

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE CIENCIAS SOCIOECONÓMICAS  
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACIÓN AGROPECUARIA



Obtención de Polímeros y Oligómeros de Lignina a Partir de Cáscaras de Nuez y su uso como Bioestimulante

Por:

**GABRIEL ALDAIR CERÓN RODRÍGUEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO ADMINISTRADOR**

Saltillo, Coahuila, México.

Junio, 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE CIENCIAS SOCIOECONÓMICAS  
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACIÓN AGROPECUARIA

Obtención de Polímeros y Oligómeros de Lignina a Partir de Cáscaras de Nuez y  
su uso como Bioestimulante

Por:

**GABRIEL ALDAIR CERÓN RODRIGUEZ**

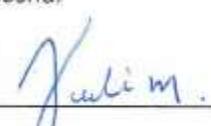
TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

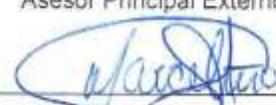
**INGENIERO AGRÓNOMO ADMINISTRADOR**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Adalberto Benavides Mendoza  
Asesor Principal Interno

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Julia Medrano Macias  
Asesor Principal Externo

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Susana González Morales  
Coasesor

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Marcelino Cabrera de la Fuente  
Coasesor

  
\_\_\_\_\_  
M.C. Rafael de la Rosa González  
Coordinador Interino de la División de Ciencias Socieconómicas



Saltillo, Coahuila, México  
Junio, 2023

## DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

El autor quien es el responsable directo, 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 bibliograficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, 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, sera perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaramos que este trabajo es original.

Pasante



Gabriel Aldair Cerón Rodríguez

Asesor principal



Dra. Juja Medrano Macías

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A Díos**

Por darme vida, paciencia y fuerza para poder cumplir uno de mis sueños y no dejarme sola en el proceso.

### **A mí Alma Terra Mater**

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Por convertirse en mi segunda casa en toda la etapa de mi carrera, por darme la oportunidad de conocer gente nueva y noble, gracias por llenarme de aprendizaje y por convertirme en alguien para mi futuro.

Una vez buitre, siempre buitre!

### **A mis asesores**

**Dra. Julia Medrano Marcias.** Por apoyarme ante cualquier situación de principio a fin, por aclararme mis dudas, por su gran compromiso y sobre todo gracias por ayudarme a crecer en lo personal con la realización del proyecto

**Dr. Adalberto Benavides Mendoza** Por sus consejos y enseñanzas  
Quien colaboró para la realización del presente trabajo

**Dr. Susana González Morales Fuente** Por la confianza brindada en la  
colaboración de este trabajo

**Dr. Marcelino Cabrera de la Fuente** Quien colaboró para la realización del  
presente trabajo

**Dra. Lydia Venecia Gutiérrez López** Quien colaboró siendo mi presidenta de jurado y mi tutora durante la carrera, y me brindó su de su apoyo y grandes consejos

## **DEDICATORIA**

### **A mí familia**

Sra. Rosa Hilda Rodríguez Cárcarmo

Sr. Gabriel Cerón Salazar

Gael Ayrton Cerón Rodríguez

Este trabajo se los dedico a mi familia ya que fueron los que me apoyaron en todo momento tanto economicamente como moralmente, gracias por creer en mi y sacrificarse conmigo para poder realizar este sueño que no solo era mio si no tambien de ustedes. Nunca voy a poder devolver todo lo que han hecho por mi, desde el fondo de mi corazón le doy las gracias a Dios por tenerlos en mi vida.

Los quiero, gracias.

### **A mis amigos**

A mis amigos que estan y estuvieron, quiero expresar mi más sincera gratitud por su apoyo, comprensión y ánimo durante esta etapa de mi vida, su presencia ha sido un regalo invaluable. Gracias por estar siempre a mi lado, por sus palabras de aliento y por todo momento inolvidable.

### **A mis abuelos**

Sra. Yolanda Salazar Basilio

Sra. Maria Estela Cárcamo Saavedra

Sr. Erasmo Cerón Gayoso

Sr. Dimas Rodríguez Cabañas †

Dedico esta tesis a estas cuatro personas queridas que significan todo para mí, aunque algunas ya no están en este mundo, sus recuerdos continúan en mi corazón.

Soy la persona más afortunada del mundo por teneros como abuelos. Gracias por su apoyo y ayuda.

### **A mis tios y primos**

Gracias por preocuparse por mi siempre aunque haya estado lejos, por siempre preguntarme como me va o como estoy, gracias por todas las aportaciones y atenciones que han tenido conmigo.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS.....	9
ÍNDICE DE FIGURAS.....	10
RESUMEN .....	11
ABSTRACT .....	13
I. INTRODUCCIÓN.....	15
II. JUSTIFICACIÓN .....	17
III. OBJETIVO GENERAL .....	17
3.1. Objetivos específicos .....	17
IV. HIPÓTESIS.....	17
V. ANTECEDENTES .....	18
5.1. Bioestimulantes del metabolismo vegetal.....	18
5.2. Clasificación de los bioestimulantes.....	20
5.2.1. Ácidos Húmicos y Fúlvicos .....	20
5.2.2. Extractos de algas marinas .....	21
5.2.3. Hidrolizados de proteínas y otros compuestos que contengan nitrógeno.....	21
5.2.4. Quitosan y otros biopolímeros .....	22
5.2.5. Elementos benéficos o compuestos inorgánicos .....	23
5.2.6. Hongos Benéficos .....	23
5.2.7. Bacterias benéficas.....	24
5.2.8. Residuos vegetales.....	25
5.3. Residuos agroindustriales de la nuez.....	25
5.4. Características fisico- químicas de la cáscara de nuez .....	28
5.5. Compuestos de polímeros de lignina y oligómeros de lignina como bioestimulantes en plantas.....	28
5.6. El cultivo de tomate.....	30
VI. METODOLOGÍA.....	31
6.1. PRODUCCIÓN DEL BIOESTIMULANTE .....	31
6.1.1. Recolección de los agro residuos .....	31
6.1.2. Pretratamiento Mecánico a la Cáscara de Nuez.....	31
6.1.3. Extracción de lignina de cáscara de nuez .....	31

6.1.4. Caracterización del extracto de lignina.....	32
<b>6.2. EFECTO BIOESTIMULANTE SOBRE EL CRECIMIENTO DE PLÁNTULA DE TÓMATE.....</b>	<b>34</b>
6.2.1. Proceso de Imbibición de Semilla (Método de Seed Priming) .....	34
6.2.2. Desarrollo de plántula de Tomate.....	34
6.2.3. Análisis estadístico.....	36
<b>VII. RESULTADOS.....</b>	<b>37</b>
7.1. Cuantificación de lignina total.....	37
7.2. Cuantificación de fenoles totales .....	37
7.3. Variables de crecimiento .....	38
<b>VIII. DISCUSIÓN.....</b>	<b>40</b>
<b>IX. CONCLUSIONES.....</b>	<b>41</b>
<b>X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>42</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Concentraciones para representación de curva de calibración.....	33
<b>Cuadro 2.</b> Concentraciones de la solución nutritiva (Steriner, 1961) .....	35
<b>Cuadro 3.</b> Matriz de correlación con las variables.....	38

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Características de los principales tipos de bioestimulantes vegetales.....	19
<b>Figura 2.</b> Comportamiento del área sembrado con nogal pecanero en los estados donde mayor producción se tiene en el periodo comprendido entre 1985 y 2015.....	26
<b>Figura 3.</b> Producción de nuez pecanera en los principales estados productores de nuez en el año 2021.....	27
<b>Figura 4.</b> Cuantificación de lignina total, expresada en % (p/p); 1) extracción química, 2) despolimerización de la lignina por pirólisis .....	37
<b>Figura 5.</b> Contenido de compuestos fenólicos, expresada en ppm, 1) extracción química, 2) despolimerización por pirolisis .....	37
<b>Figura 6.</b> Diagrama de variables.....	39
<b>Figura 7.</b> Diagrama de correlación de tratamientos con las variables.....	39
<b>Figura 8.</b> Cáscara de nuez molida finamente.....	46
<b>Figura 9.</b> Hidróxido de sodio al 18%.....	46
<b>Figura 10.</b> Mezcla alcalina de cáscara de nuez junto con el NaOH al 18%.....	47
<b>Figura 11.</b> Extracto de lignina derivado de la precipitación con ácido sulfúrico 6 N.....	47
<b>Figura 12.</b> Cuantificación de lignina total.....	48
<b>Figura 13.</b> Lignina despolimerizada por medio de pirolisis catalítica.....	48
<b>Figura 14.</b> Semilla de tomate variedad Floradade.....	49
<b>Figura 15.</b> Imbibición de semilla por Seed Priming.....	49
<b>Figura 16.</b> Siembra de semilla en charola.....	50
<b>Figura 17.</b> Crecimiento de plántula de tomate tratada con polímeros y oligómeros de lignina.....	50

## RESUMEN

La bioestimulación consiste en el uso de sustancias potencialmente benéficas que ayuden a mejorar los procesos metabólicos y fisiológicos de las plantas.

Los desechos agro industriales son una fuente de biomasa y de metabolitos cuya utilización y valor potencial ha ido creciendo de forma. Es por ello, que se buscan soluciones económicamente y ecológicamente factibles para su aprovechamiento y valorización, basándose en las propiedades de cada material estos se pudieran transformar en compuestos bioestimulantes.

Dentro de México el mercado de la nuez pecanera es una de las actividades fuertes en la generación de desechos, ya que del 100% de la producción total solo se aprovechan el 50%, mientras que el otro porcentaje representan todos los residuos vegetales generados.

Desde el punto de vista químico la nuez, y en específico la cascarilla, se integra principalmente de lignocelulósicos; como la celulosa, hemicelulosa y lignina.

El Tomate es una de las hortalizas más importantes en la industria global, podemos integrar el problema de los desechos agroindustriales, y buscar sus beneficios dentro del mercado nacional para poder transformarlos en bioestimulantes que mejoren la calidad y productividad en los cultivos de tomate o distintas hortalizas.

El objetivo de este trabajo fue obtener extractos ricos en lignina y probar su efecto bioestimulante en el crecimiento de plántulas de tomate. Para cumplir con el objetivo se produjeron dos bioestimulantes distintos, polímeros de Lignina y oligómeros de lignina, para la transformación del extracto se emplearon métodos químicos en su extracción y despolimerización, empleando una pirolisis catalítica. Los extractos se caracterizaron cuantificando la lignina total y los compuestos fenólicos totales, antes y después de la despolimerización. En el análisis de lignina se encontró un 5.38% previo a la pirolisis y 0.76% un posterior a la incisión de la molécula; las pruebas de fenoles mostraron concentraciones de 500 ppm y 14 ppm antes y después de la pirolisis.

Posteriormente, se prepararon los tratamientos de polímeros de lignina y oligómeros de lignina; utilizando dos concentraciones distintas una de 5 ppm y 10 ppm.

La aplicación de los tratamientos se realizó por medio de imbibición utilizando el método de seed priming, se usaron 25 semillas en cada tratamiento, dejándolas sumergidas por un tiempo de 24 horas. Posterior a ese tiempo, las semillas fueron sembradas en una charola de poliestireno de 200 cavidades con sustrato y perlita en una proporción 1:1; los tratamientos estuvieron distribuidos en un diseño completamente al azar con 10 repeticiones, cada repetición con dos semillas cada una. El transplante se realizó en macetas de medio litro, 30 días posteriores a la siembra bajo un invernadero tipo capilla de baja tecnología; para la fertilización, las plantas fueron regadas con 50 ml de solución Steiner al 20% diariamente de forma manual con un pH de 6.3 y una conductividad eléctrica de 2 dS/m

El muestreo fue realizado 44 días posteriores al transplante de forma completamente aleatoria, donde se evaluaron las variables agronómicas de: número de hojas y folíolos, altura y diámetro de tallo, biomasa fresca y seca de hoja, tallo, raíz, y total. El tratamiento estadístico fue realizado mediante un análisis multivariado de componentes principales, observándose una correlación positiva entre la biomasa de las hojas, raíz y biomasa total con los tratamientos de lignina 5 ppm, lignina 10 ppm y oligos 5 ppm evidenciando un efecto bioestimulante sobre la biomasa vegetal.

**Palabras clave:** despolimerización, lignocelulósicos, pirólisis

## ABSTRACT

Biostimulation consists of the use of potentially beneficial substances that help improve the metabolic and physiological processes of plants.

Agro-industrial waste is a source of biomass and metabolites whose use and potential value has been growing steadily. For this reason, economically and ecologically feasible solutions are sought for their use and recovery, based on the properties of each material, these could be transformed into biostimulant compounds.

Within Mexico, the pecan nut market is one of the strong activities in the generation of waste, since only 50% of 100% of the total production is used, while the other percentage represents all the vegetable waste generated.

From the chemical point of view, the walnut, and specifically the husk, is mainly made up of lignocellulosics; such as cellulose, hemicellulose and lignin.

The tomato is one of the most important vegetables in the global industry, we can integrate the problem of agro-industrial waste, and seek its benefits within the national market to be able to transform them into biostimulants that improve the quality and productivity of tomato crops or different vegetables.

The objective of this work was to obtain extracts rich in lignin and test their biostimulating effect on the growth of tomato seedlings. To meet the objective, two different biostimulants were produced, lignin polymers and lignin oligomers, for the transformation of the extract, chemical methods were used in its extraction and depolymerization, using catalytic pyrolysis. The extracts were characterized by quantifying total lignin and total phenolic compounds, before and after depolymerization. In the lignin analysis, 5.38% was found prior to pyrolysis and 0.76% after the incision of the molecule; phenol tests showed concentrations of 500 ppm and 14 ppm before and after pyrolysis.

Subsequently, the lignin polymer and lignin oligomer treatments were prepared; using two different concentrations one of 5 ppm and 10 ppm.

The application of the treatments was carried out by means of imbibition using the seed priming method, 25 seeds were used in each treatment, leaving them submerged for a period of 24

hours. After that time, the seeds were sown in a 200-cavity polystyrene tray with substrate and perlite in a 1:1 ratio; The treatments were distributed in a completely randomized design with 10 repetitions, each repetition with two seeds each. The transplant was carried out in half-liter pots, 30 days after sowing under a low-tech greenhouse type chapel; For fertilization, the plants were irrigated with 50 ml of 20% Steiner solution daily manually with a pH of 6.3 and an electrical conductivity of 2 dS/m.

The sampling was carried out 44 days after the transplant in a completely random manner, where the agronomic variables of: number of leaves and leaflets, stem height and diameter, fresh and dry leaf, stem, root, and total biomass were evaluated. The statistical treatment was carried out by means of a multivariate analysis of principal components, observing a positive correlation between the biomass of the leaves, root and total biomass with the treatments of lignin 5 ppm, lignin 10 ppm and oligos 5 ppm evidencing a biostimulating effect on the biomass. vegetable.

**Keywords:** depolymerization, lignocellulosic, pyrolysis

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad los bioestimulantes han generado gran importancia, al ser alternativas innovadoras y benéficas con los ecosistemas, ayudando a disminuir el uso de productos químicos, ya que no solo son amigables con el ambiente si no también mejoran la producción, calidad y protección de los cultivos agrícolas (Lengai & Muthomi, 2018).

La terminología de bioestimulante hace referencia a toda sustancia de origen biológico, que, a pesar de no ser nutriente, actúa positivamente sobre los procesos fisiológicos de las plantas o como mejorador del suelo (Du jardín, 2015)

Los agroresiduos generados por el sector agrícola, son las partes del cultivo que no se aprovechan y solo se acumulan, generando un aumento en la contaminación.

En este caso, los agroresiduos representan una nueva fuente por estudiar, ya que gracias a su alto contenido proteico confieren una alta capacidad de desnaturalización, para su transformación en sustancias que generen un beneficio para los cultivos (Ertani, Francioso, & Nardi, 2017).

Estos desechos al ser de origen biológico contienen compuestos de interés económico y agroecológico, como antioxidantes, proteínas, grasas saludables, compuestos fenólicos, celulosa, lignina entre otros bioactivos; los cuales tienen potenciales aplicaciones (Bustamante Puel, 2020).

La producción de nuez pecanera en México es una de las actividades que generan mayor cantidad de agroresiduos, tan solo la cáscara representa entre un 40%-50% del desecho total (Olivas Tarango et al., 2019), según la literatura, la cáscara contiene un porcentaje de lignina entre 18%-35% (de Prá Andrade, Piazza, & Poletto, 2021).

La cáscara de nuez contiene una gran cantidad de fibras vegetales integrada por la hemicelulosa, celulosa y la lignina entre otros bioactivos, como compuestos fenólicos que desde la perspectiva bioquímica pudieran ser tratados para su transformación (Flores Córdova & Sánchez Chávez, 2016).

La lignina es un polímero conformado por 3 monómeros básicos: alcohol cumarílico, coniferílico y sinapílico (Agustin-Salazar et al., 2018). Según la literatura se encuentra integrada por grupos polioles que generan reacciones de sustitución electrofílica (Chávez-Sifontes & Domine, 2013).

Con base a estudios se ha analizado la posible función de este polímero como fuente de energía en el sector agrícola por ser un acarreador y liberador controlado de macronutrientes y fertilizantes basados en lignina (Chio, Sain, & Qin, 2019). Además efectúa un efecto positivo en el metabolismo vegetal de las plantas y ayuda a combatir las condiciones de estrés en los cultivos. La aplicación de lignina acomplejada con iones ha demostrado generar un impacto en la proteómica, incrementando el contenido de clorofila, así como las concentraciones de azúcares y proteínas (Savy & Cozzolino, 2022).

El tomate (*Solanum lycopersicum* L) pertenece a la familia *Solanaceae*, es una planta dicotiledónea y herbácea perenne que se cultiva de forma anual para el consumo de sus frutos. Es un cultivo con gran valor nutraceútico, que debido a que su producción bajo sistemas intensivos, suelen aplicarse de manera desmedida múltiples agroquímicos nocivos para los ecosistemas y salud humana (Martínez-Ruiz et al., 2016).

Por ello el propósito de este estudio fue la extracción y clasificación para la aplicación de extractos crudos mediante técnicas innovadoras para su transformación en sustancias benéficas, que sean fácilmente aplicadas mediante tratamientos solubles; determinando así el efecto bioestimulante de los polímeros y oligómeros de Lignina sobre el crecimiento vegetal de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum*) de la variedad floradade bajo invernadero

## **II. JUSTIFICACIÓN**

Conseguir un mayor valor agregado a los agros residuos desechados en la zona, y aprovechamiento para generar moléculas con interés para el crecimiento de cultivos.

## **III. OBJETIVO GENERAL**

Obtener lignina y oligómeros de lignina a partir de cáscara de nuez, y probar su efecto bioestimulante sobre el crecimiento de plántulas de tomate.

### **3.1. Objetivos específicos**

- 1- Gestionar con productores regionales la cáscara de nuez.
- 2- Obtención y caracterización de polímeros de lignina extraídos de la cáscara de la nuez.
- 3- Obtención y caracterización de los oligómeros de lignina obtenidos por pirólisis
- 4- Evaluar el efecto bioestimulante del polímero sobre el crecimiento de plántula de tomate.
- 5- Probar el efecto bioestimulante de los oligómeros sobre el crecimiento de plántula de tomate.

## **IV. HIPÓTESIS**

Los polímeros de lignina y/o los oligómeros de lignina obtenidos de las cáscaras de nuez, evidenciarán efecto bioestimulante sobre el crecimiento de plántulas de tomate.

## V. ANTECEDENTES

### 5.1. Bioestimulantes del metabolismo vegetal

El uso de bioestimulantes en la agricultura ha sido una práctica cada vez más eficiente para enfrentarnos ante problemas que impidan el desarrollo óptimo de los cultivos, ocasionados por modificaciones al medio ambiente. Siendo un atractivo comercio en donde las ganancias sobrepasan los \$2 mil millones de venta (Brown & Saa, 2015).

Para comprender el estudio de los bioestimulante es importante tener una definición concisa, distintos especialistas que abordaron el tema desarrollaron propios conceptos de acuerdo a su justificación experimental; uno de los autores que le dio una mayor claridad, Patrick du Jardin, habla de un producto de origen natural o microorganismo, empleado con el fin de mejorar aspectos fisiológicos en la planta, potenciar la eficiencia nutricional, brindar una mayor tolerancia al estrés abiótico, optimizar la calidad del cultivo, independientemente de contener nutrientes minerales (du Jardin, 2015). Una publicación del año 2017 realizada por Yakhin con asociados, nos mencionan la formulación de un producto natural con potencial de mejorar la productividad de cada planta, resultado de las propiedades nuevas del complejo constituyente, independientemente de contar con nutrientes vegetales; está definición concuerda con el uso del principio de la función biológica del bioestimulante, donde contamos con una mezcla de moléculas que al ser aplicadas impactan positivamente en la calidad e inocuidad para la planta (Yakhin et al., 2017).

En la última década se han creado asociaciones con el fin de darle una regulación y legalidad al término, por ejemplo en Europa, el Consejo Europeo de la Industria de Bioestimulantes (EBIC) nos define el concepto como sustancias y/o microorganismos con la función de beneficiar/potenciar los procesos metabólicos de las plantas cuando estos se aplican directamente a la planta o a la rizosfera, ayudando a la absorción y asimilación de nutrientes, la tolerancia al estrés abiótico y calidad del cultivo (Brown & Saa, 2015). Otro organismo regulador en America del Norte nos define a los bioestimulantes como sustancias y microorganismos aplicables a la planta, semilla, suelo o algún diferente medio de cultivo que propicie incrementar la asimilación de nutrientes aplicados y adoptar beneficios fisiológicos a la planta, sin cumplir con la responsabilidad de dar un aporte nutrimental (Calvo, Nelson, & Kloepper, 2014).

En el presente, una de las clasificaciones más explícitas que podemos encontrar, son los trabajos realizados por Patrick du Jardin, a partir de fundamentos científicos considera una clasificación de 8 categorías, siendo meticuloso al momento de describir la acción de microorganismos, así como propone que dentro de los bioestimulantes podemos clasificar a los biofertilizantes como una subcategoría de ellos (Yakhin et al., 2017). Ciertamente, que hoy en día, el conocimiento que teníamos en décadas pasadas sobre los bioestimulantes ha evolucionado constantemente, llevando a la tarea de reunir conceptos analíticos para la formación de una clasificación más congruente, ver figura 3.

Bioestimulante	Efecto en la planta o suelo	Compuestos actuantes
<b>Ácidos húmicos y fúlvicos</b>	Regula la actividad celular, generan cambios metabólicos, modifican la expresión de genes.	Proteínas, carbohidratos, biopolímeros alifáticos y lignina
<b>Extractos de algas marinas</b>	Mejoran las características físico-químicas del suelo, aportan propiedades anti fúngicas, producen metabolitos secundarios	Fitohormonas, compuestos antioxidantes, vitaminas, aminoácidos, proteínas y minerales
<b>Hidrolizados de proteínas y otros compuestos que contengan nitrógeno</b>	Mejoras en la calidad de la cosecha, cuajado de los granos-futos, y aumento en el número de brotes y raíces.	Compuestos proteicos, aminoácidos, péptidos y polipéptidos
<b>Quitosan y otros biopolímeros</b>	Usado contra la tolerancia al estrés abiótico y como promotor de la germinación, desarrollo y nutrición en la planta.	Quitosan
<b>Elementos benéficos o compuestos inorgánicos</b>	Fortalecen las paredes celulares, ayuda a la fijación del nitrógeno, aumentan la cantidad de clorofila, entre otros.	Al, Co, Na, Se, Si y I
<b>Hongos benéficos</b>	Promueven la absorción de nutrientes, aportan tolerancia a estrés hídrico, salino, fitopatológico y a metales pesados.	Hongos Micorrizas
<b>Bacterias benéficas</b>	Aumentan la biomasa y área radicular, promueven la producción de hormonas en la raíz.	Bacterias ( <i>Rhizobium</i> , <i>Azospirillum</i> , <i>Bacillus</i> , entre otras)
<b>Residuos vegetales</b>	Crecimiento, nutrición y tolerancia a estrés biótico o abiótico.	Antioxidantes, compuestos fenólicos

**Figura 1.** Características de los principales tipos de Bioestimulantes Vegetales

## **5.2. Clasificación de los bioestimulantes**

### **5.2.1. Ácidos Húmicos y Fúlvicos**

Las sustancias húmicas son el resultado de la descomposición de residuos vegetales, animales y derivados de la actividad metabólica de los microbios. Dentro de estas sustancias se plantea que existe tres clasificaciones de acuerdo a su solubilidad en función del pH: huminas, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos.

Las sustancias húmicas que se obtienen del suelo contienen proteínas, carbohidratos, biopolímeros alifáticos y lignina, componentes primordiales para el metabolismo de las plantas (Calvo et al., 2014) Estas generan un impacto directo dentro de la fisiología de la planta, involucrándose para la regulación de la actividad celular, cambios metabólicos, modificaciones en la expresión de genes, así como actividades hormonales (Amador, Guridi Izquierdo, & Padrón, 2018).

Químicamente, se puede decir que los ácidos fúlvicos se encuentran mayormente oxidados a comparación de los húmicos, dando a entender, que los fúlvicos están más polimerizados, y sus propiedades fisicoquímicas de varían de acuerdo al origen de cada una, estructurados como biopolímeros multifuncionales amorfos formados de componentes orgánicos, tienen la capacidad de quelatar y llevar cationes a la pared celular de la raíz para posteriormente asimilarlos, y transportar los nutrientes a través del xilema hacia las partes demandantes en la planta (López Salazar et al., 2014).

En un informe que recaba diversas investigaciones, nos habla sobre los efectos de las sustancias húmicas en la fisiología de la planta, frente a estrés hídrico, este tipo de productos inducían la actividad de la peroxidasa en hojas y raíces, lo que llevaba a una reducción del contenido de peróxido de hidrógeno, un mantenimiento de la permeabilidad de la membrana celular, y un aumento en la concentración de prolina, aminoácido relacionado con eventos de estrés, funcionando como osmolito en la permeabilidad de la membrana en la raíz, además de inhibir la peroxidación lipídica y estabilizador de proteínas (Calvo et al., 2014).

### **5.2.2. Extractos de algas marinas**

Los extractos son llevados a cabo usualmente de macroalgas rojas, verdes y marrones pertenecientes a los géneros *Ascophyllum*, *Fucus*, *Laminaria*. Este tipo de productos actúan en favor de los suelos y plantas, cumpliendo con múltiples beneficios, como la reestructuración en las características físico-químicas y biológicas del suelo, de igual forma generan un impacto en el desarrollo y crecimiento de la planta gracias a sus efectos hormonales; al igual que se informó que cuenta con propiedades antiestrés, derivado de compuestos antioxidantes o reguladores de genes endógenos que responden ante situaciones de estrés (du Jardin, 2015). No sólo por sus efectos bioestimulantes, también se le puede adjudicar propiedades antifúngicas.

En experimentos comprobados con semillas de garbanzo se utilizó pretratamientos de extractos de *Hypnea musciformis* (alga roja), *Padina tetrastromatica* (alga parda) y *Ulva lactulus* (algas verdes), logrando observar una resistencia antifúngica inducida por fitoalexinas identificadas. Además de producir metabolitos secundarios que se asocian a la resistencia frente a enfermedades en las partes aéreas de la planta (López Salazar et al., 2014). Se ha reportado que dentro de la gran diversidad molecular que los extractos de algas contienen resaltan las fitohormonas, los compuestos antioxidantes, vitaminas, aminoácidos, proteínas y minerales, esta última propiedad ha sido de ayuda como biofertilizante para los cultivos debido a su aporte de macro y micro nutrientes (López-Padrón et al., 2020).

### **5.2.3. Hidrolizados de proteínas y otros compuestos que contengan nitrógeno**

Los hidrolizados de proteínas se obtienen de desechos vegetales y de origen animal; estas mezclas están conformadas de compuestos proteícos, aminoácidos, péptidos y polipéptidos (Rai, Rai, & Sarma, 2021).

Dentro de una investigación donde se evaluó los rendimientos del cultivo de arroz producidos por la aplicación foliar de un bioestimulante a base de aminoácidos, lograron observar que distintas variables fisiológicas en las plantas se potenciaron, la aplicación se realizó con Franquer supra 0,8 L/ha + Sagastim 0,4 L/ha, compuesto de aminoácidos libres, logrando obtener un rendimiento en la producción de 6697,1 kg/ha, al igual que una mejora en la calidad de la cosecha, cuajado de los granos-futos, y aumento en el número de brotes y raíces (Martínez Jiménez, 2018).

En estudios recabados recientemente, se ha podido señalar que los hidrolizados de proteínas ayudan a facilitar la asimilación de nitrógeno estimulando el metabolismo del nitrógeno y carbono; de igual forma ayudan a estimular las defensas de las plantas e incrementar la tolerancia a estrés abiótico (salinidad, oxidación, temperatura, sequía); de sus funcionalidades contribuye a la disminución de toxicidad mineral, gracias a aminoácidos como la prolina que induce una tolerancia a estrés por metales pesados, para algunos aminoácidos (la asparagina, glutamina, cisteína) se identificaron efectos quelatantes para micronutrientes como Ni, Cu, As y Cd (Calvo et al., 2014); compuestos nitrogenados como la glicina, betaína y la prolina participan en las actividades antioxidantes del metabolismo de la planta eliminando los radicales libres que se presentan por las condiciones de estrés Ambiental (du Jardin, 2015).

#### **5.2.4. Quitosan y otros biopolímeros**

El quitosan es un biopolímero desacetilado de la quitina, usado en la agricultura para mejorar aspectos fisiológicos debido a la capacidad policatiónica para unirse a estructuras celulares; a través de los años su uso se ha centrado en la protección de las plantas contra fitopatógenos uniéndose a receptores específicos involucrados en la activación de genes de defensa con actividad parecida a la de los elicitores de defensa de las plantas (du Jardin, 2015). El quitosan también se ha utilizado ampliamente contra la tolerancia al estrés abiótico y como promotor de la germinación, desarrollo y nutrición de los cultivos, en una investigación se evaluó la repuesta de dos distintas variedades de tomate SEN y L-43 a la aplicación de un bioestimulante con quitosan por imbibición de semilla y vía foliar, los mejores resultados obtenidos se dieron al aplicar a las semillas dosis de 1 g/L y a inicio de la floración con dosis de 300 mg/ha estimulando los rendimientos en las variedades ESEN 60.9 mg/ha y 27 mg/ha en la variedad L-43, lo que representa un mayor incremento al tratamiento control con una diferencia entre 28.5 y 25% respectivamente cada uno (Rivas-García et al., 2021).

Dentro de otro estudio donde se midió el incremento en la emergencia, crecimiento y rendimiento en cultivo de tomate se evaluó el efecto de tres dosis de quitosano de 1, 2 y 3 g/L, mostrando que 2 g/L fue la que representó un impacto mayor en las características agronómicas evaluadas estimulando una mayor fructificación, peso y mayor rendimiento en

los frutos de tomate (Reyes-Pérez, Rivero-Herrada, García-Bustamante, Beltran-Morales, & Ruiz-Espinoza, 2021).

#### **5.2.5. Elementos benéficos o compuestos inorgánicos**

Uno de los grupos dentro de los bioestimulantes son los elementos benéficos no esenciales de origen mineral, contribuyen en el desarrollo de la planta sin ser considerados esenciales. En su informe du Jardin, 2015, señala que los principales elementos benéficos probados son el Al, Co, Na, Se, Si y I, estos minerales intervienen en el fortalecimiento de las paredes celulares o expresadas en estrés oxidativo moderado, lo que otorga la síntesis del arsenal de moléculas antioxidantes.

Adicionalmente cada elemento otorga beneficios en particular, ejemplo de esto es el cobalto, el cual es de suma importancia en leguminosas y en suelos pobres de nitrógeno, ya que está ligado a la nodulación y fijación del nitrógeno, el sodio para ciertas plantas es un elemento importante para el crecimiento rápido, otro de sus beneficios para ciertas plantas es el aumento en la expansión celular y un balance hídrico, en plantas del género *Astragalus* se reportó que el selenio contribuye a evitar intoxicaciones por una una absorción excesiva de fosfatos, para el silicio en plantas como el pepino se le atribuye la creciente rigidez de las hojas maduras, aumentando la cantidad de clorofila en hojas y reduce su senescencia, en la actividad nutricional previene la toxicidad causada por manganeso reorientándolo por los tejidos foliares, así como también cumple con la función de evitar pérdidas hídricas por transpiración cuticular (Rodríguez S. & Flóres R., 2004).

#### **5.2.6. Hongos Benéficos**

Algunos hongos tienen la facultad de formar asociaciones simbióticas con las raíces de plantas; estos se conocen como micorrizas, beneficiando a la planta a aumentar la absorción de nutrientes (macronutrientes y micronutrientes), pero también aportándole beneficios secundarios como la tolerancia a estrés hídrico, salino, fitopatológico y a metales pesados (Jaizme Vega & Rodríguez Romero, 2008). En el estado de arte actual es mencionado que estos microorganismos pueden generar simbiosis con cerca del 90% de plantas terrestres, además de brindar beneficios al inducir el crecimiento y la morfogénesis en órganos, algunos hongos han sido utilizados para analizar sus propiedades bioplaguicidas y biocontroladoras

(du Jardin, 2015). En una investigación reciente, emplearon tratamientos con hongos micorrízicos arbusculares, observándose un incremento significativo en las variables agronómicas medidas, contenido hídrico, superficie foliar, biomasa de la planta, número de frutos y masa promedio en frutos, en comparación con la muestra control, esto nos muestra el efecto bioestimulante para la tolerancia al estrés hídrico generado por los cambios en las altas temperaturas (Morales Guevara, Rodríguez Larramendi, Dell'Amico Rodríguez, Jerez Mompie, & Estrada Prado, 2018). Además de contribuir con la eficiencia nutricional, los hongos micorrízicos influyen en la estimulación de la biosíntesis de agregados fitoquímicos (polifenoles y carotenoides), cambios en el metabolismo secundario, facilidad en la absorción de P, nutriente de difícil asimilación para las plantas (Turrini, Avio, Giovannetti, & Agnolucci, 2018).

#### **5.2.7. Bacterias benéficas**

Existen diferentes géneros de bacterias como *Rhizobium*, *Azospirillum*, *Bacillus*, entre otras, que han mostrado capacidades bioestimuladoras, inhibiendo el estrés osmótico e iónico, modificando la composición de la pared celular, reteniendo mayor humedad en la rizosfera (Van Oosten, Pepe, De Pascale, Silletti, & Maggio, 2017). Se ha encontrado que las multifuncionalidades de los inóculos microbianos, estimulan el crecimiento y absorción de nutrientes, como la fijación de nitrógeno, quelatación de Fe, solubilización de nutrientes, producción de elementos orgánicos volátiles, al igual de mejoras en aspectos fisiológicos como aumentos en la biomasa radicular y en el área de la superficie radicular; un papel fundamental que juegan a nivel metabólico es la producción de reguladores de crecimiento, como las rizobacterias promotoras del crecimiento (PGPR) asociadas con las raíces, promueven la producción de los principales tipos de hormonas vegetales (Calvo et al., 2014). En un artículo revisado, se encontró que existen bacterias que sintetizan enzimas, como la ACC desaminasa, la cual juega un rol fundamental en la inhibición de los contenidos de etileno en las plantas y a incrementar las cantidades de amonio disponibles en el suelo para la raíz, esta función contribuye a la resistencia de ataques por fitopatógenos, como el caso de la bacteria *Pseudomonas brassicacearum*, el cual es un fitopatógeno. En suelos contaminados por el exceso de metales pesados, existen bacterias que promueven el crecimiento y desarrollo de plantas, por ejemplo es el caso de la bacteria *Enterobacter cloacae* que frente a

altas concentraciones de arsenato y níquel promueven el crecimiento vegetal (Esquivel Cote, Gavilanes Ruíz, Cruz Ortega, & Huante, 2013).

#### **5.2.8. Residuos vegetales**

En la actualidad el consumo masivo de minerales y combustibles no renovables ha generado la tarea de buscar fuentes alternativas de energía, en el caso específico de la agricultura, se manejan millones de toneladas de agroresiduos diariamente, y que fácilmente pudieran contribuir a generar una transición sustentables a bioenergías que sustituyan el uso de sales minerales (Ahmad et al., 2021).

La agroindustria es uno de los sectores que más genera residuos vegetales, correspondientes en su mayoría a las cosechas o podas, por ello, surge la importancia de buscarles un segundo aprovechamiento (Suarez Jacobo et al., 2016). Los desechos vegetales representan una nueva, y por lo tanto poco explorada clasificación de bioestimulantes, sus derivados son una rica fuente de compuestos bioactivos, antioxidantes y fenólicos, que pueden ser empleados por productores para ayudar a mejorar la calidad de sus cultivos, así como influir en las funciones fisiológicas de la planta (Ertani et al., 2017).

Gracias a su alto contenido proteico confieren una alta capacidad de desnaturalización a procesos de extracción, como la hidrólisis enzimática, la fermentación con microorganismos, hidrólisis química, o la fermentación sólida (compostaje) (Parrado Rubio, Bautista Palomas, & Romero Ramírez, 2006). De modo que, las investigaciones abordadas sobre el tema han sido meramente escasas, y hoy en día se busca que estos mecanismos se han empleados en la producción de bioestimulantes, ayudando a reducir la cantidad de residuos generados y los costos en los procesos sustentables, impactando de forma significativa a la planta, propiciándoles mejoras en el crecimiento, nutrición y tolerancia a estrés biótico o abiótico.

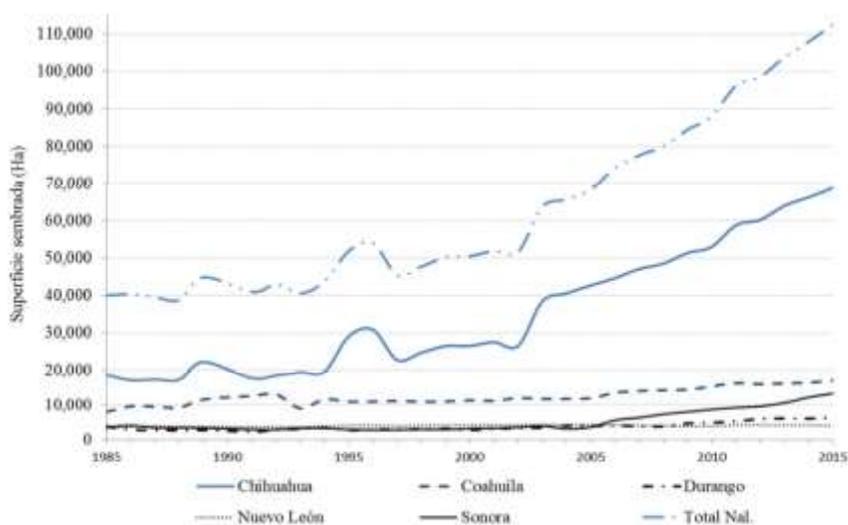
#### **5.3. Residuos agroindustriales de la nuez**

Dado a que en las últimas décadas el crecimiento poblacional ha sido exponencial, por lo que la producción de alimentos ha seguido esta misma tendencia, teniendo como consecuencia una acumulación de agroresiduos sin precedentes.

Aunado a esto, los agroresiduos no son desechados de manera adecuada, sumándose así al incremento en de la contaminación ambiental. Por lo anteriormente mencionado, es de suma importancia buscar alternativas eficientes de reutilización y buen manejo de residuos.

El nogal pecanero [*Carya illinoensis* (Wangenh) C. Koch] es originario del sur de Estados Unidos y norte de México (Gary 1973), por lo que debido a esta adaptabilidad climática y edafológica estos dos países son los principales productores de la nuez pecanera en el mundo.

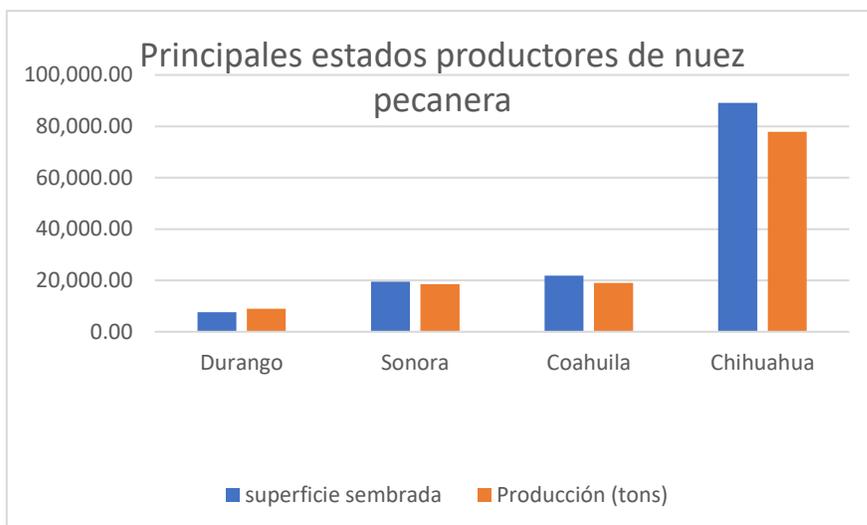
En México, los estados donde se lleva a cabo la mayor producción son Chihuahua, Coahuila, Durango, Sonora; y en los últimos 15 años la superficie sembrada ha incrementado un 80% llegando actualmente a las 146 000 hectáreas (ver Figura 2)



**Figura 2.** Comportamiento del área sembrado con nogal pecanero en los estados donde mayor producción se tiene en el priodod comprendido entre 1985 y 2015

Al incrementarse 2.8 veces el area sembrada en el País, se incremetó 3.7 veces la producción, llegando a cosechar más de 135 000 tons en el 2021 de acuerdo con la información proporcionada por el anuario estadístico de la producción agrícola, del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), ver Figura 3.

[http://infosiap.siap.gob.mx/agricola\\_siap\\_gb/identidad/index.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/agricola_siap_gb/identidad/index.jsp).



**Figura 3.** Producción de nuez pecanera en los principales estados productores de nuez en el año 2021.

Sin embargo, este cultivo genera una elevada cantidad de agro residuos, desechos leñosos de las distintas podas, restos del pericarpio llamados rueznos, y la cáscara, la cual representa entre un 40 y 50% del desecho generado (Suarez Jacobo et al., 2016), por lo que basándose en los datos previamente analizados solamente en el 2021 se generaron entre 54 y 67.5 toneladas de cascara residual.

Si bien, siguiendo la necesidad global de dar valor agregado a los subproductos vegetales y frutícolas para la reducción en el volume de contaminantes, las cáscaras de nuez, debido a sus propiedades fisicoquímicas; como lo es el alto contenido en fibras (celulosa, hemicelulosa y lignina) y compuestos polifenólicos con capacidad antioxidante, lo hacen un materia prima interesante con aplicación en la industria, farmacéutica, alimentaria, cosmética, materiales decorativos entre otras muchas sin explorar aún (Bustamante Puel, 2020).

Adicionalmente con el fin de potenciar el uso de este agroresiduo, se han desarrollado técnicas innovadoras para la obtención en conjunto o por separado de los compuestos bioactivos, como la extracción asistida por enzimas, con microondas, ultrasonido, extracción de solvents (Olivas Tarango et al., 2019) y así mejorar los rendimientos del proceso y calidad del extracto.

#### **5.4. Características físico- químicas de la cáscara de nuez**

La cáscara de nuez es un material lignocelulósico, lo que se traduce en que sus principales componentes estructurales son la holocelulosa en un intervalo reportado entre 45 y 50% (Do Prado, Aragão, Fett, & Block, 2009). La holocelulosa se refiere a una mezcla de polímeros, básicamente de celulosa y hemicelulosa (penstosas, hexosas y ácidos urónicos). La lignina reportada entre un 18 y 35% (de Prá Andrade et al., 2021), siendo este un polímero amorfo conformado por 3 monómeros básicos de fenil propanol, responsable de darle consistencia sólida a las maderas (Parodi Miranda, 2018). Finalmente, se ha reportado un contenido de cenizas de 0.93 a 2.49% (Loredo Medrano et al., 2016) y un 12.6% de extractivos, los cuáles se refiere a compuestos de bajo peso molecular como los fenólicos, flavonoides y taninos.

Estudios sobre fitoquímicos y nutrientes de la cáscara de nuez pecanera, señalan un contenido en proteínas de 2.2%, lípidos totales 1.1%, minerales 1.4%, fibra total 48.6%, carbohidratos 45.4%, fenoles totales entre 116 y 167 mg/g y taninos condensados entre 35 y 48 mg/g (Do Prado et al., 2009). Observándose que la cascarilla comprende cuatro veces más contenido fenólico que el de la almendra. Por otra parte, se midió la capacidad antioxidante, mostrando una disparidad significativa de cinco veces mayor contenido entre cáscara y almendra. En tanto a la medición mineral, la almendra concentró mayores elementos de potasio, magnesio, fósforo (180, 540, 110 mg/100g respectivamente) frente a la cáscara de la cual de obtuvieron bajas concentraciones (Flores Córdova & Sánchez Chávez, 2016).

#### **5.5. Compuestos de polímeros de lignina y oligómeros de lignina como bioestimulantes en plantas**

La lignina es un polímero fenólico con gran abundancia en la biomasa de las fibras vegetales del planeta; cuenta con una estructura molecular reticulada, conformada por un grupo de hidroxilos alifáticos (el grupo carboxilo, alcohol bencílico, y el grupo metoxil), integrado por grupos polioles reactivos ante distintas reacciones bioquímicas de despolimerización; además de tener propiedades de integración y liberación lenta propicias para la transformación de bioenergías. (Chio, Sain, & Qin, 2019). Por tales características químicas, esta molécula ha tenido un gran número de aplicaciones industriales, médicas y ambientales (Jardim, Hart, Lucia, & Jameel, 2020).

En la actualidad el consumo masivo de minerales y combustibles no renovables ha generado la tarea de buscar fuentes alternativas de energía, en el caso específico de la agricultura, se manejan millones de toneladas de agroresiduos diariamente, y que fácilmente pudieran contribuir a generar una transición sustentables a bioenergías que sustituyan el uso de sales minerales (Ahmad et al., 2021).

De manera reciente, la lignina acomplejada o sus moléculas fraccionadas han generado una creciente búsqueda de investigaciones con interés para el desarrollo y uso en la agronomía, con la aplicación de productos bioactivos que potencialicen los rendimientos, calidad, o resistencias a estrés de nuestros cultivos. Es el caso de Savy & Cozzolino, 2022 nos recaban información significativa donde emplearon ligninas alcalinas, derivadas de procesos de extracción alternos a cada una; generando un aumento en la biomasa aérea y volúmen radicular de plantas de frijol y maíz hidropónico.

El desarrollo tecnológico ha revelado ventajas únicas para la transformación de la lignina, atrayendo con si multiples investigaciones innovadoras que ayuden a la transformación de las materias residuales; una fuente de transición son los derivados de lignina extraida de material bioenergéticos como el caso de los residuos vegetales; publicaciones científicas mostraron el crecimiento de plántulas de maíz tratadas con lignina de caña (*Arundo donax*), observandose un efecto hormético con las concentraciones más bajas, generando cierta bioestimulación sobre el la biomasa fresca y seca de la plántula, así como la elongación de la radícula (Ertani et al., 2019).

Finalmente, las moléculas potencializadoras de lignina demuestran su eficiencia bioactividad dentro del metabolismo celular, mostrando un comportamiento similar al de una auxina, propiciando la adsorción de iones de  $K^+$  propicios para la expansión celular (Savy & Cozzolino, 2022).

## **5.6. El cultivo de tomate**

La producción intensiva del cultivo tomate es de gran importancia socioeconómica dentro de la agricultura global, es la hortaliza mayormente cultivada y consumida en el mundo (Mannino et al., 2020). Dentro del mercado nacional los mayores productores de tomate son Sinaloa, Baja California Sur, Sonora y Michoacán que contribuyen con el 77.5% de la producción total del país (SIAP, 2022)

La variedad Floradade se caracteriza por producir frutos de buen porte estético, con pesos en promedio de 300 gramos, su producción puede ser mediante sistema hidropónico o directamente al suelo, donde se desarrolla optimamente en suelos fértiles y ricos en materia orgánica (Benavides Sadaka, 2015).

La fisiología de la planta se puede describir por contar con hojas compuestas de gran tamaño, con tonos verdes, y crecimientos inderteminados; la semilla cuenta con forma ovalada de pequeño tamaño entre los 3.5 mm de longitud y está constituida por el embrión, endospermo y la testa. El embrión está integrado por la yema apical, dos cotiledones, hipocótilo y radícula (Martínez-Ruiz et al., 2016).

El tomate, una solanácea de suma importancia nutraceutica requiere las mayores condiciones optimas para la generación de vitaminas, pero debido a los cambios del ambiente, o el ataque de plagas, generan influencia negativa sobre los rendimientos y calidad, dejando la puerta abierta para la busqueda de compuestos bioenergeticos como los bioestimulantes que ayuden con la problemática (SIAP, 2022)

## **VI. METODOLOGÍA**

### **6.1. PRODUCCIÓN DEL BIOESTIMULANTE**

#### **6.1.1. Recolección de los agro residuos**

Para la recolecta del material vegetal, se seleccionó la zona del municipio de San Buenaventura, en el centro del estado de Coahuila. Dicha ciudad está ubicada en las coordenadas 101°32 '48" longitud oeste y 27°03 '45" latitud norte, a una altitud de 490 metros sobre el nivel del mar. En donde las cáscaras de nuez secas y sin rastro de descomposición, fueron tomadas directo de la huerta.

#### **6.1.2. Pretratamiento Mecánico a la Cáscara de Nuez**

Los trabajos experimentales se llevaron a cabo en el Laboratorio de Fisiología Vegetal del Departamento de Horticultura, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila; iniciando con el proceso de macerado de la cáscara de nuez el día 16 de agosto del 2022, para lo cual se utilizó un mortero de porcelana, una licuadora y una cantidad suficiente de nuestro agro residuo, primeramente se trituraron las cáscaras de tamaño grande para así conseguir partículas más finas y pasarlas a moler a la licuadora, todo esto con la intención alcanzar 500 gr de polvo lo suficientemente fino; una vez lo obtenido, se colocó en charola de aluminio para meterlo a una estufa a una temperatura de 60°C durante 24 horas para sacar toda la humedad y llevar a peso constante.

#### **6.1.3. Extracción de lignina de cáscara de nuez**

La extracción de lignocelulósicos se llevó a cabo iniciando con un pretratamiento químico de Soda pulping. (Chávez-Sifontes & Domine, 2013). En donde se colocó una solución convencional caustica de NaOH a 18% a una proporción 1:10 con la cáscara de nuez macerada y seca, en un matraz de Erlenmeyer 100 g del agro residuo más 900 ml de la solución de NaOH, obteniendo una mezcla heterogénea que fue calentada a 170° C en una plancha de agitador magnético por un periodo de 90 min.

Esta mezcla fue llamada lignina alcalina; posteriormente fue purificada, por precipitación con ácido sulfúrico 6N en una proporción 1:5. El precipitado obtenido fue pasado mediante tamiz metálico y llevado a secado en una estufa por un tiempo de 48 hrs a una temperatura de 70° C para eliminarles su humedad.

#### **6.1.4. Caracterización del extracto de lignina**

##### *Cuantificación de lignina total (Determinación del número kappa)*

El porcentaje de deslignificación de la pulpa alcalina se determinó por medio de Número Kappa (K), método que teóricamente indica la cantidad de lignina resultante del proceso de cocción y degradación térmica, para la despolimerización de la lignina (Bonilla Argelia et al., 2015 C.E.)

Para las pruebas se necesitó 1 g de pulpa de la muestra seca, que se diluyó en 1 L de agua destilada con un agitador magnético, de la mezcla se tomaron 200 ml, a la cual se le agregó 50 ml de ácido sulfúrico a 4 N + 50 ml de permanganato de potasio a 0.1 N, para pasar a agitarse durante 5 min y posteriormente se agregaron 10 ml de yoduro de potasio. Titulando con una bureta con solución de tiosulfato de sodio al 0.1 N junto con 5 gotas de almidón, cuando el yodo se haya consumido totalmente desaparece la tonalidad azul producto del complejo yodo-almidón.

Se registraron los mililitros consumidos de permanganato de potasio 0.1 N que consumió la muestra (a); también se realizó una muestra testigo en blanco siguiendo el mismo procedimiento con la diferencia que solamente se utilizó agua destilada sin pulpa (b).

#### **CÁLCULO DE RESULTADOS:**

Fórmula

$$K = \frac{V * F(1)}{P}$$

Donde:

K= número de permanganato

F= titulación en blanco (1) constante

P= peso de la pulpa libre de humedad en gramos

V= volumen gastado de tiosulfato realmente consumidos por la muestra

$$V = \frac{((b-a)*N)}{P}$$

a = mililitros consumidos de Permanganato de Potasio 0.1N que consumió la muestra

b = mililitros consumidos por el Testigo Blanco

### *Cuantificación de compuestos fenólicos totales*

El contenido de fenoles totales del biológico se determinó por el método de Folin-Ciocalteu, diluyendo 100 mg de nuestro polvo en 1000 ml de agua, se colocó en tubos Eppendorf 50  $\mu$ L de nuestra solución de lignina, 200  $\mu$ L de reactivo Folin Ciocalteu, 500  $\mu$ L de carbonato de sodio al 20%, 5 ml de agua destilada, se colocaron las muestras en baño maría a 45° C por 30 min, posteriormente la muestra se sónico durante 60 segundos, se centrifugo a 13 500 rpm durante 10 min a una temperatura de 18° C, finalmente se leyó la absorbancia a 750 nm con una celdilla de plástico (se calibro con solución blanco).

### Curva de calibración

Se preparó una solución patrón de ácido gálico (100 ppm), disolviendo la solución a distintas concentraciones se realizó la curva de calibración con las siguientes concentraciones:

**Cuadro 1.** Concentraciones para representación de curva de calibración.

Concentración ácido gálico (ppm)	Absorbancia (750 nm)
10	0.067
25	0.073
50	0.095
75	0.117
100	0.136
200	0.211
300	0.286

Se obtuvieron las absorbancias de cada tratamiento. Los resultados muestran en unidades de (g /kg de biomasa seca).

### *Despolimerización de Lignina*

La lignina se trató mediante un mecanismo térmico, exponiendo la biomasa a altas temperaturas se efectuó la reacción de sus grupos de oxígenos logrando la escisión del polímero obteniendo productos de bajo peso molecular (Brebu & Vasile, 2010). Para generar la reacción endotérmica se pesó en un crisol 1 gr del material, llevándole al calor dentro de una mufla durante un lapso total de 30 min a una temperatura de 500° C y de aquí se obtuvieron los bioestimulantes.

## **6.2. EFECTO BIOESTIMULANTE SOBRE EL CRECIMIENTO DE PLÁNTULA DE TÓMATE**

### Ubicación del experimento

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.

### **6.2.1. Proceso de Imbibición de Semilla (Método de Seed Priming)**

Previo al inicio del experimento de campo se hizo la aplicación de los Bioestimulantes mediante la técnica de seed priming, tratamiento previo a la siembra que induce un estado fisiológico donde permite que las semillas germinen de manera más eficientemente (Lutts et al., 2016). Se prepararon 4 tratamientos distintos y un tratamiento control utilizando agua destilada; para los tratamientos se usaron dos concentraciones diferentes a 5 ppm y 10 ppm, se tomó un volumen significativo de cada solución donde se sumergieron 25 semillas durante 24 horas por separado utilizando vasos de plástico.

### **6.2.2. Desarrollo de plántula de Tomate**

Pasado el periodo de tratado las semillas se llevaron al invernadero para su siembra, fueron sembradas en charola de 200 cavidades de poliestireno con sustrato de Peat moss y perlita.

Los tratamientos estuvieron distribuidos en un diseño completamente al azar con 10 repeticiones, cada repetición con dos semillas cada una. Para un desarrollo óptimo, la charola se envolvió con una bolsa de plástico oscura, con el fin de propiciar el microclima adecuado para su germinación, realizando muestreos diarios cuidando el adecuado nivel de humedad del sustrato; en cuanto las plántulas hayan desarrollado sus primeras hojas verdaderas se prosiguió a su trasplante en macetas de medio litro; 20 días posteriores a la siembra se empezó con la nutrición de las plantas, utilizando la Solución Steiner se preparó una solución madre para 4 litros de la cual se regaba diariamente 50 ml a una concentración del 20% de manera manual con un pH de 6.3 y una conductividad eléctrica de 2 dS/m.

**Cuadro 2.** Concentraciones de la solución nutritiva (Steiner,1961).

<b>Nutrientes</b>	<b>Solución de Steiner</b>
<i>Macronutrientes</i>	<i>g/L</i>
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.135
Mg SO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	0.5
Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O	1.07
KNO <sub>3</sub>	0.3
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.4
<i>Micronutrientes</i>	<i>mg/L</i>
HBO <sub>3</sub>	55
MnSO <sub>4</sub>	0.7
ZnSO <sub>4</sub>	0.3
CuSO <sub>4</sub>	0.07
H <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub>	0.7
Quelato de Fe	3

#### Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar con cinco tratamientos de diez repeticiones cada uno.

## Muestreo

Se realizó un muestreo completamente al azar dos semanas posteriores al trasplante, donde de tomaron 5 repeticiones por tratamientos, una unidad experimental fue una plántula. De manera no destructiva se midió número de foliolos, la altura, el diámetro del tallo y el peso fresco. Finalmente, fue cuantificado el peso seco.

## VARIABLES EVALUADAS

- Altura

Se registró la distancia entre la base y la parte apical de la última hoja formada.

- Diámetro de tallo

Con la ayuda de un Vernier se tomó la medida del diámetro del tallo.

- Número de Folíolos

De acuerdo a la formación de hojas se contaron el número de folíolos formados en cada una.

- Número de Hojas

Se contaron el número total de hojas verdaderas formadas.

- Biomasa fresca y seca

Fueron tomados en balanza analítica, se registraron por separado parte foliar y raíz, para los pesos secos las muestras se colocaron por separado en papel estraza, fueron secadas dentro de una mufla por un periodo de 24 horas.

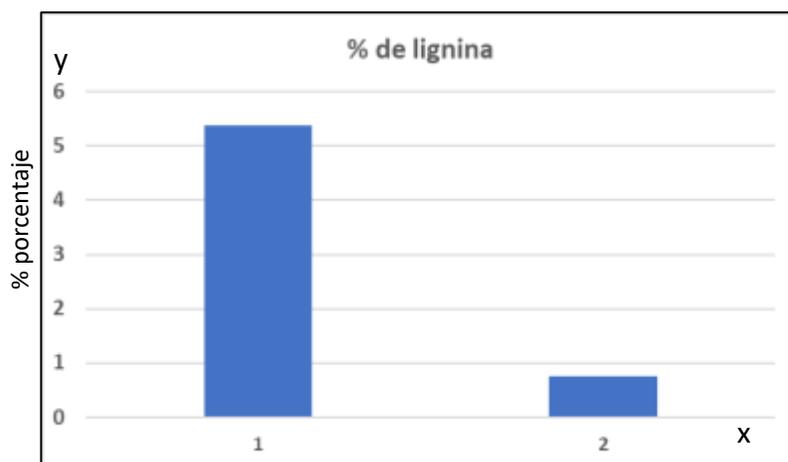
### 6.2.3. Análisis estadístico

Los datos obtenidos se corrieron en el paquete estadístico Infostat versión 2010, mediante un análisis multivariado no supervisado de componentes principales (ACP), el cuál estandariza los valores con el fin de reduce la dimensionalidad, remueve interrelaciones entre variables y organiza los datos en vectores.

## VII. RESULTADOS

### 7.1. Cuantificación de lignina total

Como se muestra en la Figura 4 la lignina cuantificada durante la extracción de la cáscara de nuez fue de 5.38%, mientras el contenido obtenido después de la pirólisis fue de 0.76%, los resultados se ven reflejados en % (g/100g)

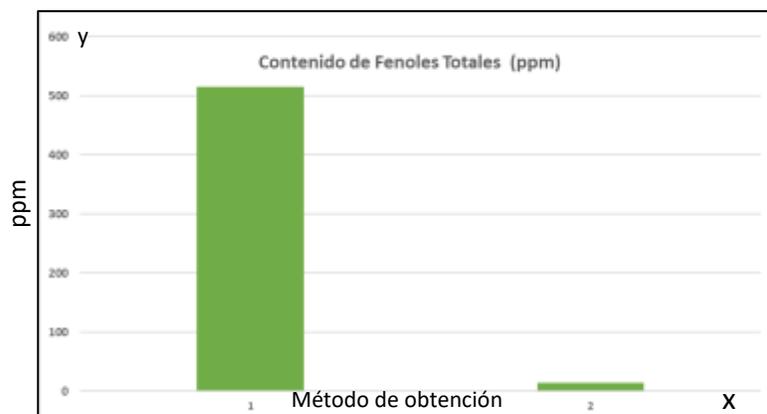


**Figura 4.** Cuantificación de lignina total, expresada en % (p/p); 1) extracción química, 2) despolimerización de la lignina por pirólisis

### 7.2. Cuantificación de fenoles totales

En base al diagrama de la Figura 5 se muestran el contenido de fenoles totales en la cáscara de nuez antes y después de la pirólisis.

Posterior a la extracción se encontraron 515.25 ppm, y posterior a la pirólisis 14 ppm.



**Figura 5.** Contenido de compuestos fenólicos, expresada en ppm, 1) extracción química, 2) despolimerización por pirólisis

### 7.3. Variables de crecimiento

Los tratamientos utilizados para el análisis de las variables en el crecimiento de la plántula son: Tratamiento 1 (Lignina 5 ppm), Tratamiento 2 (Lignina 10 ppm), Tratamiento 3 (Oligómeros 5 ppm), Tratamiento 4 (Oligómeros 10 ppm) y Tratamiento 5 (Testigo).

El análisis de componentes principales (PCA) permitió realizar estadística descriptiva que consistió en expresar las 12 variables de crecimiento vegetal, en un conjunto de combinaciones lineales de factores no correlacionados entre sí, además de que permite representar óptimamente en un espacio de dimensión pequeña, observaciones de un espacio general y por consiguiente la mejor interpretación de los datos en conjunto.

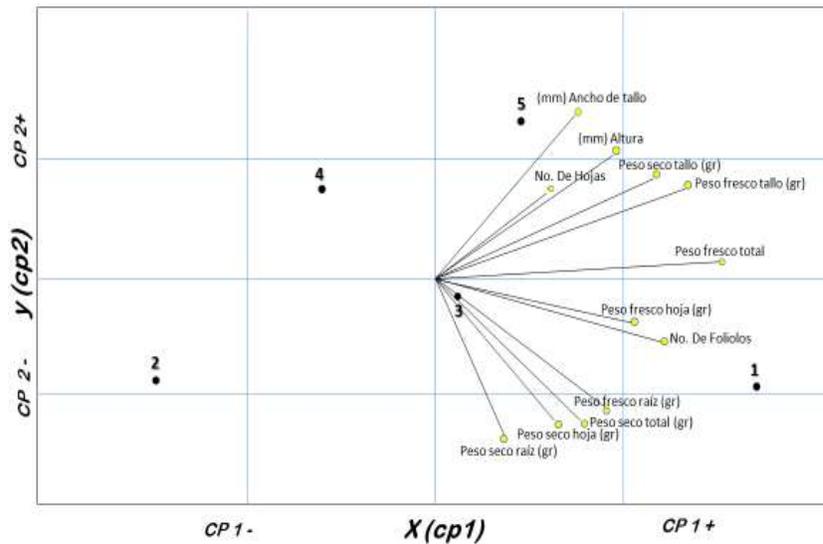
Para evaluar la relación entre las variables y los tratamientos, las primeras fueron estandarizados en dos componentes principales (PCA 1 Y PCA 2), los cuales explicaron más del 85% de la varianza, Figura 3.

Para caracterizar los componentes principales en base a las variables, se observa en el Cuadro 3 los valores de los vectores de cada componente principal y las correlaciones positivas con cada tratamiento, tomando en cuenta para dicha interpretación el valor de cada vector del CP, el signo de este y el posicionamiento en el el biplot.

**Cuadro 3.** Matriz de correlación con las variables

<b>Variable</b>	<b>cp 1</b>	<b>cp 2</b>	<b>Tratamiento</b>
<i>Altura de planta</i>	0.73	0.60	1 3 5
<i>Ancho de tallo</i>	0.60	0.79	4 5
<i>No. De hojas</i>	0.48	0.43	1 3 5
<i>No. De Foliolos</i>	0.85	-0.37	1 3 5
<i>Peso fresco de Hoja</i>	0.77	-0.27	1 3 5
<i>Peso fresco de Tallo</i>	0.88	0.45	1 3 5
<i>Peso fresco de Raiz</i>	0.69	-0.61	1 3 5
<i>Peso fresco Total</i>	0.95	0.08	1 3 5
<i>Peso seco de Hoja</i>	0.59	-0.70	2 3 1
<i>Peso seco de Tallo</i>	0.83	0.50	1 3 5
<i>Peso seco de Raiz</i>	0.29	-0.70	2 3 1
<i>Peso seco Total</i>	0.63	-0.70	2 3 1

**Figura 6.** Biplot de componentes principales, en donde se muestra el cuadrante en el cuál se encuentra cada variable y los tratamientos.



Estos resultados son representados gráficamente en el diagrama bi-plot. La proximidad de una variable a uno de los componentes implica precisamente una correlación importante con el componente.

Finalmente, una vez construido y caracterizado el plano factorial se procede a la representación de las unidades de observación, en nuestro caso las variables originales en dicho plano.

La Figura 6 muestra el posicionamiento de los tratamientos, y correlacionado con el valor del vector y el signo de este y de este modo se pudo observar que la Lignina en ambas concentraciones (5 ppm y 10 ppm), así como el oligómero a 5 ppm muestran una correlación positiva con las variables de peso seco total y el peso seco de hoja y raíz.

## VIII. DISCUSIÓN

Para lograr la incisión de la lignina del extracto crudo de la cáscara de nuez, en la actualidad existen una diversidad de métodos químicos, físicos, térmicos y biológicos, en donde cada uno cuenta con ventajas y desventajas. Con la finalidad de lograr un método económico, no contaminante y reproducible en el presente estudio se realizó un pretratamiento químico de Soda pulping (Chávez-Sifontes & Domine, 2013), la cuál diversos autores la definen como una técnica eficiente para fibras no maderables, consistió en someter el extracto a altas temperaturas y agregar una base fuerte, en este caso NaOH al 18% y una posterior precipitación con ácido sulfúrico al 6N.

El contenido de lignina total extraída por medio del método de Número Kappaen del presente trabajo fue de 5.38%, mientras que la literatura establece un rango de entre 40% y 50% (Loredo Medrano et al., 2016), estas diferencias podrían tener relación con los métodos de cuantificación, ya que diversos autores utilizaban métodos más innovadores como la espectrofotometría o quimioluminiscencia (Agustin-Salazar et al., 2018).

Dentro de la caracterización se cuantificaron los fenoles totales, en donde posterior a la extracción se encontraron 515.25 ppm, mientras que posterior a la pirólisis, para lograr una despolimerización de la lignina se encontró un contenido de 14 ppm, diversos autores mencionan que la lignina polimérica contiene una elevada capacidad antioxidante ante radicales libres en las células vegetales (De La Rosa, Alvarez-Parrilla, & Shahidi, 2011).

El crecimiento vegetal es una evidencia clara de la bioestimulación, este factor puede ser medido por diferentes variables de crecimiento, una significativa es la biomasa vegetal (Savy & Cozzolino, 2022). Mediante este estudio, las variables fueron analizadas estadísticamente, la altura de la planta, el diámetro de tallo, número de hojas y folíolos, peso fresco de hojas, tallo, raíz y total, así como el peso seco del tallo no se vieron afectadas positivamente por alguno de los tratamientos; sin embargo, los tratamientos que mostraron una relación positiva con el peso seco total y peso seco de hoja y tallo fueron los Tratamientos 1, 2 y 3 (Lignina 5 ppm y 10 ppm, Oligómeros 5 ppm). A través de estos resultados podemos demostrar la eficiencia de las fuentes innovadoras de energía para el sector hortícola, incitando a seguir con una línea de investigación para los lignocelulósicos y sus aplicaciones benéficas sobre el metabolismo vegetal (Ertani et al., 2019).

Aunque a la fecha existen pocas investigaciones acerca del uso de la lignina como bioestimulante vegetal, algunos de estos han establecido que parte de la explicación de su impacto sobre el metabolismo vegetal viene de la reactividad de los diferentes grupos funcionales de esta como lo hidroxilos aromáticos y alifáticos, lo que lleva a modificaciones sobre el metabolismo redox (Ahmad et al., 2021), otro estudio evidenció una posible mimetización de esta molécula con reguladores de crecimiento aromáticos como el ácido indol acético (Savy & Cozzolino, 2022).

Finalmente, no se descarta el uso de los monómeros de la lignina para la síntesis de moléculas de defensa, fotosíntesis y de la pared celular.

## **IX. CONCLUSIONES**

Se adquirieron residuos de cáscara de nuez dentro de la región, de los cuales se extrajeron los polímeros de lignina y su transformación en oligómeros mediante una despolimerización. La aplicación de lignina a 5 y 10 ppm, así como la de oligómeros a 5 ppm mediante seed priming evidenció una correlación positiva con el crecimiento de la biomasa vegetal.

## X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agustin-Salazar, S., Cerruti, P., Medina-Juárez, L. Á., Scarinzi, G., Malinconico, M., Soto-Valdez, H., & Gamez-Meza, N. (2018). Lignin and holocellulose from pecan nutshell as reinforcing fillers in poly (lactic acid) biocomposites. *International Journal of Biological Macromolecules*, *115*, 727–736. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.04.120>
- Ahmad, U. M., Ji, N., Li, H., Wu, Q., Song, C., Liu, Q., ... Lu, X. (2021). Can lignin be transformed into agrochemicals? Recent advances in the agricultural applications of lignin. *Industrial Crops and Products*, *170*. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113646>
- Amador, H. V., Guridi Izquierdo, F., & Padrón, V. V. (2018). LAS SUSTANCIAS HÚMICAS COMO BIOESTIMULANTES DE PLANTAS BAJO CONDICIONES DE ESTRÉS AMBIENTAL. *39*(Cultivos Tropicales), 102–109. Retrieved from <http://ediciones.inca.edu.cu>
- Benavides Sadaka, P. I. (2015). CAPACIDAD GERMINATIVA DEL GENOTIPO DE TOMATE FLORADADE (*Lycopersicon esculentum* MILL.) EN CONDICIONES DE ESTRÉS SALINO EN DIFERENTES FOTOPERIODOS. Universidad Estatal de Santa Elena , Ecuador .
- Bonilla Argelia, L., Vega Miriam Angelina, Q., Mendiola Roberto, C., Ocampo Martha Lucía, A., Aparicio Antonio Ruperto, J., & Díaz Brenda Hildeliza, C. (215 C.E.). *Análisis de la deslignificación de bagazo de agave por organosol*. Yautepec, Morelos, México.
- Brebu, M., & Vasile, C. (2010). THERMAL DEGRADATION OF LIGNIN-A REVIEW. In *CELLULOSE CHEMISTRY AND TECHNOLOGY Cellulose Chem. Technol* (Vol. 44).
- Brown, P., & Saa, S. (2015). Biostimulants in agriculture. *Frontiers in Plant Science*, *6*(AUG). <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00671>
- Bustamante Puel, D. (2020). *Desde el residuo: Al rescate de la cáscara de nuez*. Santiago.
- Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, *383*(1–2), 3–41. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>
- Chávez-Sifontes, M., & Domine, M. E. (2013). LIGNINA, ESTRUCTURA Y APLICACIONES: MÉTODOS DE DESPOLIMERIZACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE DERIVADOS AROMÁTICOS DE INTERÉS INDUSTRIAL LIGNIN, STRUCTURE AND APPLICATIONS: DEPOLYMERIZATION METHODS FOR OBTAINING AROMATIC DERIVATIVES OF INDUSTRIAL INTEREST. In *Av. cien. ing* (Vol. 4). Chávez-Sifontes & Domine. Retrieved from Chávez-Sifontes & Domine website: [http://www.exeedu.com/publishing.cl/av\\_cienc\\_ing/15](http://www.exeedu.com/publishing.cl/av_cienc_ing/15)
- Chio, C., Sain, M., & Qin, W. (2019, June 1). Lignin utilization: A review of lignin depolymerization from various aspects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 107, pp. 232–249. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.008>
- De La Rosa, L. A., Alvarez-Parrilla, E., & Shahidi, F. (2011). Phenolic compounds and antioxidant activity of kernels and shells of Mexican pecan (*Carya illinoensis*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *59*(1), 152–162. <https://doi.org/10.1021/jf1034306>
- de Prá Andrade, M., Piazza, D., & Poletto, M. (2021). Pecan nutshell: morphological, chemical and thermal characterization. *Journal of Materials Research and Technology*, *13*, 2229–2238. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.05.106>
- Do Prado, A. C. P., Aragão, A. M., Fett, R., & Block, J. M. (2009). Antioxidant properties of Pecan nut [*Carya illinoensis* (Wangenh.) C. Koch] shell infusion. *Grasas y Aceites*, *60*(4), 330–335. <https://doi.org/10.3989/gya.107708>

- du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- Ertani, A., Francioso, O., & Nardi, S. (2017). Mini review: Fruit residues as plant biostimulants for bio-based product recovery. *AIMS Agriculture and Food*, Vol. 2, pp. 251–257. AIMS Press. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2017.3.251>
- Ertani, A., Nardi, S., Francioso, O., Pizzeghello, D., Tinti, A., & Schiavon, M. (2019). Metabolite targeted analysis and physiological traits of zea mays L. In response to application of a leonardite-humate and lignosulfonate-based products for their evaluation as potential biostimulants. *Agronomy*, 9(8). <https://doi.org/10.3390/agronomy9080445>
- Esquivel Cote, R., Gavilanes Ruíz, M., Cruz Ortega, R., & Huante, P. (2013). IMPORTANCIA AGROBIOTECNOLÓGICA DE LA ENZIMA ACC DESAMINASA EN RIZOBACTERIAS, UNA REVISIÓN. *Revista de Fitotecnia Mexicana*, 36, 251–258.
- Flores Córdova, M. A., & Sánchez Chávez, E. (2016). Fitoquímicos y nutrientes en almendra y cáscara de nuez pecanera. Phytochemicals and nutrients in almond and pecan nut shell. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 18, 1–8.
- Jaizme Vega, M. del C., & Rodríguez Romero, A. S. (2008). INTEGRACIÓN DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS (HONGOS MICORRIZICOS Y BACTERIAS RIZOSFÉRICAS) EN AGROSISTEMAS DE LAS ISLAS CANARIAS.
- Jardim, J. M., Hart, P. W., Lucia, L., & Jameel, H. (2020). Insights into the potential of hardwood kraft lignin to be a green platform material for emergence of the biorefinery. *Polymers*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/polym12081795>
- Lengai, G. M. W., & Muthomi, J. W. (2018). Biopesticides and Their Role in Sustainable Agricultural Production. *Journal of Biosciences and Medicines*, 06(06), 7–41. <https://doi.org/10.4236/jbm.2018.66002>
- López Salazar, R., González Cervantes, G., Eustacio Vázquez Alvarado, R., Olivares Sáenz, E., Antonio Vidales Contreras, J., Carranza de la Rosa, R., & Ortega Escobar, M. (2014). Metodología para obtener ácidos húmicos y fulvicos y su caracterización mediante espectrofotometría infrarroja. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8, 1397–1407.
- López-Padrón, I., Martínez-González, L., Pérez-Domínguez, G., Reyes-Guerrero, Y., Núñez-Vázquez, M., & Cabrera-Rodríguez, J. A. (2020). Las algas y sus usos en la agricultura. Una visión actualizada. *Cultivos Tropicales*, 41(2), 10. Retrieved from <http://ediciones.inca.edu.cu>
- Loredo Medrano, J. A., Bustos Martínez, D., Rivera De la Rosa, J., Carrillo Pedraza, E. S., Flores-Escamilla, G. A., & Ciuta, S. (2016). Particle pyrolysis modeling and thermal characterization of pecan nutshell. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 126(2), 969–979. <https://doi.org/10.1007/s10973-016-5541-4>
- Lutts, S., Benincasa, P., Wojtyła, L., Kubala, S., Pace, R., Lechowska, K., ... Garnczarska, M. (2016). Seed Priming: New Comprehensive Approaches for an Old Empirical Technique. In *New Challenges in Seed Biology - Basic and Translational Research Driving Seed Technology*. InTech. <https://doi.org/10.5772/64420>
- Mannino, G., Campobenedetto, C., Vigliante, I., Contartese, V., Gentile, C., & Bertea, C. M. (2020). The application of a plant biostimulant based on seaweed and yeast extract improved tomato fruit development and quality. *Biomolecules*, 10(12), 1–19. <https://doi.org/10.3390/biom10121662>

- Martínez Jiménez, F. F. (2018). *Efecto de la aplicación de bioestimulantes foliare, sobre el rendimiento del cultivo de arroz (Oryza sativa L.), sembrado en seco*. Universidad Técnica de Babahoyo.
- Martínez-Ruiz, F. E., Cervantes-Díaz, L., Aíl-Catzím, C. E., Hernández-Montiel, L. G., Sánchez, C. L. D. T., & Rueda-Puente, E. O. (2016). Hongos Fitopatógenos Asociados Al Tomate (*Solanum Lycopersicum L.*) En La Zona Árida Del Noroeste De México: La Importancia De Su Diagnóstico. *European Scientific Journal, ESJ*, 12(18), 232. <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n18p232>
- Morales Guevara, D., Rodríguez Larramendi, L., Dell'Amico Rodríguez, J., Jerez Mompie, E., & Estrada Prado, W. (2018). EFECTO DE DOS BIOESTIMULANTES Y HONGOS MICORRÍZICOS EN PLANTAS DE TOMATE SEMBRADAS A ALTAS TEMPERATURAS. *Cultivos Tropicales*, 39, 41–48.
- Olivas Tarango, A. L., Rodríguez Peña, A. C., Cabrera Álvarez, E. N., Solís Obregón, E., Longoria Garza, G. A., García Fajardo, J. A., ... Tarango Rivero, S. H. (2019). *Agronomía sustentable y aprovechamiento alternativo de la nuez* (Primera ed; N. del C. Reyes Vázquez & J. L. Morales Landa, Eds.).
- Parodi Miranda, D. (2018). Material compuesto a partir del residuo cáscara de nuez *Juglans regia*. *Revista Chilena de Diseño, Rchd: Creación y Pensamiento*, 3(5), 1–13.
- Parrado Rubio, J., Bautista Palomas, J. D., & Romero Ramírez, E. J. (2006). *Method of obtaining biostimulants from agro-industrial residues*.
- Rai, N., Rai, S. P., & Sarma, B. K. (2021, November 22). Prospects for Abiotic Stress Tolerance in Crops Utilizing Phyto- and Bio-Stimulants. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, Vol. 5. Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.754853>
- Reyes-Pérez, J. J., Rivero-Herrada, M., García-Bustamante, E. L., Beltran-Morales, F. A., & Ruiz-Espinoza, F. H. (2021). Aplicación de quitosano incrementa la emergencia, crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum L.*) en condiciones de invernadero. *Biotecnia*, 22, 156–163. Retrieved from <http://biotecnia.unison.mx>
- Rivas-García, T., González-Gómez, L. G., Boicet-Fabré, T., Jiménez-Arteaga, M. C., Falcón-Rodríguez, A. B., & Terrero-Soler, J. C. (2021). Agronomic response of two tomato varieties (*Solanum lycopersicum L.*) to the application of the biostimulant whit chitosan. *Terra Latinoamericana*, 39. <https://doi.org/10.28940/TERRA.V39I0.796>
- Rodríguez S., M., & Flóres R., V. J. (2004). Elementos esenciales y beneficiosos. *Nociones Básicas Del Ferti-Riego*.
- Savy, D., & Cozzolino, V. (2022, September 15). Novel fertilising products from lignin and its derivatives to enhance plant development and increase the sustainability of crop production. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 366. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132832>
- SIAP. (2022). *Escenario mensual de productos agroalimentarios*. Retrieved from [www.gob.mx/siap](http://www.gob.mx/siap)
- Suarez Jacobo, A., García Fajardo, J. A., Urzua Esteva, E., Reyes Vazquez, N. del C., Obregón Solís, E., Cervantes Martínez, J., & Urrea López, R. (2016). *Retos y oportunidades para el aprovechamiento de la Nuez pecanera en México* (Primera ed; N. del C. Reyes Vazquez & R. Urrea López, Eds.). Guadalajara, Jalisco.

- Turrini, A., Avio, L., Giovannetti, M., & Agnolucci, M. (2018). Functional complementarity of arbuscular mycorrhizal fungi and associated microbiota: the challenge of translational research. *Frontiers in Plant Science*, *9*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01407>
- Van Oosten, M. J., Pepe, O., De Pascale, S., Silletti, S., & Maggio, A. (2017, December 1). The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, Vol. 4. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1186/s40538-017-0089-5>
- 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*, 1–32. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>

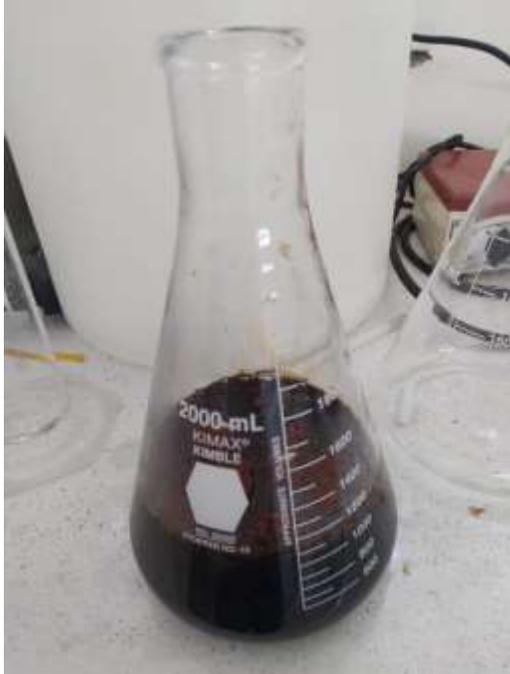
## ANEXOS



**Figura 8.** Cáscara de nuez molida finamente



**Figura 9.** Hidróxido de sodio al 18%



**Figura 10.** Mezcla alcalina de cáscara de nuez junto con el NaOH al 18%



**Figura 11.** Extracto de lignina derivado de la precipitación con ácido sulfúrico 6 N



**Figura 12.** Cuantificación de lignina total



**Figura 13.** Lignina despolimerizada por medio de pirolisis catalítica



Figura 14. Semilla de Tomate variedad Floradade



Figura 15. Imbibición de semilla por Seed Priming



**Figura 16.** Siembra de semilla en charola



**Figura 17.** Crecimiento de plántula de tomate tratada con Polimeros y Oligomeros de Lignina