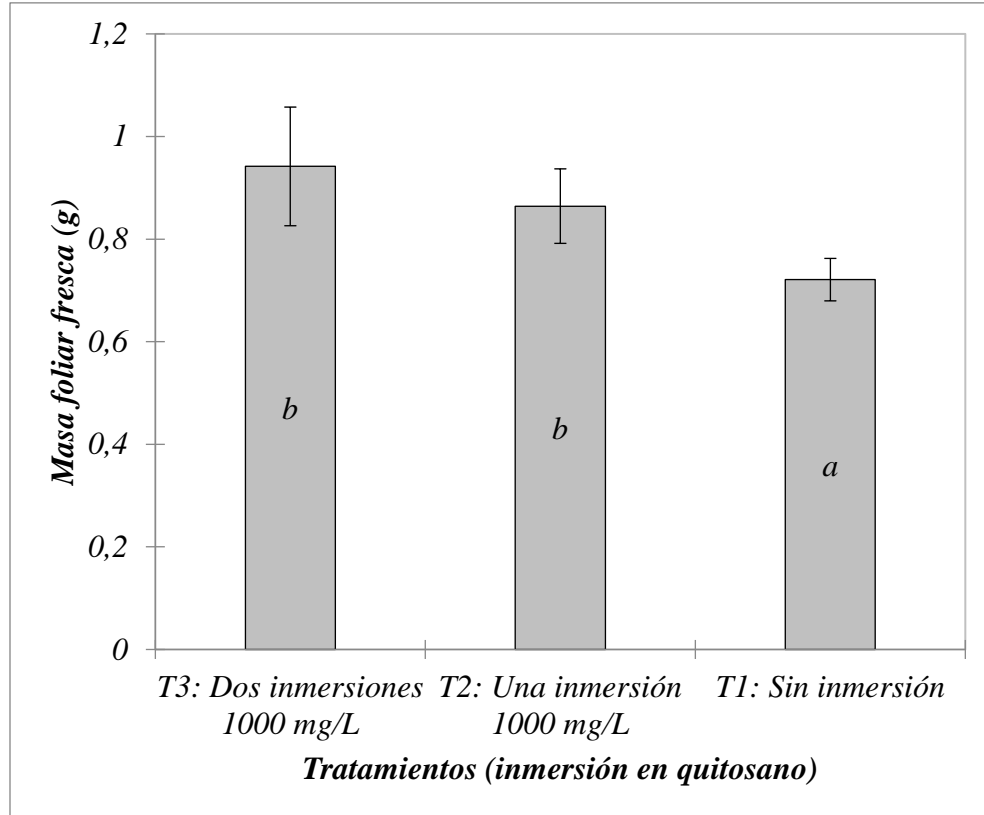
<i>CV</i>	13.45%		
<i>Promedio</i>	0.842	gramos	

*Nota.* FV: fuentes de variación, GL: grados de libertad, CM: cuadrados medios, F. cal: F calculada, \*: Diferencia significativa, \*\*: Diferencia altamente significativa, ns: No existe diferencia significativa.

El ANOVA para la variable de masa foliar fresca presenta diferencias altamente significativas entre tratamientos (Tabla 15); el coeficiente de variación muestra la dispersión de datos con respecto a la media aritmética y es de 13.45% que nos indica que los datos analizados tienen homogeneidad, el valor del promedio es de 0.842 gramos de materia foliar fresca por plántula de lechuga.

## Figura 6

Comparación de medias para la variable masa foliar fresca



*Nota.* Representación gráfica de la media con respecto a masa foliar fresca de los tratamientos en fase de campo.

Al presentarse diferencias altamente significativas se realizó la prueba de Tukey al 5%, que indica que existen dos rangos de significancia, el mayor peso de masa foliar seca se alcanzó en la plántulas sometidas a dos inmersiones (T3) en solución de quitosano a 1000 mg/l a 10 y 20 días después de siembra con 0.9417 gramos de materia foliar fresca por plántula de lechuga, el siguiente tratamiento es estadísticamente igual al anterior ya que también presenta rango de significancia b, una inmersión (T2) de solución de quitosano a 1000 mg/l en 10 días después de siembra arroja un peso de materia foliar fresca de 0.8642 gramos por plántula de lechuga.

**Tabla 16***Análisis de varianza (ANOVA) para la variable masa foliar seca*

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F. cal</i>
<i>Total</i>	11	0,0001	
<i>Tratamientos</i>	2	0,0003	5,937 *
<i>Error experimental</i>	9	0,0001	

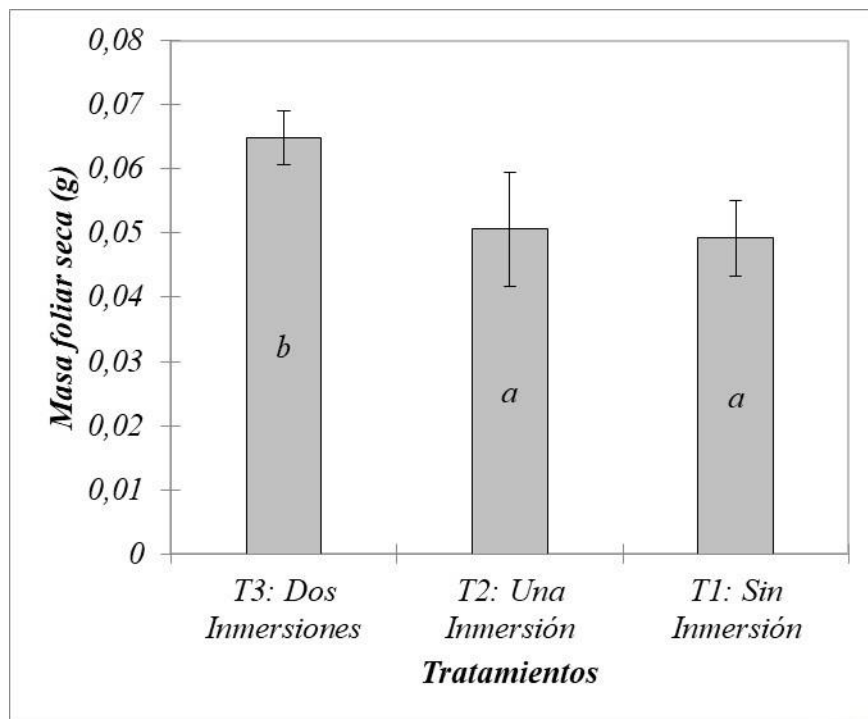
*CV* 17,02%*Promedio* 0,055 gramos

*Nota.* FV: fuentes de variación, GL: grados de libertad, CM: cuadrados medios, F. cal: F calculada, \*: Diferencia significativa, \*\*: Diferencia altamente significativa, ns: No existe diferencia significativa.

El ANOVA nos indica que para la variable de masa foliar seca en plántulas de lechuga hay diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (Tabla 16); el coeficiente de variación muestra la dispersión de datos con respecto a la media aritmética y es de 17.02% que nos indica que los datos analizados tienen homogeneidad, el valor del promedio es de 0.055 gramos de materia foliar seca por plántula de lechuga a los 30 días después de siembra.

## Figura 7

*Peso de materia foliar seca de plántulas de lechuga*



*Nota.* Representación gráfica del peso de materia foliar seca, comparación múltiple de promedios con la prueba Tukey 5%

Se puede observar la diferencia de peso en gramos de los tratamientos en la figura 7, en la cual se establece el mayor peso foliar seco en el tratamiento correspondiente a dos inmersiones (T3) en solución de quitosano a 1000 mg/l a los 10 y 20 días después de siembra con 0.065 gramos, seguido por el tratamiento con una inmersión (T2) en solución de quitosano con 0.051 gramos de masa foliar seca y por último al tratamiento sin inmersión (T1) de quitosano con 0.049 gramos.

En la investigación de Zeng y Tu (2012), se determinó que el recubrimiento de semillas de soja con quitosano aumento la germinación, el crecimiento de plantas y el rendimiento de manera eficiente, y concluyo que el quitosano como bioestimulante es una opción adecuada para controlar

plagas en sustitución de plaguicidas con alta toxicidad y de esta manera pudo mejorar el rendimiento de la soja, esto quiere decir que tiene un efecto significativo en el crecimiento vegetal y en la lucha contra las plagas a medida que aumenta su concentración, demostrando que a mayor concentración menor tasa de alimentación de *Agrotis ypsilon*.

#### 5.3.4. Biomasa radicular

**Tabla 17**

*Análisis de varianza (ANOVA) de biomasa radicular fresca*

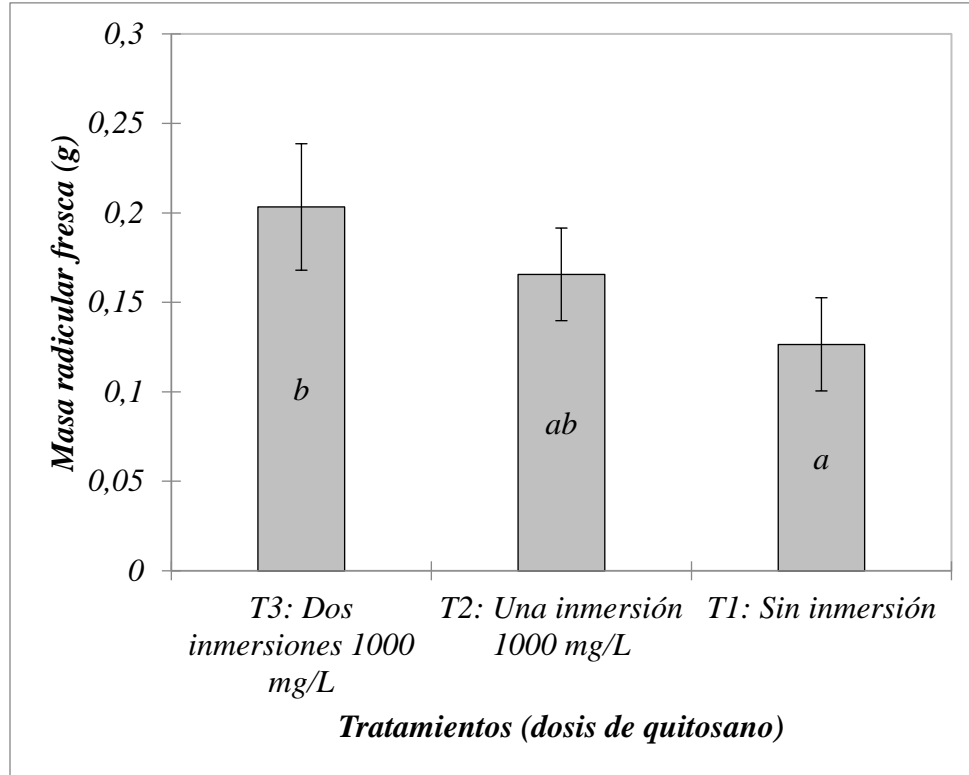
<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F. cal</i>	
<i>Total</i>	11	0,002		
<i>Tratamientos</i>	2	0,006	8,249	**
<i>Error experimental</i>	9	0,001		
	<i>CV</i>	23.59%		
	<i>Promedio</i>	0.165	gramos	

*Nota.* FV: fuentes de variación, GL: grados de libertad, CM: cuadrados medios, F. cal: F calculada, \*: Diferencia significativa, \*\*: Diferencia altamente significativa, ns: No existe diferencia significativa.

El ANOVA realizado para la variable de masa radicular fresca indica diferencias altamente significativas entre plántulas de lechuga a los 30 días después de siembra. El coeficiente de variación es de 23.59% que nos indica la homogeneidad de datos con respecto a la media aritmética, misma que es 0.165 gramos de materia radicular fresca por plántula de lechuga.

**Figura 8**

*Comparación múltiple de promedios Tukey al 5%*



*Nota.* Representación gráfica de medias con respecto al peso de masa radicular fresca de los tratamientos.

Por las diferencias altamente significativas en el ANOVA se realizó la comparación múltiple de promedios por Tukey al 5% como se indica en la figura 8, en la cual se muestra tres rangos de significancia (a, ab, b). El mayor peso en masa radicular fresca a los 30 días después de siembra se presenta en el tratamiento correspondiente a dos inmersiones (T3) de solución de quitosano a 1000 mg/l con un peso de 0.203 gramos de masa radicular fresca por plántula, el tratamiento sin inmersión (T1) de quitosano en etapa de semillero obtuvo la media más baja con 0.127 gramos por plántula. El número de hojas y peso fresco de brotes y raíz, características en la

mayoría de concentraciones de quitosano fueron iguales entre ellas, pero siempre mayores a las del control, aprobado en semillas de lechuga Peñaloza et al. (2019).

**Tabla 18**

*Análisis de varianza (ANOVA) de biomasa radicular seca*

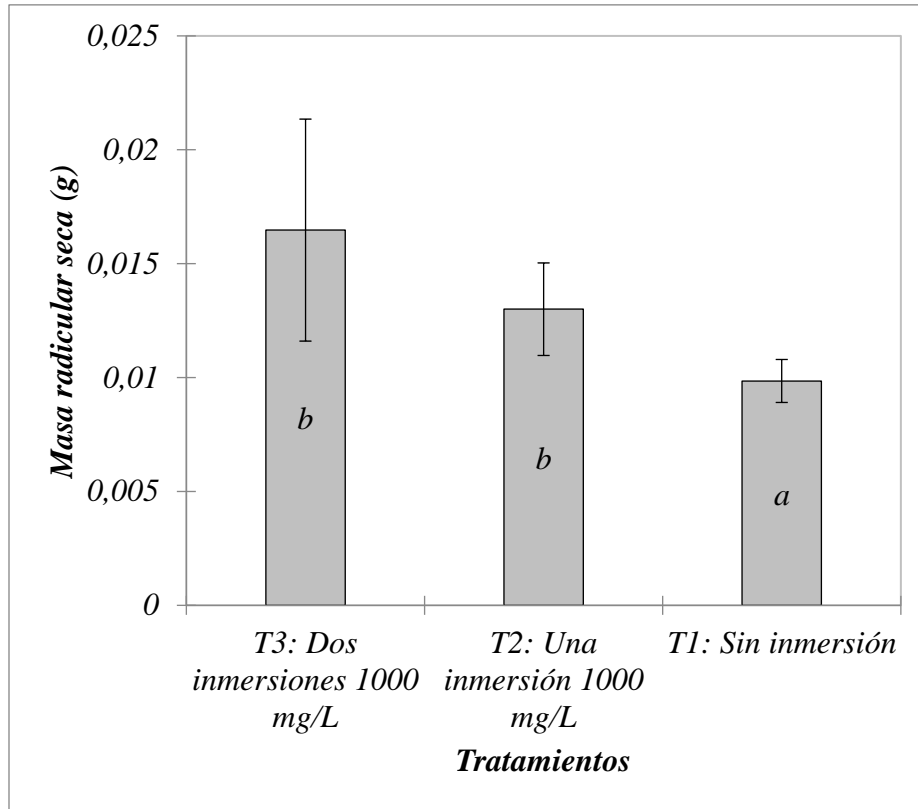
<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F. cal</i>	
<i>Total</i>	11	0,00001		
<i>Tratamientos</i>	2	0,00004	6,622	*
<i>Error experimental</i>	9	0,00001		
	<i>CV</i>	26.75%		
	<i>Promedio</i>	0.013	gramos	

*Nota.* FV: fuentes de variación, GL: grados de libertad, CM: cuadrados medios, F. cal: F calculada, \*: Diferencia significativa, \*\*: Diferencia altamente significativa, ns: No existe diferencia significativa.

El ANOVA elaborado para la variable masa radicular seca nos muestra que hay diferencias significativas entre tratamientos de quitosano. El coeficiente de variación es de 26.821%, el cual nos indica la variación de datos con respecto a la media aritmética. El promedio es de 0.1310 gramos de materia radicular seca por plántula de lechuga a los 30 días después de siembra.

**Figura 9**

*Comparación de medias con respecto a masa radicular seca*



*Nota.* Muestra de medias con respecto al peso de masa radicular seca con ayuda de la prueba Tukey al 5%.

Por medio de Tukey al 5% se realizó la comparación múltiple de medias que nos muestra dos rangos de significancia (a y b). El mayor peso de masa radicular seca se presentó en el tratamiento con dos inmersiones (T3) de solución de quitosano con 1000 mg/l con 0.016 gramos por plántula de lechuga, después el tratamiento con una inmersión (T2) de quitosano con 0.013 gramos de masa radicular seca por plántula y al último el tratamiento sin inmersión (T1) de quitosano con 0.01 gramos de masa radicular seca por plántula.

La influencia de quitosano en la masa radicular seca de la plántula de lechuga demuestra y apoya el estudio realizado por Agbodjato et al. (2016), donde se manifiesta que el quitosano induce a una mejor síntesis de citoquinas, auxinas y/o auxilios que son hormonas que estimulan la división celular y elongación celular, las semillas de maíz tratadas con quitosano se caracterizan por tener raíces más largas, semillas vigorosas y un mayor porcentaje de germinación.

Songlin y Qingzhong (2002), concluyen que recubrimiento de semillas de arroz con quitosano mejoró significativamente actividades de crecimiento y porcentaje de germinación incluso las actividades de  *$\beta$ -amilasa* (enzima relacionada con la nutrición celular) en comparación con el control, aun si las plántulas se sometían a estrés salino.

Se observó en lenteja que la aplicación de quitosano a razón de 3000 mg/l dio como resultado diferencias significativas en porcentaje de germinación, longitud del hipocótilo, longitud radical, peso seco radical y foliar, independientemente al nivel de salinidad, evidenciando así el efecto positivo de quitosano en el desarrollo vegetal aun en situación de estrés (Al-Tawaha y Al-Ghzawi, 2013).

Manifiesta González et al. (2018), el producto seco obtenido por planta o por unidad de área depende del balance existente entre la fotosíntesis y la respiración, los cambios en el ambiente influyen en el ritmo de la producción de materia seca tales como: el aire, energía solar, agua; mismos que infieren en la producción de materia seca de una planta o especie vegetal, pero se resalta que los factores inherentes a la planta influyen notablemente en la producción de materia seca son los contenidos hídricos y nutritivos tales como el quitosano.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES

- El quitosano es una alternativa biocompatible y amigable con el medio ambiente, por ende, su aplicación en la agricultura se considera una estrategia adecuada, orgánica y sostenible en el manejo agronómico de este cultivo, considerando este bioestimulante como compuesto sustituto a productos tóxicos y no biodegradables.
- En fase de laboratorio el porcentaje de germinación se vio afectado positivamente después de la imbibición de semillas por 10 minutos en T2 (solución de quitosano a 1000 mg/l) con el cual se obtuvo el porcentaje más alto de germinación con 93% de semillas hasta 7 días después de siembra, se manifiesta que el quitosano induce a una mejor síntesis de citoquinas, auxinas y/o auxilios que son hormonas que estimulan la división celular y elongación celular, se caracterizan por tener un sistema radicular mejor desarrollado, semillas vigorosas y un mayor porcentaje de germinación; sin embargo, dosis más altas no mostraron estimulación adecuada posiblemente por una fitotoxicidad.
- La frecuencia T2 y T3 (una y dos inmersiones de quitosano) tienen medias de altura mayores al tratamiento T1 (sin inmersión de quitosano), el mejor tratamiento resulto ser T3 (dos inmersiones de quitosano a 1000 mg/l) con una media en altura de 11.059 cm, biomasa foliar fresca y seca (0,9416 y 0,065 gramos); biomasa radicular fresca y seca (0,203 y 0,016 gramos), demostrando la influencia positiva de quitosano en etapas iniciales del cultivo debido a que este compuesto favorece el crecimiento de las plántulas y también aumenta su tolerancia al estrés abiótico.

- El quitosano no solo permitió el crecimiento vegetativo al presentar plántulas vigorosas; de igual manera se pudo evidenciar que las plántulas tuvieron apariencia sana en área foliar y radicular, posiblemente por su papel ante enfermedades puesto que contribuye en los mecanismos de defensa, durante toda la fase de campo no fue necesario el control sanitario de ningún tipo.
- Se concluye que la respuesta vegetativa de las plantas al bioestimulante quitosano, en términos de germinación de semillas y desarrollo vegetativo de plántulas en vivero depende en gran medida de la especie vegetal, fase de desarrollo, tiempo de imbibición y concentración de quitosano.

## **CAPÍTULO VII**

### **RECOMENDACIONES**

- Es importante estudiar el tiempo de aplicación y concentración de quitosano para cada cultivo, ya que la respuesta vegetativa a este bioestimulante está condicionada por cultivo, tiempo y concentración, entonces las variables ideales contribuyen a un uso eficiente de este polímero natural.
- Evaluar nuevas prácticas agrícolas que mejoren potencialmente el cultivo evitando el uso excesivo de químicos y por consecuencia el deterioro del ecosistema, buscando nuevas alternativas que mejoren la producción de manera sostenible.
- Realizar estudios posteriores evaluando al quitosano como producto individual y en combinación con abonos orgánicos con la finalidad de estudiar su potencial en la germinación, crecimiento, desarrollo y rendimiento en cultivos.

## CAPÍTULO VIII

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdel-Mawgoud, A. M. R., Tantawy, A. S., El-Nemr, M. A., y Sassine, Y. N. (2010). Growth and yield responses of strawberry plants to chitosan application. *European Journal of Scientific Research*, 39(1), 170-177. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.777105>

Adiletta, G., Di Matteo, M., y Petriccione, M. (2021). Multifunctional role of chitosan edible coatings on antioxidant systems in fruit crops: a review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(5), 2633.

Agbodjato, N. A., Noumavo, P. A., Adjanohoun, A., Agbessi, L., y Baba-Moussa, L. (2016). Synergistic effects of plant growth promoting rhizobacteria and chitosan on in vitro seeds germination, greenhouse growth, and nutrient uptake of maize (*Zea mays* L.). *Biotechnology research international*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/7830182>

Ahmed, K. B. M., Khan, M. M. A., Siddiqui, H., y Jahan, A. (2020). Chitosan and its oligosaccharides, a promising option for sustainable crop production-a review. *Carbohydrate polymers*, 227, 115331.

Anaya-Esparza, L. M., Pérez-Larios, A., Ruvalcaba-Gómez, J. M., Sánchez-Burgos, J. A., Romero-Toledo, R., y Montalvo-González, E. (2020). Funcionalización de los recubrimientos a base de quitosano para la conservación postcosecha de frutas y hortalizas. TIP. *Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 23.

Al-Tawaha, A. R. M., y Al-Ghzawi, A. L. A. (2013). Effect of chitosan coating on seed germination and salt tolerance of lentil (*Lens culinaris* L.). *Research on Crops*, 14(2), 489-491. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2014.10.051>.

Ali, E. F., El-Shehawi, A. M., Ibrahim, O. H. M., Abdul-Hafeez, E. Y., Moussa, M. M., y Hassan, F. A. S. (2021). A vital role of chitosan nanoparticles in improvisation the drought stress tolerance in *Catharanthus roseus* (L.) through biochemical and gene expression modulation. *Plant Physiology and Biochemistry*, 161, 166-175.

Ali, A., Naeem, M., Idrees, M., Aftab, T., Khan, M. M. A., y Dantu, P. K. (2022). Effect of presowing treatment of Co-60 gamma-irradiated chitosan on seed germination and seedling vigor in *Eucalyptus citriodora* Hook. In *Radiation-Processed Polysaccharides* (pp. 321-337). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85672-0.00008-8>

Apaza, B. V. A., Chui, C. H., y Chávez, C. M. F. (2019). Evaluación del cultivo de la lechuga (*Lactuca sativa*) en sistema hidropónico bajo dos niveles de cloruro de potasio. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 6(2), 66-71. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2409-16182019000200009&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-16182019000200009&lng=es&tlng=es).

Ariza, L. Q., Prieto, J. V., y Padilla, L. G. (2019). Evaluación metodológica del proceso químico extractivo de quitina y quitosano en latinoamérica. *Ingenio Magno*, 10(1), 180-194.

Bautista-Baños, S., Ventura-Aguilar, R. I., Correa-Pacheco, Z., y Corona-Rangel, M. L. (2017). Quitosano: un polisacárido antimicrobiano versátil para frutas y hortalizas en poscosecha- una revisión. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 23(2), 103-122.

<https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2016.11.030>

Blanco, E. L., Castro, Y., Olivo, A., Skwierinski, R., y Barrios, F. M. (2018). Germinación y crecimiento de plántulas de pimentón y lechuga inoculadas con rizobios e identificación molecular de las cepas. *Bioagro*, 30(3), 207-218.

Chakraborty, M., Hasanuzzaman, M., Rahman, M., Khan, M. A. R., Bhowmik, P., Mahmud, N. U., ... y Islam, T. (2020). Mechanism of plant growth promotion and disease suppression by chitosan biopolymer. *Agriculture*, 10(12), 624.

Contreras, S. y Barros, M. (2005). Pruebas de vigor en semillas de lechuga y su correlación con emergencia. *Ciencia e investigación agraria*, 32(1), 4-11.  
<https://repositorio.uc.cl/handle/11534/8474>

Duan, C., Meng, X., Meng, J., Khan, M. I. H., Dai, L., Khan, A., ... y Ni, Y. (2019). Chitosan as a preservative for fruits and vegetables: a review on chemistry and antimicrobial properties. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 4(1), 11-21.

Fasciglione, G., Goñi, M. G., Yommi, A. K., Perez-Bravo, J. J., Ortueta, R., Scampini, A., ... y Creus, C. M. (2020). Revaluation of waste from fishing industry through generation of chitosan coatings to improve quality and extend shelf-life of minimally processed lettuce. *Postharvest Biology and Technology*, 170, 111310.

García, J., Ruiz, N., Lira, R., Vera, I. y Méndez, B. Técnicas Para Evaluar Germinación, Vigor y Calidad Fisiológica de Semillas Sometidas a Dosis de Nanopartículas. *Centro de Investigación En química Aplicada (CIBQ)*, 129-140.

Goñi, M., Moreira, G., y Viacava, R. (2018). Optimization of chitosan treatments for managing microflora in lettuce seeds without affecting germination. *Carbohydr Polym.* 92(1), 817-823. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.09.094>

Grahn, M., Hellier, B., Benedict, C. y Miles, C. (2018). Screening USDA Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Germplasm for Ability to Germinate under Cold Conditions. *HortScience*, 50 (8), 5. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.8.1155>

Huaraca-Fernandez, J. N., Pérez-Sosa, L., Bustinza-Cabala, L. S., y Pampa-Quispe, N. B. (2020). Enmiendas orgánicas en la inmovilización de cadmio en suelos agrícolas contaminados: una revisión. *Información tecnológica*, 31(4), 139-152.

Iber, B. T., Kasan, N. A., Torsabo, D., y Omuwa, J. W. (2022). A review of various sources of chitin and chitosan in nature. *Journal of Renewable Materials*, 10(4), 1097.

Kananont, N., Pichyangkura, R., Chanprame, S., Chadchawan, S., y Limpanavech, P. (2010). Chitosan specificity for the in vitro seed germination of two *Dendrobium* orchids (Asparagales: Orchidaceae). *Scientia Horticulturae*, 124(2), 239-247. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.11.019>

Kumar, S., y Madihally, S. V. (Eds.). (2022). *Role of Chitosan and Chitosan-Based Nanomaterials in Plant Sciences*. Academic Press.

Martínez, J., Virgen, J., Peña, M. y Romero, A. (2019). Índice de velocidad de emergencia en líneas de maíz. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 1(3), 289-304. Recuperado en 26 de enero de 2023, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342010000300002&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342010000300002&lng=es&tlng=es).

Miniawy, S., Ragab, M., Youssef, S. y Metwally, A. (2013). Response of strawberry plants to foliar spraying of chitosan. *Res. Agrícola*, 9(6), 366-372. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203769>

Moncada, A., Vetrano, F., Esposito, A., y Miceli, A. (2022). Effects of NAA and *Ecklonia maxima* extracts on lettuce and tomato transplant production. *Agronomy*, 12(2), 329. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020329>

Morin-Crini, N., Lichtfouse, E., Torri, G., y Crini, G. (2019). Applications of chitosan in food, pharmaceuticals, medicine, cosmetics, agriculture, textiles, pulp and paper, biotechnology, and environmental chemistry. *Environmental Chemistry Letters*, 17(4), 1667-1692.

Nair, M. S., Tomar, M., Punia, S., Kukula-Koch, W., y Kumar, M. (2020). Enhancing the functionality of chitosan-and alginate-based active edible coatings/films for the preservation of fruits and vegetables: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 304-320.

Lárez, C. (2008). Algunas potencialidades de la quitina y el quitosano para usos relacionados con la agricultura en Latinoamérica. *Revista UDO Agrícola*, 8(1), 1-22. <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/16830>

Lárez, C., Rojas, M., Chirinos, A., y Rojas, L. (2019). Nuevos Retos en Agricultura para los Biopolímeros de Quitina y Quitosano. Parte 1: Efectos Beneficiosos para los Cultivos. *Revista Iberoamericana de Polímeros y Materiales*. 20(3), 118-136.

Li, R., He, J., Xie, H., Wang, W., Bose, S. K., Sun, Y..... y Yin, H. (2019). Effects of chitosan nanoparticles on seed germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.).

*International journal of biological macromolecules*, 12(6), 91-100.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.118>

Li, K., Xing, R., Liu, S., y Li, P. (2020). Chitin and chitosan fragments responsible for plant elicitor and growth stimulator. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(44), 12203-12211.

López, J., Torres, N., Saldivar, R., Reyes, I., y Argüello, B. (2016). Técnicas para evaluar germinación, vigor y calidad fisiológica de semillas sometidas a dosis de nanopartículas. *Centro de Investigación en química Aplicada (CIBQ)*, 129-140.  
<http://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1025/334>

López-Corona, B. E., Mondaca-Fernández, I., Gortáres-Moroyoqui, P., Meza-Montenegro, M. M., Balderas-Cortés, J. D. J., Ruiz-Alvarado, C. y Rueda-Puente, E. O. (2019). Enraizamiento de esquejes de *Salicornia bigelovii* (Torr.) por quitosano como un bioproducto de origen marino. *Terra Latinoamericana*, 37(4), 361-369. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i4.517>

Lopez-Moya, F., Suarez-Fernandez, M., y Lopez-Llorca, L. V. (2019). Molecular mechanisms of chitosan interactions with fungi and plants. *International journal of molecular sciences*, 20(2), 332.

Panzardi, C. A., Quiroz, N. C., y Erkia, S. (2020). Recuperación de suelos sódicos. *Agrotecnia*, (29), 73-76.

Peñaloza, P., Ramirez, G., McDonald, M., y Bennett, A. (2019). Lettuce (*Lactuca sativa* L.) seed quality evaluation using seed physical attributes, saturated salt accelerated aging and the seed vigour imaging system. *Electronic Journal of Biotechnology*, 8(3) Recuperado en 26 de enero

de 2023, de [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-34582005000300010&lng=es&tlng=en](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-34582005000300010&lng=es&tlng=en)

Pérez, J. J. R., Enríquez-Acosta, E. A., Arrebato, M. A. R., Pedroso, A. T. R. y Rodríguez, A. F. (2019). Repuesta agronómica del cultivo de la lechuga (*Lactuca sativa* L.) a la aplicación de una formulación de quitosana. *Revista de la Facultad de Agronomía de La Universidad del Zulia*, 36(1), 44-53. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/27400>

Pillajo De La Torre, A. E. (2021). *Caracterización morfológica in situ del higo (Ficus carica L.) en el cantón Antonio Ante* [tesis de grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio institucional <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11598>

Rao, N., Hanson, J., Dulloo, M., Ghosh, K., Nowell, D., y Larinde, M. (2007). *Manual para el manejo de semillas en bancos de germoplasma: Manuales para bancos de germoplasma. No. 6* (No. 6). Bioversity International. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=QT2016101702>

Rasheed, P. A., Jabbar, K. A., Rasool, K., Pandey, R. P., Sliem, M. H., Helal, M., ... y Mahmoud, K. A. (2019). Controlling the biocorrosion of sulfate-reducing bacteria (SRB) on carbon steel using ZnO/chitosan nanocomposite as an eco-friendly biocide. *Corrosion Science*, 148, 397-406.

Reyes, J., Ramos, R., Falcon, A., Ramírez, M., Rodríguez, A., Rivero, M., y Llerena, L. (2019). Efecto del quitosano sobre variables del crecimiento, absorción de nutrientes y rendimiento de *Cucumis sativus*. *Centro Agrícola*, 46(4), 53-60.

Reyes, J., Rivero, M., García, E., Beltrán, F., y Ruiz, F. (2020). Aplicación de quitosano incrementa la emergencia, crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en condiciones de invernadero. *Biotechnia*, 22(3), 156-163. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v22i3.1338>

Riseh, R. S., Hassanisaadi, M., Vatankhah, M., Babaki, S. A., y Barka, E. A. (2022). Chitosan as potential natural compound to manage plant diseases. *International Journal of Biological Macromolecules*.

Rivas-García, T., González-Gómez, L. G., Boicet-Fabré, T., Jiménez-Arteaga, M. C., Falcón-Rodríguez, A. B., y Terrero-Soler, J. C. (2021). Respuesta agronómica de dos variedades de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a la aplicación del bioestimulante con quitosano. *Terra Latinoamericana*, 39.

Rola, K., Majewska, E., y Chowaniec, K. (2023). Interaction effect of fungicide and chitosan on non-target lichenized fungi. *Chemosphere*, 137772.

Romero, D., Yáñez, S., Simbaña, K., Vélez, P. y Navarrete, H. (2020). Determination of cadmium and lead in tomato (*Solanum lycopersicum*) and lettuce (*Lactuca sativa*) consumed in Quito, Ecuador. *Toxicology Reports*, 7, 893-899. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2020.07.008>

Saavedra, G., Corradini, F., Antúnez, A., Felmer, S., Estay, P., y Sepúlveda, P. (2017). *Manual de producción de Lechuga*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).

Saleem, M. S., Anjum, M. A., Naz, S., Ali, S., Hussain, S., Azam, M., ... y Ejaz, S. (2021). Incorporation of ascorbic acid in chitosan-based edible coating improves postharvest quality and

storability of strawberry fruits. *International Journal of Biological Macromolecules*, 189, 160-169.

Sánchez-Hernández, E., Langa-Lomba, N., González-García, V., Casanova-Gascón, J., Martín-Gil, J., Santiago-Aliste, A., ... y Martín-Ramos, P. (2022). Lignin–chitosan nanocarriers for the delivery of bioactive natural products against wood-decay phytopathogens. *Agronomy*, 12(2), 461.

Shahrajabian, M. H., Chaski, C., Polyzos, N., Tzortzakis, N., y Petropoulos, S. A. (2021). Sustainable agriculture systems in vegetable production using chitin and chitosan as plant biostimulants. *Biomolecules*, 11(6), 819.

Songlin, R., y Qingzhong, X. (2002). Effects of chitosan coating on seed germination and salt-tolerance of seedling in hybrid rice (*Oryza sativa* L.). *Zuo wu xue bao*, 28(6), 803-808. <https://zwx.chinacrops.org/EN/>

Suarez-Fernandez, M., Sambles, C., Lopez-Moya, F., Nueda, M. J., Studholme, D. J., y Lopez-Llorca, L. V. (2021). Chitosan modulates *Pochonia chlamydosporia* gene expression during nematode egg parasitism. *Environmental Microbiology*, 23(9), 4980-4997.

Terceros, J., y Villacorta, W. (2019). Establecimiento de un sistema hidropónico con la técnica de película nutritiva (NFT) en el cultivo de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) en la Estación Experimental Patacamaya, La Paz. *Revista de la Carrera de Ingeniería Agronómica – UMSA*. 5(2), 1608-1615. [http://www.revistasbolivianas.ciencia.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-03042019000200005&lng=es&nrm=iso](http://www.revistasbolivianas.ciencia.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-03042019000200005&lng=es&nrm=iso)

Turan, V. (2019). Confident performance of chitosan and pistachio shell biochar on reducing Ni bioavailability in soil and plant plus improved the soil enzymatic activities, antioxidant defense system and nutritional quality of lettuce. *Ecotoxicology and environmental safety*, 183, 109594.

Vargas, M., González-Martínez, C., Chiralt, A., y Cháfer, M. (2010). Quitosano: una alternativa natural y sostenible para la conservación de frutas y hortalizas. *Del 6 al 9 de octubre de 2010*, 5(9), 108. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2016.11.030>

Xin, X., Zhao, F., Rho, J., Goodrich, F., Sumerlin, B. y Zhenli, H. (2020). Use of polymeric nanoparticles to improve seed germination and plant growth under copper stress. *Science of The Total Environment*, 74(5), 141-155. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141055>

Xiong, Y., Chen, M., Warner, R. D., y Fang, Z. (2020). Incorporating nisin and grape seed extract in chitosan-gelatine edible coating and its effect on cold storage of fresh pork. *Food Control*, 110, 107018.

Zea, P. (2020) Desarrollo y rendimiento de calabacín y lechuga cultivados sobre acolchados vivos en Cuenca, Ecuador. *Siembra*, 7(1), 5-7.

Zeng, D., Luo, X., & Tu, R. (2012). Application of bioactive coatings based on chitosan for soybean seed protection. *International Journal of Carbohydrate Chemistry*, 29(8), 853-859. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.03.002>

Zhang, G., Wang, Y., Wu, K., Zhang, Q., Feng, Y., Miao, Y., & Yan, Z. (2021). Exogenous application of chitosan alleviate salinity stress in lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Horticulturae*, 7(10), 342.

## ANEXOS

### Anexo 1

*Variable analizada en fase de laboratorio*

<hr/>		
<i>Tratamiento</i>	<i>Repeticiones</i>	<i>Germinación en cámara (%)</i>
<hr/>		
	1	82
1	2	80
	3	83
	4	79
	1	95
2	2	90
	3	92
	4	95
	1	86
3	2	89
	3	90
	4	85
	1	81
4	2	87
	3	93
	4	87

*Nota.* Especificación de medias con respecto a variables de cada unidad experimental en fase de laboratorio.

## Anexo 2

*Variables analizadas en fase de campo*

<i>Tratamientos</i>	<i>Repeticiones</i>	<i>Emergencia en bandeja (%)</i>	<i>Altura (cm)</i>	<i>Masa foliar fresca (g)</i>	<i>Masa foliar seca (g)</i>	<i>Masa radicular fresca (g)</i>	<i>Masa radicular seca (g)</i>
1	1	91,3	9,84	0,7612	0,0457	0,1502	0,0107
	2	90	10,11	0,7196	0,047	0,1342	0,0102
	3	93,1	9,94	0,7381	0,0595	0,1207	0,0094
	4	88,1	9,64	0,6649	0,0447	0,101	0,0091
2	1	89,4	10,4	0,7641	0,0437	0,1413	0,0116
	2	88,8	10,99	0,9143	0,0467	0,1644	0,0132
	3	92,5	11,32	0,9125	0,0637	0,2008	0,0161
	4	88,8	10,57	0,8661	0,0484	0,1561	0,0111
3	1	89,4	10,35	0,8223	0,0648	0,1549	0,0122
	2	90,6	11,22	0,941	0,0659	0,2175	0,0144
	3	91,9	10,85	0,9229	0,0701	0,2142	0,0194
	4	91,3	11,96	1,0806	0,0585	0,2266	0,0199

*Nota.* Especificación de medias con respecto a variables de cada unidad experimental en fase de campo.

### Anexo 3

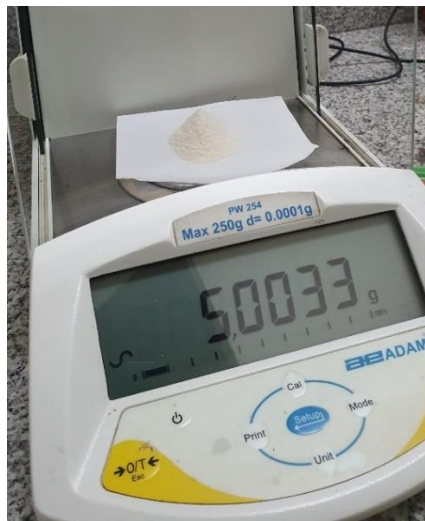
#### *Quitosano puro*



*Nota: Quitosano en forma sólida.*

### Anexo 4

#### *Pesaje de quitosano puro*



*Nota: Pesaje de quitosano para elaboración de solución madre.*

## Anexo 5

### *Disolución de quitosano a 10 g/l para solución madre*



*Nota:* Procedimiento para elaboración de solución madre de quitosano.

## Anexo 6

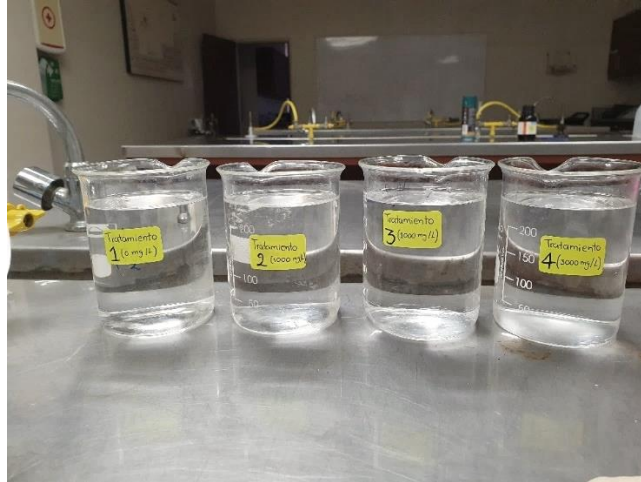
### *Limpieza y desinfección de cámara de germinación*



*Nota:* Cámara de germinación lista para inicial el ensayo.

## Anexo 7

### *Preparación de tratamientos y soluciones de quitosano*



*Nota:* Preparación de concentraciones para tratamientos en fase de laboratorio.

## Anexo 8

### *Siembra de lechuga en laboratorio*



*Nota:* Siembra de lechuga en bandejas de plástico sobre papel toalla humedecido con agua destilada.

## Anexo 9

### *Instalación del ensayo fase de laboratorio*



*Nota:* Establecimiento de bandejas de plástico de forma aleatoria en la cámara de germinación.

## Anexo 10

### *Condiciones controladas*



*Nota:* Condiciones de temperatura, humedad y luminosidad, establecidas en la cámara de germinación durante el ensayo.

## Anexo 11

### *Conteo de germinación séptimo día*



*Nota:* Conteo de semillas de lechuga germinadas hasta el séptimo día.

## Anexo 12

### *Siembra de lechuga en bandejas de germinación*



*Nota:* Simbra de lechuga en bandejas de germinación para fase de campo.

### Anexo 13

*Cinco días después de siembra*



*Nota:* Bandejas de germinación en vivero cinco días después de siembra.

### Anexo 14

*Ocho días desde de siembra*



*Nota:* Plántulas de lechuga emergidas ocho días después de siembra.

## Anexo 15

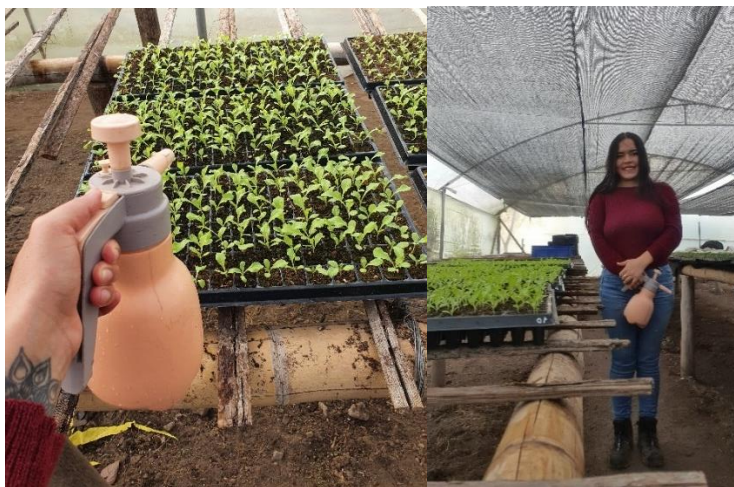
### *Raleo de plántulas*



*Nota:* Se realizó raleo de plántulas para evitar competencia por nutrientes y espacio, dejando a la plántula con mejor apariencia, de esta manera se tuvo una plántula por alveolo.

## Anexo 16

### *Riego por aspersión*



*Nota:* Riego uniforme mediante un aspersor con capacidad de 1 litro, un riego en horas de la tarde cada día hasta finalizar el ensayo.

## Anexo 17

### *Inmersión en solución de quitosano*



*Nota:* Inmersión de unidades experimentales en solución de quitosano según estable el tratamiento.

## Anexo 18

### *Plántulas con poli sombra*



*Nota:* Plántulas al finaliza el ensayo en campo.

## Anexo 19

### *Unidades experimentales en laboratorio*



*Nota:* Se traslado las unidades experimentales a laboratorio para el análisis de las plántulas.

## Anexo 20

### *Plántulas escogidas al azar*



*Nota:* Plántulas escogidas al azar de cada unidad experimental para realizar los análisis planteados.

## Anexo 21

### *Altura de plántulas*



*Nota:* Medición de altura de plántulas con un flexómetro debidamente milimétrico.

## Anexo 22

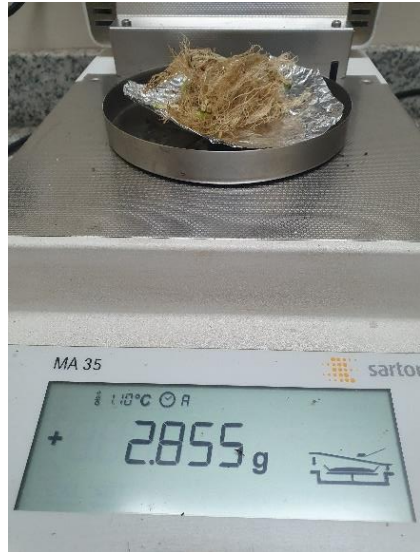
### *Lechugas libres de sustrato*



*Nota:* Luego del lavado de sustrato se procedió a quitar exceso de humedad en las plántulas.

## Anexo 23

### *Masa radicular fresca*



*Nota:* Peso de masa radicular fresca de una unidad experimental, 20 raíces en conjunto.

## Anexo 24

### *Desecación de masa radicular*



*Nota:* se muestra como el grupo de 20 raíces son secadas en la estufa.

## Anexo 25

### *Lavado de sustrato*



*Nota:* El lavado se realizó para retirar el sustrato de raíces, cuidadosamente ya que la raíces son muy delicadas.

## Anexo 26

### *Lechugas sin sustrato*



*Nota:* Comparación de lechugas de diferentes unidades experimentales posterior al lavado de sustrato.

## Anexo 27

### *Pesaje de material vegetal*



*Nota:* Se puede observar el pesaje de material vegetal individual tanto radicular como foliar.

## Anexo 28

### *Muestras de materia seca*



*Nota:* Muestras de materia seca divididas por radicular y foliar de cada unidad experimental.

**Anexo 29** Datos de germinación por día desde siembra en laboratorio

<b>Bandejas</b>		<b>Plántulas normales</b>																<b>Total</b>	<b>Observaciones</b>
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
No. semillas		100																1600	Semillas con quitosano
Fecha	Días	Tratamiento 1				Tratamiento 2				Tratamiento 3				Tratamiento 4				-	Unidad experimental
20/12/2022	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21/12/2022	2	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	5	Escasa radícula
22/12/2022	3	10	15	14	19	14	20	15	19	22	17	17	13	23	11	16	12	257	Tercer conteo
23/12/2022	4	41	37	38	48	46	49	47	43	45	38	42	30	45	52	39	41	711	Cuarto conteo
24/12/2022	5	74	67	78	66	88	81	85	87	78	76	82	70	68	79	76	78	1233	Quinto conteo
25/12/2022	6	81	77	83	70	93	89	88	89	83	84	88	78	77	83	90	83	1336	Sexto conteo
26/12/2022	7	82	80	83	79	95	90	92	95	86	89	90	85	81	87	93	87	1394	Ultimo conteo
Germinación total		82	80	83	79	95	90	92	95	86	89	90	85	81	87	93	87	1394	Plántulas normales
Anormal		3	5	7	6	3	5	3	0	2	2	4	4	2	5	2	4	57	Plántulas anormales
Latente		10	11	4	8	2	0	4	3	7	2	0	7	13	7	1	4	80	Semillas sanas sin crecimiento
Muertas		5	4	4	7	0	5	1	2	5	8	6	4	4	1	4	5	65	Semillas con pudrición
Germinación (%)		82	80	83	79	95	90	92	95	86	89	90	85	81	87	93	87	100	-

*Nota.* Especificación de semillas emergidas por día de conteo, semillas en latencia o plántulas con mortalidad, enfermas o anormales.