

**Benemérita**  
**Universidad Autónoma de**  
**Puebla**



**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**COLEGIO DE INGENIERÍA EN**  
**ALIMENTOS**

**“Análisis elemental, estructural y morfológico de  
la planta de higuera (*Ricinus communis*)”**

**TESIS**

**Para obtener el Título de:**  
**Ingeniería en Alimentos**

**Presenta:**

**Krista Fabiola Candia Durán**

**Asesores:**

**Dr. Manuel Sánchez Cantú**  
**Dra. Juana Deisy Santamaría Juárez**

**SEPTIEMBRE 2025**



**BUAP**

Oficio No. FIQ/AC/079/2025  
Asunto: Registro de Tema de Tesis.

**C. KRISTA FABIOLA CANDIA DURÁN**  
PASANTE DE LA LICENCIATURA EN  
INGENIERÍA EN ALIMENTOS  
P R E S E N T E:

Por medio del presente me permito informarle, de la aprobación del Registro de Tema de Tesis de la Licenciatura en Ingeniería en Alimentos cuyo título es el siguiente:

**“Análisis elemental, estructural y morfológico de la planta de higuera (*Ricinus Communis*)”**

Con el siguiente contenido:

INTRODUCCIÓN

|            |                        |
|------------|------------------------|
| CAPÍTULO 1 | ANTECEDENTES           |
| CAPÍTULO 2 | METODOLOGÍA            |
| CAPÍTULO 3 | RESULTADOS Y DISCUSIÓN |

CONCLUSIONES  
BIBLIOGRAFÍA

Director de Tesis: Dr. Manuel Sánchez Cantú.  
Co-Directora de Tesis: Dra. Juana Deisy Santamaría Juárez.

Lo cual me permito comunicarle para su conocimiento y fines consiguientes aclarando que la vigencia de este tema será **UNICAMENTE POR UN AÑO A PARTIR DEL 17 DE ENERO DEL 2025.**

Atentamente

“Pensar Bien, Para Vivir Mejor”

H. Puebla de Z., a 12 de junio de 2025

**Dr. Rubén Jonatan Aranda García**  
Secretario Académico



C.c.p. Director de Tesis: Dr. Manuel Sánchez Cantú  
C.c.p. Co-Directora de Tesis: Dra. Juana Deisy Santamaría Juárez.  
C.c.p. Archivo.

Facultad  
de Ingeniería  
Química

Av. San Claudio s/n, Col. San  
Manuel, Ciudad Universitaria,  
Puebla, Pue. C.P. 72590  
01 (222) 229 55 00  
Exts. 7250 y 7251



**Autorización de Impresión de Tesis**

Ingeniería Química ( )

Ingeniería Ambiental ( )

Ingeniería en Alimentos (X)

Ingeniería en Materiales ( )

Matrícula: 201623551

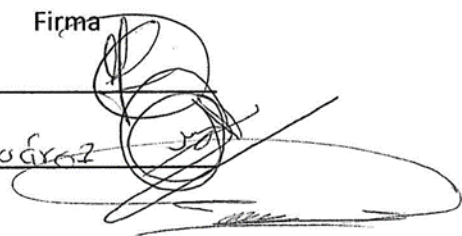

Al C. Sustentante Krista Fabiola Cardia Durán

De acuerdo a la **presentación y revisión** de la tesis:

Análisis elemental, estructural y morfológico de la  
planta de higuera (Ricinus Communis L.)

se aprueba la impresión y empastado de la misma.

**Jurado de examen profesional:**

Presidente: Dra. María Elena Ramos Casells Firma   
Secretario: Dr. Guillermo Santamaría Juárez  
Vocal: Dr. Manuel Sánchez Cantó  
Dra. Juana Daisy Santamaría Juárez 

Fecha de examen: \_\_\_\_\_

H. Puebla de Zaragoza a 27 de Junio de 2025.

## AGRADECIMIENTOS

La gratitud debe venir del corazón.

Quiero agradecerle a Dios por brindarme la fuerza para luchar por lo que me he propuesto. Nadie dijo que sería un camino fácil y, aunque no todo salió como lo esperaba, cada resultado valió la pena.

En este espacio, quiero resumir 12 años de mi vida marcados por agradecimientos, enojos, lágrimas y momentos felices. Ha sido un recorrido intenso, lleno de aprendizajes y crecimiento, me siento profundamente agradecida por todo lo vivido.

A mi papá, Ing. Juan Manuel Candia Curiel: gracias por todas tus enseñanzas, por darme las bases para distinguir entre lo que es correcto y lo incorrecto, por tu apoyo constante, incluso en la distancia. No solo has estado presente en mi formación académica, sino también en mis decisiones personales brindándome siempre un consejo, una perspectiva, una forma de mejorar. Gracias por soportar tantos golpes por tus hijos.

A mi mamá, Lic. Elbia Angélica Durán Cortés: gracias por tus consejos, por esas llamadas de tres horas todos los días, por tu apoyo incondicional tanto en lo académico como en lo personal. Me enseñaste que cuando uno tiene las ganas de vivir y de salir adelante, la vida se acomoda para darte un "sí" seguro.

A mi hermana, Ing. Angélica Karina Candia Durán: gracias por estar siempre, no solo quiero agradecer tu apoyo económico si no tu apoyo a mi estado emocional. Gracias por escucharme siempre, desde el comentario más simple hasta las noticias más importantes.

Agradezco a mi abuela Magdalena Curiel y a mi tío German Candia, por brindarme un espacio en su hogar, por no soltarme y preocuparse siempre por mi bienestar. Gracias por las comidas, las charlas en familia y por hacerme sentir acompañada en esta parte de mi vida.

Dicen que los amigos son la familia que uno elige y he tenido la fortuna de encontrar personas que se han convertido en parte esencial de todo este camino.

A mi amigo Jorge Bedolla y a su familia: gracias por abrirme las puertas de su vida, por el apoyo que me ofrecieron en momentos importantes, por extenderme la mano y por todos los momentos compartidos con afecto.

A mi amigo Rodrigo Tellezroa: gracias por tu infinita paciencia durante estos años de universidad, por apoyarme en clases, por esas largas conversaciones donde podía hablar sin parar y

siempre me escuchabas. Gracias por ese mes de mayo donde inicio nuestra tradición de ir a comer después de comprar el regalo de tu mamá. Gracias por ser mi mejor amigo.

Quiero agradecer a mi co-asesora de tesis la Dra. Juana Deisy Santamaría Juárez, por el apoyo y tiempo que me brindó durante mi formación universitaria. Su orientación fue fundamental en esta etapa.

Agradezco al Dr. Manuel Sánchez Cantú, mi asesor de tesis, por ayudarme a cerrar este capítulo de mi vida académica. Gracias por su paciencia, el tiempo dedicado a este proyecto y por enseñarme, entre otras cosas, que todo es cuestión de querer salir adelante... como llegar a la clase de las 7 am. Gracias por todo.

A mi novio, Diego Morales: no estuviste cuando este camino comenzó, pero quiero agradecerte por ser parte de este cierre. Gracias por confiar en mí, por alentarme cada vez que digo que ya no puedo. Gracias por recordarme que todo esto forma parte del proceso para alcanzar lo que deseo lograr.

Este camino no lo recorrí sola y eso es lo que este logro tenga aún más valor. Me llevo el aprendizaje, el cariño y la fuerza que me dieron para seguir adelante. A cada una de las personas que me acompañaron en este camino solo quiero decirles:

GRACIAS POR TODO.

## CONTENIDO

|  |    |
|--|----|
| AGRADECIMIENTOS .....  | 2  |
| RESUMEN.....   | 6  |
| OBJETIVO GENERAL .....   | 7  |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....   | 7  |
| HIPÓTESIS.....   | 7  |
| INTRODUCCIÓN.....  | 8  |
| CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES.....  | 9  |
| 1.1. PLANTA DE HIGUERILLA ( <i>RICINUS COMMUNIS L.</i> ).....                  | 10 |
| 1.1.1. TAXONOMÍA Y CLASIFICACIÓN BOTÁNICA.....                                 | 10 |
| 1.1.2. CARÁCTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS.....                                       | 11 |
| 1.2. REQUERIMIENTOS AGROECOLÓGICOS .....                                       | 12 |
| 1.3. APLICACIONES Y USOS DE LA PLANTA DE HIGUERILLA .....                      | 13 |
| 1.3.1. USOS DE LAS HOJAS Y TALLOS.....   | 13 |
| 1.3.2. USOS DE LA TORTA DE HIGUERILLA.....                                     | 14 |
| 1.3.3. USOS DE LAS SEMILLAS.....   | 14 |
| 1.4. RESIDUOS BIOMASICOS .....   | 15 |
| CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA .....  | 16 |
| 2.1. RECOLECCIÓN DE LA PLANTA DE HIGUERILLA.....                               | 17 |
| 2.2. DIVISIÓN DE LA MUESTRA.....   | 17 |
| 2.3. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.....  | 18 |
| 2.4. CARACTERIZACIÓN.....  | 18 |
| 2.4.1. ANÁLISIS ELEMENTAL.....   | 18 |
| 2.4.2. DIFRACCIÓN DE RAYOS X.....  | 18 |
| 2.4.3 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO .....                                 | 19 |
| CAPÍTULO 3: RESULTADOS.....  | 20 |
| 3.1. ANÁLISIS ELEMENTAL POR ESPECTROSCOPIA DE ENERGÍA .....<br>DISPERSIVA..... | 21 |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 3.1.1. | ANÁLISIS ELEMENTAL DE LAS HOJAS DE HIGUERILLA .....                            | 21 |
| 3.1.2. | ANÁLISIS ELEMENTAL DEL TALLO DE HIGUERILLA .....                               | 22 |
| 3.1.3. | ANÁLISIS ELEMENTAL DE LA RAÍZ DE HIGUERILLA.....                               | 22 |
| 3.1.4. | ANÁLISIS ELEMENTAL DEL SUELO. ....   | 23 |
| 3.2.   | ANÁLISIS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X .....                                       | 25 |
| 3.2.1. | HOJAS .....  | 25 |
| 3.2.2. | TALLO.....   | 26 |
| 3.2.3. | RAÍZ Y SUELO .....   | 27 |
| 3.3.   | ANÁLISIS MORFOLÓGICO POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE.....<br>BARRIDO (MEB)..... | 30 |
| 3.3.1. | HOJAS .....  | 30 |
| 3.3.2. | TALLO.....   | 31 |
| 3.3.3. | RAÍZ .....   | 32 |
| 3.3.4. | SUELO .....  | 34 |
| 3.4.   | PROPUESTAS DE USO .....  | 35 |
|        | CONCLUSIONES.....  | 36 |
|        | BIBLIOGRAFÍA.....  | 38 |

## RESUMEN

La presente tesis se enfoca en el estudio morfológico, estructural y elemental de diferentes partes de la planta de Higuierilla (*Ricinus Communis L.*), recolectada en la ciudad de Puebla, México. Con el objetivo de evaluar su potencial para aplicaciones de aprovechamiento, se seccionaron muestras de hojas, tallo y raíz, así como del suelo y se sometieron a análisis mediante espectroscopía elemental, difracción de rayos X (DRX) y caracterización morfológica por microscopía electrónica.

Los resultados del análisis elemental revelaron una composición predominantemente orgánica en la planta, con oxígeno y carbono como elementos mayoritarios, seguidos de silicio, potasio y calcio; así como silicio, aluminio, hierro, potasio y calcio. Por su parte, el suelo presentó una alta concentración de oxígeno y silicio, además de aluminio, hierro, calcio, sodio y potasio.

El análisis estructural por DRX evidenció que las hojas contienen principalmente celulosa en formas cristalina y amorfa, junto con hemicelulosas como xilano. En el tallo se observó una señal difusa, indicativa del predominio de materiales amorfos como lignina y hemicelulosas. En la raíz y el suelo, se identificaron fases amorfas y la presencia marcada de cuarzo; además, el carbonato de calcio fue más evidente en el suelo, aunque escasamente detectado en la raíz, posiblemente por su baja solubilidad.

En cuanto al análisis morfológico, las hojas mostraron superficies rugosas con porosidad moderada. El tallo exhibió una morfología asociada a tejidos maduros, con predominancia de vasos leñosos y fibras esclerenquimáticas, además de acumulaciones irregulares de sales minerales en su superficie. La raíz presentó una superficie altamente texturizada, con mayor acumulación superficial de compuestos de apariencia rugosa y granular en comparación con el resto de la planta. El análisis del suelo reveló una matriz heterogénea y altamente fragmentada, compuesta por partículas angulares y semirredondeadas de distintos tamaños.

Este conjunto de análisis aporta una comprensión integral de la composición, estructura y morfología de *Ricinus communis*, lo cual sustenta su viabilidad como materia prima vegetal en aplicaciones sostenibles basadas en biomasa lignocelulósica.

## **OBJETIVO GENERAL**

Caracterizar estructural y elementalmente las partes que conforman la planta de higuera (*Ricinus communis L.*).

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- i. Obtener la planta silvestre en la ciudad de Puebla.
- ii. Seccionar la planta para identificar cada una de las partes que la conforman en base a la bibliografía.
- iii. Analizar la planta de higuera (tallos, hojas y raíz) por Espectroscopia de Energía Dispersiva (EDS).
- iv. Caracterizar por difracción de rayos X (DRX) la planta de higuera (tallos, hojas y raíz).

## **HIPÓTESIS**

La caracterización elemental y estructural del tallo, hojas y raíz, permitirá conocer o descartar aplicaciones de estos residuos.

## INTRODUCCIÓN

La higuera (*Ricinus communis L.*) es una alternativa de elevado interés ambiental, económico y social en el área de alimentos por la extracción del aceite ricino, ampliamente utilizado como emulsionante, anti-glutinante y agente de volumen. Es una planta xerófila y heliófila, y por su capacidad de adaptación en ambientes áridos, es rentable y generadora de empleo en el sector agrícola. Entre otras de sus ventajas destaca su capacidad para sobrevivir en sitios altamente contaminados por ser una planta tolerante a los metales, así como su capacidad de acumulación de estos; por lo que presenta un gran potencial para la fitorremediación [1].

Según el Anuario Estadístico de la Producción Agrícola en el año 2022 los tres estados de nuestro país con mayor producción de higuera son Baja California, Nayarit y Sonora [2].

Al ser una planta oleaginosa, su principal producto es el aceite de ricino o de castor extraído de las semillas, del cual se puede obtener 700 productos industriales como aditivo alimentario (saborizante y conservador), pinturas, esmaltes, plásticos, fabricación de lubricantes, entre otros [3].

El aprovechamiento de la planta está limitado al uso de las semillas, ya que sus residuos representan un riesgo laboral para los trabajadores por su contenido de compuestos tóxicos y alergénicos como la ricina [4].

Esto conlleva a un deficiente aprovechamiento de las demás partes que la conforman (hojas, tallo y raíz), en cuanto a los servicios ecosistémicos que esta puede aportar como cultivo biorremediador, bio-insecticida, bio-herbicida, cultivo de asocio entre otros [1].

Sin embargo, existen inconvenientes para el aprovechamiento total de la planta de higuera, principalmente por la falta de bibliografía y la falta de conocimiento de sus principales componentes.

Por lo anterior, la forma correcta tanto de disposición como de una propuesta de uso va enfocada primero en conocer sus características fundamentales como lo son: las propiedades estructurales, las propiedades morfológicas y la composición química, entre otras.

# CAPÍTULO 1

## ANTECEDENTES

*“La belleza de las matemáticas solo se muestra a los seguidores más pacientes.”*

*Maryam Mirzakhani*



## 1.1. PLANTA DE HIGUERILLA (*RICINUS COMMUNIS* L.)

Es una planta oleaginosa cuyas principales características son su resistencia a la sequía y su adaptación a suelos erosionados, contaminados y de baja fertilidad [1]. Se le conoce con varios nombres, en español: higuerrilla; tártago: higuera del infierno, ricino, palma de cristo; en inglés: castor oil plant, castor vean; en alemán: kervabaum, wunderbaum, cristuspalme; en francés: grand ricin, palma-christi; en italiano: ricino [5].

Debido a la ignorancia sobre su importancia es considerada una maleza en muchos países. Niembro en 1990 describe el lugar donde vive la planta como ruderal, cubierto de maleza y ubicado a lo largo de ríos, en áreas cubiertas de bosques de encino y pino. Tiene algunos usos medicinales, pero también tiene un gran mercado de comercialización debido al contenido de aceite presente en la semilla [6].

Del cultivo mundial de higuerrilla hay sembradas 1.280.197 ha con un rendimiento promedio de 928 kg/ha<sup>-1</sup> y una producción de 1.191.443 t. El principal productor mundial es la India con 800.000 t, lo que equivale a cerca de 70% de la producción mundial, seguido de la China y Brasil con 268.000 y 176.000 t, respectivamente [7].

La industrialización de *Ricinus communis* produce toneladas de desechos sólidos al año, lo cual ha llevado a los cultivadores a buscar opciones para aprovechar los subproductos generados como las cáscaras del fruto, tallos, cascarilla de la semilla y la torta producto de la extracción del aceite, entre otros [1].

### 1.1.1. TAXONOMÍA Y CLASIFICACIÓN BOTÁNICA

Robles (1991) señala la siguiente clasificación taxonómica para la higuerrilla [8].

- Reino: *Plantae*.
- Subreino: *Traqueobionta* (plantas vasculares).
- Superdivisión: *Spermatophyta* (plantas con semillas).
- División: *Magnoliophyta* (plantas con flor).
- Clase: *Magnoliopsida* (dicotiledóneas).
- Subclase: *Rosidae*.
- Orden: *Malpighiales*.
- Familia: *Euphorbiaceae*.
- Subfamilia: *Acalyphoideae*.
- Género: *Ricinus*.
- Especie: *Communis*.

### 1.1.2. CARÁCTERÍSTICAS MORFÓLOGICAS

La higuera es una planta alógama, es decir, que tiene tendencia al cruzamiento entre plantas, por lo cual, su flor femenina puede ser fecundada por el polen de otra planta, la polinización es realizada principalmente por el viento, quien puede diseminarlo hasta una distancia de 2 km [8].

La forma de reproducción más común es por semillas, la higuera tiene un alto porcentaje de fecundación cruzada y está casi exclusivamente ocasionada por la acción del viento [8].

A continuación, se mencionan las características de la higuera:

- Raíz: Es pivotante y profunda, puede alcanzar hasta 3 metros de profundidad constituyéndose el anclaje principal, esta planta presenta raíces secundarias numerosas y oblicuas, situadas a poca profundidad [5,8].
- Tallo: La planta está dotada de un tallo principal recto seccionado por entrenudos, hueco, lo cual facilita su eliminación; su color depende de la variedad puede ser verde, rosado o caoba y tu tallo principal termina en el primer racimo, siendo este el más grande de la planta. A partir del cuarto nudo empiezan a parecer las ramas secundarias que producen a su vez ramas adicionales observándose en ambas producciones de racimos [5,8].
- Hojas: Lámina casi orbicular, de 10 a 60 cm de diámetro, peltada, profundamente palmatilobada, con 5 a 9 lóbulos, las divisiones ovado-oblongas a lanceoladas, agudas o acuminadas, borde irregularmente dentado-glanduloso; pecíolo tan largo o más largo que la lámina: glándulas nectíferas entre la lámina y el pecíolo. Alternas, dentadas, con nerviación palmatinervia, los pecíolos redondos de 8.0 a 50 cm de largo y de 10 a 20 cm de longitud; con dos glándulas nectaríferas en la unión con la lámina, dos glándulas en la unión con el pecíolo; la lámina de la hoja tiene 10 a 75 cm de diámetro y de un color que va de verde a rojo [5,8].
- Semillas: La semilla tiene una cubierta dura y quebradiza exterior y otra inferior muy fina de color blanquecino, ambas protegen la semilla, la cual consta de un embrión pequeño con sus dos cotiledones delgado y el albumen que es blando, compacto y aceitoso. Es de forma oval

aplastada, redondeadas en un extremo y con una excrecencia en otra llamada carúncula, de superficie brillante y lisa, de color variable que suele ser gris con manchas rojizas y parduscas de tamaño variable que va de 0.5 - 1.5cm de largo [5,8].

## 1.2. REQUERIMIENTOS AGROECOLÓGICOS

Para un cultivo comercial el desarrollo normal de la planta se consigue bajos los siguientes requerimientos:

- **Clima:** Esta planta tiene un área de dispersión muy amplia, se ha adaptado a climas tropicales húmedos, tropicales secos y también climas templados. Para cultivarse con fines comerciales se recomienda sembrarse en climas cálidos y secos con precipitación de 700 a 1200 mm anuales con baja humedad relativa [5].
- **Latitud:** Se le encuentra entre latitud de 0 hasta 50° de latitud norte y sur, latitudes más extremas van en desventaja para el buen desarrollo de la higuera por las temperaturas bajas que se puedan presentar [5].
- **Altitud:** Prospera desde el nivel del mar hasta 2400 msnm y es una condición que fluye en cuanto el periodo aprovechable para el desarrollo y la fructificación de la higuera por lo que conforme aumenta la altitud decrece el contenido de aceite en su semilla, la altitud de 0 a 1540 msnm se considera óptimo para este cultivo [5].
- **Temperatura:** Se le ha definido como una planta típicamente tropical y para obtener una buena producción debe de disponer de una temperatura media superior de 20°C durante su ciclo, si esta es inferior se incrementa el ciclo de cultivo y disminuye la producción de la semilla. La planta requiere de una gran luminosidad [5].
- **Humedad:** La necesidad de agua durante la etapa de crecimiento es de 600 a 1000 mm. Requiere una época seca después de la floración para la maduración del fruto. Cuando se establece el cultivo bajo condiciones de temporal las lluvias deben ser moderadas y bien distribuidas, abundantes en la etapa del desarrollo [5].
- **Suelo:** Prospera bien en terrenos de mediana y alta fertilidad, profundos, sueltos, permeables, aireados bien drenados, con altas cantidades de elementos nutritivos y con pH óptimo de 5.5 a 6.7 [5].

### 1.3. APLICACIONES Y USOS DE LA PLANTA DE HIGUERILLA

La planta tiene diversos usos, al menos 700 aplicaciones, entre ellas: tallos utilizados para fabricación de papel, pero las semillas son las más importantes económicamente, del cual se extrae el aceite de ricino o castor oil [9].

Se destacan las aplicaciones en la industria de los lubricantes, especialmente en la industria para aviones, jets y autos de carreras. También es de resaltar las aplicaciones en la industria de los tintes y pinturas en su acción como resina y recubrimiento. La industria electrónica se beneficia en la elaboración de resinas aislantes de baja conductividad. En la industria del plástico el aceite de ricino actúa como precursor de Nylon 11, adhesivo y plastificante. Otra industria es la cosmética, donde el aceite de higuera se usa como complemento para la fabricación de tónicos, champús y emulsificantes [11].

Según Jena et al. (2012), la planta de higuera además de tener un alto contenido de compuestos fenólicos como los flavonoides, estudios previos han demostrado que la higuera contiene otros fitoquímicos, por lo que se permite considerar a este cultivo como una planta medicinal que ayuda a preservar una vida saludable [16].

#### 1.3.1. USOS DE LAS HOJAS Y TALLOS

Zambrano, Buenaño, Mancera y Jiménez (2015) mencionan que el uso etnológico de la higuera en Ecuador es principalmente en baños calientes de infusión de la hoja para aminorar el dolor de huesos y músculos [13].

En los estados de Guerrero, Veracruz, México, Morelos, Puebla y Quintana Roo, la higuera se utiliza para reducir la fiebre o aliviar el empacho mediante infusiones de la hoja en agua hirviendo para aplicar baños al enfermo o directamente la hoja colocada en el estómago y los pies, cambiándolas cuando el contenido de agua de las hojas va disminuyendo [13].

Algunos reportes mencionan que las hojas se han utilizado como alimento para el gusano de seda o mezcladas con forraje para aumentar la producción de leche de las vacas [15].

La raíz tiene propiedades que ayudan a disminuir la fiebre y su preparación se realiza en infusiones, pero no debe ser utilizado en tratamientos prolongados [14].

### 1.3.2. USOS DE LA TORTA DE HIGUERILLA

De los residuos generados después de la extracción de aceite da lugar a la torta proteica residual que también tiene posibles usos en la alimentación del ganado. Es un subproducto de mucha importancia que puede ser usado como fertilizante orgánico, gracias a su contenido de nutrientes; sin embargo, por la presencia de ricina y ricinina es tóxica y alergénica [1].

En estudios realizados con subproductos de higuierilla en ganado lechero, se ha encontrado que la harina de higuierilla desintoxicada puede reemplazar hasta un 33% la harina de soya o incluirse máximo en un 15% en un suplemento sin afectar la producción de leche en vacas Holstein, cuya base forrajera era ensilaje de maíz. Se ha reportado que en vacas cruzadas (Holstein x Cebú), este subproducto puede sustituir el 100% la torta de soya e incluirse en un 22,3% en un suplemento sin afectar la producción y calidad de la leche en vacas pastoreando [17].

Por otro lado, considerando su uso como fertilizante, Ferreira et al. (2018) caracterizaron la torta de higuierilla encontrando 4,2% de N; 0,7% de P; 0,7% de K; 2% de Ca; 2,3% de Mg; 10,5 de Fe; 470 mg/Kg<sup>-1</sup> de Mn; 102 mg/Kg<sup>-1</sup> de Zn; 30 mg/Kg<sup>-1</sup> de Cu y 16 mg/Kg<sup>-1</sup> de B. Esta se utilizó como fertilizante para el cultivo de mora, encontrando que la torta no causa efectos negativos o residuales en el cultivo [10].

### 1.3.3. USOS DE LAS SEMILLAS

Las semillas de higuierilla son una biomasa que puede ser tratada con el fin de producir carbones activados. Tras la extracción del aceite de higuierilla, se genera un residuo sólido de difícil salida, debido a la presencia de toxinas como la ricina [12].

Galo (2008) menciona que en Ecuador con dos o tres onzas de aceite de semilla mezclado con leche caliente sirve para contrarrestar el estreñimiento y los parásitos intestinales [13].

Contiene compuestos nutricionales como proteínas, carbohidratos y minerales diversos; así como compuestos tóxicos y alergénicos, los cuales limitan el consumo tanto humano como animal, estos fitoquímicos presentes en el tejido de la planta y las semillas de higuierilla tienen posibles usos medicinales, es así como esta actividad citotóxica se utiliza en terapias experimentales y ensayos clínicos capaces de dirigir estos anticuerpos a células cancerígenas sin dañar las células normales [9].

#### 1.4. RESIDUOS BIOMASICOS

Un residuo, puede definirse como todo material generado en algunas actividades de consumo y producción que no alcanzó un valor económico en el entorno que se producen, permaneciendo como excedente de estos procesos [18].

Las actividades industriales, agrícolas y urbanas producen diferentes tipos de residuos biomásicos. Mundialmente se producen alrededor de 146 billones de toneladas métricas, en consecuencia, la mayoría abarca el crecimiento de plantas silvestres y en base seca se estiman alrededor de 10 a 50 billones [18].

Dentro de los residuos biomásicos tenemos los residuos lignocelulósicos. El material lignocelulósico está compuesto por tres polímeros: celulosa, hemicelulosa y lignina, cuya interacción es compleja, y varía según el residuo lignocelulósico del que se trate [18].

Existen diversas técnicas de caracterización que se utilizan en la investigación de la biomasa; no obstante, el uso de cada una depende de la propiedad y el objetivo con el que se realice, por ejemplo, para estudiar la morfología se pueden utilizar técnicas como la Microscopia Óptica (MO) o la Microscopia Electrónica de Barrido (SEM por sus siglas en inglés). Para estudiar su composición elemental utilizan técnicas como Espectroscopia de Energía Dispersiva (EDS). Mientras que para conocer características estructurales puede emplearse la Difracción de Rayos X (DRX) [19].

Se pueden utilizar otras técnicas de caracterización; no obstante, en la presente tesis solo se abordan tres principales, EDS para conocer los elementos que contiene cada una de las partes de la planta de higuera, DRX para conocer fases cristalinas presentes y SEM para estudiar la morfología [19].

# CAPÍTULO 2

# METODOLOGÍA

*“Un país sin investigación es un país sin desarrollo.”*

*Margarita Salas.*



En este capítulo se presenta el desarrollo experimental, el cual se dividió en 3 partes: i) recolección de la planta de higuierilla, ii) división y preparación de la muestra y iii) descripción de los equipos utilizados en el análisis de las diferentes secciones.

## 2.1. RECOLECCIÓN DE LA PLANTA DE HIGUERILLA

Se realizó la recolección de la planta de Higuierilla en el río Atoyac, ubicado en la ciudad de Puebla, México; esta región ofrece un ambiente ideal para el cultivo de higuierilla. El proyecto se llevó a cabo en el laboratorio de análisis instrumental FIQ4-302 de la Facultad de Ingeniería Química, en el laboratorio de biodiesel FIQ3 y en las instalaciones del Centro Universitario de Vinculación y Transferencia de Tecnología (CUVyTT) de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

## 2.2. DIVISIÓN DE LA MUESTRA

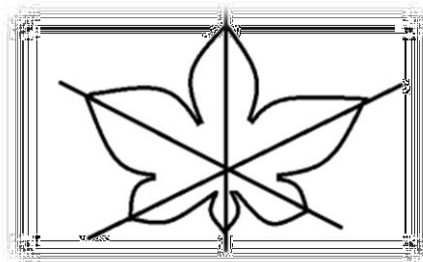
Una vez obtenida la planta, se dividió en tres secciones: hojas, tallo y raíz. Se tomaron las medidas de cada una de sus partes y se obtuvo un promedio, según correspondiera, para establecer una medida estándar.

El proceso de medición se realizó de la siguiente forma:

- 1) Planta: se mide desde el cuello de la raíz hasta el ápice del primer racimo.
- 2) Tallo: se mide desde el cuello de la raíz hasta la base del primer racimo.
- 3) Hojas: la medición se obtiene al calcular el promedio de los tres ejes principales y se realiza cuando la hoja se encuentra totalmente expandida.



**Figura 2.1.** Planta:  
altura



**Figura 2.2.** Hoja: ejes  
principales

### 2.3. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Posteriormente, se llevó a cabo el secado de las partes de la planta exponiéndolas al sol durante una semana. Después, se procedió a molerlas en un mortero de ágata para facilitar la manipulación de las muestras para los análisis requeridos. Una vez molidas, cada una de las secciones fueron tamizadas utilizando tamices 80 y 100 (0.15-0.18 mm), con el fin de homogenizar el tamaño de las partículas.

### 2.4. CARACTERIZACIÓN

#### 2.4.1. ANÁLISIS ELEMENTAL

El análisis elemental por Espectroscopia de Energía Dispersiva (EDS) se realizó con el objetivo de determinar la composición química de las partes de la planta de higuera (tallo, hojas, ramas y raíz).

El equipo que se utilizó fue un Microscopio Electrónico de Barrido marca JEOL modelo JSM-6610LV.

#### 2.4.2. DIFRACCIÓN DE RAYOS X

La caracterización por difracción de rayos X (DRX) se realizó con el objetivo de encontrar las fases cristalinas presentes. El patrón se midió con un difractómetro D8 Bruker Discover que cuenta con un filamento de cobre con una longitud de onda de 1.5406 Å en un intervalo de 5 a 80° de 2-theta, con un tamaño de paso de 0.04 y un tiempo de paso de 0.6 segundos. Se utilizaron las fichas del Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS) para la identificación de fases.



**Figura 2.3.** Equipo de difracción de rayos x.

### 2.4.3 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

La técnica de caracterización MEB por sus siglas en inglés, se utilizó para estudiar la morfología de las hojas, tallo y raíz. Para realizar la caracterización se utilizó un Microscopio Electrónico de Barrido marca JEOL modelo JSM-560 LV. Cada muestra se adhirió en una cinta de carbono doble cara y se recubrió con oro.



**Figura 2.4.** Microscopio electrónico de barrido

# CAPÍTULO 3

## RESULTADOS

*“La ciencia es un viaje de descubrimiento, y cada nuevo descubrimiento es un paso más hacia la comprensión del universo.”*

*Jocelyn Bell Burnell.*



### 3.1. ANÁLISIS ELEMENTAL POR ESPECTROSCOPIA DE ENERGÍA DISPERSIVA.

El análisis elemental de las diferentes partes de la planta de higuera (*Ricinus Communis*) y del suelo donde se cultiva proporciona información clave sobre la dinámica de absorción y acumulación de nutrientes. Esta información es esencial para comprender el comportamiento fisiológico de la planta, su adaptabilidad a condiciones edáficas específicas y su potencial uso en prácticas agrícolas sostenibles o procesos de fitorremediación. A continuación, se presentan los resultados obtenidos mediante espectroscopía de energía dispersiva (EDS) en muestras de suelo, tallo, hojas y raíz de *Ricinus communis*.

#### 3.1.1. ANÁLISIS ELEMENTAL DE LAS HOJAS DE HIGUERILLA.

En la tabla 3.1, se presentan los resultados promedio del análisis elemental de las hojas secas de *Ricinus communis*. Se apreció que estas mostraron una composición dominada por oxígeno (50%) y carbono (34%), acompañados de silicio (9%), potasio (1%) y calcio (1%). Estos resultados son relevantes para considerar sus hojas como biomasa útil en aplicaciones como la producción de biofertilizantes u estrategias de fitorremediación [20].

El contenido de carbono y oxígeno indica una biomasa rica en compuestos orgánicos, como polisacáridos estructurales, proteínas, ácidos fenólicos y restos de ácidos grasos [21,22].

La presencia de silicio puede explicarse por la posible acumulación natural en tejidos epidérmicos como mecanismo de defensa, es notablemente superior al rango común (<1%) [23].

El potasio y calcio están dentro del intervalo normal para hojas secas, lo cual indica una nutrición adecuada de estos macronutrientes. El potasio es esencial para la regulación osmótica, la activación enzimática y el transporte de fotoasimilados [24]. En el caso del calcio, representa un nivel coherente con su función estructural en la estabilización de paredes celulares y la integridad de membranas plasmáticas [25].

### 3.1.2. ANÁLISIS ELEMENTAL DEL TALLO DE HIGUERILLA.

En la tabla 3.1, se presentan los resultados promedio del análisis elemental del tallo seco de *Ricinus communis*, mostrando una composición dominada por oxígeno (51%) y carbono (40%), acompañados de silicio (2%), potasio (3%) y calcio (1%). Estos datos reflejan la composición típica de tejidos vegetales y son relevantes para evaluar su potencial agroindustrial [20].

El contenido de oxígeno es coherente con lo reportado en la literatura para tejidos lignocelulósicos de tallos de plantas herbáceas, donde predominan los polisacáridos estructurales como la celulosa y la hemicelulosa. Estos compuestos conforman la pared celular secundaria del tallo, brindando soporte y rigidez mecánica [21].

El contenido de carbono es consistente con una mayor cantidad de celulosa y lignina, típicos del tejido vascular. El potasio, es esencial en el equilibrio osmótico y rigidez celular, el contenido posiblemente es debido a su rol en la turgencia y el funcionamiento fisiológico de los tallos [27,25].

El silicio fortalece la pared celular y protege contra estrés abiótico. Finalmente, el calcio involucrado en la estabilidad estructural y en la señalización intracelular [24].

### 3.1.3. ANÁLISIS ELEMENTAL DE LA RAÍZ DE HIGUERILLA.

En la tabla 3.1, se presentan los resultados promedio del análisis elemental de la raíz seca de *Ricinus communis*, mostrando una composición dominada por oxígeno (49%) y carbono (31%), acompañados de silicio (9%), potasio (1%), calcio (1%), aluminio (3%) y hierro (1%). Está bien estructurada para resistir condiciones edáficas adversas y puede ser considerada para estudios de fitorremediación, especialmente de suelos ácidos o metalizados [26].

El contenido de oxígeno es alto (49%), lo que indica una composición rica en polisacáridos estructurales en la raíz. También puede relacionarse con compuestos fenólicos oxigenados y ácidos orgánicos que se acumulan en raíces [25].

El carbono en la raíz es levemente más bajo que en tallo y hojas, lo que sugiere una menor proporción de lignina o material estructural leñoso. Las raíces contienen más tejido parenquimático (almacenamiento) y agua, lo que diluye el contenido de carbono estructural [25].

El silicio en raíces es común, ya que muchas plantas lo absorben como ácido mono silícico desde el suelo. Se acumula en el apoplasto y fortalece la estructura radicular, además de conferir resistencia frente estrés abiótico y patógenos del suelo [24].

El aluminio no es un nutriente esencial, puede acumularse en la raíz de las plantas que crecen en suelos ácidos o con alta concentración de metal. En concentraciones bajas puede tener efectos beneficiosos en algunas especies, aunque en otras puede ser tóxico. En este caso la higuera podría estar mostrando tolerancia a suelos ácidos o contaminados [27].

La presencia de calcio es consistente no solo en la raíz, sino en las hojas y tallo. Este elemento es importante en el crecimiento de la raíz y en la integridad de las paredes celulares, especialmente en las zonas de elongación. El potasio puede reflejar una distribución activa del K hacia órganos de mayor demanda fisiológica [24].

En relación con el contenido puede estar asociado a suelos ricos en Fe o a estrategias de acumulación [24].

#### 3.1.4. ANÁLISIS ELEMENTAL DEL SUELO.

En la tabla 3.1, se presentan los resultados promedio del análisis elemental de la raíz seca de *Ricinus communis*, mostrando la siguiente composición elemental: oxígeno (55%), silicio (24%), aluminio (8%), hierro (5%), calcio (2%), potasio (0.8%) y sodio (1%), respectivamente.

Puede apreciarse que el contenido de silicio es muy alto (24%), lo que podría asignarse a que el lugar donde se recolectó la muestra consiste en un suelo con posible presencia de minerales basados en silicio como el cuarzo, feldspatos o arcillas. Esto concuerda con los valores observados en la raíz y hojas, lo que sugiere que la planta es capaz de absorber este elemento activamente de su entorno [29].

Por otro lado, el aluminio forma parte de minerales arcillosos como caolinita y está presente en suelos ácidos. Aunque puede ser tóxico para muchas plantas, *Ricinus communis* parece tolerarlo. Eso podría indicar un mecanismo de exclusión o inmovilización del aluminio [29].

Un nivel moderadamente alto de hierro es común en suelos con óxidos de hierro como hematita, o goetita. Esto se refleja en la presencia de este elemento en la raíz, lo que cual indica una buena absorción [30].

El calcio en el suelo está presente principalmente como carbonato o en minerales como yeso [29].

El sodio, aunque no es alto, puede afectar la estructura del suelo y la absorción del agua. Las plantas no suelen requerir sodio y su acumulación puede ser perjudicial para las especies. Vale la pena mencionar que la higuera es tolerante a la salinidad [29].

**Tabla 3.1.** Análisis elemental de las diferentes partes de la planta de higuera (*Ricinus communis*).

| ELEMENTO      | SUELO        | RAÍZ         | TALLO        | HOJAS        |
|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Oxígeno (O)   | 55.32 ± 0.81 | 49.24 ± 1.13 | 51.55 ± 1.67 | 50.89 ± 2.94 |
| Carbono (C)   | -            | 31.33 ± 6.13 | 40.23 ± 1.65 | 34.04 ± 8.97 |
| Silicio (Si)  | 24.20 ± 0.97 | 9.34 ± 3.32  | 2.05 ± 1.68  | 9.64 ± 7.78  |
| Aluminio (Al) | 8.87 ± 0.30  | 3.38 ± 0.81  | 0.25 ± 0.09  | 0.29 ± 0.13  |
| Hierro (Fe)   | 5.76 ± 0.50  | 1.24 ± 0.28  | -            | -            |
| Calcio (Ca)   | 2.36 ± 0.58  | 1.61 ± 0.36  | 1.20 ± 0.46  | 1.51 ± 0.42  |
| Potasio (K)   | 0.80 ± 0.07  | 1.26 ± 0.44  | 3.04 ± 1.10  | 1.99 ± 1.02  |
| Sodio (Na)    | 1.30 ± 0.02  | 0.93 ± 0.22  | -            | -            |

## 3.2. ANÁLISIS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X.

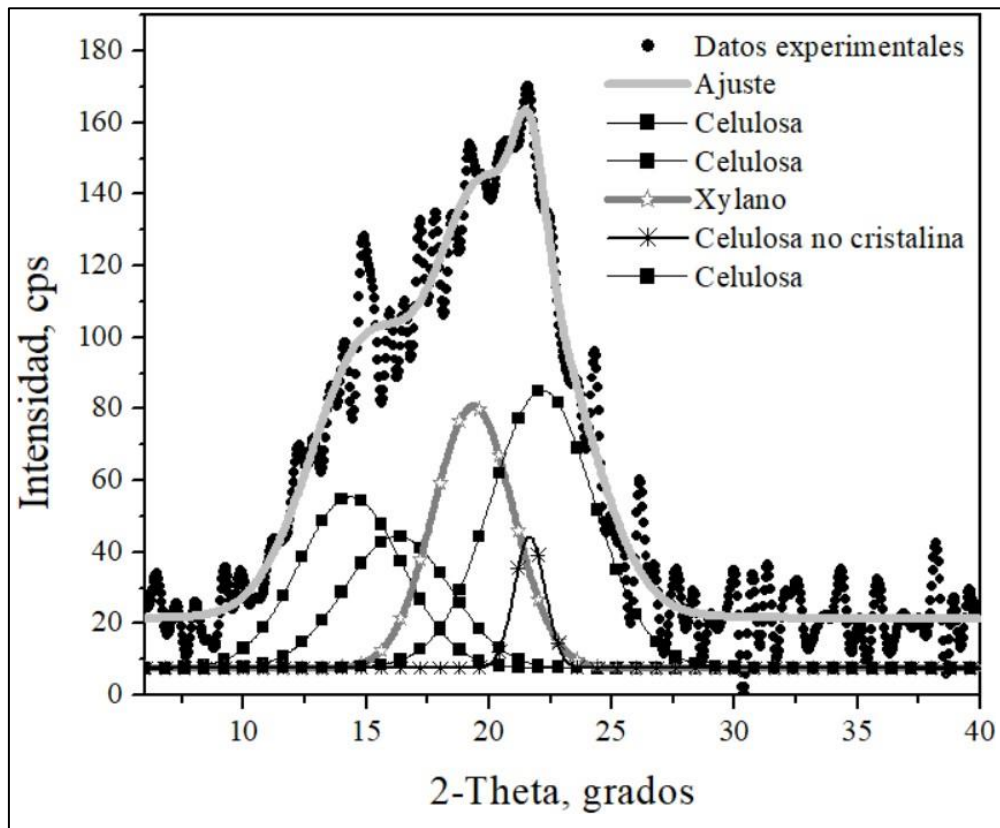
El método de difracción de rayos X (DRX) es una técnica analítica que permite identificar los compuestos que componen una muestra, lo cual es de gran importancia para asignar un valor económico, tecnológico e inclusive ambiental. A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir del análisis de las diferentes secciones de la planta.

### 3.2.1. HOJAS

En la figura 3.1 se muestra el espectro de difracción de rayos X de las hojas. Para una mejor visualización y profundidad en el análisis se realizó una deconvolución de las señales empleando el software PeakFit. Se identificaron tres señales en posiciones de 2-Theta alrededor de 14.8°, 16.5° y 22.6°, correspondientes a los planos cristalográficos de la celulosa tipo I, lo cual confirma la presencia de regiones estructuralmente ordenadas en las microfibrillas de la pared celular. Estos resultados coinciden con lo reportado para materiales vegetales con estructuras parcialmente cristalinas [33,34].

Asimismo, a diferencia de la celulosa pura se apreció una continuidad en el espectro en torno a 19.2° lo cual coincide con otros trabajos previos donde esta característica es atribuida a la presencia de xylano. Por su parte, la contribución más ancha, centrada alrededor de 21°, corresponde a celulosa no cristalina, evidenciando la existencia de regiones amorfas dentro de la matriz estructural [35].

El análisis confirma que las hojas de *Ricinus communis* están compuestas mayoritariamente por celulosa (en sus formas cristalina y amorfa) junto con hemicelulosas como el xylano, lo cual es coherente con la composición típica de paredes celulares vegetales. La coexistencia de fases ordenadas y desordenadas sugiere una estructura heterogénea que influye directamente en sus propiedades fisicoquímicas y en su potencial aprovechamiento como biomasa lignocelulósica [36].



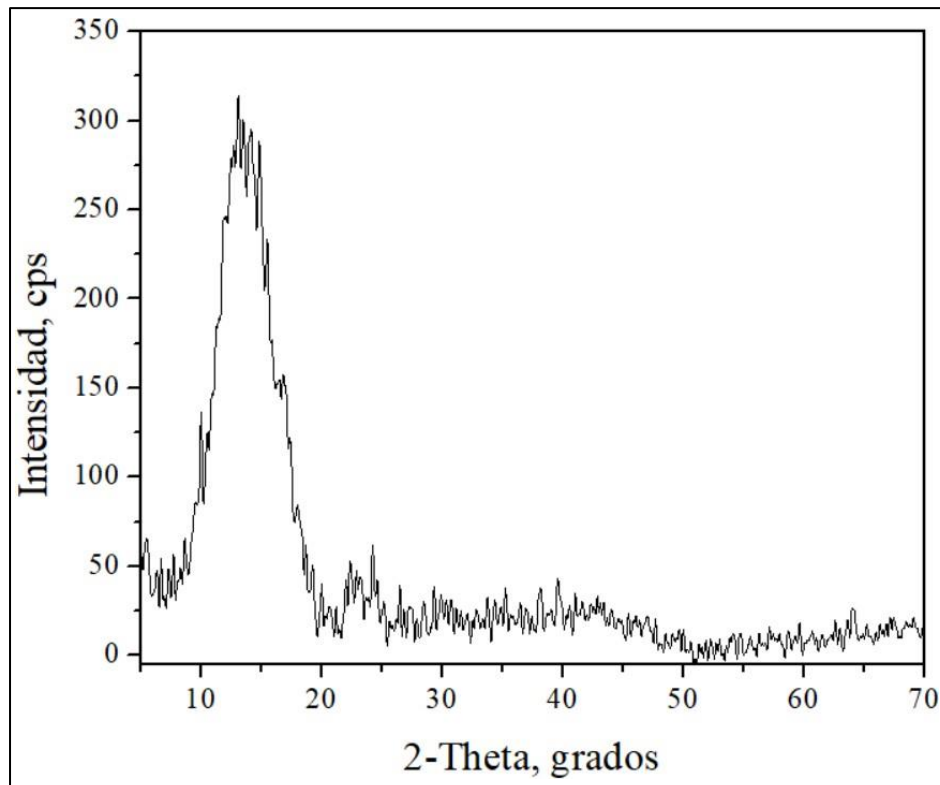
**Figura 3.1.** Patrón de difracción de rayos X de las hojas de *Ricinus Communis*.

### 3.2.2. TALLO

En la Figura 3.2 puede apreciarse el espectro obtenido para el tallo, donde se observó que exhibió una señal amplia entre 14° y 17°, asociado a un material amorfo, es decir, a diferencia de las hojas no se apreciaron las señales características de la celulosa. Este tipo de señal es común en tejidos vegetales donde la organización de microfibrillas de celulosa es baja o está altamente desorganizada [33,34].

En este sentido, lo anterior podría asignarse a una posible mayor proporción de materiales amorfos como hemicelulosas (xylano) y lignina, los cuales dificultan el empaquetamiento ordenado de las cadenas de celulosa [35,36]. Este comportamiento es típico en tejidos vegetales de soporte, donde la matriz lignocelulósica presenta una arquitectura más compacta y menos orientada.

**Figura 3.2.** Patrón de difracción de rayos X tallo de *Ricinus Communis*.



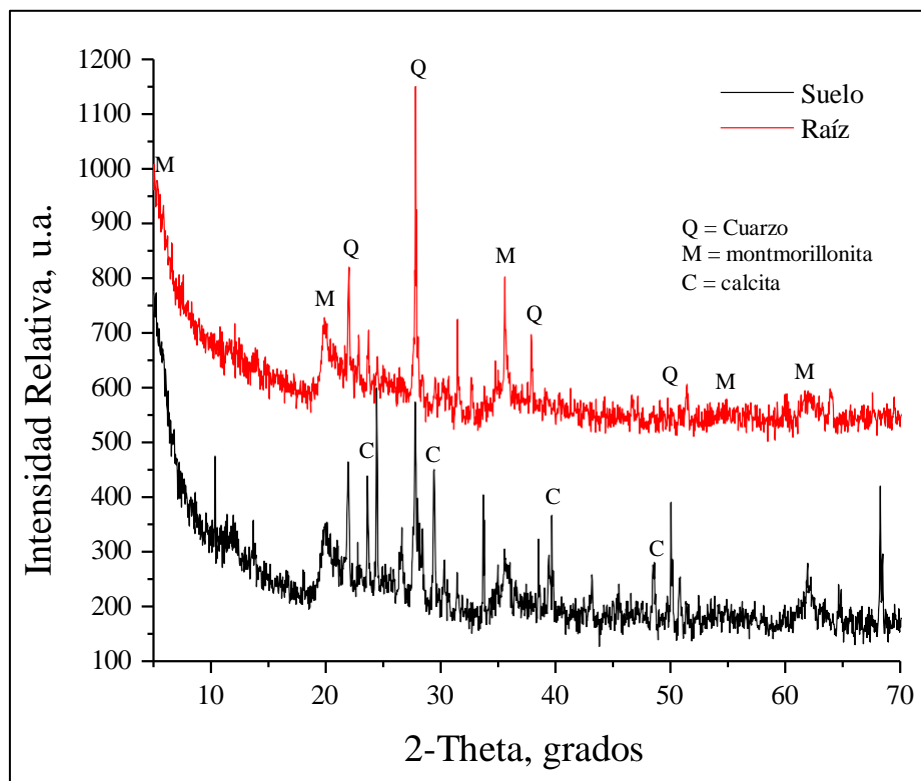
### 3.2.3. RAÍZ Y SUELO

La figura 3.3 presenta el patrón de difracción de rayos X de las muestras de suelo y de la raíz. Fue bastante interesante identificar en ambos casos la presencia de prácticamente las mismas señales en ambas muestras, lo cual se asignó a que en ambas se presentan los mismos compuestos cristalinos. Por otro lado, no se visualizó la presencia de alguna fase orgánica como en las otras secciones analizadas. No obstante, la presencia de biopolímeros característicos en la biomasa no puede descartarse; por lo que este resultado se asignó a la presencia de materiales principalmente amorfos como celulosa no cristalina, xilano o lignina.

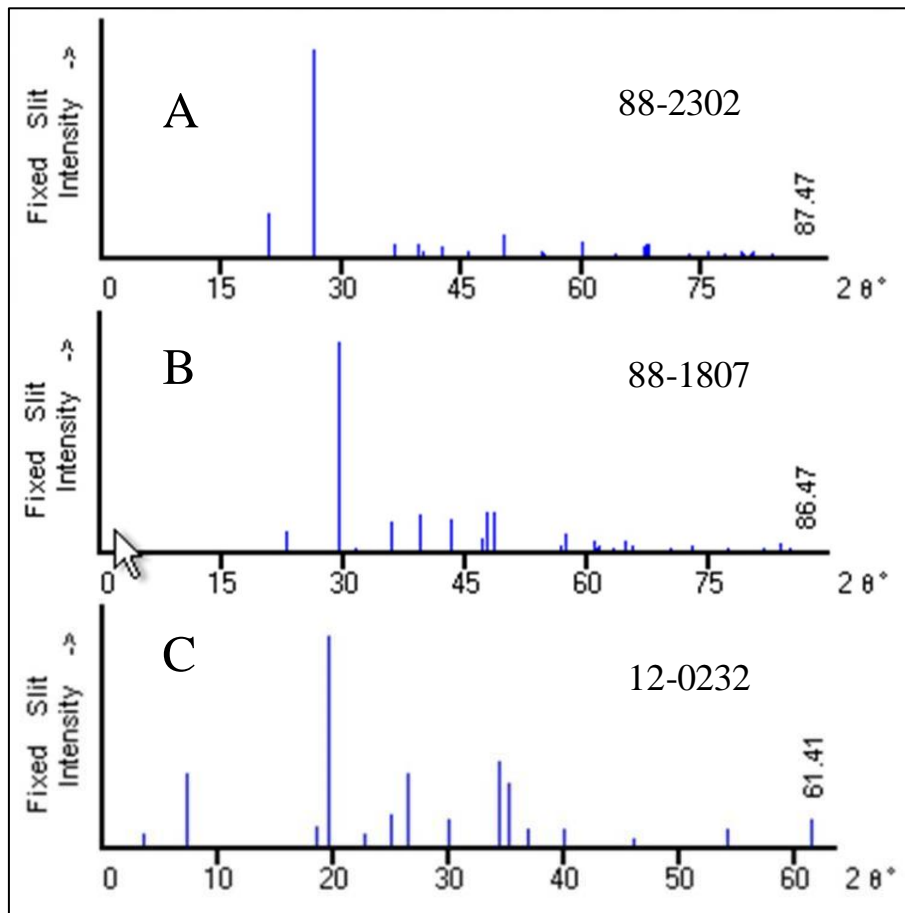
El análisis mediante difracción de rayos X permitió identificar la presencia marcada de cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) con una mayor intensidad en la raíz. Esta mineralización puede estar relacionada con la capacidad de la planta para acumular o retener partículas minerales en los tejidos radiculares, posiblemente mediante procesos de adsorción en la superficie de la raíz o a través de la interacción con exudados orgánicos [38]. Por otro lado, el cuarzo es un constituyente común en suelos, por lo que su presencia resulta esperada en estos análisis [39].

Una observación destacada es la mayor intensidad de los picos correspondientes a la montmorillonita en la muestra de raíz. Esto podría estar asociado a la capacidad de las raíces de higuierilla para atraer o retener minerales arcillosos en su entorno inmediato. Es una arcilla del grupo de los esmectitas, con alta capacidad de retención de agua e intercambio catiónico, lo que la hace relevante en la dinámica de nutrientes y metales [40]. Algunos estudios señalan que las raíces pueden modificar el microambiente del suelo circundante, favoreciendo la formación o acumulación de ciertas fases minerales, lo cual explicaría la mayor señal de montmorillonita en esta muestra [41].

El carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) identificado con mayor señal en el suelo, afecta la disponibilidad de ciertos nutrientes y su movilidad, y su escasa detección en la raíz podría deberse a su baja solubilidad en estas condiciones [42].



**Figura 3.3.** Patrón de difracción de rayos X suelo y raíz de *Ricinus Communis L.*



**Figura 3.4.** Fichas JCPDS empleadas para la identificación: A) SiO<sub>2</sub> (cuarzo), B) carbonato de calcio (calcita) y C) Montmorillonita.

### 3.3. ANÁLISIS MORFOLÓGICO POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (MEB).

La importancia del análisis por microscopía electrónica de barrido en este trabajo radicó en el análisis de las morfologías y características superficiales de las distintas secciones de la planta, lo cual es de gran importancia para las posibles aplicaciones. A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

#### 3.3.1. HOJAS

El análisis de las micrografías correspondientes a las hojas de *Ricinus communis*, permitió observar con alta resolución la superficie foliar de estas. En la imagen 3.4 se corroboró que la muestra exhibió una morfología típica de los compuestos lignocelulósicos e idénticos a los mostrados por otros autores (Abhishek Saxena, Manish Bhardwaj, Tanu Allen, Satish Kumar, Rachana Sahney, Water Science 31 (2017) 189–197), donde se identifican superficies rugosas con cierta porosidad. Estas estructuras corresponden posiblemente a depósitos minerales absorbidos desde el suelo, los cuales se acumulan en la superficie foliar como resultado del transporte vía xilema y su posterior excreción o deposición pasiva.

La presencia de partículas de gran tamaño (en el orden de centenas de micras) sugiere una bioacumulación significativa, probablemente asociada a minerales como silicatos, carbonatos de calcio o fosfatos, compuestos comúnmente encontrados en estudios previos sobre especies adaptadas a suelos ricos en minerales [43]. Este tipo de depósito se ha reportado también en otras plantas no acumuladoras, como mecanismo para regular la concentración interna de ciertos elementos no esenciales o en exceso, actuando como una estrategia de detoxificación [44].

**Figura 3.4.** Microscopia Electrónica de Barrido (SEM) de las hojas de *Ricinus Communis*.

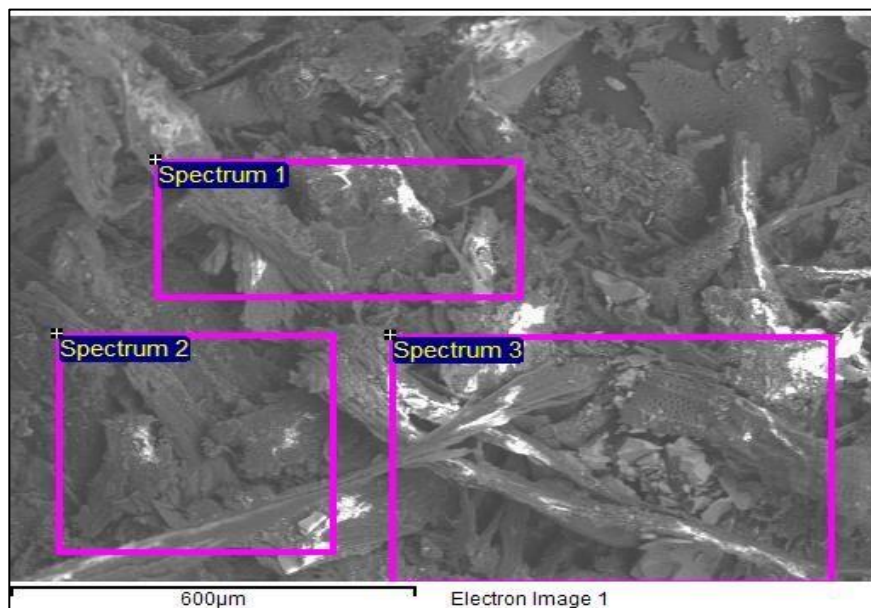


### 3.3.2. TALLO

El análisis morfológico del tallo de *Ricinus communis*, reveló una estructura altamente fibrosa, con evidentes haces vasculares y restos de células alargadas que conforman los tejidos de sostén. Esta morfología es característica de tallos maduros, donde predominan elementos del xilema secundario, como vasos leñosos y fibras esclerenquimáticas [45].

En la superficie se observaron acumulaciones irregulares, las cuales podrían corresponder a restos de sales minerales transportadas a través del sistema vascular y posteriormente inmovilizadas en los tejidos del tallo. La acumulación de dichos minerales ha sido reportada en especies adaptadas a suelos con alta carga iónica o contaminados, actuando como un mecanismo de tolerancia o exclusión [46].

**Figura 3.5.** Microscopia Electrónica de Barrido (SEM) del tallo de *Ricinus Communis*.



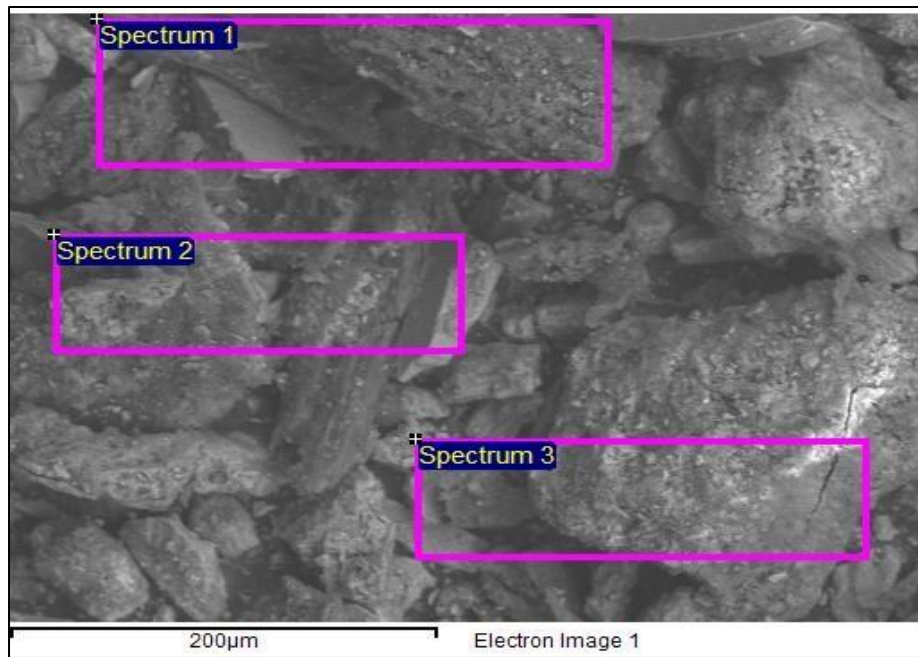
### 3.3.3. RAÍZ

El análisis morfológico de la raíz reveló una superficie altamente texturizada y recubierta por partículas sin forma definida, posiblemente de origen mineral. A diferencia de la hoja y el tallo, la raíz presenta una mayor acumulación superficial de compuestos de apariencia rugosa y granular, lo que indica una interacción directa y constante con el suelo, que actúa como medio de entrada de nutrientes y minerales [47]. Esto concuerda con los resultados obtenidos por EDS y DRX.

Adicionalmente, el aspecto irregular y compacto de los depósitos podrían corresponder a silicatos, carbonatos u óxidos metálicos, los cuales tienden a precipitar o quedar retenidos en la superficie radical como resultado del transporte activo o pasivo desde la rizosfera. Esta acumulación es indicativa de la función fisiológica de la raíz como barrera de retención y adaptación a condiciones edáficas específicas, especialmente en suelos con presencia de arcillas expansivas o minerales [48].

Figura

3.6.



Microscopia Electrónica de Barrido (SEM) de la raíz de *Ricinus Communis*.

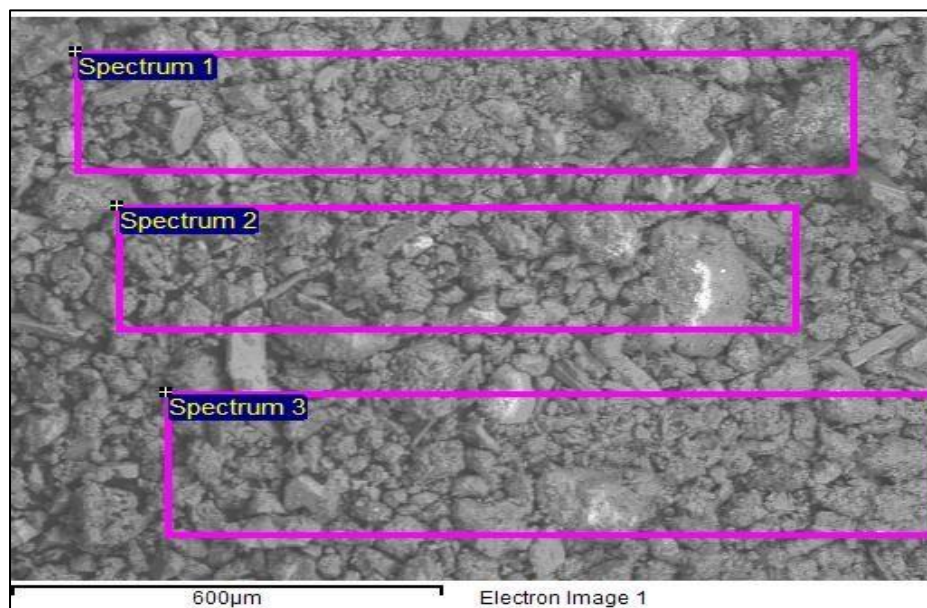
### 3.3.4. SUELO

La imagen 3.7 del suelo donde fue recolectada la muestra de *Ricinus Communis* L., mostró una matriz altamente fragmentada y de estructura heterogénea. Se observan partículas de distintos tamaños con formas angulares y semirredondeadas, lo cual es característico de una composición mineral mixta. La textura general es compacta, con abundante presencia de partículas finas, indicando un suelo con alta fracción de arcillas y limos, lo que favorece la retención de agua y nutrientes [49].

Se observan superficies lisas y brillantes en algunos fragmentos, lo cual es típico de minerales de mayor densidad o cristalización más definida, como el carbonato de calcio. Estas partículas pueden actuar como fuentes de calcio y como agentes neutralizantes del pH, lo que influye positivamente en la capacidad de absorción de ciertos nutrientes por parte de la planta [50].

La diversidad textural y morfológica observada es indicativa de un suelo de origen sedimentario o volcánico, con evolución pedogenética avanzada. Este tipo de suelo suele ser favorable para el desarrollo radicular, ya que ofrece una combinación de buena aireación, retención hídrica y disponibilidad mineral [51].

**Figura 3.7.** Microscopia Electrónica de Barrido (SEM) del suelo de cultivo de *Ricinus Communis*.



#### 3.4. PROPUESTAS DE USO

A partir de los resultados obtenidos por las distintas técnicas empleadas en este trabajo puede comentarse que en todas las secciones analizadas consisten en mezclas de secciones orgánicas (cellulosa cristalino y/o no-cristalina, xilano y/o lignina) e inorgánicas, lo cual restringe su uso directo en cualquier aplicación. Por ejemplo, es bien sabido que el papel que usamos de manera cotidiana es un producto obtenido a través de diversos procesos fisicoquímicos para eliminar lignina y/o hemicelulosas en la biomasa lignocelulósica. En este tenor, mientras más compuestos se encuentren presentes en la materia prima se requerirá una mayor cantidad de reactivos; a su vez, los procesos fisicoquímicos se realizarán a condiciones mayores severidad y adicionalmente se obtendrán menores rendimientos debido a la abundancia de compuestos inorgánicos.

Sin embargo, por el lado positivo se comprobó que la planta es capaz de acumular los diferentes elementos encontrados en el suelo lo cual puede aprovecharse para realizar procesos de biorremediación, lo cual concuerda con trabajos previamente reportados (Barrios Ponte & Garcilazo Saenz, 2019; Peña Zárata *et al.*, 2024; Gonzales Valdivia *et al.*, 2018).

# CONCLUSIONES

*“No hay barrera, cerradura ni cerrojo que puedas imponer a la libertad de mi mente.”*

*Virginia Woolf.*



El análisis de la planta de higuera (*Ricinus communis* L.), mediante técnicas de caracterización morfológica, estructural y elemental, permitió establecer una base sólida para comprender su composición y su comportamiento en función de su entorno. Los resultados obtenidos evidencian que esta especie presenta una estructura lignocelulósica compleja, con alta proporción de celulosa, hemicelulosa y materiales amorfos como lignina, acompañada de una composición elemental dominada por oxígeno, carbono y silicio, además de trazas minerales relacionadas con el suelo de origen.

Si bien su estructura ofrece un amplio potencial en el aprovechamiento de biomasa, *Ricinus communis* no es apta para su inclusión en la industria alimentaria, debido a la presencia natural de compuestos tóxicos como la ricina, una proteína altamente tóxica presente en todas las partes de la planta, especialmente en las semillas.

Este conocimiento resulta fundamental para valorar el potencial como materia prima en procesos de aprovechamiento sostenible, particularmente en el contexto de la valorización de biomasa vegetal. Su estructura heterogénea, alta porosidad y la presencia de elementos inorgánicos podrían ser factores clave en aplicaciones como la producción de bioenergía, biocombustibles, materiales compuestos o adsorbentes de uso ambiental.

Además, el estudio del suelo aporta información relevante sobre la influencia del entorno en la composición y morfología de la planta, lo que puede ser útil en el diseño de estrategias de cultivo, manejo y aprovechamiento agroindustrial. En conjunto, este trabajo contribuye al conocimiento científico y tecnológico necesario para fomentar el uso racional y sustentable de recursos vegetales no convencionales.



# **BIBLIOGRAFIA**

***“SIN CLARIDAD NO HAY VOZ DE  
SABIDURÍA.”***

***Sor Juana Inés de la Cruz.***

1. Orlando López, J. F., Zambrano Bazurto, L. A., & Zambrano Gavilanes, F. E. (2022). *EL CULTIVO DE LA HIGUERILLA (RICINUS COMMUNIS L.) Y SU SITUACIÓN ACTUAL EN EL ECUADOR*. Paideia XXI, 12(2), 373–390.
2. Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera. (s/f). *HIGUERILLA: PLANTA TROPICAL OLEAGINOSA*. <https://www.gob.mx/siap/articulos/higuerilla-planta-tropical-oleaginosa?idiom=es>.
3. Ceballos Ramírez, E., & Cruz Calderón, W. M. (2023). *PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE ACEITE DE SEMILLAS DE HIGUERILLA (RICINUS COMMUNIS L.) PARA USO EN LA ELABORACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES*. [Tesis de pregrado, Universidad Cundinamarca].
4. Herrera, M. D., Santos de la Cruz, J. L., Jiménez Ocampo, R. & Reveles Torres L. R. (2018). *POTENCIAL NUTRACÉUTICO DE PASTAS RESIDUALES DE HIGUERILLA Y SU EVALUACIÓN EN ENSAYOS IN VIVO*. Investigación y desarrollo en ciencia y tecnología de alimentos, 3(1), 332 – 337.
5. Rico P. H. R., Tapia V. L. M., Teniente O. R., González Á. A., Hernández M. M., Solís B. J. L., & Zamarripa C. A. (2011). *GUÍA PARA CULTIVAR HIGUERILLA (RICINUS COMMUNIS L.) EN MICHOACÁN*. Folleto técnico núm. 1. INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Valle de Apatzingán.
6. Rosme. (2012). *CULTIVO DE HIGUERILLA (RICINUS COMMUNIS L.) PARA LA PRODUCCIÓN DE ACEITE*. El cuexcomate.
7. Arboleda F. D. J., Guzmán O. A., & Mejía L. F. (2012). *EFFECTO DE EXTRACTOS CETÓNICOS DE HIGUERILLA (RICINUS COMMUNIS L.) SOBRE EL NEMATODO BARRENADOR (RADOPHOLUS SIMILIS) EN CONDICIONES IN VITRO*. Luna Azul, (35), 28-47.
8. Escobar Cevallos J. K. (2022). *EVALUACIÓN MORFOLÓGICA Y AGRONÓMICA DE MATERIALES DE HIGUERILLA (RICINUS COMMUNIS L.) PROCEDENTES DE LA ZONA NORTE DEL ECUADOR*. [Proyecto de grado, Universidad Técnica del Norte].
9. Barrios Gomez E. J., Canul-Ku J., Hernández Arenas M. G., & Solis Bonilla J. L. (2018). *EVALUACIÓN DE DOS CLICLOS DE HIGUERILLA EN MORELOS, MÉXICO: SIEMBRA Y REBROTE*. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 9(8), 1663-1673.

10. Ferreira, J., Mueller, J., & Papa, A. (2020). *STRATEGIC KNOWLEDGE MANAGEMENT THEORY, PRACTICE AND FUTURE CHALLENGES*. Journal of Knowledge Management, 24(2), 121 – 126.
11. Ogunniyi, D. S. (2006). *REVIEW PAPER CASTOR OIL: A VITAL INDUSTRIAL RAW MATERIAL*. Bioresource Technology, 97, 1089-1091.
12. Ospina-Guarín, V. M., Buitrago Sierra R., & López López, D. P. (2014). *PREPARACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE LA TORTA DE HIGUERILLA*. Tecnológicas, 17(32), 75-84.
13. Peña Uribe G. de J. (2021). *MORFOMETRÍA Y FISIOLOGÍA DE PLANTAS DE ECOTIPOS SILVESTRES DE HIGUERILLA (RICINUS COMMUNIS L.) DEL NORTE DE MÉXICO*. [Proyecto de grado, Universidad Autónoma de Chapingo].
14. Bulnes Martínez Y. K. (2019). *CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y CUANTIFICACIÓN DE POLIFENOLES DE LAS HOJAS DE RICINUS COMMUNIS L. (HIGUERILLA)*. [Proyecto de grado, Universidad Católica de los Ángeles de Chimbote].
15. Cabra Cendales, T., Meneses Cabezas, D. C. & Galeano Vanegar, N. F. (2015). *IDENTIFICACIÓN DE MICROORGANISMOS ASOCIADOS A RESIDUOS DE HIGUERILLA (RICINUS COMMUNIS)*. Revista Colombiana de Química, 44(2), 10 – 15.
16. Herrera, M. D., Santos de la Cruz, J. L., Jiménez Ocampo, R. & Reveles Torres L. R. (2018). *POTENCIAL NUTRACÉUTICO DE PASTAS RESIDUALES DE HIGUERILLA Y SU EVALUACIÓN EN ENSAYOS IN VIVO*. Investigación y desarrollo en ciencia y tecnología de alimentos, 3(1), 332 – 337.
17. Ramírez Hernández, I. C., & Giraldo Valderrama, L. A. (2017). *EVALUACIÓN DE SUPLEMENTOS ALIMENTICIOS CONTENIENDO TORTA DE HIGUERILLA SOBRE LA DEGRADACIÓN IN SITU DE DIETAS CON PASTO KIKUYO Y LA PRODUCCIÓN LECHERA DE VACAS HOLSTEIN*. CES Medicina Veterinaria y Zootecnia, 12(2), 103-122.
18. Huerta Rosales, D. (2021). *OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE LA CASCARA DEL FRUTO DE HIGUERILLA PARA LA REMOCIÓN DE AZUL DE METILENO*. [Proyecto de grado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla].

19. Hernández González J. A. (2024). *ANÁLISIS ESTRUCTURAL, MORFOLÓGICO Y ELEMENTAL DEL FRUTO DE HIGUERILLA (RICINUS COMMUNIS)*. [Proyecto de grado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla].
20. Ogguniyi D. S. (2006). *CASTOR OIL: A VITAL INDUSTRIAL RAW MATERIAL*. *Bioresource Technology*. 97(9), 1086-1091.
21. Sluiter A., Hames B., Ruiz R., Scarlata C., Sluiter J. & Templeton D. (2012). *DETERMINATION OF STRUCTURAL CARBOHYDRATES AND LOGNIN IN BIOMASS*. National Renewable Energy Laboratory (NREL). Technical Report NREL/TP-510-42618.
22. Demirbas A. (2001). *BIOMASS RESOURCE FACILITIES AND BIOMASS CONVERSION PROCESSING FOR FUELS AND CHEMICALS*. *Energy Conversion and Management*, 42(11), 1357-1378.
23. Ma. J. F. & Yamaji N. (2006). *SILICON UPTAKE AND ACCUMULATION IN HIGHER PLANTS*. *Trends in plant science*. 11(8), 392-397.
24. Marschner, H. (2012). *MINERAL NUTRITION OF HIGHER PLANTS*. 3rd ed. Academic Press.
25. Taiz L., Zeiger E., Moller I. M. & Murphy A. (2015). *PLANT PHYSIOLOGY AND DEVELOPMENT*. (6th ed.). Sinauer Associates.
26. Escoto García T., Rutiaga Quiñones J. G., Orihuela Equihua R., Rodríguez Rivera A., & Rivera Prado J. J. (2014). *ESTUDIO QUÍMICO, MICROGRÁFICO Y MORFOLOGICO DEL RICINUS COMMUNIS L. Y SU APLICACIÓN EN PULPA BLANQUEABLE*. *Conciencia Tecnológica*. 48, 1-10.
27. Kochian L. V., Piñeiros M. A. & Hoekenga O. A. (2005). *THE PHYSIOLOGY, GENETICS AND MOLECULAR BIOLOGY OF PLANT ALUMINIUM RESISTENCE AND TOXICITY*. *Plant and Soil*. 274(1-2), 175-195.
28. Martínez A. & Montenegro J. (2008). *MANEJO DE HIGUERILLA PARA EL VALLE DEL MEZQUITAL*. [Universidad Politécnica de Francisco I. Madero].
29. Brady N. C. & Weil R. R. (2016). *THE NATURE AND PROPERTIES OF SOILS*. (15th ed.) Pearson Education.
30. Sparks D. L. (2003). *ENVIRONMENTAL SOIL CHEMISTRY*. Academic Press.
31. Brandle C. R., Evans C. A., Wilson S. (1992). *ENCYCLOPEDIA OF MATERIALS CHARACTERIZATION*. USA: Manning.

32. Andia T. M. A. (2021). *ESTUDIO ARQUEOMÉTRICO DE MATERIALES ARQUEOLÓGICOS DE PAMPA LA CRUZ POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X Y REFINAMIENTO ESTRUCTURAL*. [Tesis de licenciatura, Universidad Mayor de San Marcos.].
33. French A. D. (2014). *IDEALIZED POWDER DIFFRACTION PATTERNS FOR CELLULOSE POLYMORPHS*. 21(2), 885-896.
34. Park S., Baker J. O., Himmel M. E., Parilla P. A. & Johnson D. K. (2010). *CELLULOSE CRYSTALLINITY INDEX: MEASUREMENT TECHNIQUES AND THEIR IMPACT ON INTERPRETING CELLULOSE PERFORMANCE*. *Biotechnology for biofuels*. 3, 10.
35. Poletto M., Ornaghi Junior H. L. & Zattera A. J. (2013). *NATIVE CELLULOSE: STRUCTURE, CHARACTERIZATION AND THERMAL PROPERTIES*. *Materials*, 6(3), 1285-1309.
36. Klemm D., Heublein B., Fink H. P., & Bohn A. (2005). *CELLULOSE: FASCINATING BIOPOLYMER AND SUSTAINABLE RAW MATERIAL*. *Angewandte Chemie international Edition*. 44(22), 3358-3393.
37. Sun R., Lawther J. M., & Banks W. B. (2004). *EXTRACTION AND CHARACTERIZATION OF LIGNINS FROM SODA-ANTHRAQUINONE PULPING OF WHEAT STRAW*. *Polymer Degradation and Stability*. 83(2), 263-271.
38. Chávez A., Paredes D., & Salinas C. (2015). *INTERACCIÓN RIZÓSFERA-MINERAL EN SUELOS VOLCÁNICOS*. *Revista de ciencias ambientales*, 49(2), 55-62.
39. González R., Suárez J., & Torres M. (2019). *CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE SUELOS TROPICALES MEDIANTE DIFRACCIÓN DE RAYOS X*. *Agrociencia*. 53(4), 345-354.
40. Ramos L., & Carrillo R. (2012). *PROPIEDADES DE LAS ARCILLAS ESMECTÍICAS Y SU RELACIÓN CON LA FERTILIDAD DEL SUELO*. *Terra latinoamericana*. 30(1), 25-34.
41. Vallejo C., & Pérez, M. (2016). *MODIFICACIONES EN LA RIZÓSFERA Y SU EFECTO EN LA MINEROLOGÍA DE ARCILLAS*. *Revista colombiana de ciencias hortícolas*, 10(2), 233-241.

42. Martínez J., & Ortega E. (2017). INFLUENCIA DEL PH Y EL CARBONATO DE CALCIO EN LA DISPONIBILIDAD DE MICRONUTRIENTES. *Revista de suelos y nutrición vegetal*, 17(3), 142-151.
43. Méndez R. & Villanueva C. (2015). *MORFOLOGÍA Y COMPOSICIÓN MINERAL EN HOJAS DE PLANTAS SILVESTRES: UN ENFOQUE MEDIANTE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA*. *Acta Botánica Mexicana*. 110, 11-25.
44. Jiménez Castañeda M., Ramírez H. & Salazar R. (2020). *ESTRUCTURAS CRISTALINAS EN HOJAS DE PLANTAS CULTIVADAS EN SUELOS MINERALES: ANALISIS POR MEB-EDS*. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 43(2), 133-140.
45. Rojas L. & Morales D. (2016). *ANATOMÍA DEL TALLO EN PLANTAS DICOTILEDÓNEAS: UNA APROXIMACIÓN ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL*. *Acta Botánica Colombiana*. 23(1), 45-55.
46. Camargo R., Álvarez M. & Ortega F. (2019). *DISTRIBUCIÓN DE MINERALES EN ÓRGANOS DE PLANTAS UTILIZADAS PARA FITORREMEDIACIÓN*. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 13(2), 201-210.
47. González M., Pérez S. & Herrera F. (2020). *EVALUACIÓN MORFOLÓGICA Y ELEMENTAL DE RAÍCES DE PLANTAS CULTIVADAS EN SUELOS CONTAMINADOS MEDIANTE MED-EDS*. *Revista de Ciencias Ambientales*, 54(1), 33-40.
48. Vega H. & López L. (2015). *ACUMULACIÓN MINERAL EN RAÍCES Y SU RELACIÓN CON LA MINEROLOGÍA DEL SUELO*. *Acta Científica Agropecuaria*, 21(3), 111-118.
49. Gutiérrez M., Rivas J. & Pacheco S. (2017). *CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE SUELOS ARCILLOSOS Y SU INFLUENCIA EN LA FERTILIDAD*. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 11(2), 301-311.
50. Martínez R. & Rodríguez C. (2019). *PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE ARCILLAS EN SUELOS AGRICOLAS*. *Agrociencia*. 53(4), 455-462.
51. López F., Sánchez E. & Morales L. (2020). *EFFECTO DE LA MINEROLOGÍA DEL SUELO EN EL CRECIMIENTO DE ESPECIES VEGETALES DE IMPORTANCIA ECOLÓGICA*. *Revista Latinoamericana de Suelos*. 38(1), 45-55.

52. Barrientos Ponte M. F., & Garcilazo Saenz A. (2019). *CAPACIDAD FITORREMIADORA DE RICINUS COMMUNIS "HIGUERILLA" SOBRE ARSÉNICO Y PLOMO DE SUELOS CONTAMINADOS DEL SECTOR LA PORFIA PATAZ*. [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo].
53. Peña Zárate, M. C., León Flores, J. M., & Arévalo, L. A. (2024). *CAPACIDAD FITORREMIADORA DE RICINUS COMMUNIS ASOCIADO A CEPAS BACTERIANAS DE SUELOS AGRÍCOLAS CACAOTEROS CONTAMINADOS CON CADMIO*. *Manglar*, 9(1), 45–53.
54. Gonzales Valdivia, J. E., Tello Castillo, A. M., & Medina Barreto, J. M. (2018). *FITORREMIACIÓN DE UN SUELO CON EXCESO DE COBRE UTILIZANDO CUATRO ESPECIES VEGETALES: GIRASOL, ALFAFA, GERANIO E HIGUERILLA*. *Science and Technology*, 14(2), 53–62.