

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Obtención de Lignina a Partir de Agro-Residuos y Su Uso como Bioestimulante en  
Plantas de Lechuga Sometidas a Estrés por Salinidad

Por:

**LUIS MARIO HERNÁNDEZ TORRES**

TESIS

Presentada como requisito parcial para recibir el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Saltillo, Coahuila. México

Diciembre 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMIA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Obtención de Lignina a Partir de Agro-Residuos y su Uso como Bioestimulante en Plantas de Lechuga Sometidas a Estrés por Salinidad

Por

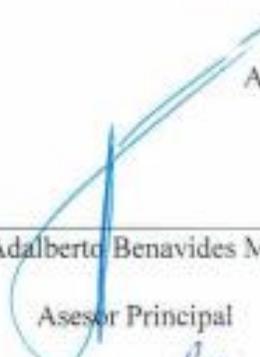
**LUIS MARIO HERNÁNDEZ TORRES**

TESIS

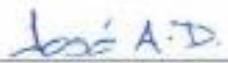
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

  
Dr. Adalberto Benavides Mendoza

Asesor Principal

  
Dr. José Alejandro Díaz Elizondo

Asesor Principal Externo

  
Dra. Susana González Morales

Coasesor

  
Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente

Coasesor

  
Dr. Alberto Sandoval Rangel  
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre 2024

## DERECHO DE AUTOR Y DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

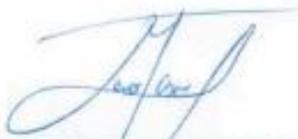
Todo material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor de los Estados Unidos Mexicanos, y pertenece al autor principal quien es el responsable directo y jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente. Así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Por lo anterior nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaramos que este trabajo no ha sido previamente presentado en ninguna otra institución educativa, organización, medio público o privado.

Atentamente.

Alma Terra Mater



---

**Luis Mario Hernandez Torres**  
Autor Principal



---

**Dr. Adalberto Benavides Mendoza**  
Asesor Principal

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primeramente a **Dios**, por haberme puesto en este camino que me ha ayudado a expandir mis perspectivas, tener muchas ideas y sobre todo forjarme como una mejor persona en diferentes aspectos . Por guiarme en los momentos de duda y estar presente en mis decisiones.

A mis **padres y a mi hermano** por siempre aconsejarme y apoyarme de la manera más sabia, integra y prudente posible en todo tipo de circunstancias y por acompañarme en el proceso de aprendizaje y crecimiento fundamental para mi vida que culmina con este trabajo.

A mi **Alma Terra Mater** por ser mi segunda casa, verme crecer y apoyarme.

A los **profesores** que me tuvieron como alumno por tomarse el tiempo de transmitirme sus conocimientos y un poco de ellos.

A los Doctores **Adalberto Benavides** y **Julia Medrano Macias** a todos los académicos involucrados en la redacción y retroalimentación de este escrito, por su paciencia y apoyo en este proyecto

A los **buenos amigo que pude hacer**, por estar conmigo, hacerme reír, ayudarme en momentos de debilidad y darme un poco de su cariño, sonrisas y cientos de increíbles momentos. Especialmente a los próximos ingenieros **Mariana Isabel Obregón Montelongo, Juan Pablo Velasco Lepe, Fabian González Linares, Isaid Resendiz (peruano), Christian H. (loco), Edgar Muñoz, Davis A, Judis A** y mis excelentes romíos **en de intercambio Marisol Botello y Carolina Magdalena**

Y a todas las increíbles personas con las que tuve la oportunidad de coincidir.

## **DEDICATORIA**

Este último proyecto se los dedico a mis padres, ya que al ser el culmen de mi carrera universitaria y educativa es una representación de los años de dedicación, esfuerzo y dinero que pusieron en mi y mi vida sin haber recibido lo más mínimo a cambio. Y que voy a retribuir lo antes posible.

**Luis Eduardo Hernandez Aboytes y Gloria Almendra Torres Estrada.**

A mi Hermano, próximo Licenciado Financiero por ser mi compañero en toda una vida de altas y bajas.

**Luis Adrián Hernandez Torres**

**Sin ninguno de ustedes, su amor y sacrificio esto hubiera sido posible.**

A todos mis abuelo

"Feliz el hombre que ha podido conocer las causas  
de las cosas y ha hollado, bajo sus pies, todo temor y  
un destino inexorable; pero feliz también aquel que conoce  
a los dioses de los campos y se contenta con cultivar sus tierras."

— Virgilio Libro II

"Nada que valga la pena es fácil, pero el sudor de  
la frente trae frutos generosos a quienes trabajan  
con amor y paciencia."

— Virgilio. L Libro I

## INDICE DE CONTENIDO GENERAL

<b>DERECHO DE AUTOR Y DECLARACION DE NO PLAGIO</b> .....	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>IV</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>V</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>1</b>
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	<b>2</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>3</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>4</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>5</b>
<b>I. DESGLOSE DEL PROYECTO</b> .....	<b>9</b>
1.1    Objetivo General.....	9
1.2    Objetivos específicos .....	9
1.3    Hipótesis .....	9
<b>II. LITERATURA REVISADA</b> .....	<b>10</b>
2.1    Sobre el cultivo.....	10
2.1.1    Origen del cultivo (tomar de la introducción) .....	10
2.1.2    Propiedades y Características nutraceuticas .....	10
2.1.3    Variedades.....	11
2.1.3.1    Características de la Variedad Great Lake .....	11
2.1.4    Morfología y fenología de la Especie.....	12
2.1.4.1    Sistema radical.....	12
2.1.4.2    Hojas y tallo.....	12
2.1.4.3    Inflorescencia.....	13
2.1.4.4    Fruto .....	13
2.1.5    Descripción taxonómica .....	13
2.1.6    Manejo agronomico y características edafoclimáticas .....	14

2.1.7	Comercialización del cultivo.....	15
2.1.7.1	Producción de lechuga en México.....	15
2.1.7.2	Exportaciones .....	15
2.1.7.3	Importaciones .....	16
2.2	Sobre el Estrés y los Bioestimulantes.....	16
2.2.1	Estrés Salino .....	17
2.2.2	Prolina.....	18
2.3	La Lignina .....	18
2.3.1	Caracterización química .....	19
2.3.2	Uso de la lignina como Bioestimulantes .....	19
2.3.3	Biosíntesis en las Plantas.....	21
2.3.4	Reacción de las plantas a aplicaciones Exógenas.....	21
<b>III.</b>	<b>MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>22</b>
3.1	Ubicación del experimento (Establecimiento del cultivo) .....	22
3.2	Material vegetal .....	22
3.3	Caracterización de la cáscara de nuez .....	22
3.4	Extracción de lignina con solventes orgánicos.....	22
3.5	Caracterización fisicoquímica de la lignina.....	23
3.5.1	Resonancia magnética nuclear (1H NMR).....	23
3.5.2	Espectroscopia infraroja con transformada de Fourier (FTIR) .....	23
3.5.3	Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) y Dispersión de Rayos X.....	24
3.5.4	Dispersión dinámica de luz (DLS) .....	24
3.6	Establecimiento del cultivo .....	24
3.6.1	Muestreo .....	25
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>26</b>
4.1	Caracterización de cascara de nuez .....	26

4.2	Caracterización fisicoquímica de la lignina extraída de la cáscara de nuez .....	26
4.2.1	Resonancia magnética nuclear de protón ( <sup>1</sup> H NMR) .....	26
4.2.2	Espectroscopia infraroja con transformada de Fourier (FTIR) .....	27
4.2.3	Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) y Dispersión de rayos X .....	29
4.2.4	Dispersión dinámica de luz (DLS).....	31
4.3	Efecto bioestimulante de la lignina en las plantas de lechuga sometidas a estrés por salinidad.....	31
4.3.1	Prolina.....	34
4.3.2	Área Foliar .....	34
4.3.3	Numero de hojas .....	35
4.3.4	Peso fresco de Raíz.....	35
4.3.5	Peso seco de Raíz .....	36
4.3.6	Longitud de Raíz .....	36
4.3.7	Peso Fresco de Hojas .....	37
4.3.8	Peso seco de Hojas .....	37
4.3.9	Clorofila A, B y Total .....	38
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>39</b>
<b>VI.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA CONSULTADA .....</b>	<b>40</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Precio de venta de productores 2023 .....	15
Figura 2 Esquematación de proceso de extracción de la lignina de las cascara de nuez mediante hidrolisis.....	23
Figura 3 Espectro de la resonancia magnética nuclear de protón de las muestras de lignina. ....	27
Figura 4 Espectro FTIR de la lignina extraída de la cascara de nuez.....	28
Figura 5 Micrografías SEM de la lignina obtenida de la cascara de nuez.....	29
Figura 6 análisis elemental obtenido mediante EDS .....	30
Figura 7 Distribución de tamaño de partícula de la lignina.....	31
Figura 8 Desviación estándar sobre Promedio de Prolina.....	34
Figura 9 Desviación estándar sobre Promedio de Área Foliar .....	34
Figura 10 Desviación estándar sobre Promedio de Numero de Hojas .....	35
Figura 11 Desviación estándar sobre Promedio de Peso fresco de Raíz .....	35
Figura 12 Desviación estándar sobre Promedio de Peso seco de Raíz.....	36
Figura 13: Desviación estándar sobre Promedio de Longitud de raíz.....	36
Figura 14 Peso fresco de hojas .....	37
Figura 15 Desviación estándar sobre Promedio de Peso seco de Hojas.....	37
Figura 18 Desviación estándar sobre Promedio de Clorofila Total.....	38
Figura 16 . Desviación estándar sobre Promedio de Clorofila B .....	38
Figura 17. Desviación estándar sobre Promedio de Clorofila A .....	38

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Caracterización química de la cáscara de nuez.....	26
Tabla 2: Assignment of infrared spectral bands for lignin (L.M. Kline et al 2010) .....	28
Tabla 3: Resultados estadísticos de variables agronómicas.....	33

## RESUMEN

El aumento de la población humana desde el inicio de los asentamientos agrícolas ha impulsado tanto el progreso como el desbalance climático, afectando directamente la agricultura a través de fenómenos como la **salinización de suelos**. Para mitigar estos problemas, la **bioestimulación** surge como una estrategia innovadora que promueve defensas naturales en las plantas sin residuos dañinos. Entre los bioestimulantes, la **lignina** se destaca por su sofisticación y abundancia en la naturaleza, representando un componente importante de las paredes celulares vegetales.

En Coahuila, México, la lignina extraíble en cáscaras de nuez es abundante ya que es el principal estado productor de nogal, sin embargo lo **residuos** de su producción son desaprovechados. Este trabajo evalúa el efecto de diferentes concentraciones de lignina (10 ppm, 50 ppm, y 100 ppm) extraída mediante ácidos suaves de fuentes sustentables, sobre la **Lechuga Great Lake** de la familia Asteraceae, comparándolas con un control sin tratamiento (0 ppm).

Los resultados más destacados se obtuvieron con la concentración de **50 ppm**, mostrando un incremento del **66.2% en peso fresco de raíz (PFR)**, **31% en peso seco de raíz (PSR)** y un **58% en peso seco de hoja (PSH)** en comparación con el control. Además, la síntesis de prolina mostró un aumento significativo del **70% con 10 ppm**, lo que indica un beneficio adicional en condiciones de estrés.

**Palabras clave:** Bioestimulación, Lignina, Agro-residuos, Lechuga, Cáscara de nuez.

## ABSTRACT

The increase in population has driven development across multiple sectors, including agriculture, but has also contributed to a climatic imbalance that directly impacts crop productivity. This imbalance, manifested in phenomena such as soil salinization, seeks to be controlled through sustainable approaches. In this context, bio-stimulation emerges as an innovative tool that activates the natural defenses of plants without leaving harmful residues. Lignin, a major component of plant cell walls, has proven to be an effective bio-stimulant, having been applied to species of the Solanaceae and Gramineae families. According to analyses conducted by the Center for Applied Chemical Research (CIQA), walnut shells are composed of 18% lignin, making them an excellent source for processing this bio-stimulant. It is estimated that the state of Coahuila de Zaragoza has around 22,000 hectares of walnut production, accounting for 11.5% of national production, making it the perfect location to synthesize lignin for improving the physiological behavior of plant species while also utilizing agro-industrial residues.

This study evaluated the impact of different lignin concentrations (0, 10, 50, and 100 ppm) on *Lactuca sativa* var. *Great Lake* (Asteraceae family). The results indicated that the 50 ppm treatment increased fresh root weight (FRW) by 66.2%, dry root weight (DRW) by 31%, and dry leaf weight (DLW) by 58% compared to the control. Additionally, the 10 ppm concentration promoted a 70% increase in proline synthesis. These findings highlight the potential of lignin as a sustainable bio-stimulant, especially in horticultural crops. The use of lignin-rich walnut shells in regions like Coahuila (producer of 11.5% of the national walnut crop) reinforces its economic and environmental viability. This study lays the groundwork for exploring the effects of lignin on other species and advancing towards more sustainable agricultural practices.

**Key words:** Biostimulation, Lignin, Agro-residues, Lettuce, Walnut shell.

## INTRODUCCIÓN

La lechuga es un cultivo bastante práctico, no necesita de mucha mano de obra o actividades específicas más allá del cumplimiento de la nutrición y riego requeridos para tener su desarrollo en calidad. Esto ha permitido y facilitado su implementación en diferentes climas altitudes, temperaturas y culturas desde tiempos antiquísimos; aunque se desconoce el origen exacto del cultivo, se sabe que la lechuga ya era empleada en imperios poderosos como el romano, griego y egipcio. Gracias a esto es que es popular en todo el mundo, sin embargo, definitivamente hay factores que pueden afectar directamente el desarrollo de la planta teniendo repercusiones en rendimientos y calidad. Al igual que todas plantas, las lechugas son susceptibles a diferentes condiciones climatológicas que pudieran ser consideradas adversas para su desarrollo, la respuesta fisiológica a este tipo de estímulos siempre es un estrés (Ríos et al., 2009).

El estrés se puede definir como: “Una desviación significativa de las condiciones óptimas para la vida. Dichas condiciones ocasionan cambios en todo los niveles funcionales de los organismos” (Acosta-Motos et al., 2017).

Un ejemplo solido de lo recién mencionado es el trabajo de (Tarqui Delgado et al., 2017), en el que describen el Índice de estrés hídrico del cultivo de lechuga (*lactuca sativa*), mediante termometría infrarroja a diferentes láminas de riego. Básicamente cuantificaron la cantidad de estrés hídrico que puede resistir una planta de lechuga a partir de su transpiración y la densidad de las laminas de riego. Se llegó a la conclusión de que las laminas de riego que satisfacían el 75% y 100% de la transpiración del cultivo fueron los mejores tratamientos, teniendo un rendimiento de hasta 3.5 Kg/2, mientras que para los tratamientos con menor cantidad de agua los rendimientos bajaban hasta un 50%. Para este caso se describe que cuando un cultivo de lechuga presenta un estrés hídrico, sus estomas se cierran, y la transpiración decrece, provocando que la temperatura de las hojas aumente hasta entre 4 y 6 grados más que la temperatura ambiental (Liz Patricia Moreno, 2009). Provocando que la

planta busque realizar homeostasis, y naturalmente produzca una reducción en la eficiencia de otros mecanismos que componen su fisiológicos.

Contrario a lo que se pudiera pensar de forma intuitiva, los problemas de déficit hídrico no solo son producto de escasez de agua, sino que también pueden ser resultado de una acumulación de sales en el sustrato. La acumulación de sales en los suelos es un problema recurrente en todo el mundo. Todos los suelos contienen sales, pero algunas de estas se convierten en un problema cuando están concentradas en la zona radical de los cultivos. (Liz Patricia Moreno, 2009). Lo más preocupante del tema de la salinización en los suelos es que es producto de la desertización causada por el cambio climático que está ocurriendo en el planeta, lo que es palpable en nuestra vida y se presenta con mayor fuerza año con año. (Zahedi et al., 2019).

Bajo condiciones de salinidad la planta tiene una respuesta dividida en dos fases, la fase rápida y la fase lenta, la primera consta del déficit hídrico, y la segunda de una acumulación de sales que provoca toxicidad (Ahmad et al., 2014). Esto reduce la conductancia estomática y por tanta transpiración, como ya se había mencionado, pero además, incrementa la incidencia de especies reactivas de oxígeno (ROS, Por sus siglas en inglés) y especies reactivas de nitrógeno (RNS), los cuales desatan una serie de respuestas enzimáticas y no enzimáticas que ayudan a tolerar el estrés (Medrano-macías et al., 2023)

A estos productos reductores de estrés producidos como mecanismo de defensa, siendo aplicados de forma exógena los podemos conocer como bioestimulantes. Conforme el paso de los años ha ido incrementando el interés por el tema de los bioestimulantes en la industria de agroalimentaria. Hay diferentes formas en las que un bio-estimulante se pudiera presentar. Se consideran desde estímulos físicos hasta compuestos químicos (Yakhin et al., 2017).

Según algunos investigadores es posible utilizar la melatonina, micropartículas de elementos, extractos de plantas, incluso polímeros un poco más complejos como lo es la lignina que pueden tener un impacto positivo en rendimientos y calidad de las plantas a un precio asequible (Da Cunha & Do Nascimento, 2009).

La lignina es una de las moléculas más abundantes en la naturaleza, y tiene la función de dar rigidez y estructura a las plantas; junto con la celulosa conforman el mayor porcentaje de la estructura de las paredes celulares del tejido vascular de las plantas (Agustin-salazar et al., 2018).

El uso de la lignina como bioestimulante en solanáceas y gramíneas ya se ha comprobado, por ejemplo en el artículo “Obtaining Lignin from Nutshells under Mild Extraction Conditions and Its Use as a Biostimulant in Tomato Seedlings” se utilizaron residuos de cascara de nuez para sintetizar el bioestimulante. En los resultados obtenidos se concluyó que de los tratamientos de 10ppm, 50ppm y 100ppm hay una relación proporcional entre la cantidad de hojas y el aumento en la concentración de lignina (Díaz-Elizondo et al., 2024).

Con ello podemos esclarecer la idea de que las aplicaciones de bioestimulantes (en especial de la lignina) tienen un impacto positivo en el desempeño de las plantas. Tenemos otro ejemplo sobre la aplicación de lignina en cultivos como el maíz (una gramínea), uno de los principales productos agrícolas comercializados en nuestro país. En el trabajo “Lignin Nanoparticles: A Promising Tool to Improve Maize Physiological, Biochemical, and Chemical Traits”, se concluye que “la aplicación de micropartículas de lignina es una herramienta prometedora para estimular de forma positiva las respuestas biológicas de la planta” (Buono et al., 2021).

Aunque es evidente gracias a resultados que la lignina tiene un poder bioestimulante en especies de la familia solanaceae y graminaceae, la siguiente investigación busca trabajar este tema sobre la familia de Asteraceae, exactamente en el cultivo de la lechuga *Lactuca sativa* L. Var great Lake.

Sin embargo, hablar de utilización de bioestimulante que sea rentable, habla también sobre la producción del producto, y para ello se habla de insumos. Para poder satisfacer estos, al estado de Coahuila le viene muy bien ser uno de los principales productores de Nogal en

nuestro país. Según la entrevista que se le hizo al gobernador del estado (Miguel Ángel Riquelme Solís), en el año 2021, se menciona que el estado de coahuila tiene una superficies de alrededor de 22 mil hectáreas y que la superficie total de cultivos de nogal produce alrededor de 25 mil 300 toneladas, equivalentes al 11.48 por ciento del total nacional.

Por otra parte la Secretaría de Desarrollo Rural (SDR) estatal indica que el rendimiento promedio por hectárea es de 1.15 toneladas (Agricultura, 2022).

Como ya se había mencionado antes, la lignina compone una parte fundamental de la pared celular vegetal. La lignina presente en la madera alcanza por lo general un promedio del 25%, esto es un estimado que aplica para cuando estemos hablando de cualquier material lignocelulósico. Los materiales considerados como agrosuvidos de la producción de nogal entran perfectamente en la categoría de los ya mencionados materiales lignocelulósicos.

## **I. DESGLOSE DEL PROYECTO**

### **1.1 Objetivo General**

Obtener lignina a partir de cáscaras de nuez y probar su efecto bioestimulante en plantas de lechuga sometidas a estrés por salinidad

### **1.2 Objetivos específicos**

1. Obtener lignina a partir de la cascara de nuez .
2. Caracterizar la lignina obtenida a partir de residuos de cáscara de nuez.
3. Evaluar el efecto bioestimulante de la lignina sobre el crecimiento de plantas de lechuga sometidas a estrés por salinidad

### **1.3 Hipótesis**

Se obtendrá lignina a partir de las cáscaras de nuez y esta evidenciará un efecto bioestimulante sobre la germinación e incremento a la tolerancia al estrés por salinidad en plantas de lechuga

## **II. LITERATURA REVISADA**

### **2.1 Sobre el cultivo**

#### **2.1.1 Origen del cultivo (tomar de la introducción)**

El origen de la lechuga no está muy claro . Se afirma que procede de la India, mientras que otros la sitúan en las regiones templadas de Eurasia y América del Norte, a partir de la especie *Lactuca serriola* (Wei et al., 2021)

Linqvist (1960) señala que probablemente esta especie viene de Egipto. Allí existen jeroglíficos de lechuga parecidas al tipo Cos en tumbas y muros que fueron realizados alrededor del año 2500 A.C, otro autores registran este mismo hallazgo pero lo registran con mas años de antigüedad (4500 A.C para ser exactos). Desde Egipto, esta especie se expandió hacia Grecia, donde se le denominó “Thridax”. En cambio en Italia se le nombró “Lactuca” debido al latex que contiene en sus hojas. Años después, este cultivo fue introducido a China en una fecha desconocida. Aunque fue introducida, la variedad que prosperó debido a las condiciones climáticas, uso gastronómico y medicinal fue *Lactuca sativa* L. var *anagustana*, la cual tiene como característica diferencial su tallo prominente y succulento. (CARRASCO & SANDOVAL, 2016).

#### **2.1.2 Propiedades y Características nutraceuticas**

Acorde a la publicación “Lechuga” del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España ; se considera a la lechuga como un alimento que aporta una mínima cantidad de calorías debido a su alta contenido de agua y su baja cantidad de hidratos de carbono, proteínas y grasas. Con respecto a su contenido vitamínico, podemos encontrar principalmente aunque en pequeñas cantidades vitamina C, folatos y provitamina A (b-carotenos) y por otro lado tiamina y vitamina en menos proporciones menores.

Según la tablas de composición de alimentos y productos alimenticios condensada del 2015 elaborada por el departamento de ciencia y tecnología de alimentos de la dirección de nutrición, como principal nutrimento inorgánico disponible se encuentra el Potasio (K), con una incidencia del 247 mg por porción comestible, en segundo lugar

encontramos al Fosforo (P) con 36.5 mg, y en tercero al Calcio, con 25 mg.(Ummah, 2019)

Por el lado de las vitaminas, destacan primeramente la Vitamina A, con un total de 385.93 mg, después el Acido ascórbico con 9.2 mg y en tercer lugar B-Carotenos con .41 mg.(A.Mena-García et al., 2019)

### **2.1.3 Variedades**

Entre los tipos y variedades de lechuga que se producen en México, según el informe del SIAP del 2016 (“Lactuca sativa L: tipos y variedades que se producen en México”) podemos encontrar

- Baby leaf
- Escarola
- Romana
- Iceberg o Americana

#### **2.1.3.1 Características de la Variedad Great Lake**

La lechuga Great Lakes es una variedad de tipo Iceberg o americana, reconocida por sus características morfológicas distintivas:

**Hojas:** Presenta hojas ligeramente rígidas, de color que varía entre verde y verde oscuro. Los bordes de las hojas son dentados y están plegados en forma de falda plisada.

**Cogollo:** Forma un repollo de tamaño grande, que puede alcanzar hasta 1 kg de peso. El cogollo es compacto, muy tierno y frágil.

**Tamaño de la planta:** La planta tiene un diámetro de aproximadamente 25 a 30 cm.

**Ciclo de cultivo:** La madurez relativa se alcanza entre 75 y 85 días, dependiendo de las condiciones de crecimiento.

**Tolerancia:** Muestra alta tolerancia a la quemadura de puntas.

Estas características hacen que la lechuga Great Lakes sea apreciada por su textura crujiente y su capacidad para formar cogollos grandes y compactos, siendo una opción popular tanto para consumo fresco como para su comercialización según la información de su Innova seeds

#### **2.1.4 Morfología y fenología de la Especie**

La lechuga es una planta anual, cuyos órganos comestibles son principalmente sus hojas, aunque en algunas recetas se utiliza también el tallo, ambos órganos pueden ser utilizados crudos o cocidos. La lechuga es autógama diploide con  $2n= 18$  cromosomas (Japon Quintero, 1977)

##### **2.1.4.1 Sistema radical**

Su raíz no llega a superar los 25 cm de profundidad, es pivotante, corta y con ramificaciones. (*Producto Condiciones Edáficas y Clima Usos*, 2016)

##### **2.1.4.2 Hojas y tallo**

El tallo es descrito con una forma corta y cilíndrica, aplastado y constreñido, por ello las hojas se adaptan disponiéndose en forma de espiral, transformándose en forma roseta. Por otra parte, las hojas tienden a tener diferencias ligeramente apreciables conforme cambia la especie, sin embargo por lo general estas suelen tener bordes lisos, ondulados. (CARRASCO & SANDOVAL, 2016).

Al disponerse las hojas unas sobre las otras, algunas van quedando en el centro, de forma que pierden sus tonalidades verdes, según la literatura en algunos casos esto produce coloraciones rojizas y cambios en las texturas. (Japon Quintero, 1977)

### **2.1.4.3 Inflorescencia**

Consta de una inflorescencia con capítulos florales amarillos dispuestos en racimos o corimbos, las semillas están provistas de un vilano plumoso. (Vera, 2008; Yance Muñoz, 2012).

### **2.1.4.4 Fruto**

El fruto es aquenio. Que acorde a la definición de la universidad de Granada, es aquel que es unicarpelar, con pericarpio seco separado de la semilla. No suele medir mas de 3mm. CARRASCO & SANDOVAL. (2016). Tiene coloraciones blanquecinas, café, en alguno casos algunas suelen ser ligeramente mas oscuras oscuras.

### **2.1.5 Descripción taxonómica**

**Reino:** Plantae- Plantas

**Subreino:** Tracheobionia -Plantas vasculares

**Superdivision:** spermatophyta – Plantas con Semillas

**División:** Magnoliophyta- Plantas con flores

**Clase:** Magnoliopsida- Dicotyledonias

**Subclase:** Asteridae

**Orden:** Asterales

**Familia:** Asteraceae

**Género:** Lactuca L.

**Especie:** Lactuca Sativa L. Var Great Lake

**(Quilumba Escobar, 2018)**

### **2.1.6 Manejo agrónomico y características edafoclimáticas**

La lechuga es un tipo de cultivo noble que no necesita de mucho manejo agronómico, es decir: podas, movimientos o cortes complicados.

Para el INIFAP, el ciclo productivo de la lechuga se debe de administrar, con 25 días en almacigo, 45-60 días a cosecha y 20 días de cosecha.

Para la producción de lechugas, primeramente, se debe de preparar el suelo. Las lechugas no tienen un perfil de suelo muy profundo que también se pudiera considerar delgado, por lo que es muy susceptible a secarse. Por ello debe de estar siempre bien húmedo.

Es importante que se tenga una proporción de sustrato con una buena capacidad de retención y otra porción de carácter poroso que permita la aeración y el intercambio gaseoso. El ICAMEX nos recomienda en su artículo sobre la lechuga, suelos franco-arenosos con buen contenido de materia orgánica o franco arcillosos con buen drenaje.

Acorde a información de este mismo artículo, para poder tener una densidad similar a la de 77,000 plantas/Hectárea, se recomienda utilizar una población de 2Kg/ Ha de semilla, las cuales deberán ser colocadas a 30cm entre planta y planta, con espacio de 90 cm entre surcos.

Las lechugas responden bien al abono orgánico y no toleran suelos ácidos, por ello, the Ministry of Food Production, Land and Marine Affairs (“How to Grow Lettuce”) nos recomienda mezclar 5 gramos de cal agrícola hidratada en el sustrato mezclado con estiércol debidamente descompuesto para colocarlo dentro del orificio donde será plantada la lechuga.(Ram, 2010)

En cuanto a las condiciones edafoclimáticas, el SIAP en su monografía L.Sativa, menciona que las temperaturas óptimas de germinación oscilan entre 18 y 20°C. Al momento en que la planta este un estado vegetativo, recomienda temperaturas de entre 14 y 18 °C y 10° menos por la noche. Como temperatura máxima tiene 30°C y mínima 6°C (Gerardo et al 2015)

## 2.1.7 Comercialización del cultivo

### 2.1.7.1 Producción de lechuga en México

Acorde a los datos estadísticos del FAOSTAT, para el año 2022 se cosecharon alrededor de 22, 623 Hectáreas en el territorio mexicano, se produjeron un total de 558, 032.88 Toneladas.

Para el 2023, según los datos de la nube del SIAP, Se sembraron 22,857 Ha, se cosecharon 22, 843.03 y se obtuvo una producción de 552, 940 Toneladas. Teniendo un rendimiento promedio de 24.21 udm/Ha.

A continuaicon, en la Figura 1 se mjuestran los precios de productor que se manejanon 20223, los cualescostearon los 228 USD/ Ton.

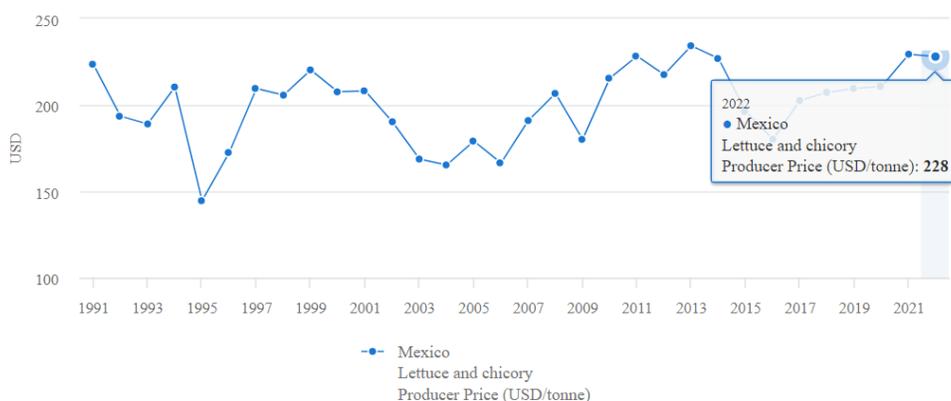


Figura 1 Precio de venta de productores 2023

### 2.1.7.2 Exportaciones

Acorde a los datos de la revista digital OEC world, en el 2022 México exportó un total de \$569M en lechugas (*Lactuca sativa*) y achicorias, comprendidas la escarola y la endibia (*Cichorium spp.*), frescas o refrigeradas. llevándose así el tercer lugar mundial como principal exportador. Por otra parte, el cultivo de la lechuga quedó registrado como el numero 133 en la lista de los más exportados en México.

En el 2022 principal destino de exportación de la lechuga fue Estados Unidos, generando un total de \$547M, después Canadá (\$20,9M), Japón (\$832k), Costa Rica (\$269k), y Guatemala (\$73,6k).

Por otra parte, un año después, acorde a los datos de la secretaria de economía, los principales destinos comerciales de Lechugas "Lactuca Sativa", Frescas o Refrigeradas (Exc. Lechugas Repolladas) fueron Estados Unidos (US\$345M) y Canadá (US\$4.03M).

Según los datos de la secretaria de economía de Mexico del año 2023,

las entidades federativas con más ventas internacionales en Lechugas "Lactuca Sativa", Frescas o Refrigeradas (Exc. Lechugas Repolladas) fueron Guanajuato (US\$191M), Baja California (US\$124M), Sonora (US\$28.2M), Nuevo León (US\$1.69M) y Querétaro (US\$1.39M).

### **2.1.7.3 Importaciones**

Con respecto a las importaciones, en el 2022 importamos como país 32 Millones de pesos en lechugas, poniéndonos en la posición número 14 del ranking mundial, según los datos de The Observatory Economic Complexity. La lechuga fue el producto número 684 en la lista de productos mexicanos más importados. Más del 90% del producto importado venía de Estados Unidos.

## **2.2 Sobre el Estrés y los Bioestimulantes**

El Dr. Benavides establece la definición de estrés como todo aquel conjunto de respuestas bioquímicas o fisiológicas que definen un estado particular del organismo diferente al observado bajo un rango de condiciones óptimas". (Benavides-mendoza, 2016)

El estrés en las plantas puede ser producido por distintos factores, entre lo que podríamos incluir los ataques de depredadores, altos niveles salinos en el sustrato o daños por factores abióticos. Estos distintos tipos de estrés pueden tener un impacto en diferentes niveles fisiológicos de las plantas, entre los que podremos mencionar el aspecto genómico, bioquímico, (Benavides-mendoza, 2016)

Se puede deducir que hay diferentes formas de mitigar la cantidad de estrés conforme a dos opciones, sea borrando la causa del estrés o en su defecto, sumar un factor que devuelva el balance en los estados fisiológicos de los organismos este factor es el que llamamos técnicamente un “bioestimulantes”.

Intuitivamente podemos afirmar que el estrés es necesario para los seres vivos ya que acciona diferentes mecanismos de defensa que funcionan como herramientas para que las plantas (y los seres vivos en general) tengamos una defensa. Este es el concepto base propuesto como bioestimulante. La idea de una aplicación exógeno que promueva los sistemas de defensa que la planta produce bajo sus propios medios

De una forma mas técnica, tenemos la definición de “estimulante biogénico”, que aunque bien no es la definición de la palabra bioestimulante, se refiere a lo mismo. Como lo redacta el Dr. Benavides, aun no existe una sola definición aceptada para la palabra bioestiumulante, sin embargo la propuesta por Filatov 1951 es bastante sólida:

“Cada tejido vivo (humano, animal y de plantas), cuando se expone a condiciones desfavorables no letales se reestructura bioquímicamente con la síntesis de sustancias especiales que son estimulantes biogénicos de naturaleza no específica. Estos promueven las reacciones biológicas del organismo.”(Mendoza, 2021)

### **2.2.1 Estrés Salino**

El estrés salino es uno que tiene un impacto a nivel nacional. Según lo reportado Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural en octubre de 2021: En la profundidad de 30-100 cm, se encontró que aumenta la presencia de sales en tierras de riego a 3.37 millones de ha así como en las de temporal a 3.69 millones de ha. Las afectaciones de *salinidad moderada* en 1.27 millones de ha de riego, *sodicidad moderada* en 183,263 ha y *salino-sódica* en 518,567 ha, de estas tres últimas afectaciones, alrededor de 2/3 partes de su distribución fueron encontradas en tierras agrícolas irrigadas. Las áreas de salinidad aumentaron en 2.15 millones de ha en la capa más profunda (30-100 cm) y las que presentaron sodicidad disminuyeron en 1.6 millones de ha.

La salinidad en el suelo es producto no solo de la misma producción de suelos, si no también por el cambio climático que genera desertificación de zonas particulares.

La salinización del suelo es un problema por que afecta directamente el equilibrio celular del tejido de las plantas. Siendo más precisos, como menciona Kissoudis et al., 2016 “La elevada concentración de sal en los suelos ejercen efectos directos sobre el crecimiento de las plantas; lo que puede implicar un disturbio en la toma y translocación de iones necesarios para su nutrición”

Las plantas responden al estrés salino a tres niveles diferentes: celular, tisular y de planta completa (Chávez & González, 2009)

### **2.2.2 Prolina**

La prolina es un aminoácido que tiene la capacidad de fungir como un osmoprotector que regula el equilibrio osmótico. Este es sintetizado por las plantas cuando estas siendo sometidas a situaciones adversas, como el estrés salino.(Herrera Flores et al., 2018)

Prolina puede ser sintetizada a partir del glutamato o la ornitina, sin embargo el primero suele ser el principal precursor. La síntesis de esta incluye dos enzimas fundamentales: pirrolín carboxilato sintetasa (P5CS) y pirrolín carboxilato reductasa (Chavez y Gonzalez; 2009)

### **2.3 La Lignina**

La lignina juega un papel fundamental en la vida terrestre de las plantas. Dependiendo del tipo de estrés la lignina juega un papel protector, desempeñando roles de sustento en los procesos de desarrollo de crecimiento y procesos de desarrollo de mecanismos de defensa. (Khajuria et al., 2019)

La lignina, además de ser parte de la membrana celular, es fundamental al momento de la emergencia de las plantas (Maceda et al., 2021)

Por otro lado, estas moléculas también están involucradas en la fijación de dióxido de carbono atmosférico, de manera que forma engrasamientos secundarios con ayuda del ciclo de carbono, y, al ser descompuesta de una forma tan lenta ayuda la recomposición del suelo por las plantas (Li & Chapple, 2010).

### 2.3.1 Caracterización química

(Prinsen, 2013) explican la lignina como: “un polímero aromático compuesto por unidades 4-fenilpropano. Tiene una estructura macromolecular heterogénea y puede contener tres tipos de unidades aromáticas: Unidades p-hidroxifenilo (H), guayacilo (G) y siringilo (S), que no tienen ningún grupo metoxilo(H) o bien tiene uno (G) o dos (S) grupos metoxilo en las posiciones C3 Y C5 de la unidad aromática.”

La estructura de la lignina depende completamente de la especie de la cual se haya extraído, en otras palabras de su rigen botánico. Por ejemplo, la lignina extraída de las coníferas (como por ejemplo las especies de: Abetos, Cedros, Cipreses, Enebro, Pinos, Sabinas, Secuoyas, Tejos, Araucarias) presentan solamente unidades guayacilo (G). Para las especies herbáceas se considera que la lignina tiene H,G y S. Por otro lado las especies frondosas tienden a ser mas abundantes en unidades guayacilo (G) y siringilo (S) en diversas proporciones. En esta clasificación entran las especies de Roble, Castaño, Eucalipto, Cedro, Haya, **Nogal**, Aliso europeo, Abedul, Arce europeo, Cerezo europeo. Este nicho es de nuestro particular interés por que como podemos observar, el nogal esta dentro de la clasificación de especies frondosas, las cuales cabe destacar por que tienen una presencia lignina que se cuantifica con un porcentaje de incidencia de entre 18% y 34% de la biomasa seca total de las especies. (Melro et al., 2021).

### 2.3.2 Uso de la lignina como Bioestimulantes

La lignina no solo es importante por su papel estructural en las plantas si no que también juega un rol considerable en los sistemas de defensa contra patógenos de las plantas, como si fuera producto de su sistema inmunológico (Savy & Cozzolino, 2022).

Por la literatura revisada hasta el momento, queda claro que la lignina juega un papel benéfico en el metabolismo de las plantas, sin embargo, no hemos evidenciado la utilidad y uso de los agro residuos de productores de nogal del estado de Coahuila, en la ciudad de Saltillo y sus alrededores. “Extracción, caracterización y actividad antioxidante de lignina de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) y cáscara de nuez pecanera (*Carya illinoensis*)”(Espinoza-Acosta et al., 2022) es un documento que habla precisamente sobre el uso de la cascara del nogal de la

especie mas producida en el estado de Coahuila y su potencial antioxidante. Aquí se reportó que “al comparar el contenido de lignina de las materias primas analizadas en este estudio, se encontró que el porcentaje de lignina en las cáscaras de nuez pecanera fue el doble que el encontrado en las plantas de lirio . Se ha reportado anteriormente que las cáscaras de frutos secos de la familia de nueces contienen grandes cantidades de lignina. (Espinoza-Acosta et al., 2022) reportaron que “Las cáscaras de avellanas, almendras, nuez persa y nuez pecanera contienen desde 20 hasta 52 % de lignina”. Lo que rectifica la posibilidad de utilizar los residuos de los productores; sin embargo, ¿hasta qué punto es útil la lignina sintetizada de los agro residuos?, es que hay muchas formas en la que la lignina se expresa, dependiendo de la especie de donde se haya obtenido y hasta del órgano vegetal que se haya extraído. En el documento anteriormente mencionado también se llegó a la conclusión de que los restos de las cascaras de nuez pecanera son los que tienen un mayor cantidad lignina, que el fruto, (ello no significa que el fruto sea inútil), ya que contienen ácido clorogénico, taninos condensados, epigallocatequina, catequinagalato, y ácido gálico, los cuales tienen un importante impacto antioxidante. Se estimó que el porcentaje de inhibición del radical DPPH era cercano a al 86%, . Complementando esto, es necesario explicar la definición de radical DPPH. El radical 1,1-difenil-2-picrilhidrazilo(DPPH) es un radical libre que se utiliza para determinar la actividad antioxidante de sustancias como frutas, verduras, café, plantas medicinales, entre otros.

### **2.3.3 Biosíntesis en las Plantas**

Primeramente será necesario la síntesis de los precursores de la lignina, los cuales se inician cuando sus monolignoles se incorporan mediante acoplamiento.

Antes de ello se deberán definir los monolignoles, los cuales se producen a partir de fenilamina y esta regulada por diferentes genes, cuya expresión determina la actividad de las enzimas involucradas (Prinsen, 2013)

La fenilalanina (en pastos tirosina) es el principal precursor de los monómeros de lignina que se producen mediante la ruta metabólica del ácido shikímico (Maeda, 2016; Xie et al., 2018)

En el documento Lignin: composition, synthesis and evolution, los autores Maceda et al. Nos explican que la lignificación se da inicio en los plastidios y madura en el retículo endoplasmático; ahí mismo, la citocromo P450 oxidoreductasa actúa. Por otro lado y al mismo tiempo, en el citoplasma participan las enzimas PAL, 4CL, CCoAOMT, CCR, CAD y COMT (Barros et al., 2015). El siguiente paso es que los monolignoles sintetizados sean movilizados hasta a la pared celular con ayuda de tres sistemas de transporte: difusión pasiva, exocitosis asociada a vesículas y transporte activo dependiente de ATP con transportadores ABC y/o antiportadores asociados a protones (Barros et al., 2015).

Habiéndose llevado a cabo este proceso, lo siguiente es la lignificación de la pared celular.

### **2.3.4 Reacción de las plantas a aplicaciones Exógenas**

Aparentemente no hay estudios que detallen muy minuciosamente las rutas metabólicas precisas que se activan tras la aplicación exógena de lignina en plantas, sin embargo algunas investigaciones sugieren que estas interacciones están estrechamente vinculadas a la vía del ácido shikímico y a la síntesis de monolignoles. (Martinez-Lorente, 2024)

### **III. MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1 Ubicación del experimento (Establecimiento del cultivo)**

El experimento se llevó a cabo en un invernadero tipo capilla de mediana tecnología con medida de 14 m de largo x 7 m de ancho en el departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México, ubicado a 25° 21' 12.8" latitud norte y 101° 01' 51.9" longitud oeste.

#### **3.2 Material vegetal**

Se emplearon semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) variedad GREAT LAKES 118, de la casa comercializadora "FAX".

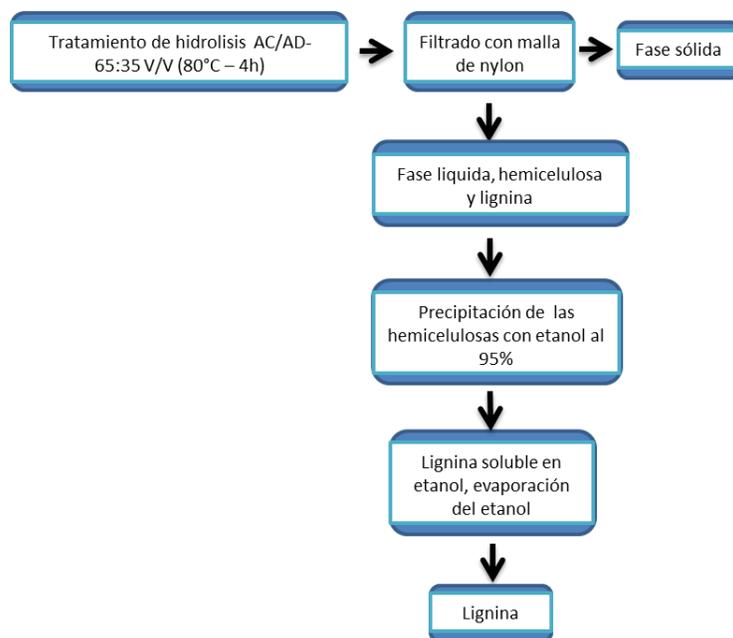
#### **3.3 Caracterización de la cáscara de nuez**

La composición lignocelulósica de la cáscara de nuez se determinó usando un análisis termogravimétrico (TGA), pesando 12.2 mg de la muestra, mediante el método descrito por (Díez et al., 2020). Se uso un equipo TGA Q500 de TA Instruments. El rango de temperaturas para el análisis fue de 20-700°C, empleando una velocidad de calentamiento 10°C/min, flujo de nitrógeno 50 mL/min.

#### **3.4 Extracción de lignina con solventes orgánicos**

La cáscara de nuez fue triturada en un molino de cuchillas con malla de un 1 mm de diámetro, y llevada a sequedad a 70°C por 48 horas. Para la extracción de la lignina se realizó un tratamiento de hidrólisis con una mezcla de ácido acético (AC) y agua destilada (AD) 65/35 V/V. Se agregaron 50 g de cáscara de nuez seca y molida a un reactor de vidrio de 4 L, y se adicionó la mezcla AC/AD en proporción 1:10 (p/v) y se calentó a 80°C con agitación constante durante 4 horas.

El extracto lignocelulósico obtenido de la hidrólisis se filtró por gravedad en un embudo büchner de porcelana con malla de nylon como filtro. La parte sólida se llevó a sequedad a 70°C durante 48 horas, el extracto filtrado se precipitó 3 veces en su volumen en etanol al 95%, donde se obtuvo hemicelulosa, la lignina soluble se rota-evaporó para eliminar el etanol y así purificar la lignina (Hong et al., 2020), en la Figura 2 se esquematiza todo el proceso de extracción mencionado.



*Figura 2 Esquemización de proceso de extracción de la lignina de las cascaras de nuez mediante hidrolisis*

### 3.5 Caracterización fisicoquímica de la lignina.

#### 3.5.1 Resonancia magnética nuclear ( $^1\text{H}$ NMR)

La estructura química de la lignina obtenida se estudió por  $^1\text{H}$  NMR, el análisis se llevó a cabo en un espectrómetro de resonancia magnética nuclear marca Bruker de 400 MHz. La adquisición y el manejo de los datos se realizaron mediante el software TopSpin y MestReC respectivamente. La muestra fue disuelta en dimetilsulfoxido deuterado (DMSO- $d_6$ ) y colocada en tubos de cuarzo de 5 mm de diámetro, para posteriormente ser analizada a temperatura ambiente.

#### 3.5.2 Espectroscopia infraroja con transformada de Fourier (FTIR)

Para el análisis por espectroscopia de infrarrojo (FTIR) se utilizó el equipo Nicole Is10 modelo Thermo Fisher Scientific. La toma de los datos se realizó con una escala de absorbancia desde 4000 hasta 600  $\text{cm}^{-1}$  del espectro electromagnético. Usando un detector DTGS KBr. Para procesar los espectros se utilizó el programa OMNIC. Los análisis se realizaron por duplicado.

### **3.5.3 Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) y Dispersión de Rayos X**

La morfología de la lignina se examinó mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) utilizando un equipo X a una escala X y a otra Y. La composición química de la lignina obtenida se determinó mediante espectrometría de dispersión de energía de rayos X (EDS) acoplada a SEM. Previamente la lignina fue recubierta por una capa de oro.

### **3.5.4 Dispersión dinámica de luz (DLS)**

EL diámetro de partícula ( $D_p$ ) de la lignina extraída de la cáscara de nuez se obtuvo utilizando la técnica de dispersión dinámica de luz (DLS) con un analizador de partícula Malvern Zetasizer (nano zs) a 25 °C. Para este análisis se utilizaron 2 disoluciones de 500 y 1000 ppm en metanol.

### **3.6 Establecimiento del cultivo**

Para la obtención de las plántulas de lechuga, se sembraron semillas variedad lechuga great lakes 118 en charola de germinación de poliestireno, con sustrato y perlita en una relación 1:1 ( 2 semillas por cavidad). El día 6 de Septiembre del 2023. estas fueron colocadas en cámara bioclimática a temperatura de 28 °C, en oscuridad hasta la germinación. Una vez germinado y emergido el 90% de la población, fueron expuestas a luz ininterrumpida durante 3 días dentro de la cámara bioclimática. El día 13 de Septiembre las charolas fueron colocadas en el invernadero donde se regaron con agua sin solución por una semana.

Para el día 20 de Septiembre se hizo un riego con solución de micros a 3pm; al día siguiente se formuló la solución nutritiva al 100% y ese mismo día se regaron las plantas con la solución al 20% con una CE de 1.41 dS/m y un pH de 6.1 con la siguiente composición:

- **Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 4H<sub>2</sub>O 9 mEq,**
- **KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 1 mEq,**
- **MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O 4 mEq,**
- **KNO<sub>3</sub> 3 mEq,**
- **K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3 mEq,**
- **Fe chelated 3 mg L<sup>-1</sup>,**
- **H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 0.5 mg L<sup>-1</sup>,**
- **MnSO<sub>4</sub> 0.7 mg L<sup>-1</sup>,**
- **ZnSO<sub>4</sub> 0.09 mg L<sup>-1</sup>**
- **CuSO<sub>4</sub> 0.02 mg L<sup>-1</sup>.**

Una semana posterior al trasplante, se aplicó cloruro de sodio 100 mM para someter a estrés a las plantas, una semana después del sometimiento al estrés, se empezó la aplicación de cuatro diferentes concentraciones de lignina: 0, 10, 50 y 100 ppm, por aspersión foliar a una población de 10 plántulas, una vez por semana por cuatro semanas.

Estas plántulas tuvieron una distribución completamente aleatorizada, siendo una unidad experimental una plántula.

### **3.6.1 Muestreo**

Se realizó un muestreo completamente al azar, a las cinco semanas posteriores al trasplante, un día posterior a la aplicación del último tratamiento. Se tomaron 5 plántulas completas de cada tratamiento para la medición de las variables de crecimiento, de modo no destructivo: número de folíolos, número de hojas compuestas, área foliar, diámetro del tallo, altura de la plántula, longitud de raíz.

De modo destructivo: peso fresco de hojas, raíz, tallo y peso fresco total, peso seco de hojas, tallo, raíz y peso seco total.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Caracterización de cascara de nuez

El análisis termogravimétrico (TGA) proporcionó información puntual sobre la pérdida de masa de la cáscara de nuez en función de la temperatura cuando esta se calienta en una atmósfera controlada. El contenido del material lignocelulósico obtenido se muestra en la Tabla 1.

*Tabla 1. Caracterización química de la cáscara de nuez*

	(%)		(%)
<b>Humedad</b>	10.2	Hemicelulosa	19.2
<b>Material volátil</b>	60.7	Celulosa	20.1
<b>Cenizas</b>	29.1	Lignina	15.6

### 4.2 Caracterización fisicoquímica de la lignina extraída de la cáscara de nuez

#### 4.2.1 Resonancia magnética nuclear de protón ( $^1\text{H}$ NMR)

En la Figura 3 se muestra el espectro de  $^1\text{H}$  NMR de la muestra de lignina extraída de la cáscara de nuez, así como también la estructura química simplificada de la lignina para la identificación de las señales más importantes. De forma adicional se presenta una comparación del espectro del producto de extracción de la cáscara de nuez de este trabajo y un espectro de la lignina reportado por (F. Xu et al 2006), y se puede apreciar la gran similitud de señales que existe entre ambos espectros, lo cual confirma la exitosa obtención de lignina a partir del método de extracción bajo condiciones suaves reportadas en este trabajo.

Al tratarse de un polímero natural, la estructura de la lignina no está bien definida, y esto se evidenció mediante la aparición de muchas señales, de las cuales se lograron identificar las más importantes; en la región de 6.2 a 7.5 ppm las señales correspondientes a los protones aromáticos de la lignina, específicamente a los atribuidos a las estructuras conocidas como “syringylpropane” y “guaiacylpropane” (O,Faix, et al 1992). Por otro lado, la señal que abarca aproximadamente de 3.5 a 4.0 ppm es atribuida a los protones de los grupos metoxi ( $\text{CH}_3\text{-O-}$ ) que se encuentran distribuidos en diferentes posiciones en toda la estructura general de la lignina. Existen algunos grupos hidrocarbonados alifáticos en la compleja estructura de

la lignina, principalmente en las cadenas laterales de la lignina, y éstos son observables en la región de 0.8 a 2.0 ppm.

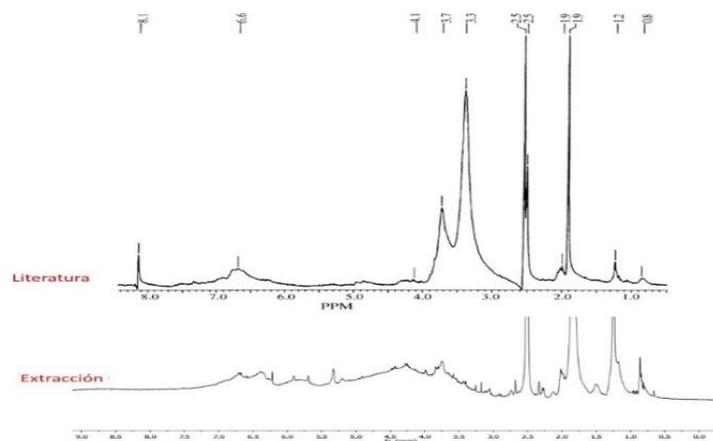


Figura 3 Espectro de la resonancia magnética nuclear de protón de las muestras de lignina.

#### 4.2.2 Espectroscopia infraroja con transformada de Fourier (FTIR)

Las muestras de lignina analizadas por FTIR evidenciaron la presencia de grupos funcionales característicos de este polímero como: hidroxilos fenólicos y estructuras alifáticas en la banda ancha de 3500 a 3350  $\text{cm}^{-1}$ . Las bandas centradas alrededor 2927 a 2848  $\text{cm}^{-1}$  que surge predominantemente del estiramiento del C-H en los grupos metoxilo aromáticos y en los grupos metilo y metileno de las cadenas laterales. Las bandas observadas en el rango de los 1700  $\text{cm}^{-1}$  indican la presencia de grupos carbonilos no conjugados. Específicamente, las bandas a 1716 y 1711  $\text{cm}^{-1}$  son atribuidas a la esterificación de los grupos fenol y alcoholes de la cadena de propano ( $C\alpha$  y  $C\gamma$ ) durante el proceso de extracción usando ácido acético y fórmico. La vibración del esqueleto aromático de la lignina se registró en el rango de bandas de 1559-1607  $\text{cm}^{-1}$ . Las señal correspondientes en el rango de 1240 se debe al estiramiento de unidades guaiacil(G), por otra parte también se pueden apreciar deformaciones de estas unidades en 1020  $\text{cm}^{-1}$ , las señales en el rango de 820  $\text{cm}^{-1}$  representa las vibraciones del plano C-H de las unidades de guaiacil, finalmente se observan flexiones asimétricas de los grupos HC-CH, tal como se muestran en la Figura 3. Los resultados obtenidos de este análisis están en buen acuerdo con investigaciones previas reportadas por O, Faix et al 1991, Negrão et al 2015 y L.M. Kline et al 2010

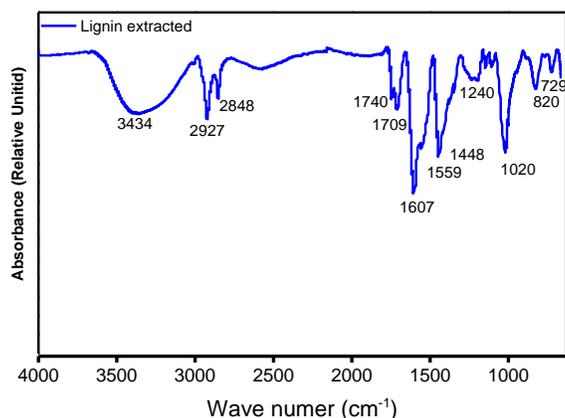


Figura 4 Espectro FTIR de la lignina extraída de la cascara de nuez

Tabla 2: Assignment of infrared spectral bands for lignin (L.M. Kline et al 2010)

Observed Peaks (cm <sup>-1</sup> )	Peak Assignment
1707-1691	Unconjugated carbonyl stretching of aldehyde/ketone groups
1615-1600	C=C stretching of aromatic ring in lignin
1567	C=O stretching (ionic compounds only)
1515-1511	C=C stretching of aromatic ring in lignin
1460-1459	C-H bending of methyl and methylene groups
1425-1423	C-H deformation in lignin
1327-1323	C=O stretching of the syringyl unit
1267	C-O stretching of guaiacyl unit
1219-1211	C-C, C-O, and C=O stretching of guaiacyl unit
1167	C-O stretching of ester group
1123-1110	Aromatic C-H deformation of syringyl units
1031-1015	C-O stretching of primary alcohols
983	CH=CH bending
911	C-H bending of syringyl units, aromatic ring
899	C-H deformation vibration of cellulose
835-815	C-H bending of syringyl units
755	Asymmetric bending of HCCH group

### 4.2.3 Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) y Dispersión de rayos X

La Figura 5 presenta las micrografías SEM de la lignina extraída de la cáscara de nuez a diferentes magnificaciones, obtenidas con electrones secundarios. Se puede observar una morfología irregular en forma y tamaño, este tipo de morfología es muy similar a la obtenida en la lignina-sosa Pua *et al.* (2011), caso contrario para la lignina kraft de Sigma Aldrich que presenta morfologías definidas de forma redondeadas o semiesférica Kohnke *et al.* (2019). De acuerdo con estudios previos las morfologías de forma esférica tienen una mayor estabilidad termodinámica comparada con otras formas de partículas Fierro V *et al.* (2006). La morfología obtenida bajo estas condiciones puede explicarse debido al proceso de molienda.

Por otra parte, la micrografía SEM a mayores magnificaciones evidencia una superficie rugosa sin la presencia de microdefectos como grietas o porosidad, además, se logra observar aglomeraciones de partículas.

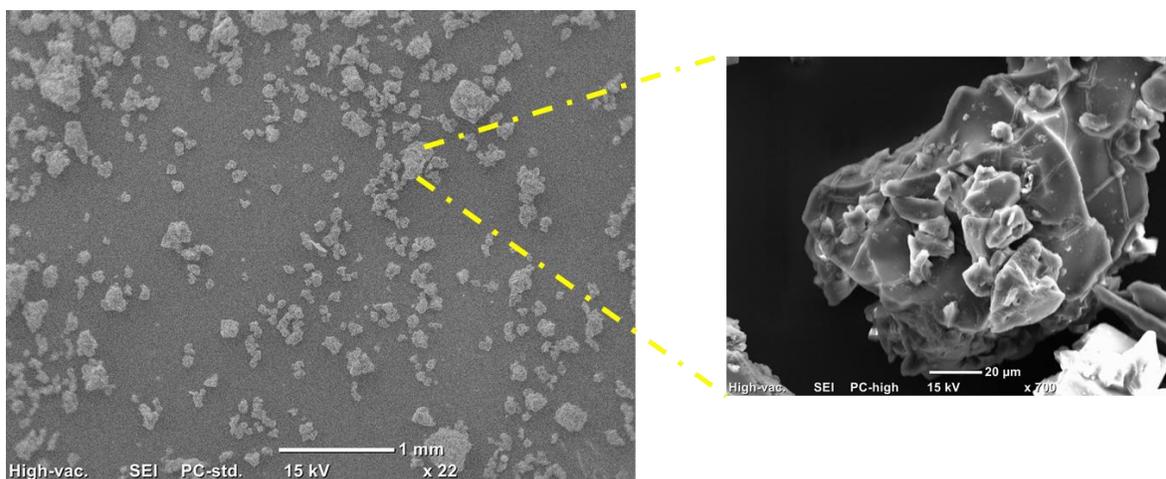


Figura 5 Micrografías SEM de la lignina obtenida de la cascara de nuez

El análisis elemental obtenido mediante EDS se presenta en la Figura 6. Muestra que la lignina está compuesta principalmente por C y O con pequeñas trazas de Cl, Al, Mg, Na, K y Ca. La presencia de estos elementos se debe principalmente a trazas de cenizas que quedan en la lignina provenientes de la biomasa de extracción. La predominante presencia del carbono y oxígeno está en buen acuerdo con la estructura de la lignina, ya que presenta grupos funcionales a base de carbono y por enlaces de tipo carbono-carbono, carbono-oxígeno y carbono-hidrógeno. La lignina generalmente presenta un alto contenido de carbono que puede variar entre el 50 y 75% en peso Kohnke *et al.* (2019). Lo cual es consistente con lo reportado en este trabajo, evidenciando un contenido de carbono del 76.5%.

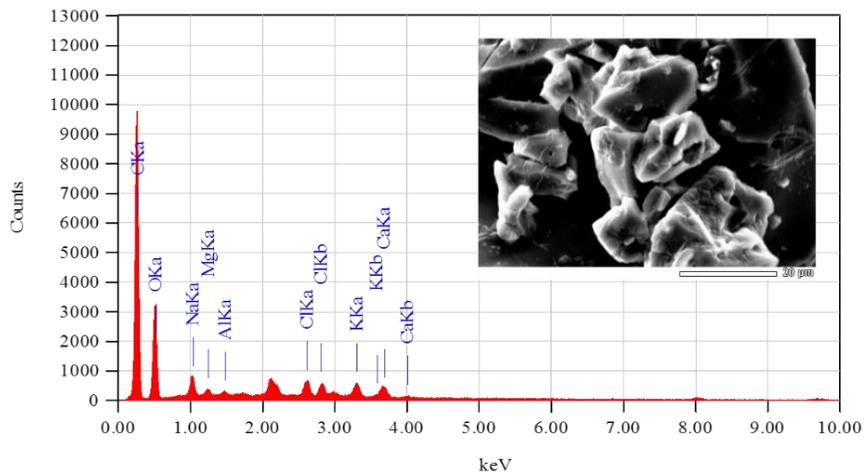


Figura 6 análisis elemental obtenido mediante EDS

#### 4.2.4 Dispersión dinámica de luz (DLS)

La Figura 7 muestra la distribución del diámetro de partícula obtenido mediante DLS, el cual mide las fluctuaciones de la intensidad de la dispersión en función del tiempo. Se puede observar una distribución que ronda de 10 a 70 nm de diámetro de partículas para las disoluciones de 500 y 1000 ppm, sin embargo, ambas disoluciones presentan diámetros de partícula en el mismo orden de magnitud presentando un diámetro promedio de 47 y 33 nm.

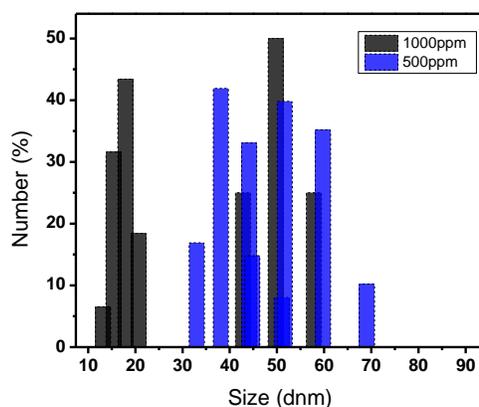


Figura 7 Distribución de tamaño de partícula de la lignina.

#### 4.3 Efecto bioestimulante de la lignina en las plantas de lechuga sometidas a estrés por salinidad

Al evaluar las variables de crecimiento en las plantas de lechuga sometidas a estrés por salinidad se encontró que no hubo muestra de que los tratamientos fueran estadísticamente significativos en la evaluación de Área foliar, en número de hojas, peso fresco de hojas, así como longitud de raíz y tampoco en los análisis de clorofila a, b ni total. De ellos podemos razonar que en este caso la lignina no jugó un papel en el que pusiera a la planta en un estado desarrollo vegetativo.

Sin embargo, fue evidente, como se observa en la tabla 3, que propició un incremento en el desarrollo radicular, ya que hubo resultados en el incremento de peso fresco de raíz (PFR), y peso seco de raíz (PSR), principalmente en el tratamiento de 50 ppm con alzas del 66.2% y 31% respectivamente en comparación con el testigo sometido a estrés sin tratamiento bioestimulante. Además, en favor de este mismo tratamiento, hubo respuestas positivas en el peso seco de hoja con un incremento del 58%.

La lignina jugó un papel importante en la mitigación del estrés por que como menciona (Díaz-Elizondo et al., 2024), “Es bien sabido que la lignina es un biopolímero aromático compuesto principalmente por 3 monolignoles alcohol sinapílico, alcohol coniferílico y alcohol p-cumárico. Es rica en grupos funcionales altamente reactivos, como grupos fenólicos, hidroxilos, carboxílicos, benzoicos, entre otros.”

Es muy probable que la molécula de lignina sea absorbida por medio de los estomas, ya que según la literatura varía de entre 10 nm de ancho y 15 de largo en plantas de algodón (Abro S. et al 2023) y 31 y 7 nm para el caso de algunas especies de Chile. Nuestra caracterización arrojó que el tamaño de la partícula variaba entre un 47 y 33 nm en promedio, sin embargo, hay un porcentaje considerable que se encuentra tamaño de entre 10 y 30 nm de diámetro lo que le permitiría introducirse por esta vía.

Entre algunos de los procesos que están relacionados con el estrés es el vía de ácido shikímico y el de fenil propanoides, los cuales, responden a estímulos adversos en la planta para producir compuestos fenólicos (Zagoskina et al., 2023), entre los que podemos encontrar moléculas como la lignina, la cual, al ser sintetizada por la misma planta, esta funciona como un metabolito que ya de por sí busca mitigar el estrés en las plantas y que tiene un papel antioxidante comprobado por Este desempeño como papel antioxidante produce un crecimiento en la planta en comparación con los testigos por que como fue mencionado el apartado “sobre el estrés y la bioestimulación”, actúa como un factor que anula el estrés.

Por otra parte, el incremento en peso seco puede deberse al reforzamiento de las células que de esclerénquima, las cuales se ubican precisamente en raíz y hojas y que por si solas son caracterizadas por ser gruesas y lignificadas. (UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES CURSO DE MORFOLOGÍA VEGETAL, 2009)

Por otra parte, el tratamiento de 10 ppm actuó como lo que podría pensarse “ un promotor de prolina”, sin embargo, como se mencionó en el sub- apartado “Prolina”, esta actúa como indicador de la cantidad de estrés a la que está sometida una planta, por lo que una presencia significativa de esta, se indicaría el no funcionamiento del bioestimulante. (Flores et al., 2012)

Tabla 3: Resultados estadísticos de variables agronómicas

<b>Trat.</b>	<b>área foliar</b>	<b>número de hojas</b>	<b>PFR</b>	<b>PSR</b>	<b>Longitud raíz</b>	<b>PFH</b>	<b>PSH</b>	<b>clo a</b>	<b>clob</b>	<b>clot</b>	<b>PRO</b>
<b>0 LIG</b>	108 a	12.8 a	8.66 b	2.21 b	17.2 a	46.14 a	4.98 c	90.43a	79.4a	169.84a	7.45 b
<b>10 LIG</b>	116 a	13.29 a	10.8 ab	2.45ab	20.2 a	50.2 a	7.3 b	90.10a	74.76a	164.8a	12.68 a
<b>50 LIG</b>	134 a	14.2 a	14.4 a	2.92 a	19.5 a	56.8 a	7.85 a	91.6a	80.72a	172.3a	7.48 ab
<b>100 LIG</b>	131 a	14 a	10.1 ab	2.7 ab	20.9 a	59.2 a	6.67bc	80.14b	65.97a	146.1a	8.42ab

Se realizo una prueba de ANOVA, donde la P= <0.05 y una posterior prueba de medias.

Donde:

- \*PFR: Peso fresco de Raíz      \* PFH: Peso fresco Hoja      \* PSR: peso seco de raíz      \*PSH: Peso seco Hoja
- \*PFH: Peso fresco Hoja      \*PSH: Peso seco Hoja      \* Clob: Clorofila B      \* Cloa: Clorofila A
- \*Clot: Clorofila total      \*PRO: Prolina

### 4.3.1 Prolina

En la Figura 8 se ilustra el caso de la prolina, en el cual fue evidente que el tratamiento de 10 ppm indujo una mayor cantidad de esta. No por que estuviera directamente relacionados, sino porque la baja incidencia del bioestimulante no permitió la reducción del estrés y por lo tanto se queda una mayor concentración de prolina. Para esta variable medida, la prolina fue un 70% mas alta que en testigo.

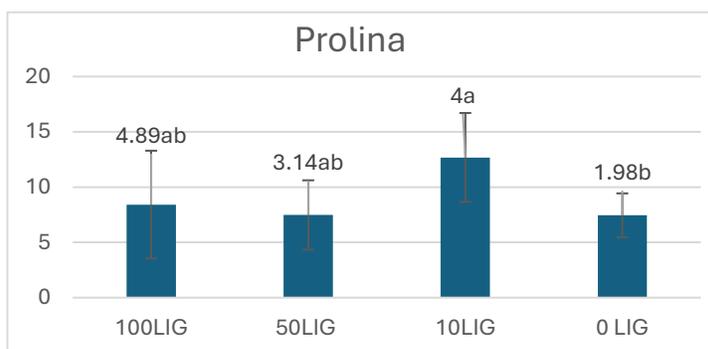


Figura 8 Desviación estándar sobre Promedio de Prolina

### 4.3.2 Área Foliar

El área foliar tener una diferencia estadística significativa, a pesar de que a simple vista los datos muestran un valor más alto para el tratamiento de 50 ppm de lignina, por otra parte, el tratamiento de 10 ppm es el que aparenta tener la desviación estándar más alta. Esto se puede observar en la siguiente Figura (9).

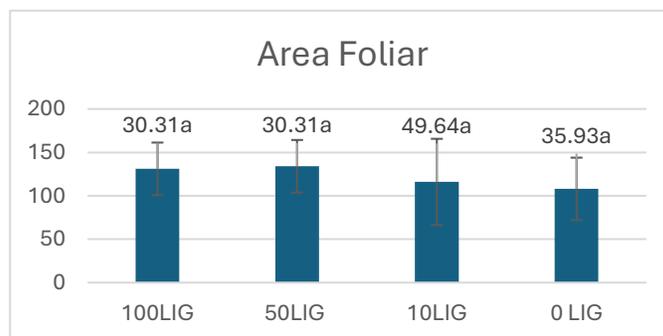


Figura 9 Desviación estándar sobre Promedio de Área Foliar

### 4.3.3 Numero de hojas

Con respecto al número de hojas, tampoco hubo una diferencia significativa. Sin embargo, la que demostró un peor rendimiento fue el testigo. Esto tiene sentido, ya que como reporta (dhikari B. et al 2021) a variedades de Lechuga iceberg suelen ser demasiado sensibles al estrés salino, y la principal variable afectada es el desarrollo vegetativo.



Figura 10 Desviación estándar sobre Promedio de Numero de Hojas

### 4.3.4 Peso fresco de Raíz

Como se muestra en la Figura número 11, los tratamientos con 0, 10 y 100 fueron bastante similares, sin embargo, se tuvieron datos positivos para el tratamiento con 50 ppm, en los que hubo incremento del 66.2 % en comparación con el testigo.

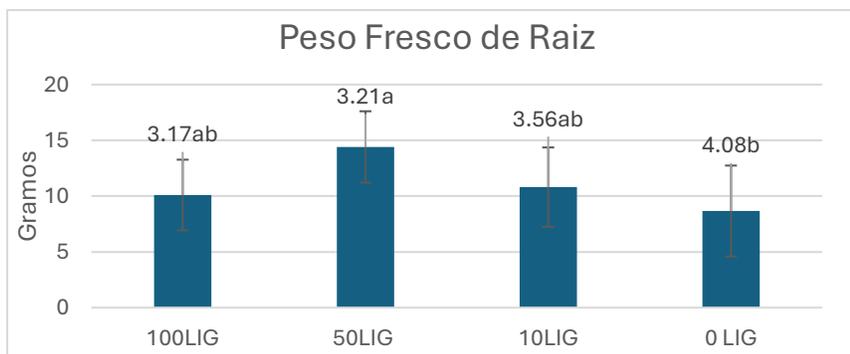


Figura 11 Desviación estándar sobre Promedio de Peso fresco de Raíz

### 4.3.5 Peso seco de Raíz

La variable de peso seco de raíz (expresada en la siguiente Figura numero 12) fue considerablemente más alta en el tratamiento de 50 ppm, exactamente un 31% en comparación con el testigo.

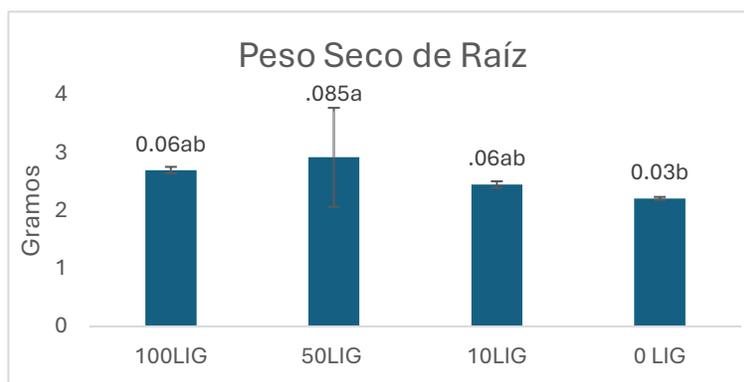


Figura 12 Desviación estándar sobre Promedio de Peso seco de Raíz

### 4.3.6 Longitud de Raíz

Acorde a la Figura número 13, que muestra los promedios y la desviación estándar en la variable de peso seco de raíz, o hubo un contraste significativo en los resultados de la longitud de Raíz, sin embargo el tratamiento más variable fue el de 50ppm, una desviación del 6.88 y una media de 19.6

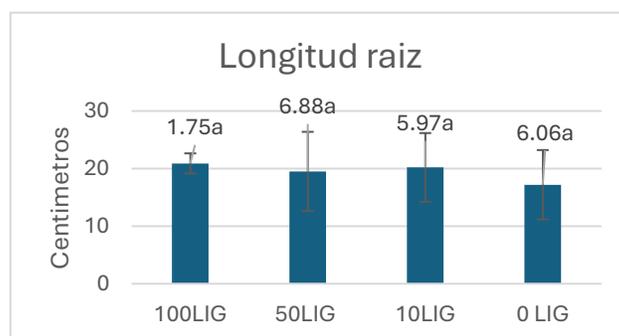


Figura 13: Desviación estándar sobre Promedio de Longitud de raíz

### 4.3.7 Peso Fresco de Hojas

En la siguiente Figura (14) es posible apreciar visualmente que para la variable de peso fresco no hubo tratamientos estadísticamente diferentes, sin embargo, el promedio alto fue asignado al tratamiento de 100 ppm

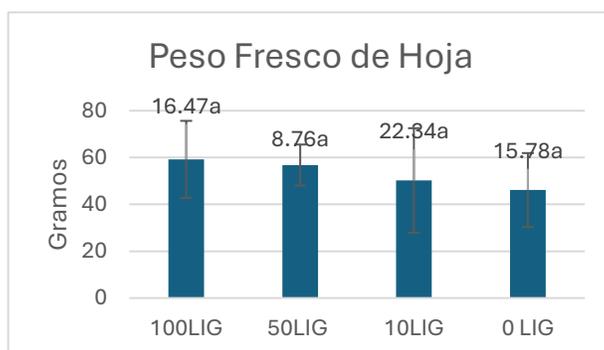


Figura 14 Peso fresco de hojas

### 4.3.8 Peso seco de Hojas

Para esta variable graficada en la Figura 15, muestra que hubo solo un tratamiento importante y benéfico, fue el de 50 ppm. Ya que promovió un incremento del 58% en comparación con el testigo sometido a salinidad sin aplicación de bioestimulante.

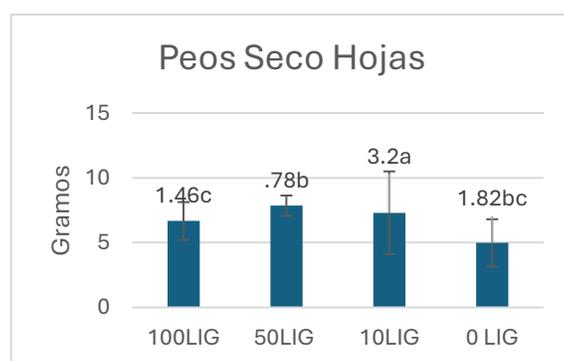


Figura 15 Desviación estándar sobre Promedio de Peso seco de Hojas

### 4.3.9 Clorofila A, B y Total

Analizando el panorama general de la clorofila visualmente representado por las Figuras 16, 17 y 18 a continuación, aparenta no haber una relación entre las aplicaciones de lignina en diferentes concentraciones en relación con la cantidad de diferentes tipos de clorofila, sin embargo, es cierto que a pesar de no haber una diferencia estadística, el tratamiento con 100 ppm demostró tener un carácter reductor en la síntesis de estas, llevándose los valores más bajos en desviaciones estándar y promedios, por otro lado aunque tampoco fue estadísticamente significativo, el tratamiento con 10 ppm tuvo el impacto de aumento más notorio en clorofila B y por ende la variable de clorofila total, para el caso de clorofila A fue mayor la síntesis de clorofila A el tratamiento de 50 ppm, aunque la diferencia fue realmente menos apreciable que en el caso de clorofila B.

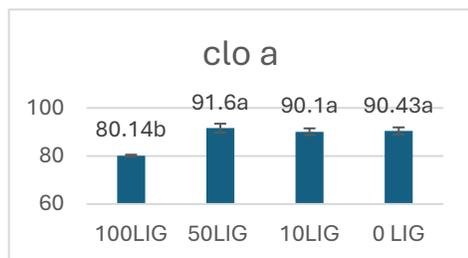


Figura 18. Desviación estándar sobre Promedio de Clorofila A

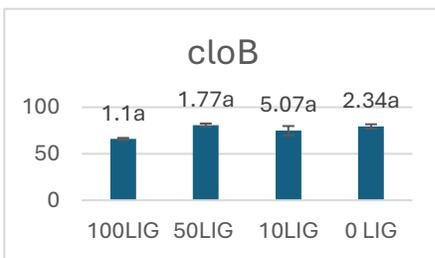


Figura 17. Desviación estándar sobre Promedio de Clorofila B

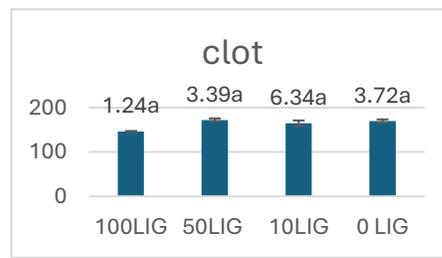


Figura 16. Desviación estándar sobre Promedio de Clorofila Total

## V. CONCLUSIONES

La lignina funciona como un promotor de Parolina en una concentración de 10 ppm, además el tratamiento con 50 ppm parece tener un efecto estadísticamente apreciable en algunas variables medidas, como: Peso seco de raíz y peso seco de hoja.

Esto indica que los tejidos en las zonas beneficiadas tienen la característica de aumentar su masa, lo que podría significar engrosamiento de las células o producción de compuestos “pesados” como la lignina en células de esclerénquima. Ello puede ser beneficioso al momento de combatir patógenos, especialmente hongos. Por otra parte, el aumento de la prolina indica la búsqueda por balancear el gradiente osmótico, lo que da otorga una capacidad de resiliencia a situaciones adversas para la planta.

Con la investigación llevada a cabo es posible también concluir que los agro-residuos son útiles para ser aprovechados en forma de bioestimulantes, especialmente los analizados en esta labor, (los agroresiduos de productores saltillenses de nogal). De esta manera se promovería un sector de desarrollo del medio agrario como lo es biostimulación, Con los bioestimulantes se podría reducir mucho más el costo de producción, impactando en el costo al consumidor final, esto permitiría colocar comida altamente nutritiva a la mano de toda una sociedad por un precio asequible sin tener repercusiones en el medio ambiente y aprovechando recursos naturales.

## VI. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- A.Mena-García, Ruiz-Matute, A. I., Soria, A. C. & Sanz, M. L. (2019). Green techniques for extraction of bioactive carbohydrates. *Trends in Analytical Chemistry*, 119(3), 115612. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.07.023>
- Adhikari, B.; Olorunwa, O.J.; Wilson, J.C.; Barickman, T.C. Morphological and Physiological Response of Different Lettuce Genotypes to Salt Stress. *Stresses* 2021, 1, 285–304. <https://doi.org/10.3390/stresses1040021>
- Acosta-Motos, J. R., Ortuño, M. F., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M. J. & Hernandez, J. A. (2017). Plant responses to salt stress: Adaptive mechanisms. *Agronomy*, 7(1), 1–38. <https://doi.org/10.3390/agronomy7010018>
- Agricultura, secretaria de. (2022). *Balanza disponibilidad consumo de maiz amarillo*. 55.
- Agustin-salazar, S., Cerruti, P., Medina-juárez, L. Á., Scarinzi, G., Malinconico, M., Sotavaldez, H. & Gamez-meza, N. (2018). Lignin and holocellulose from pecan nutshell as reinforcing fillers in poly ( lactic acid ) biocomposites. 115, 727–736.
- Ahmad, P., Wani, M. R., Azooz, M. M. & Phan Tran, L. S. (2014). Improvement of crops in the era of climatic changes. *Improvement of Crops in the Era of Climatic Changes, August 2015*, 1–368. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8824-8>
- Benavides-mendoza, A. (2016). *Ecofisiología y bioquímica del estrés en plantas*. July 2002.
- Buono, D. Del, Luzi, F. & Puglia, D. (2021). Lignin nanoparticles: A promising tool to improve maize physiological, biochemical, and chemical traits. *Nanomaterials*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/nano11040846>
- Chávez, L. & González, L. M. (2009). Mecanismos moleculares involucrados en la tolerancia de las plantas a la salinidad. *ITEA Informacion Tecnica Economica Agraria*, 105(4), 231–256.
- Da Cunha, K. P. V. & Do Nascimento, C. W. A. (2009). Silicon effects on metal tolerance and structural changes in Maize (*Zea mays* L.) grown on a cadmium and zinc enriched soil. *Water, Air, and Soil Pollution*, 197(1–4), 323–330. <https://doi.org/10.1007/s11270-008-9814-9>
- Díaz-Elizondo, J. A., Ayala-Velazco, A., Benavides-Mendoza, A., Enriquez-Medrano, F. J. & Medrano-Macías, J. (2024). Obtaining Lignin from Nutshells under Mild Extraction Conditions and Its Use as a Biostimulant in Tomato Seedlings. *Horticulturae*, 10(10), 1079. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10101079>
- Espinoza-Acosta, J. L., Montaña-Leyva, B., Valencia-Rivera, D. E., Ledesma-Osuna, A. I. & Vega-Rios, A. (2022). Extracción, caracterización y actividad antioxidante de lignina de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) y cáscara de nuez pecanera (*Carya illinoensis*). *Biotecnia*, 24(2), 94–103. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i2.1642>
- FAOSTAT. (s. f.). <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Flores, T. S. H., Cereceres, J. O., Delgado, A., Jorge, A. & Acosta, A. (2012). *Crecimiento y contenido de prolina y carbohidratos de plántulas de frijol sometidas a estrés por sequía* \* *Growth and , proline and carbohydrate content of bean seedlings subjected to drought stress Resumen Introducción*. 3, 713–725.

Gobierno del estado de Mexico, 2024.Cultivo de lechuga/ Instituto de investigacion y Capacitacion agropecuaria <https://icamex.edomex.gob.mx/lechuga>

Herrera Flores, T. S., Ortíz Cereceres, J., Delgado Alvarado, A. & Acosta Galleros, J. A. (2018). Crecimiento y contenido de prolina y carbohidratos de plántulas de frijol sometidas a estrés por sequía. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(4), 713–725. <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i4.1425>

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Calzada Rovirosa.[https://vun.inifap.gob.mx/VUN\\_MEDIA/BibliotecaWeb/\\_media/\\_publicacionespecial/10270\\_5031\\_Manual\\_t%C3%A9cnico\\_para\\_la\\_producci%C3%B3n\\_de\\_hortalizas\\_huevo\\_de\\_gallina\\_y\\_carne\\_de\\_conejo\\_en\\_unidades\\_de\\_producci%C3%B3n\\_familiar.pdf](https://vun.inifap.gob.mx/VUN_MEDIA/BibliotecaWeb/_media/_publicacionespecial/10270_5031_Manual_t%C3%A9cnico_para_la_producci%C3%B3n_de_hortalizas_huevo_de_gallina_y_carne_de_conejo_en_unidades_de_producci%C3%B3n_familiar.pdf)

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Calzada Rovirosa.[https://vun.inifap.gob.mx/VUN\\_MEDIA/BibliotecaWeb/\\_media/\\_publicacionespecial/10270\\_5031\\_Manual\\_t%C3%A9cnico\\_para\\_la\\_producci%C3%B3n\\_de\\_hortalizas\\_huevo\\_de\\_gallina\\_y\\_carne\\_de\\_conejo\\_en\\_unidades\\_de\\_producci%C3%B3n\\_familiar.pdf](https://vun.inifap.gob.mx/VUN_MEDIA/BibliotecaWeb/_media/_publicacionespecial/10270_5031_Manual_t%C3%A9cnico_para_la_producci%C3%B3n_de_hortalizas_huevo_de_gallina_y_carne_de_conejo_en_unidades_de_producci%C3%B3n_familiar.pdf)

SIAP 2024. CIERRE DE PRODUCCION AGRICOLA 2023. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/c>

SIAP 2016, MONOGRAFIA SOBRE LA LECHUGA <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/832776/lechuga.pdf>

Japon Quintero, J. (1977). La Lechuga. *Hojas Divulgadoras Del Ministerio de Agricultura*, 10, 21. [https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1977\\_10.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1977_10.pdf)

Khajuria, A., Bali, S., Sharma, P., Kaur, R., Jasrotia, S., Saini, P., Ohri, P. & Bhardwaj, R. (2019). S -Nitrosoglutathione (GSNO) and Plant Stress Responses . *Reactive Oxygen, Nitrogen and Sulfur Species in Plants*, 1(Lindermayr 2017), 627–644. <https://doi.org/10.1002/9781119468677.ch26>

Liz Patricia Moreno, F. (2009). Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico . Una revisión Plant responses to water deficit stress . A review. *Agronomía Colombiana*, 27(2), 179–191.

Maceda, A., Soto-Hernández, M., Peña-Valdivia, C. B., Trejo, C. & Terrazas, T. (2021). Lignin: composition, synthesis and evolution. *Madera y Bosques*, 27(2). <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2722137>

Marta Fabiola Quilumba Escobar. (2018). *Universidad Estatal De Bolivar Facultad De Ciencias De La Educación*. 2022.

Martínez-Lorente, S.E.; Martí-Guillén, J.M.; Pedreño, M.Á.; Almagro, L.; Sabater-Jara, A.B. Higher Plant-Derived Biostimulants: Mechanisms of Action and Their Role in Mitigating Plant Abiotic Stress. *Antioxidants* 2024, 13, 318. <https://doi.org/10.3390/antiox13030318>

Medrano-macías, J., Flores gallegos, A. C., Nava-Reyna, E., Morales, I., Tortella, G., Solis Gaona, S. & Benavides-Mendoza, A. (2023). Reactive Oxygen, nitrogen and sulfur species as a metabolic cluster for signaling and biostimulation of plants: An overview. *Plants*, 56(2), 10971–10983. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2023.10.793>

Melro, E., Filipe, A., Sousa, D., Medronho, B. & Romano, A. (2021). Revisiting lignin: A tour through its structural features, characterization methods and applications. *New*

- Journal of Chemistry*, 45(16), 6986–7013. <https://doi.org/10.1039/d0nj06234k>
- Mendoza, A. B. (2021). *Bioestimulantes agrícolas: importancia y definición*. *Bioestimulantes agrícolas: importancia y definición*. September. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21104.58889>
- Prinsen, P. (2013). *Caracterización química y estructural de lignina y lípidos de materiales lignocelulósicos de interés industrial*. 5–10. <https://idus.us.es/handle/11441/53549>
- Producto Condiciones edáficas y clima Usos*. (2016). 2016.
- Ram, D. (2010). How To Lettuce. *Ministry of Agriculture, Land and Marine Resources*, 10, 97.
- Ríos, J. J., Blasco, B., Cervilla, L. M., Rosales, M. A., Sanchez-Rodriguez, E., Romero, L. & Ruiz, J. M. (2009). Production and detoxification of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in lettuce plants exposed to selenium. *Annals of Applied Biology*, 154(1), 107–116. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2008.00276.x>
- Savy, D. & Cozzolino, V. (2022). Novel fertilising products from lignin and its derivatives to enhance plant development and increase the sustainability of crop production. *Journal of Cleaner Production*, 366(February), 132832. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132832>
- Tarqui Delgado, M., Rivera, R. C., Carlos, F., Herrera, M., Javier, J., Luna, Q., Terrazas, R. T. & Villalobos, S. G. (2017). Index of water stress of lettuce crop ( *Lactuca sativa* ), through infrared thermometry to different irrigation sheets. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, La Paz*, 4(1), 7–18.
- Ummah, M. S. (2019). No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title. *Sustainability (Switzerland)*, 11(1), 1–14. [http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484\\_SISTEM\\_PEMBETUNGAN\\_TERPUSAT\\_STRATEGI\\_MELESTARI](http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI)
- USER, A. (2009). *Curso De Morfología Vegetal*. 20–23.
- Wei, T., van Treuren, R., Liu, X., Zhang, Z., Chen, J., Liu, Y., Dong, S., Sun, P., Yang, T., Lan, T., Wang, X., Xiong, Z., Liu, Y., Wei, J., Lu, H., Han, S., Chen, J. C., Ni, X., Wang, J., ... Liu, H. (2021). Whole-genome resequencing of 445 *Lactuca* accessions reveals the domestication history of cultivated lettuce. *Nature Genetics*, 53(5), 752–760. <https://doi.org/10.1038/s41588-021-00831-0>
- Yakhin, O. I., Lubyantsev, A. A., Yakhin, I. A. & Brown, P. H. (2017). Biostimulants in plant science: A global perspective. *Frontiers in Plant Science*, 7(January). <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>
- Zagoskina, N. V., Zubova, M. Y., Nechaeva, T. L., Kazantseva, V. V., Goncharuk, E. A., Katanskaya, V. M., Baranova, E. N. & Aksenova, M. A. (2023). Polyphenols in Plants: Structure, Biosynthesis, Abiotic Stress Regulation, and Practical Applications (Review). *International Journal of Molecular Sciences*, 24(18). <https://doi.org/10.3390/ijms241813874>
- Zahedi, S. M., Abdelrahman, M., Hosseini, M. S., Hoveizeh, N. F. & Tran, L. S. P. (2019). Alleviation of the effect of salinity on growth and yield of strawberry by foliar spray of selenium-nanoparticles. *Environmental Pollution*, 253, 246–258. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.04.078>