



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Forestal

Formación de anillos de crecimiento por estrés hídrico y defoliación en *Juglans neotropica* Diels y *Podocarpus oleifolius* D. Don. bajo condiciones controladas en la ciudad de Loja

Trabajo de Integración Curricular,
previo a la obtención del título de
Ingeniera Forestal

AUTORA:

Deysy Laura Ordóñez González

DIRECTOR:

Ing. Darwin Alexander Pucha Cofrep, PhD.

Loja – Ecuador

2024

Certificación

Loja, 04 de marzo de 2024

Ing. Darwin Alexander Pucha Cofrep, PhD.

DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Formación de anillos de crecimiento por estrés hídrico y defoliación en *Juglans neotropica* Diels y *Podocarpus oleifolius* D. Don. bajo condiciones controladas en la ciudad de Loja**, previo a la obtención del título de **Ingeniera Forestal** de autoría de la estudiante **Deisy Laura Ordóñez González**, con **cédula de identidad Nro. 1104844244**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.

Ing. Darwin Alexander Pucha Cofrep, PhD.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Autoría

Yo, **Deisy Laura Ordóñez González**, declaro ser autora del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma: 

Cédula de Identidad: 1104844244

Fecha: 01 de agosto de 2024

Correo electrónico: deisy.ordonez@unl.edu.ec

Celular: 0939011333

Carta de autorización por parte del autor para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Integración Curricular.

Yo **Deisy Laura Ordóñez González**, declaro ser autora del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Formación de anillos de crecimiento por estrés hídrico y defoliación en *Juglans neotropica* Diels y *Podocarpus oleifolius* D. Don. bajo condiciones controladas en la ciudad de Loja**, como requisito para optar el título de **Ingeniera Forestal**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, al primer día del mes de agosto de dos mil veinticuatro.

Firma: 

Cédula de Identidad: 1104844244

Fecha: 01 de agosto de 2024

Correo electrónico: deisy.ordonez@unl.edu.ec

Celular: 0939011333

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Integración Curricular: Ing. Darwin Alexander Pucha Cofrep, PhD.

Dedicatoria

El presente Trabajo de Integración Curricular va dedicado a mis queridos padres Lauro y Carmen, quienes son el motor de mi vida, para ellos podría escribir mucho pero nunca voy a describir realmente todo el amor y agradecimiento que siento. Quiero que sepan que son mi mayor fuente de inspiración. Su amor incondicional, su apoyo constante y su confianza en mí me han impulsado a seguir adelante y no abandonar mis metas ante las dificultades. Me han enseñado el valor del esfuerzo, la perseverancia y la lucha por los sueños. Gracias a ustedes soy la persona que soy hoy. Este logro es también un triunfo de ustedes.

A mis hermanos Freddy, Enidh, Cristian, Elizabeth, Susana y Jhanely, quienes son muy importantes para mí, siempre han estado a mi lado en cada momento. Su apoyo y cariño me han dado la fuerza para seguir adelante en cada etapa de mi vida. Sé que puedo contar con ustedes siempre y eso me llena de profunda gratitud. A mi sobrina, Brianna Ordóñez Aguilera, su presencia y ternura han sido fuente constante de inspiración y fuerza durante este proceso.

Asimismo, dedico a mis dos ángeles que me guían y cuidan desde el cielo. A mi pequeño M.G.O.G, aunque no tuve la oportunidad de conocerte, siempre has sido una parte importante de mi vida. A mi tío A.I.O.A, por sus consejos y eso fue una motivación más para perseguir mis sueños día tras día. Aunque ya no estés conmigo físicamente, te llevo siempre en mi corazón.

Deisy Ordóñez González

Agradecimiento

Expreso mi agradecimiento primeramente a Dios por darme salud, sabiduría y la fuerza para enfrentar los desafíos y perseverar para continuar en cada paso de mi vida.

A mis padres y hermanos por su amor incondicional, su apoyo constante y su confianza en mí.

A la Universidad Nacional de Loja por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente en la carrera de Ingeniería Forestal.

A mis docentes que a lo largo de la carrera aportaron para mi formación académica, compartiendo sus conocimientos, su experiencia y su pasión por la ciencia forestal.

A mi director del Trabajo de Integración Curricular, Ing. Darwin Pucha Cofrep. PhD., por su guía, su paciencia y compartir su amplio conocimiento durante el desarrollo de mi trabajo de investigación.

Al Ing. Andrés Armijos, Mg. Sc. por su invaluable colaboración, sus valiosos consejos y su disposición para compartir sus conocimientos.

A mis amigos, especialmente a Erika Ordóñez, Angel Vera y Karla Guamán por su ayuda desinteresada y por su compañía en cada paso del camino.

A todos quienes me apoyaron de diversas maneras. Agradezco a mis compañeros de carrera, a los técnicos del Laboratorio de Anatomía Maderas Tropicales y del Laboratorio de Dendrocronología y a todas las personas que de una u otra forma me brindaron su ayuda y apoyo.

Deisy Ordóñez González

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas:	xi
Índice de figuras:	xii
Índice de anexos:	xiv
1. Título	1
2. Resumen	2
Abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	6
4.1. Crecimiento secundario de los árboles.....	6
4.1.1. <i>Concepto de crecimiento secundario</i>	6
4.1.2. <i>Características principales de los tejidos leñosos</i>	6
4.1.3. <i>Propiedades mecánicas - la madera de reacción</i>	6
4.1.3.1. Madera de tensión.....	7
4.1.3.2. Madera de compresión.	7
4.1.4. <i>Dendrocronología</i>	7
4.1.4.1. Anillos de crecimiento.....	7
4.1.4.2. Identificación de anillos de crecimiento.....	7
4.1.4.3. Patrones de los anillos de crecimiento.....	8
4.1.4.4. Relación de la madera con el ambiente.	8
4.1.5. <i>Anatomía de la madera</i>	8
4.1.5.1. Características anatómicas.....	8
4.1.5.1.2. <i>Floema</i>	9
4.1.5.1.3. <i>Cambium vascular</i>	10
4.1.5.1.4. <i>Xilema</i>	10

4.1.5.1.5.	Parénquima.....	10
4.1.5.1.6.	Médula.....	10
4.1.5.2.	Diferencias anatómicas entre especies coníferas y latifoliadas.....	10
4.1.5.2.1.	Estructura de la madera de coníferas (gimnospermas).....	11
4.1.5.2.2.	Estructura de la madera de las latifoliadas (angiospermas).....	12
4.1.6.	Fenología.....	12
4.1.6.1.	Defoliación (caída de hoja).....	12
4.1.6.2.	Floración y fructificación.....	13
4.2.	Estrés hídrico.....	13
4.2.1.	Impacto del estrés hídrico en las plantas.....	13
4.3.	Descripción de las especies.....	14
4.3.1.	<i>Juglans neotropica</i> Diels.....	14
4.3.1.1.	Descripción taxonómica.....	14
4.3.1.2.	Descripción botánica.....	14
4.3.1.3.	Distribución y ecología.....	14
4.3.1.4.	Uso y estado de conservación.....	15
4.3.2.	<i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don.....	15
4.3.2.1.	Descripción taxonómica.....	15
4.3.2.2.	Descripción botánica.....	16
4.3.2.3.	Distribución y ecología.....	16
4.3.2.4.	Uso y estado de conservación.....	16
5.	Metodología.....	17
5.1.	Área de estudio.....	17
5.2.	Material vegetal.....	18
5.3.	Diseño experimental.....	18
5.3.1.	Tratamientos ensayados.....	19
5.3.2.	Medio físico (sustrato).....	19
5.3.3.	Especificaciones del experimento.....	20
5.4.	Colecta de datos.....	20
5.5.	Corte de incisión y recuperación de las plantas.....	21
5.6.	Cortes referenciales.....	22
5.7.	Evaluación de la formación de anillos de crecimiento en individuos de <i>Juglans neotropica</i> Diels y <i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don. plantadas en fundas de polietileno y directo en el suelo bajo estrés hídrico y defoliación.....	22

5.7.1.	<i>Selección de individuos</i>	22
5.7.2.	<i>Cortes anatómicos</i>	23
5.7.2.1.	Toma de muestras y cortes transversales.....	23
5.7.2.2.	Tinción y sellado de muestras.	23
5.7.3.	<i>Fotografías de imágenes anatómicas e identificación de anillos de crecimiento.</i> 24	
6.	Resultados	29
6.1.	Evaluación de la formación de anillos de crecimiento en individuos de <i>Juglans neotropica</i> Diels y <i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don. en fundas de polietileno bajo estrés hídrico y defoliación.....	29
6.1.1.	<i>Juglans neotropica</i> Diels en fundas de polietileno.....	29
6.1.2.	<i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don. en fundas de polietileno.....	31
6.2.	Evaluación de la formación de anillos de crecimiento en individuos de <i>Juglans neotropica</i> Diels y <i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don. en fundas de polietileno bajo estrés hídrico y defoliación.....	34
6.2.1.	<i>Juglans neotropica</i> Diels directo en el suelo	34
6.2.2.	<i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don. directo en el suelo.....	36
6.3.	Patrón de formación de anillos de crecimiento.....	38
6.3.1.	<i>Juglans neotropica</i> Diels.....	38
6.3.2.	<i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don.	39
6.4.	Análisis estadístico descriptivo de anillos de crecimiento.....	40
6.4.1.	<i>Juglans neotropica</i> Diels.....	40
6.4.2.	<i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don.	41
7.	Discusión	43
7.1.	Evaluación de la formación de anillos de crecimiento en individuos de <i>Juglans neotropica</i> Diels y <i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don. bajo estrés hídrico y defoliación.	43
7.1.1.	<i>Tratamientos en fundas de polietileno</i>	44
7.1.1.1.	<i>Juglans neotropica</i> Diels.....	44
7.1.1.2.	<i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don.	46
7.1.2.	<i>Tratamientos en suelo directo</i>	46
7.1.2.1.	<i>Juglans neotropica</i> Diels.....	46
7.1.2.2.	<i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don.	47
7.2.	Patrón de formación de anillos de crecimiento.....	47
7.2.1.	<i>Juglans neotropica</i> Diels.....	47

7.2.2.	<i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don.....	48
7.3.	Análisis estadístico descriptivo de anillos de crecimiento en <i>Juglans neotropica</i> Diels y <i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don.....	48
8.	Conclusiones	50
9.	Recomendaciones	51
10.	Bibliografía	52
11.	Anexos	59

Índice de tablas:

Tabla 1. Distribución de las plantas de <i>Juglans neotropica</i> (nogal) y <i>Podocarpus oleifolius</i> (romerillo) para cada tratamiento bajo condiciones de invernadero.....	20
Tabla 2. Hoja de campo para la recolección de datos por tratamiento.....	21
Tabla 3. Número de anillos formados en <i>Juglans neotropica</i>	41
Tabla 4. Número de anillos formados en <i>Podocarpus oleifolius</i>	42

Índice de figuras:

Figura 1. Estructura anatómica de la madera en un corte transversal de <i>Juglans neotropica</i> Diels.	9
Figura 2. Aspecto tridimensional de la madera de coníferas.	11
Figura 3. Aspecto tridimensional de la madera de latifoliadas.	12
Figura 4. Plantas de <i>Juglans neotropica</i> Diels en el invernadero de investigación de la UNL	14
Figura 5. Plantas de <i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don. en el invernadero de investigación de la UNL	15
Figura 6. Mapa de ubicación del área de estudio en el campus UNL.	17
Figura 7. Distribución de las plantas de <i>Juglans neotropica</i> (nogal) y <i>Podocarpus oleifolius</i> (romerillo) en condiciones de invernadero.	18
Figura 8. Plantas de nogal y romerillo sembradas en fundas polietileno y suelo directo.	19
Figura 9. Marcas de la incisión producida en las dos especies de estudio.	21
Figura 10. Individuos seleccionados por cada tratamiento.	22
Figura 11. Toma de muestra y cortes transversales en los individuos seleccionados.	23
Figura 12. Tinción y sellado de muestras.	24
Figura 13. Captura de imágenes.	24
Figura 14. Imágenes procesadas con el software Photoshop donde se eliminó el fondo y se fijó la escala.	25
Figura 15. Análisis digital de imágenes con el Software ICY	25
Figura 16. Diferenciación de partes de muestra anatómica.	27
Figura 17. Representación gráfica del incremento corriente quincenal del diámetro.	27
Figura 18. Relación entre el incremento corriente quincenal de diámetro y la formación de anillos de crecimiento en <i>Podocarpus oleifolius</i>	28
Figura 19. Comparación entre el incremento corriente quincenal del diámetro y la formación de anillos de crecimiento en <i>Juglans neotropica</i> Diels plantadas en fundas de polietileno.	31
Figura 20. Comparación entre el incremento corriente quincenal del diámetro y la formación de anillos de crecimiento en <i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don. plantadas en fundas de polietileno en el Testigo, T1, y T2.	33

Figura 21. Comparación entre el incremento corriente quincenal del diámetro y la formación de anillos de crecimiento en <i>Juglans neotropica</i> Diels plantadas directo en el suelo.	36
Figura 22. Comparación entre el incremento corriente quincenal del diámetro y la formación de anillos de crecimiento en <i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don. plantadas directo en el suelo en el Testigo, T1 y T2.	38
Figura 23. Características de los anillos de crecimiento de <i>Juglans neotropica</i>	39
Figura 24. Características de los anillos de crecimiento en <i>Podocarpus oleifolius</i>	40

Índice de anexos:

Anexo 1. Distribución de las especies en condiciones de invernadero.....	59
Anexo 2. Cronograma detallado de las actividades realizadas en el proyecto.....	60
Anexo 3. Hoja de campo para la recopilación de variables.	61
Anexo 4. Cortes referenciales de <i>Juglans neotropica</i> Diels y <i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don.	62
Anexo 5. Procesamiento de fotografías en Photoshop.....	63
Anexo 6. Procesamiento de cortes anatómicos y diferenciación de anillos de crecimiento en el software bio-imágenes ICY versión 2.4.3.0.	66
Anexo 7. Código de R utilizado para la representación gráfica del incremento corriente quincenal del diámetro.....	68
Anexo 8. Procesamiento de cortes anatómicos para la relación de los anillos de crecimiento con el incremento corriente quincenal de la variable diámetro en el software Photoshop.	75
Anexo 9. Relación entre el incremento corriente quincenal y formación de anillos de crecimiento en cortes anatómicos de <i>Juglans neotropica</i> Diels y <i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don.....	76
Anexo 10. Certificado de traducción del Resumen.....	94

1. Título

Formación de anillos de crecimiento por estrés hídrico y defoliación en *Juglans neotropica* Diels y *Podocarpus oleifolius* D. Don. bajo condiciones controladas en la ciudad de Loja

2. Resumen

El estudio de los anillos de crecimiento permite comprender como los factores naturales y antrópicos influyen durante el crecimiento de los árboles, actuando como indicadores del estrés sufrido durante su desarrollo. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la formación de anillos de crecimiento por estrés hídrico y defoliación en *Juglans neotropica* Diels y *Podocarpus oleifolius* D. Don. bajo condiciones controladas en la ciudad de Loja. Para ello, se establecieron tres tratamientos: T0 (testigo), T1 (defoliación inmediata), y T2 (defoliación por estrés hídrico), distribuidos en dos medios físicos (fundas de polietileno y suelo directo) con 20 repeticiones por tratamiento en *Juglans neotropica* y 18 en *Podocarpus oleifolius*. Al inicio del experimento, se realizó una incisión vertical en el tallo de todos los individuos para crear una cicatriz en el xilema como punto de referencia. Se midió el diámetro quincenalmente y se realizaron cortes anatómicos transversales de la base del tallo para analizar la formación de anillos de crecimiento. Los anillos fueron identificados y delimitados con el software ICY. El incremento quincenal del diámetro se analizó y graficó con el programa estadístico R, para comparar el desarrollo de las especies en estudio con los puntos de estrés hídrico y defoliación en cada tratamiento. Los resultados mostraron un mayor número de anillos en fundas de polietileno que en el suelo directo para ambas especies. La formación de anillos completos estuvo claramente relacionada con los periodos de defoliación, mientras que los periodos de estrés hídrico de cuatro a ocho semanas no influyeron en la formación de anillos de crecimiento. Los anillos de reacción se evidenciaron solo en los testigos y los anillos incompletos estuvieron asociados con un deterioro en su estado fitosanitario individual. Por lo tanto, la defoliación es el principal factor para la formación de anillos de crecimiento completos, generando de tres a seis bandas de células aplanadas. Ampliar este tipo de estudio a nuevas especies es vital para entender mejor la adaptación de especies tropicales a variaciones climáticas extremas y medir su nivel de resiliencia.

Palabras claves: anatomía de la madera, anillos de crecimiento, trópicos, nogal, romerillo.

2.1. Abstract

The study of tree-rings allows us to understand how natural and anthropogenic factors influence during the tree growth, acting as indicators of stress suffered during their development. This study aimed to evaluate the formation of tree-rings due to water stress and defoliation in *Juglans neotropica* Diels y *Podocarpus oleifolius* D. Don. under controlled conditions in Loja city. For this purpose, three treatments were established: T0 (control), T1 (immediate defoliation) and T2 (defoliation by water stress), distributed in two physical media (polyethylene bags and direct soil) with 20 replications per treatment on *Juglans neotropica* and 18 on *Podocarpus oleifolius*. At the beginning of the experiment, a vertical incision was made in the stem of all individuals to create a scar in the xylem as a reference point. The diameter was measured biweekly and transverse anatomic section were made at the base of the stem to analyze the formation of tree-rings. The rings were identified and delimited with the ICY software. The biweekly increase of the diameter was analyzed and visualized with the statistical program R, to compare the development of the species under study with the points of water stress and defoliation in each treatment. The results showed a higher number of rings in the polyethylene bags than in direct soil for both species. The formation of complete rings was clearly related with the periods of defoliation, while the periods of water stress from four to eight weeks did not influence the formation of tree-rings. Reaction rings were evidenced only in the controls and incomplete rings were associated with a deterioration in their individual phytosanitary status. Therefore, defoliation is the main factor for the formation of complete tree-rings, generating three to six bands of flattened cells. Expanding this type of study to new species is vital for a better understanding of the adaptation of tropical species to extreme climatic variations and to measure their level of resilience.

Keywords: Wood anatomy, tree-rings, tropics, nogal, romerillo.

3. Introducción

La fisiología vegetal es una disciplina vital dentro de las ciencias biológicas que se adentra en el estudio profundo de diversos procesos que tienen lugar en las plantas, analizando sus funciones y las transformaciones físicas y químicas a las que se someten (Lallana, 2004). Este campo de investigación no solo aborda la reproducción y adaptación de las plantas a distintas condiciones ambientales, sino también la integración de estos procesos a lo largo de su desarrollo; así como, su modulación como respuesta a factores ambientales (Ortuño et al., 2015).

Por tal motivo, en los últimos años se ha intentado comprender como las plantas responden al estrés hídrico. Algunas de estas respuestas están relacionadas con cambios metabólicos, fisiológicos y morfológicos, los cuales dependen de la cantidad de estrés que experimenta la planta (Ojeda, 2015). Por lo que, el estrés hídrico se considera una respuesta fisiológica de las plantas debido a la disminución de la cantidad de agua disponible en el ambiente (Valverde y Arias, 2020).

Asimismo, la intensidad y la duración del estrés hídrico afectan la capacidad de las plantas para resistirlo, limitando su crecimiento en altura y diámetro (Luna et al., 2012). De igual manera, el estrés hídrico puede provocar la detención del crecimiento radial, lo que anatómicamente se manifiesta como una o varias filas de células con menor lumen y paredes más engrosadas en una sección transversal, esto conduce a la formación de líneas más o menos concéntricas en la madera que forman los límites de los anillos de crecimiento (Mendivelso et al., 2016).

Otro aspecto evaluado en la formación de anillos de crecimiento es la defoliación, definida como la pérdida de hojas que sufre un árbol. La defoliación se ha asociado a la salud general de los árboles y se usa como indicador de su capacidad para sobrevivir y desarrollarse (Adame et al., 2022). Sin embargo, ataques generados por insectos o cambios en las condiciones climáticas aumentan los niveles de defoliación, provocando una disminución en el crecimiento vegetativo (Valenzuela et al., 2014).

Esta disminución de crecimiento se expresa mediante la formación de los anillos de crecimiento, también conocidos como bandas de células producidas por el cambium vascular en un periodo de tiempo. Estos anillos están influenciados por factores ambientales (variación del clima, la composición atmosférica, las características físicas y químicas del suelo), que alteran la actividad del cambium (Giraldo, 2011).

En bosques naturales, el clima juega un papel importante en el proceso de formación de anillos de crecimiento en especies arbóreas (Camarero et al., 1997). En zonas de clima

templado, los anillos de crecimiento generalmente representan un incremento anual del árbol, formándose cada año, razón por la que son llamados anillos anuales. El análisis de estos anillos de crecimiento revela si el árbol experimentó un crecimiento rápido o lento, así como los años que fueron más beneficiosos o desfavorables para la planta (Gimenez et al., 2005).

Por otro lado, en bosques tropicales, el conocimiento sobre la formación de anillos de crecimiento en las especies forestales es limitado, lo que dificulta la datación precisa del ritmo de crecimiento y su edad. Así mismo, no se puede diferenciar con exactitud entre un anillo verdadero o falso, por lo tanto, lo que impide conocer la edad precisa del árbol y obtener datos precisos para estudios dendroclimáticos (Briceño et al., 2018). Un análisis detallado de los anillos de crecimiento permite conocer una variedad de fenómenos naturales y antrópicos que ocurren durante el período de crecimiento de los árboles. Estos fenómenos incluyen variaciones climáticas, erupciones volcánicas, deslizamientos de tierra, caída de rocas, inundaciones, incendios forestales, contaminación ambiental y brotes de plagas (Carlón, 2023).

En los últimos años, a nivel local, se han realizado avances en algunos trabajos y experimentos de investigación en especies como *Acacia macracantha* Willd. y *Cinchona officinalis* L. (Feijoo, 2020), *Caesalpinia spinosa* (Mol.) o. Kuntz y *Podocarpus sprucei* Parl (Retete, 2022), *Cedrela montana* Moritz ex Turcz y *Handroanthus chrysanthus* (Jacq.) S.O.Grose (Quezada, 2022), *Cinchona officinalis* L. y *Acacia macracantha* Willd (González, 2022), *Acacia macracantha* Wild. y *Cinchona officinalis* L. (Verdesoto, 2023). Por tal razón, el presente trabajo de investigación está orientado a generar información científica que permita conocer como el estrés hídrico y la defoliación afectan la anatomía de la madera de *Juglans neotropica* Diels y *Podocarpus oleifolius* D. Don., así como la formación de anillos de crecimiento. Para ello, se plantearon los siguientes objetivos de investigación:

Objetivo general:

Generar información sobre la formación de anillos de crecimiento por estrés hídrico y defoliación en *Juglans neotropica* Diels y *Podocarpus oleifolius* D. Don. bajo condiciones de invernadero en la ciudad de Loja.

Objetivos específicos:

➤Evaluar la formación de anillos de crecimiento en individuos de *Juglans neotropica* Diels y *Podocarpus oleifolius* D. Don. plantadas en fundas de polietileno bajo estrés hídrico y defoliación.

➤Evaluar la formación de anillos de crecimiento en individuos de *Juglans neotropica* Diels y *Podocarpus oleifolius* D. Don. plantadas directo en el suelo bajo estrés hídrico y defoliación.

4. Marco teórico

4.1. Crecimiento secundario de los árboles

4.1.1. Concepto de crecimiento secundario

El crecimiento es un proceso natural de desarrollo en los seres vivos, caracterizado por un aumento gradual en su tamaño. En el caso de los árboles, este proceso ocurre de manera simultánea e independiente en diferentes partes del árbol, gracias a la actividad de los meristemos primarios y secundarios. Los meristemos primarios son responsables del crecimiento longitudinal, es decir del aumento de la altura, longitud de las ramas y raíces. Por otro lado, el meristemo secundario, como el cambium, contribuye al crecimiento en grosor o diámetro del tronco y ramas (Diéguez et al., 2003).

4.1.2. Características principales de los tejidos leñosos

La madera es un material biológico producido por plantas, se encuentra en el tronco de los árboles y cumple una variedad de funciones, incluida la transferencia de agua y sustancias nutritivas del suelo a las hojas, el sostenimiento de las ramas que forman la copa y la fijación de sustancias de reserva, almacenando los productos transformados en las hojas (Pozzer y Guzowski, 2011).

La madera, como la mayoría de las plantas, está formada por numerosas células. La acumulación de celulosa, una sustancia macromolecular formada por glúcidos y lignina, es la principal razón por la cual la pared celular, que es fina y flexible, se endurece con el tiempo. Esta acumulación da a la pared celular su rigidez e impermeabilidad. La lignina se almacena en el entramado de las fibras de celulosa, por lo que la madera solo se forma cuando la lignina se ha depositado en la pared celular (Pozzer y Guzowski, 2011).

4.1.3. Propiedades mecánicas - la madera de reacción

Las propiedades mecánicas de la madera son una respuesta del comportamiento cuando se someten a fuerzas externas, este comportamiento refleja la relación entre la fuerza aplicada y la respuesta del material (López et al., 2018).

Entre algunas de las propiedades mecánicas de la madera se encuentra la madera de reacción que es una anomalía que afecta muchas características de la madera involucrada, esta se puede definir como aquella madera que se forma como reacción del árbol ante algunos esfuerzos anormales que se presentan cuando el árbol crece inclinado. La madera de reacción se encuentra presente tanto en coníferas llamada madera de compresión y en latifoliadas denominándose madera de tensión (Chan Martín et al., 2002).

4.1.3.1. Madera de tensión.

La madera de tensión se presenta en latifoliadas se presenta en la parte superior del tronco y ramas o del lado opuesto de la inclinación (Chan Martín et al., 2002).

4.1.3.2. Madera de compresión.

La madera de compresión se presenta en coníferas y se produce en la parte del tronco que está en la cara interna de la inclinación del árbol (Chan Martín et al., 2002).

4.1.4. Dendrocronología

Del griego dendros, árbol; cronos, tiempo y logos, conocimiento, es una disciplina científica que se encarga de analizar y estudiar los anillos de crecimiento que se forman en el interior de los troncos de los árboles. Estos anillos ofrecen información sobre la edad del árbol y las condiciones climáticas y ambientales a lo largo de la vida. A su vez, es la ciencia que permite la datación de la madera con anillos de crecimiento anuales (Giraldo, 2011).

4.1.4.1. Anillos de crecimiento.

Son las marcas que se forman en el tronco de los árboles debido a los ciclos anuales de crecimiento. Cada anillo representa un año de vida del árbol y está compuesto por células que difieren en tamaño y densidad, dependiendo de las condiciones ambientales. Los anillos de crecimiento de las plantas leñosas son una valiosa fuente de información para diversas disciplinas científicas, incluyendo la biología, la ecología o incluso las ciencias de la tierra (Miranda et al., 2007).

Por otro lado, Camarero et al. (1997) manifiestan que la estructura de los anillos de crecimiento refleja las influencias de factores externos e internos como el clima, el suelo, la competencia, la etapa sucesional, la situación del anillo en el tronco, la edad del árbol, etc.

La madera que se forma al comienzo del anillo es denominada madera temprana, caracterizada por poseer células con paredes delgadas y lúmenes amplios. Mientras que la madera que se forma al final del período vegetativo presenta células con paredes anchas y lúmenes estrechos y recibe el nombre de madera tardía (Beltrán y Valencia, 2013).

4.1.4.2. Identificación de anillos de crecimiento.

Los anillos de crecimiento son capas de células que se desarrollan durante un período y se pueden ver como bandas circulares en la sección transversal de un árbol (Canizales y Aguirre, 2018). Una condición necesaria para determinar la edad absoluta de la madera es la correcta identificación de los anillos de crecimiento en los árboles. Si no es posible identificar con precisión los anillos presentes en el leño, las técnicas dendrocronológicas se convierten en estimativas y pierden su capacidad de realizar una datación absoluta con resolución anual. Sin

embargo, el tipo de madera determina la precisión requerida para determinar la edad del árbol (Villalba et al., 2000).

4.1.4.3. Patrones de los anillos de crecimiento.

El patrón de los anillos de crecimiento de los árboles generalmente se establece identificando y contabilizando las bandas que aparecen en la madera. Estas bandas reflejan las diversas características ópticas de la madera temprana y tardía. Las células de la madera tardía son más pequeñas y tienen paredes más gruesas que las de la madera temprana, lo que les da un color más oscuro y una densidad mayor (Gené, 1993).

4.1.4.4. Relación de la madera con el ambiente.

La madera y la formación están directamente relacionadas con el ambiente en el que se desarrollan. Factores como el clima, la temperatura, la humedad y la disponibilidad de recursos afectan el crecimiento y la calidad de la madera, lo que influye en las propiedades físicas y mecánicas de la madera. También, el cambio climático está relacionado, ya sea de manera directa o indirecta, a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera provocando una variabilidad del clima, siendo los cambios en la temperatura promedio y en la precipitación difíciles de detectar a corto plazo; aunque, a largo plazo, estos dos factores podrían determinar los límites de distribución de las especies, así como la sobrevivencia (Montaño et al., 2011).

4.1.5. Anatomía de la madera

La anatomía de la madera es una rama de la botánica y la ciencia forestal que se encarga del estudio detallado de la estructura interna de la madera de los árboles. La madera es un tejido vegetal complejo y altamente organizado que cumple funciones importantes para el árbol, como el transporte de agua y nutrientes, el almacenamiento de reservas y la provisión de soporte estructural. También la anatomía de madera es una rama de la biología que estudia el xilema, leño o la madera para conocer y dar el uso correcto, determinar especies, predecir su uso adecuado, prever el comportamiento en procesos industriales y evaluar su aptitud tecnológica (Gimenez et al., 2005).

4.1.5.1. Características anatómicas.

Las características anatómicas de la madera se refieren a las estructuras y elementos microscópicos que componen este tejido vegetal. Estas características son fundamentales para entender la composición y propiedades físicas de la madera de los árboles. Algunas de las características anatómicas más importantes de la madera incluyen (Figura 1):

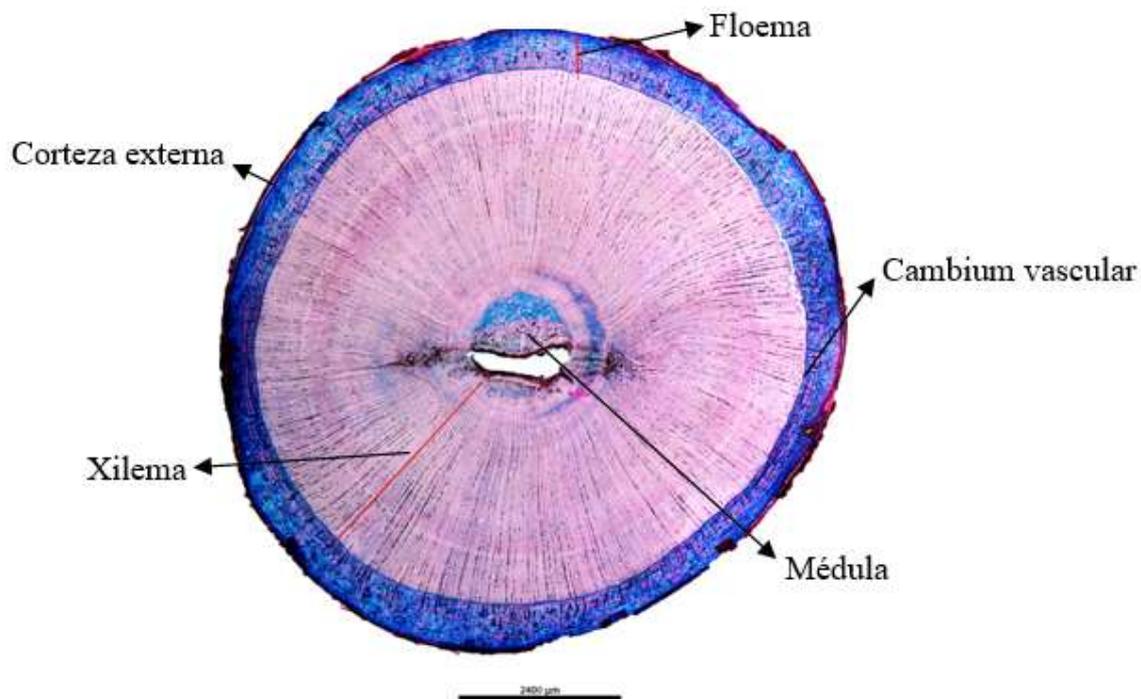


Figura 1. Estructura anatómica de la madera en un corte transversal de *Juglans neotropica* Diels.

4.1.5.1.1. Corteza externa.

Es la capa más externa del tronco y las ramas, cuya función principal es la protección contra daños mecánicos y agentes externos como plagas y enfermedades. La corteza es la capa exterior del fuste, donde se distingue la corteza interna que está constituida por tejido vivo generalmente de colores claros y grosor variable, mientras que la corteza externa está constituida por tejido muerto. La apariencia de la corteza externa puede ser: lisa, fisurada y escamosa, como también puede ser lenticelada y la corteza interna puede ser fibrosa, estratificada, con estructura radial exfoliable y homogénea (Puertas et al., 2013).

4.1.5.1.2. Floema.

Es el tejido que transporta los nutrientes orgánicos, principalmente azúcares, desde las hojas hacia otras partes del árbol, como raíces, ramas y frutos. Por tanto, es un sistema conductor continuo formado por células vivas: elementos o tubos cribosos, células acompañantes y parénquima, que se extiende por todos los órganos de las plantas, llegando hasta los ápices de los tallos y raíces. Los elementos cribosos se conectan a través de las placas cribosas, que son paredes terminales perforadas, para formar un continuo funcional de células conectadas estrechamente a las nucleadas y elementos parenquimáticos asociados (Argandoña y Silva, 2007).

4.1.5.1.3. Cambium vascular.

También llamado tejido meristemático secundario, es una capa de células meristemáticas específico de las plantas leñosas, situado entre el xilema y la corteza. El cambium es responsable del crecimiento secundario del árbol, es decir, del aumento en el diámetro del tronco y la formación de nuevas capas de xilema y floema secundario (Chuncho et al., 2019).

4.1.5.1.4. Xilema.

Es el tejido responsable de transportar la savia bruta (agua y sales minerales) desde la raíz al resto de la planta, aunque también transporta otros nutrientes y moléculas señalizadoras. El xilema está compuesto principalmente por vasos y tráqueas, que son células muertas que forman una red de tubos que permite que el agua ascienda por capilaridad. Además, es el principal componente de soporte mecánico de las plantas, especialmente en aquellas con crecimiento secundario. La madera es fundamentalmente xilema (Megías et al., 2020).

4.1.5.1.5. Parénquima.

Son células vivas dispersas en el xilema y floema. Tienen funciones metabólicas diversas, como el almacenamiento de reservas y la reparación de tejidos dañados. El parénquima es un tejido poco especializado que cumple una gran variedad de funciones, como la fotosíntesis, el almacenamiento, la producción de sustancias orgánicas y la regeneración de tejidos. Está formado por la célula parenquimática, que generalmente suele tener una pared celular primaria poco engrosada. Esta célula es considerada como posible precursora del resto de los tipos celulares durante la evolución porque muestra menor grado de diferenciación que otras células de la planta (Megías et al., 2017).

4.1.5.1.6. Médula.

Es el tejido central del tronco, generalmente compuesto por células muertas, que proporciona soporte estructural al árbol. De acuerdo con González et al. (2005), la médula por lo general se encuentra alrededor de la parte central del tronco. Está constituida por tejido del parénquima blando vulnerable a ataques biológicos. La aparición de médula en las tablas de árboles jóvenes es un defecto bastante común. Puede presentarse como una médula que se encuentra dentro de la pieza o en una de sus caras.

4.1.5.2. Diferencias anatómicas entre especies coníferas y latifoliadas.

Las coníferas son árboles dioicos o monoicos con corteza rugosa o lisa, placas grandes y gruesas con fisuras o tiras largas y delgadas. Las ramas laterales se desarrollan bien. Tiene hojas simples y pueden tener una forma de aguja, escama, lineal, lanceolada, a veces oblonga o falcada. Por lo general, las hojas duran más de un año. El xilema compacto de la madera se

compone principalmente de traqueidas de paredes gruesas y poros uniseriados o multiseriados (Gernandt y Pérez, 2014). Por otro lado, las especies latifoliadas se caracterizan por poseer la hoja ancha, lo que les diferencia de las coníferas. También son conocidas como maderas duras, pertenecen a la clase de dicotiledóneas en la subdivisión de las angiospermas. Se diferencian de las gimnospermas por tener flores que producen semillas encerradas en un fruto, mientras que las gimnospermas tienen semillas cuyos óvulos y semillas no se forman en cavidades cerradas (Mogollón et al., 2008).

Las coníferas y las latifoliadas se diferencian botánica y estructuralmente. La madera de las gimnospermas o también llamadas coníferas es homogénea, mientras que de las latifoliadas es heterogénea (Baraño et al., 2008).

4.1.5.2.1. Estructura de la madera de coníferas (gimnospermas).

La madera de las coníferas contiene los siguientes componentes estructurales (Figura 2):

- Traqueidas axiales
- Parénquima vertical o axial
- Traqueidas radiales
- Parénquima transversal
- Células epiteliales
- Canales resiníferos
- Traqueidas en series axiales (Gimenez et al., 2005).

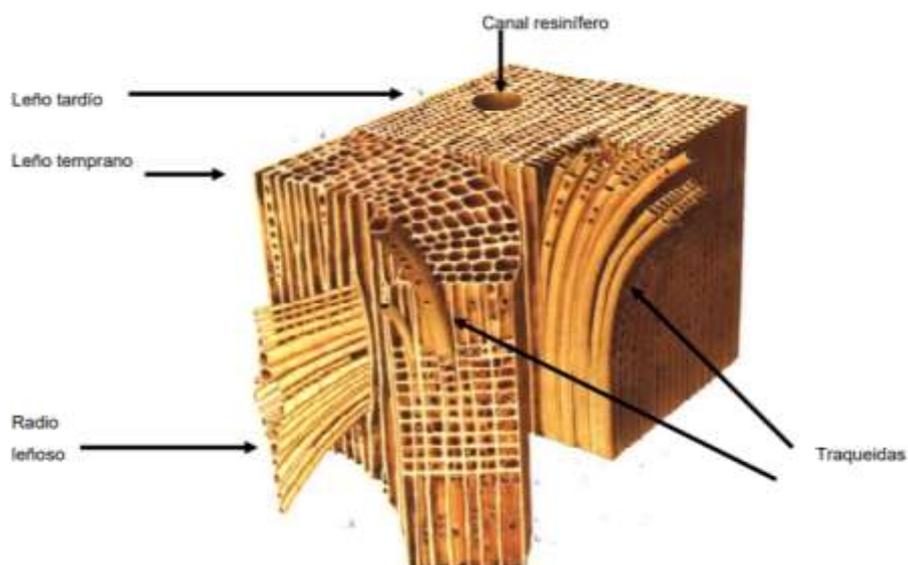


Figura 2. Aspecto tridimensional de la madera de coníferas (Gimenez et al., 2005).

4.1.5.2.2. Estructura de la madera de las latifoliadas (angiospermas)

En la madera de las latifoliadas se encuentran los siguientes elementos estructurales (Figura 3):

- Vasos
- Parénquima axial: apotraqueal, paratraqueal
- Fibras
- Parénquima radial
- Traqueidas vasculares
- Traqueidas vasicéntricas
- Caracteres anatómicos especiales (Gimenez et al., 2005)

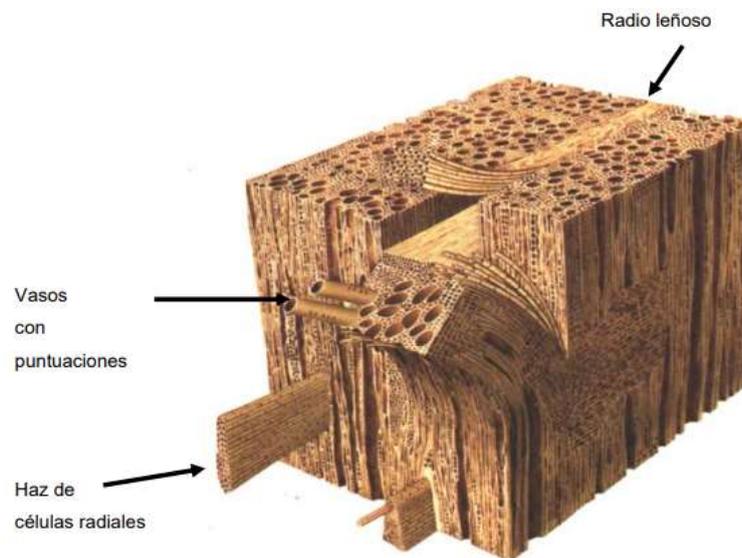


Figura 3. Aspecto tridimensional de la madera de latifoliadas (Gimenez et al., 2005).

4.1.6. Fenología

La fenología vegetal es el estudio de los eventos periódicos en el ciclo de vida de las plantas, como la brotación y caída de hojas, la floración, la fructificación y la dispersión de semillas. Estos factores están relacionados con factores climáticos y pueden ser usados para entender como las plantas responden a cambios en su entorno (Morissette et al., 2009).

4.1.6.1. Defoliación (caída de hoja).

La defoliación es un indicador asociado a la salud general de los árboles y se usa para mostrar la capacidad que tienen para sobrevivir y desarrollarse. Se define como defoliación a la pérdida de hojas/acículas que soporta un árbol en la parte de su copa, a diferencia con un árbol que no ha presentado ningún daño (Adame et al., 2022).

Existen algunos mecanismos para la resistencia de las plantas frente a la defoliación, entre ellos se encuentran los mecanismos fisiológicos que se refieren a la capacidad de compensar daños derivados de una situación de estrés, en donde están formados por procesos compensatorios. Es decir, en la planta existen varios de estos mecanismos, que son capaces de incrementar el crecimiento luego de la defoliación (Fortes et al., 2004).

4.1.6.2. Floración y fructificación

La floración es una fase importante en el ciclo fenológico de las plantas, ya que marca el periodo en que se producen las flores, permitiendo la reproducción a través de la polinización. Por otro lado, la fructificación es un proceso de producción de frutos, esencial para la reproducción y propagación de plantas (Zárate et al., 2006).

4.2. Estrés hídrico

Es una condición en la que un árbol experimenta una falta de agua disponible en el suelo para satisfacer las necesidades. El estrés hídrico puede afectar el crecimiento y la salud del árbol, y en situaciones extremas, puede llevar a la muerte. Una de las principales causas de muerte en plantas es el estrés hídrico, que ocurre cuando la transpiración supera el agua absorbida por las raíces. Los efectos morfológicos y fisiológicos del estrés hídrico en los árboles están ampliamente documentados, pero existe insuficiente información sobre el estado de plántula (Luna et al., 2012).

4.2.1. Impacto del estrés hídrico en las plantas

Para el desarrollo de las plantas, el agua es uno de los factores esenciales, su escasez constituye una de las principales fuentes de estrés (Moreno. 2009). El efecto más significativo de un estrés hídrico leve es la disminución del crecimiento, con especial sensibilidad en la expansión celular. Esto implica que las células de la planta no pueden aumentar su tamaño de manera óptima, lo que afecta directamente su capacidad para desarrollarse (Beltrano y Giménez, 2011). Las plantas experimentan cambios en procesos fisiológicos y metabólicos cuando se enfrentan a la escasez de agua, como reducción en las tasas de fotosíntesis, reducción de la síntesis de proteínas totales y en las tasas de crecimiento. Las plantas tienen mecanismos de aclimatación para enfrentar el estrés, siendo uno de los más importantes la disminución del área foliar, ya que permite conservar mayor cantidad de agua (Moreno. 2009).

4.3. Descripción de las especies

4.3.1. *Juglans neotropica* Diels

4.3.1.1. Descripción taxonómica.

Orden: Fagales

Familia: Juglandaceae

Género: *Juglans*

Especie: *neotropica* Diels (Tropicos, 2023)

Nombre común: nogal, tocte



Figura 4. Plantas de *Juglans neotropica* Diels en el invernadero de investigación de la UNL

4.3.1.2. Descripción botánica.

Árbol monoico de lento crecimiento de hasta 40 m de altura y 80 cm de DAP; corteza, rojo pardo, canopio oval; fuste recto, cilíndrico, libre de ramas hasta un 50 % de su altura; copa irregular 6 m de ancho y follaje ferruginoso; corteza color gris oscuro, áspera agrietada longitudinalmente; hojas compuestas, alternas, pinnadas, de 25 a 40 cm de largo, sin estípulas, con 9 a 17 folíolos lanceolados de 6 a 10 cm de largo y 2.5 a 4 cm de ancho, borde aserrado, ápice acuminado, haz verde oscuro glabro y envés verde pubescente; flores masculinas dispuestas en amentos péndulos, estambres numerosos, flores femeninas de ovario ínfero con un óvulo, se encuentran en los extremos de las ramas nuevas en grupos de cuatro a nueve; fruto tipo drupa color pardo a negro (Ministerio del Ambiente del Ecuador y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [MAE y FAO], 2015).

4.3.1.3. Distribución y ecología.

Esta especie se encuentra en forma silvestre en la región neotropical, originaria de Sudamérica, nativa de los Andes y se encuentra de manera natural desde el noroeste de

Venezuela, norte y sur de Colombia y Ecuador. En Ecuador, es conocida como tocte o nogal, se encuentra distribuido hacia la cordillera oriental entre los 1600 y 2700 m.s.n.m y se registra en las provincias de Azuay, Bolívar, Chimborazo, Loja, Napo, Pichincha y Tungurahua (MAE y FAO, 2015; Ramos et al., 2022).

4.3.1.4. Uso y estado de conservación.

En *J. neotropica* se utiliza tanto su madera, de alto valor en los mercados, como sus hojas y frutos en las industrias textil, de alimentos y de la medicina (Toro y Roldán, 2018).

Juglans neotropica se encuentra catalogada según los criterios de la UICN como una especie En peligro (EN).

4.3.2. *Podocarpus oleifolius* D. Don.

4.3.2.1. Descripción taxonómica.

Orden: Pinales

Familia: Podocarpaceae

Género: *Podocarpus*

Especie: *oleifolius* D. Don (Tropicos, 2023)

Nombre común: romerillo, olivo



Figura 5. Plantas de *Podocarpus oleifolius* D. Don. en el invernadero de investigación de la UNL

4.3.2.2. Descripción botánica.

Árboles que se caracterizan por ser densamente ramificados, con fuste recto y cilíndrico. Poseen la corteza externa de color café e interna rosada; con hojas alternas, dispuestas alrededor de las ramitas (espiraladas), numerosas, rígidas, linear–lanceoladas. Son plantas dioicas, flores masculinas son conos laterales en ramas foliosas, solitarios o agrupados, sésiles o pedunculados y los conos femeninos sobre un receptáculo carnoso en pedúnculos axilares con 1–2 óvulos invertidos rodeados por el epimacio, brácteas a menudo incluidas en el eje y junto con las brácteas estériles. Fruto estróbilos leñosos, semillas sobre el pedúnculo delgado y el receptáculo carnoso, ovoide-globosas, con una cresta apical corta (Aguirre et al., 2015).

4.3.2.3. Distribución y ecología.

Se distribuye en las montañas del sur de México hasta Panamá, Andes de Venezuela a Bolivia, entre 1 800 - 3 000 msnm. En Ecuador se encuentra en las provincias de Azuay, Imbabura, Loja, Morona, Pichincha, Sucumbíos y Zamora (Ministerio del Ambiente del Ecuador y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [MAE y FAO], 2015).

4.3.2.4. Uso y estado de conservación.

La madera de *P. oleifolius* es usada para construcción de muebles finos, pisos, estructura de casas (Aguirre et al., 2015).

Podocarpus oleifolius se encuentra catalogada según los criterios de la UICN como una especie de Preocupación menor.

5. Metodología

5.1. Área de estudio

El monitoreo y mediciones periódicas de las plantas se llevaron a cabo en el invernadero de investigación del proyecto 17-DI-FARNR-2021: “Dinámica de crecimiento y servicios ecosistémicos del arbolado urbano de la ciudad de Loja”, ubicado en el vivero forestal de la Universidad Nacional de Loja (UNL). La preparación y análisis de las muestras anatómicas se realizaron en el Laboratorio de Anatomía de Maderas Tropicales-UNL (Figura 6), durante el período comprendido entre noviembre de 2022 y agosto de 2023.



Figura 6. Mapa de ubicación del área de estudio en el campus UNL.

5.2. Material vegetal

Las especies estudiadas fueron plantas de *Juglans neotropica* Diels (nogal) y *Podocarpus oleifolius* D. Don. (romerillo), de aproximadamente 20 cm de altura y seis meses de edad. Estas plantas fueron donadas por el vivero del Consejo Provincial “Las Cochas” de la Prefectura de la provincia de Loja.

5.3. Diseño experimental

El experimento se estableció en noviembre de 2022 a través de un diseño experimental de bloques sistemáticos. Se estudiaron dos especies forestales *Juglans neotropica* (nogal) y *Podocarpus oleifolius* (romerillo), en dos tipos de medio físico: funda de polietileno y siembra directa al suelo. En cada especie y medio físico se realizaron tres tratamientos: testigo, defoliación inmediata, y defoliación por estrés hídrico, con 20 repeticiones (plantas) para *J. neotropica* y 18 (plantas) para *P. oleifolius*. Esto se llevó a cabo con la finalidad de observar y comparar las diferencias de estrés que presentan las especies frente a la limitación de espacio y escasez hídrica (Figura 7, mayor detalle en Anexo 1).

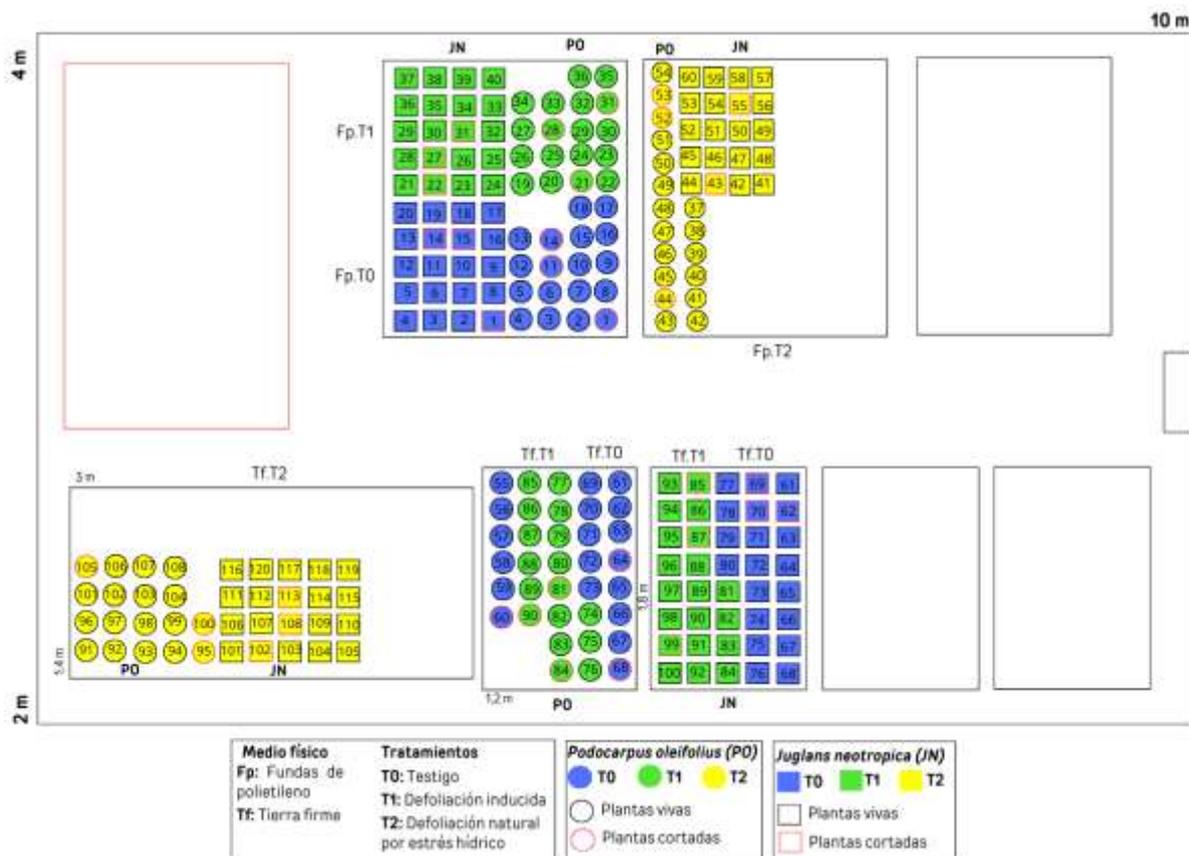


Figura 7. Distribución de las plantas de *Juglans neotropica* (nogal) y *Podocarpus oleifolius* (romerillo) en condiciones de invernadero.

5.3.1. *Tratamientos ensayados*

Las plantas de nogal y romerillo fueron sometidas a los siguientes tratamientos:

- a) **Tratamiento testigo (T0):** Los individuos se mantuvieron con humedad constante a través de riego manual todo el tiempo del experimento (Anexo 2).
- b) **Tratamiento de defoliación inmediata (T1):** Al igual que el T0, los individuos tuvieron humedad constante. Sin embargo, se cortaron todas las hojas en el momento que el T2 tuvo una defoliación completa por estrés hídrico en nogal y el romerillo mostrara marchitez en los ápices, con el objetivo de sincronizar los tiempos de defoliación entre el T1 y T2 (Anexo 2).
- c) **Tratamiento de defoliación por estrés hídrico (T2):** En este tratamiento se eliminó totalmente el riego a las plantas hasta que más del 50% de individuos de nogal perdieran sus hojas o estén defoliados naturalmente, y así mismo cuando más del 50% de individuos de romerillo presentaran marchitez en los ápices. Luego de esto, se procedió a cortar las hojas a todos los individuos de este tratamiento (Anexo 2).

5.3.2. *Medio físico (sustrato)*

Se utilizó el mismo sustrato tanto para las plantas sembradas en fundas de polietileno como para las sembradas en el suelo directo. El sustrato estuvo compuesto por tierra de bosque (30%), abono orgánico / humus (20%) y tierra del sitio (50%).

Las fundas de polietileno utilizadas tuvieron las dimensiones de 20 × 10 cm, mismas que fueron llenadas con el sustrato y colocadas sobre mesas metálicas para evitar el enraizamiento en el suelo. Para las plantas sembradas en suelo directo, se construyeron platabandas con canteras de maderas con una altura desde el suelo de 15 cm, las cuales fueron llenadas con el sustrato preparado (Figura 8).



Figura 8. Plantas de nogal y romerillo sembradas en fundas polietileno y suelo directo.

Nota. a) Plantas en fundas de polietileno y b) Plantas directo en el suelo.

5.3.3. Especificaciones del experimento

En el caso de *J. neotropica* se utilizaron 120 individuos, divididos en dos grupos: 60 plantas en fundas de polietileno y 60 en suelo directo, mismas que estuvieron distribuidas en tres tratamientos.

En el caso de *P. oleifolius* se utilizaron 108 individuos, divididos en dos grupos: 54 plantas en fundas de polietileno y 54 en suelo directo, y así mismo distribuidos en tres tratamientos (Tabla 1 y Figura 7).

Tabla 1. Distribución de las plantas de *Juglans neotropica* (nogal) y *Podocarpus oleifolius* (romerillo) para cada tratamiento bajo condiciones de invernadero.

Medio físico	<i>Juglans neotropica</i>	<i>Podocarpus oleifolius</i>
Fundas de polietileno	T0 (20 individuos)	T0 (18 individuos)
	T1 (20 individuos)	T1 (18 individuos)
	T2 (20 individuos)	T2 (18 individuos)
Suelo	T0 (20 individuos)	T0 (18 individuos)
	T1 (20 individuos)	T1 (18 individuos)
	T2 (20 individuos)	T2 (18 individuos)
Total	120	108

5.4. Colecta de datos

Se realizaron mediciones quincenales durante 270 días (nueve meses), a los 120 individuos de *J. neotropica* y 108 de *P. oleifolius* distribuidos en los 12 tratamientos, tanto en las fundas de polietileno como los plantados directo en el suelo (Tabla 2).

Las variables dasométricas evaluadas fueron el diámetro a 3 cm de la base (DB, cm) y altura (H, cm), variables medidas con la ayuda de un calibrador y cinta métrica, respectivamente. Por otro lado, las variables ecológicas evaluadas fueron: sobrevivencia, el número de hojas, y el estado fitosanitario (buena, regular y mala), determinadas a través de observación directa y registradas en una hoja de campo (Anexo 3).

Tabla 2. Hoja de campo para la recolección de datos por tratamiento.

Especie:				Código:		
Responsable:						
Nro. medición:						
Fecha:						
Observaciones:						
Descripción						
Nro. Individuo	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Nro. de hojas	Estado fitosanitario		
				Bueno	Regular	Malo

5.5. Corte de incisión y recuperación de las plantas

A los 15 días de iniciado el experimento, se realizó una incisión de dos centímetros de longitud en el tallo de cada planta, a una altura de tres centímetros de la base en dirección radial. Este corte se realizó con la ayuda de un bisturí y posteriormente se colocó cinta alrededor del tallo sobre el corte para evitar contaminación. La incisión se realizó con el propósito de crear una cicatriz en el xilema, que sirva como referencia para determinar cuándo y dónde comenzó a formarse nuevo tejido (Figura 9).

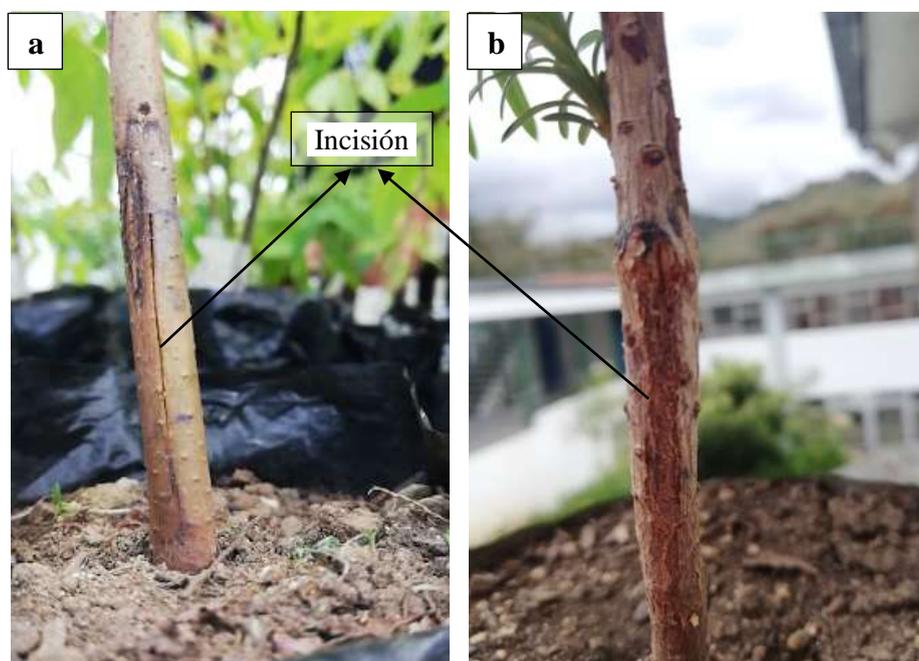


Figura 9. Marcas de la incisión producida en las dos especies de estudio.

Nota. a) Incisión reciente en *Juglans neotropica* Diels y b) Incisión cicatrizada en *Podocarpus oleifolius* D. Don.

5.6. Cortes referenciales

Una vez que las plantas se recuperaron de la incisión inicial, a los dos meses se seleccionó un individuo al azar de cada grupo: uno de funda de polietileno y uno de suelo directo, para cada una de las dos especies (totalizando cuatro individuos). Este procedimiento se llevó a cabo como referencia o testeo para verificar si el tejido ya está bien cicatrizado, permitiendo así continuar con los demás cortes transversales (Anexo 4).

5.7. Evaluación de la formación de anillos de crecimiento en individuos de *Juglans neotropica* Diels y *Podocarpus oleifolius* D. Don. plantadas en fundas de polietileno y directo en el suelo bajo estrés hídrico y defoliación.

5.7.1. Selección de individuos

A los 270 días de iniciado el experimento, se seleccionaron tres individuos al azar por cada medio físico (funda de polietileno y suelo directo) de cada una de las dos especies para el análisis de formación de anillos. Es importante mencionar que, todos los individuos tenían incisiones en sus tallos realizadas en sentido radial (Figura 10a, 10b, 10c). Los individuos seleccionados fueron llevados al Laboratorio de Anatomía de Maderas Tropicales para la obtención de cortes anatómicos, para lo cual se aplicó la metodología de cortes anatómicos de madera propuesta por Feijoo et al. (2018).

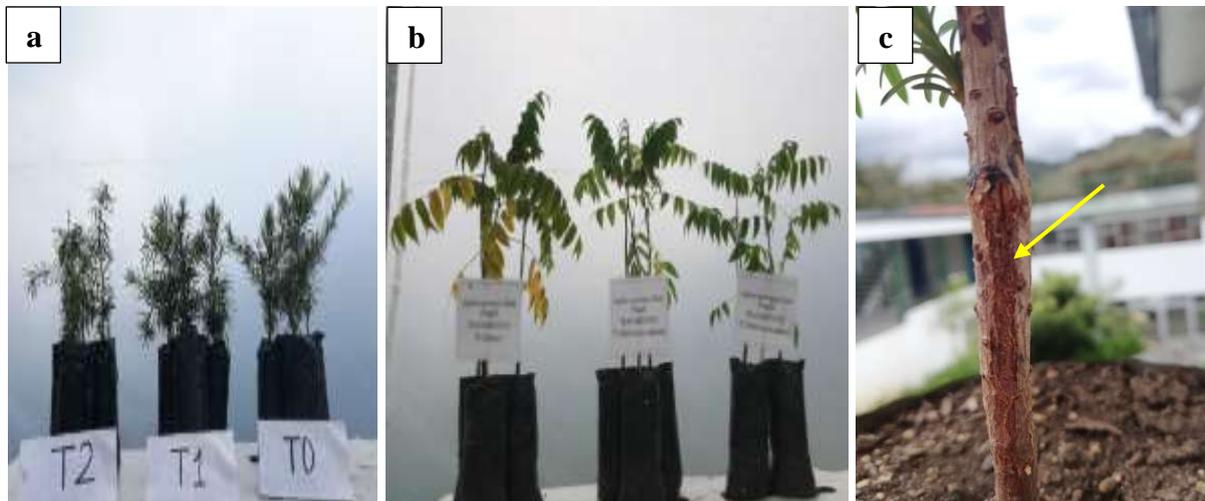


Figura 10. Individuos seleccionados por cada tratamiento.

Nota. Plantas seleccionadas de a) *Podocarpus oleifolius* D. Don. b) *Juglans neotropica* Diels. y c) Ejemplo de incisión producida en *Juglans neotropica* D. luego de 270 días como lo indica la flecha.

5.7.2. Cortes anatómicos

5.7.2.1. Toma de muestras y cortes transversales.

Para la toma de muestras, se realizó un corte transversal en la sección del tallo que presentaba el corte de incisión, con un tamaño aproximadamente de 2,3 cm de largo para que se ajustara al micrótom. Posterior a ello, se realizaron cortes anatómicos micrométricos lo más finos posibles (2 a 3 μm) (Figura 11a, 11b).

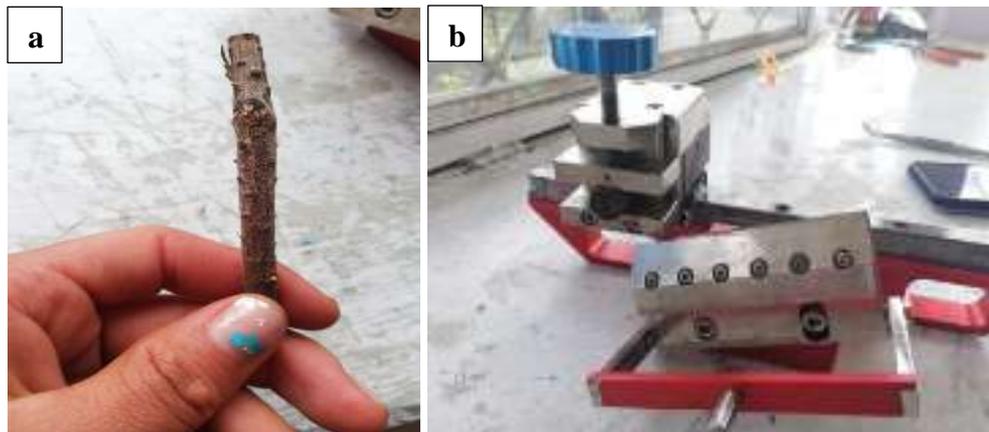


Figura 11. Toma de muestra y cortes transversales en los individuos seleccionados.

Nota. a) Corte transversal de la muestra que presenta el corte de incisión y b) Colocación de la muestra en el micrótom para la obtención de cortes.

5.7.2.2. Tinción y sellado de muestras.

Los cortes transversales obtenidos se colocaron en un portaobjetos, a los cuales se añadió una combinación de Astra Blue y Safranina, dejándolos reposar durante 3-5 minutos. Una vez transcurrido este tiempo, se procedió a lavar las muestras utilizando alcohol en diferentes concentraciones (50, 75 y 96 %). Cabe mencionar que, después de lavar y observar las mejores muestras en el microscopio, se procedió con el sellado de estas. Para ello, se utilizó una gota de Bálsamo de Canadá con la finalidad de conservar la muestra, y finalmente, se colocó un cubreobjetos para sellar completamente la muestra (Figura 12a, 12b).

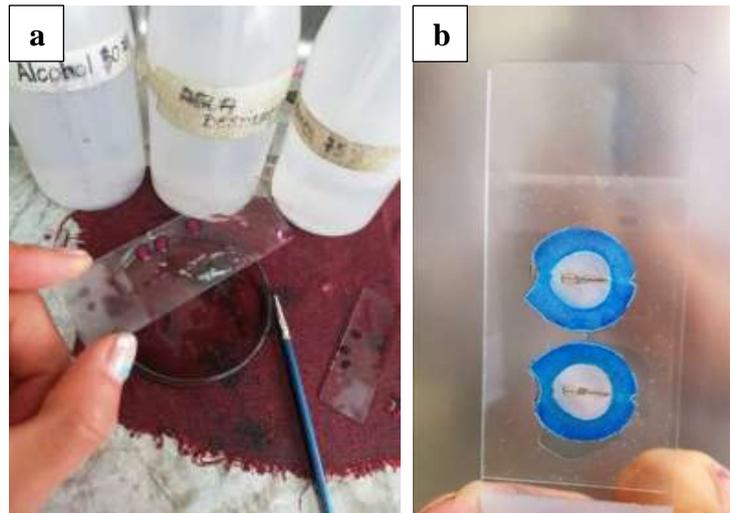


Figura 12. Tinción y sellado de muestras.

Nota. a) Tinción y lavado de los cortes en muestras de *Podocarpus oleifolius* D. Don. y *Juglans neotropica* Diels y b) Sellado de muestras.

5.7.3. Fotografías de imágenes anatómicas e identificación de anillos de crecimiento

Con los cortes sellados, y con ayuda del microscopio junto al software Infinity Analyze v.5, se realizaron capturas individuales de cada una de las partes de la muestra. Posteriormente, para la unificación y obtención de la imagen completa, se usó el software Imagen Composite Editor (Figura 13a, 13b).

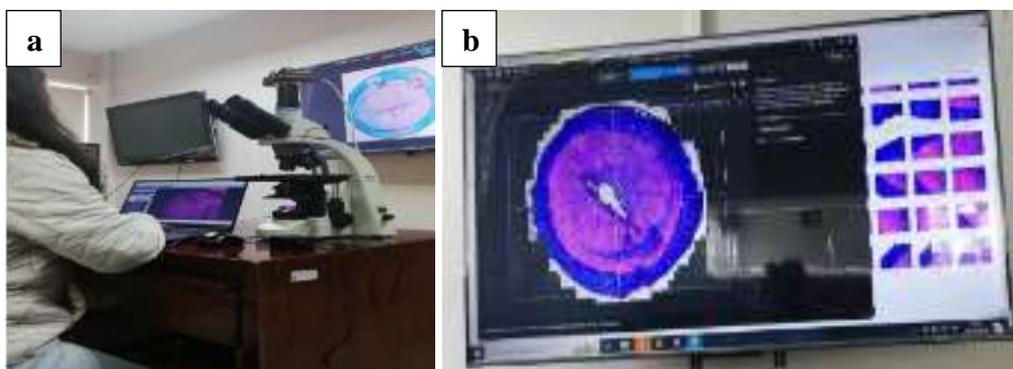


Figura 13. Captura de imágenes.

Nota. a) Capturas individuales de las muestras y b) Muestra completa de *Juglans neotropica* Diels y *Podocarpus oleifolius* D. Don.

A partir de las imágenes generadas con el microscopio y el software Infinity Analyze v. 5, con una escala de 2 400 μm , se procesó de manera detallada cada sección transversal con el software Photoshop. Este procedimiento permitió complementar detalles como la eliminación de fondo de imagen y la fijación de la escala (Figura 14a, 14b y Anexo 5). Una vez realizado el

arreglo digital en Photoshop, se identificó el patrón de anillos en los cortes anatómicos basado en las variaciones de color, bandas de parénquima y bandas de fibras.

Se identificaron dos tipos de anillos: completos e incompletos. Los anillos completos se definieron como aquel anillo que sea continuo a través de toda la circunferencia del corte transversal. Mientras que los anillos incompletos, fueron aquellos discontinuos y que aparecían solo en ciertas secciones del corte transversal.

Seguidamente, se trazó los límites de la médula, la incisión producida por el bisturí, del xilema y corteza a través del ICY, software especializado para análisis de bio-imágenes (Figura 15a, 15b y Anexo 6).

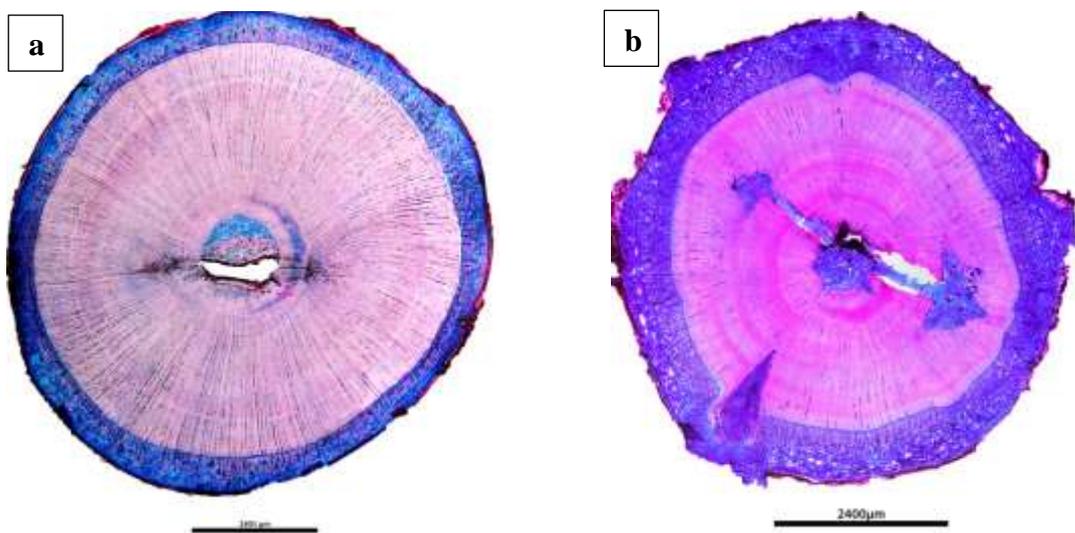


Figura 14. Imágenes procesadas con el software Photoshop donde se eliminó el fondo y se fijó la escala.

Nota. a) *Juglans neotropica* Diels. y b) *Podocarpus oleifolius* D. Don.

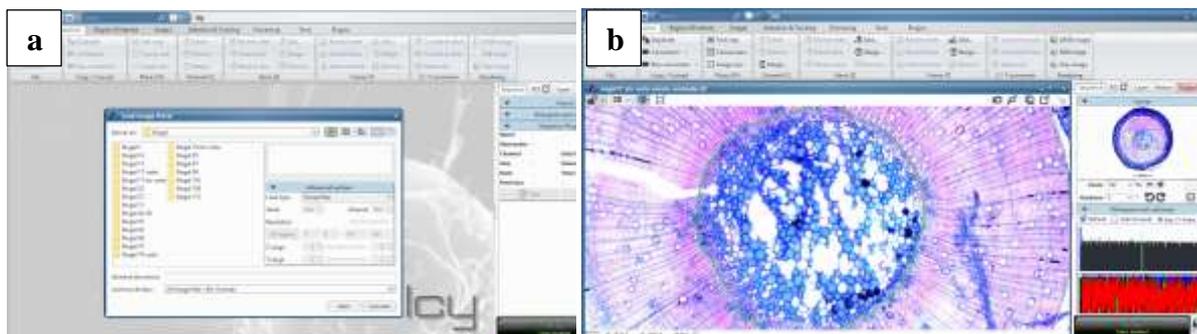
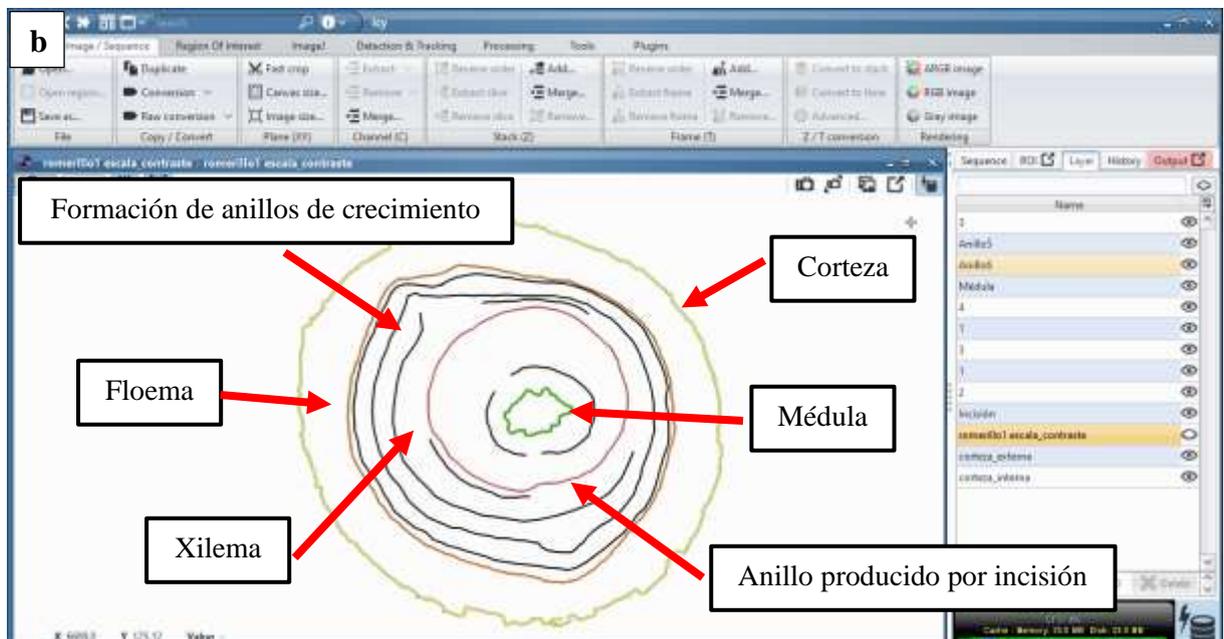
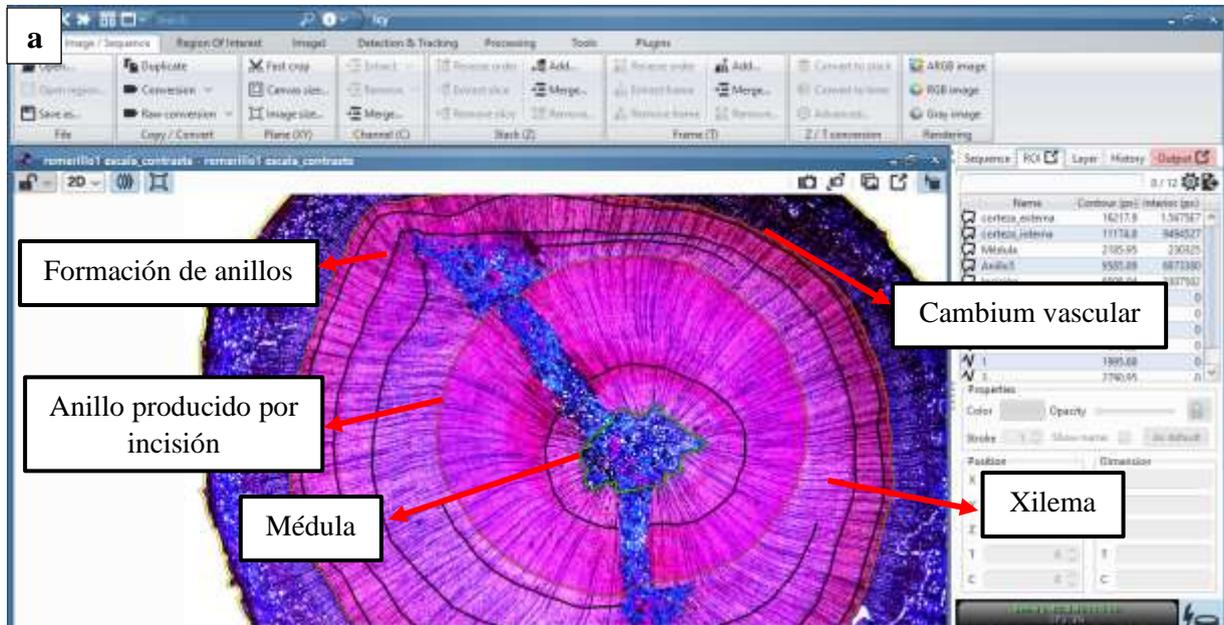


Figura 15. Análisis digital de imágenes con el Software ICY

Nota. a) Elección de cada individuo en el Software ICY y b) Individuo seleccionado para la identificación de anillos.

Con la imagen abierta en el programa, se realizó la separación de las diferentes partes de la muestra utilizada para el análisis de la formación de los anillos de crecimiento. Para ello,

se utilizaron las funciones que se encuentran en “Region Of Interest” tales como: polygon, polyline 2D, se separaron la médula, el anillo formado por el corte de incisión, el xilema y la corteza., Posteriormente, se procedio a diferenciar la formación de anillos completos e incompletos ocasionados por el estrés hídrico (Figura 16a, 16b, 16c).



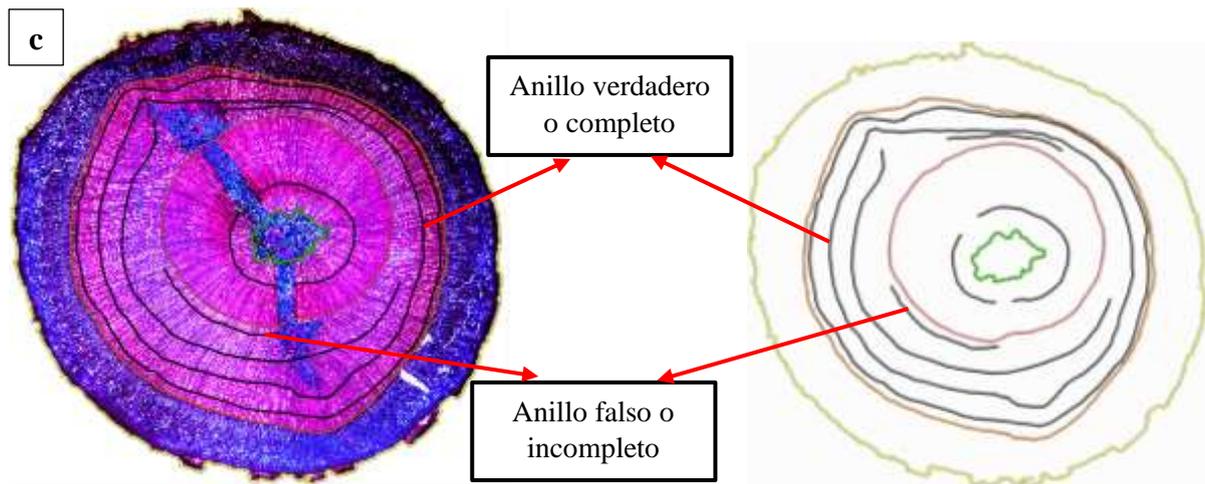


Figura 16. Diferenciación de partes de muestra anatómica.

Nota. a) Diferenciación individual de las diferentes partes de la muestra anatómica, b) Identificación de médula, xilema, corteza y anillos de crecimiento y c) Identificación de anillos de crecimiento completos e incompletos.

Finalmente, el análisis estadístico se lo desarrollo en el entorno/software Rstudio, en el que obtuvimos una representación gráfica del incremento corriente quincenal de la variable diámetro de los tres tratamientos (Figura 17, Anexo 7), con el objetivo de comparar el desarrollo del diámetro con los puntos de estrés hídrico (*formación de anillos verdaderos o falsos que se encuentran entre el xilema y el anillo formado por la incisión*) que presentan los individuos de forma anatómica (Figura 18).

Finalmente, con las imágenes delimitadas anatómicamente y el incremento corriente quincenal del diámetro, se procedió a realizar la relación entre la formación de anillos y los periodos de estrés hídrico y defoliación en el software Photoshop (Anexo 8).

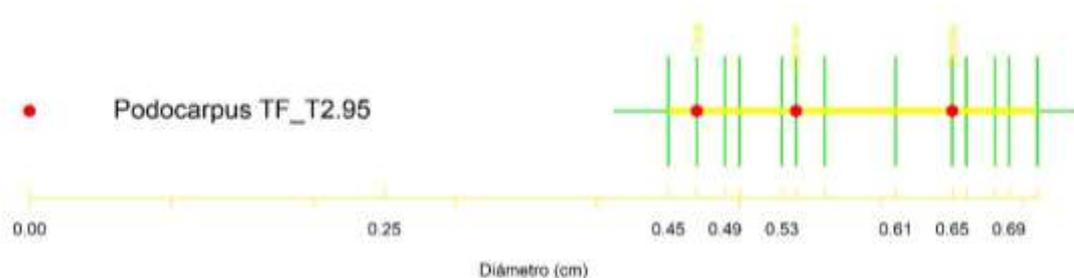


Figura 17. Representación gráfica del incremento corriente quincenal del diámetro.

Nota. Las líneas verdes muestran el valor del incremento diamétrico por cada medición quincenal. Los puntos rojos indican eventos importantes desde que se inició el experimento. El segundo punto rojo es cuando se realizó la incisión.

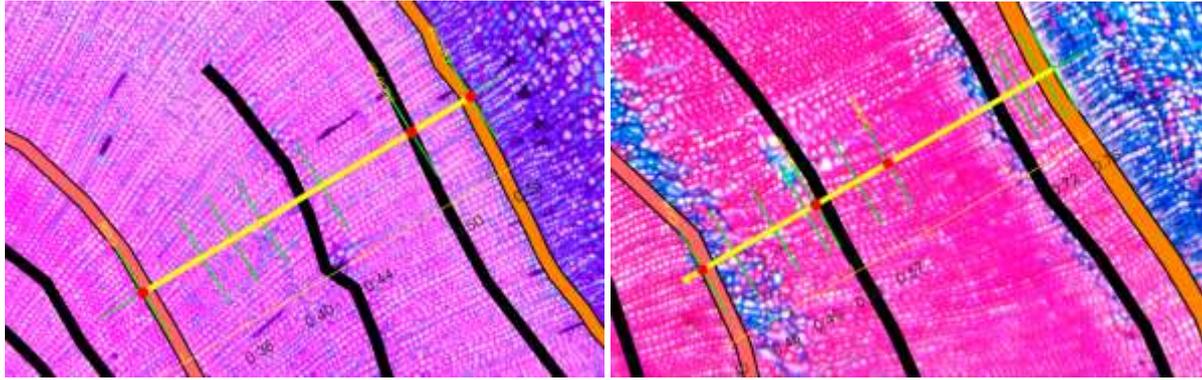


Figura 18. Relación entre el incremento corriente quincenal de diámetro y la formación de anillos de crecimiento en *Podocarpus oleifolius*.

6. Resultados

6.1. Evaluación de la formación de anillos de crecimiento en individuos de *Juglans neotropica* Diels y *Podocarpus oleifolius* D. Don. en fundas de polietileno bajo estrés hídrico y defoliación.

El estrés hídrico de cuatro a ocho semanas no tuvo una incidencia en la formación de anillos de crecimiento en *J. neotropica*. Sin embargo, la defoliación por estrés hídrico e inmediata influyeron como un factor importante en la formación de anillos de crecimiento completos (verdaderos), e incompletos (falsos). Es importante destacar que todos los individuos del tratamiento uno (T1) y tratamiento dos (T2) formaron anillos completos, mientras que en el tratamiento testigo (T0) solo un individuo formó un anillo de crecimiento.

En el caso de *P. oleifolius*, la defoliación por estrés hídrico e inmediata influyeron de manera tardía o indirecta en la formación de anillos de crecimiento en los tratamientos uno y dos (T1 y T2). Además, no se observó una relación evidente entre el estrés hídrico y la formación de anillo en el tratamiento dos (T2). En esta especie, todos los individuos de los tratamientos de defoliación (T1 y T2) presentaron formación de anillos de crecimiento.

6.1.1. *Juglans neotropica* Diels en fundas de polietileno.

- **Testigo**

En los individuos del tratamiento testigo (T0 = riego constante), se observó la formación mínima de anillos de crecimiento incompletos, a excepción del individuo Nro. 1, que formó un anillo completo (Figura 19T0, Anexo 9).

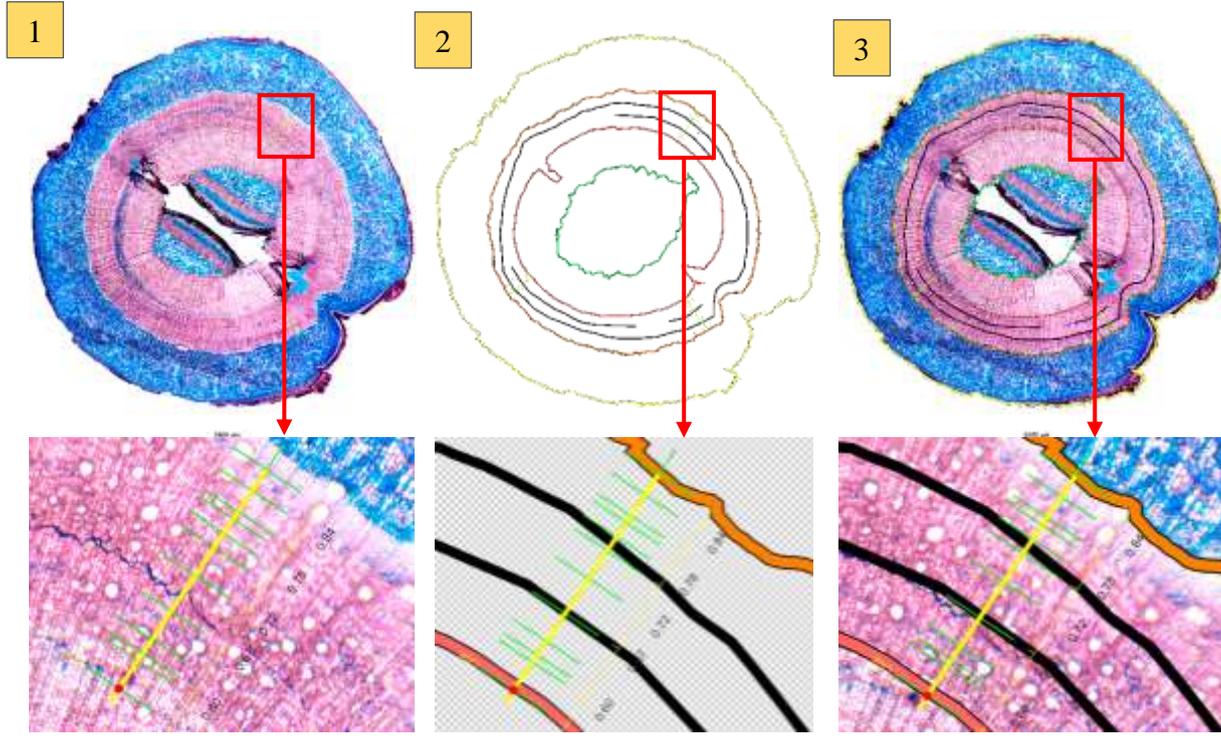
- **Tratamiento 1**

Los tres individuos del tratamiento uno (T1 = Defoliación inmediata + riego constante) presentaron formación de anillos de crecimiento completos. Se observó una relación entre la formación de anillos y la defoliación inmediata aplicada (Figura 19T1, Anexo 9).

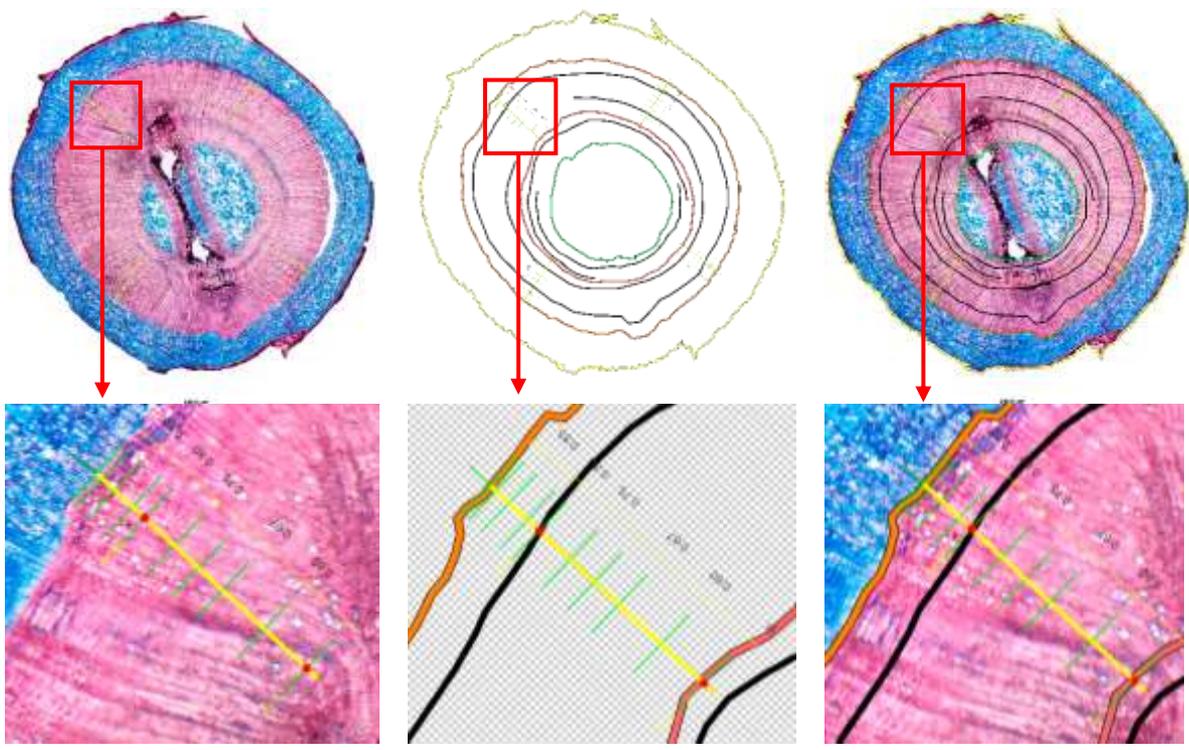
- **Tratamiento 2**

En el tratamiento dos (T2 = Defoliación + estrés hídrico), se observó la formación de anillos completos. Estos anillos tuvieron relación directa con la defoliación por estrés hídrico y no con el período de estrés hídrico aplicado en este tratamiento (Figura 19T2, Anexo 9).

T0 Tratamiento testigo (T0)
JnT0_01



T1 Tratamiento defoliación inmediata (T1)
JnT1_22



T2

Tratamiento defoliación por estrés hídrico (T2) JnT2_43

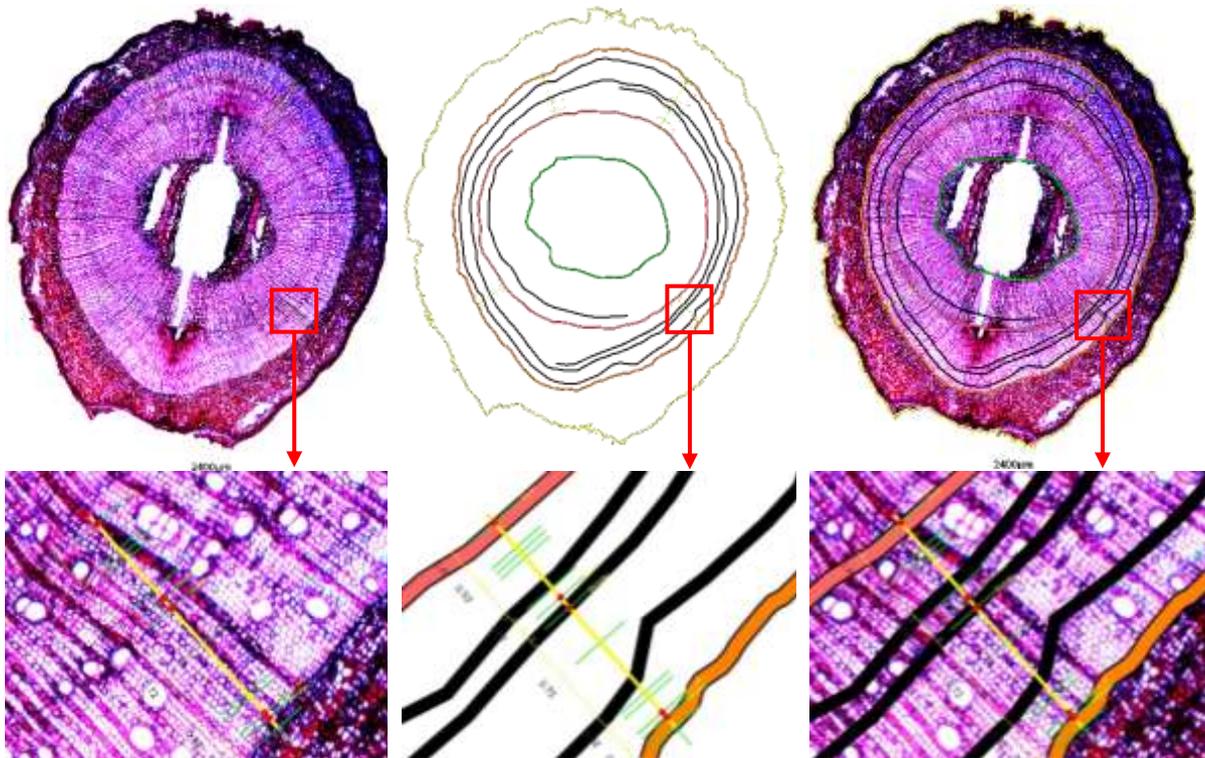


Figura 19. Comparación entre el incremento corriente quincenal del diámetro y la formación de anillos de crecimiento en *Juglans neotropica* Diels plantadas en fundas de polietileno.

Nota. Cada tratamiento muestra tres secciones con las imágenes anatómicas y el esquema del crecimiento con su respectiva ampliación debajo de ellas. En cada imagen se representa el incremento quincenal del diámetro mediante una línea amarilla central y líneas verdes perpendiculares que indican las mediciones del incremento de *Juglans neotropica* Diels cada 15 días. Los puntos rojos marcan los eventos importantes desde que se inició el experimento. 1) Imagen anatómica sin diferenciación de tejidos. 2) Esquema de tejidos. 3) Imagen anatómica con diferenciación de tejidos en líneas de colores. Dentro de las imágenes y esquemas se muestran los diferentes tejidos: anillos de crecimiento (líneas negras), límite de incisión producida (línea roja), límite de la médula (línea verde), borde de la corteza interna (línea naranja) y borde de la corteza externa (línea amarilla).

6.1.2. *Podocarpus oleifolius* D. Don. en fundas de polietileno

- **Testigo**

En el tratamiento testigo (T0 = riego constante), se observó la formación de anillos incompletos. Sin embargo, el individuo Nro. 1 formó anillos de crecimiento tanto completos como incompletos (Figura 20T0, Anexo 9).

- **Tratamiento 1**

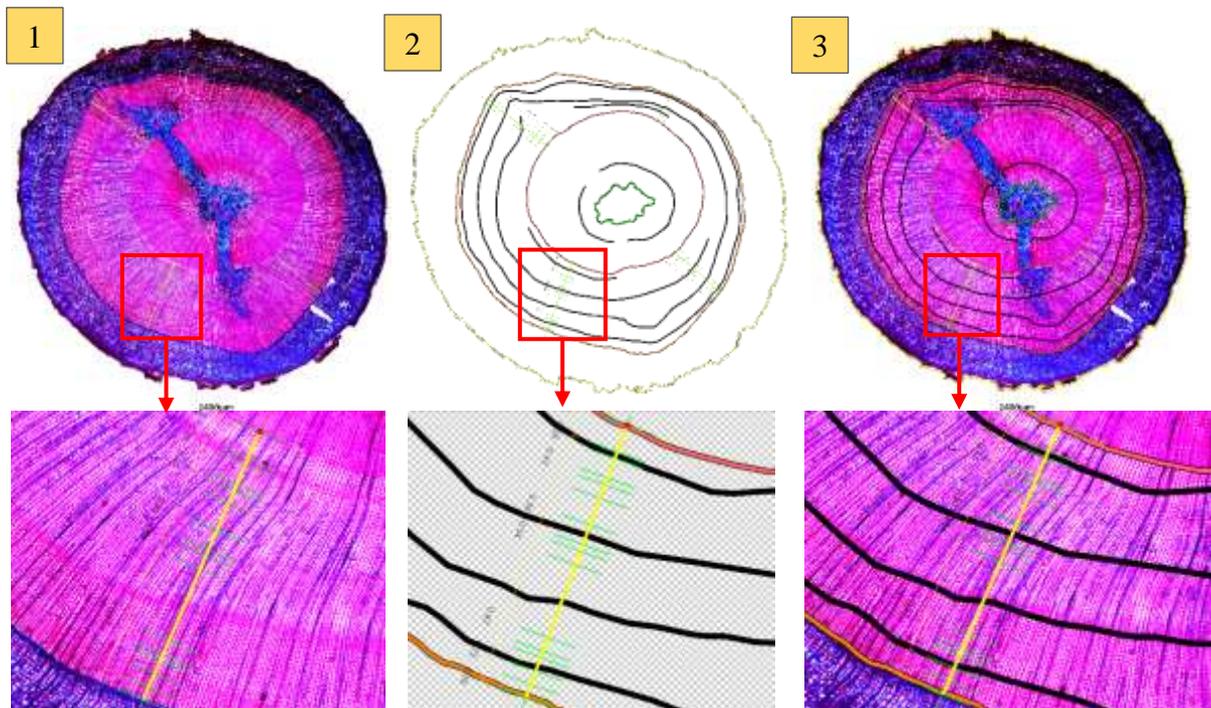
Los tres individuos del tratamiento uno (T1 = Defoliación inmediata + riego constante) presentaron formación de anillos completos y una baja formación de anillos incompletos. Es importante mencionar que la defoliación inmediata no tuvo una reacción inmediata en la

formación de anillos; estos se formaron entre cuatro y 12 semanas posteriores (Figura 20T1, Anexo 9).

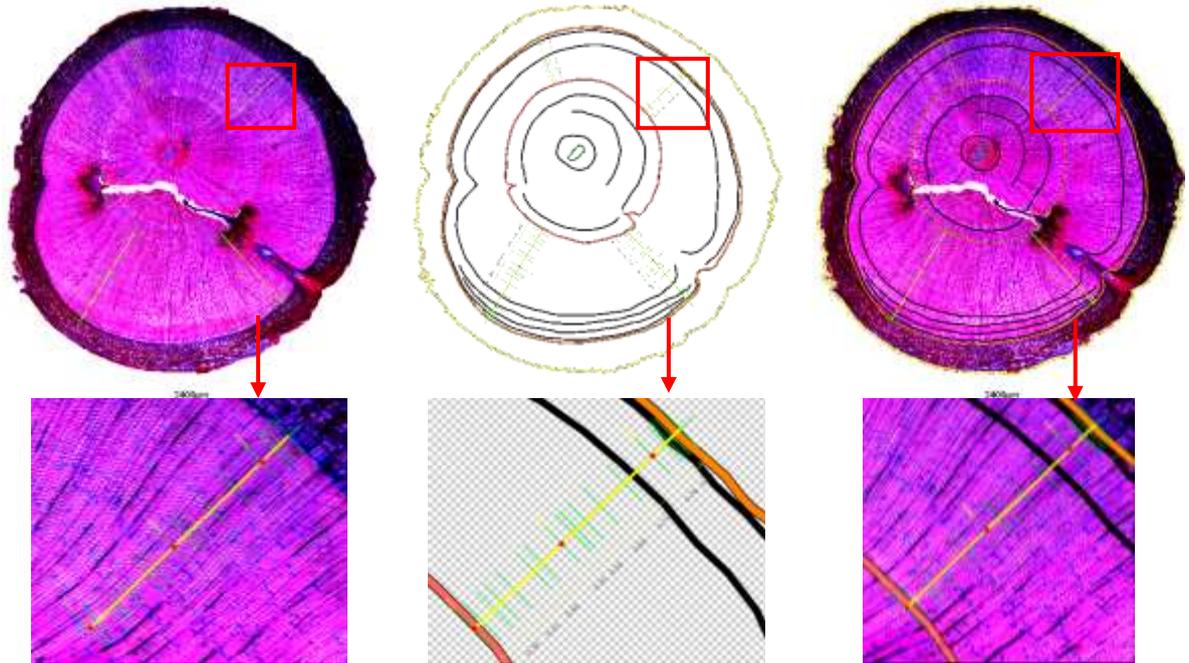
- **Tratamiento 2**

En el tratamiento dos (T2 = Defoliación + estrés hídrico), dos de los tres individuos presentaron formación de anillos completos, con la excepción del individuo Nro. 44 que únicamente formó anillos incompletos. En este caso, no hubo claridad del factor que influyó en la formación de anillos completos. El individuo Nro. 52 formó un anillo después de la primera defoliación por estrés hídrico, y el Nro. 53 formó un anillo justo después de la sequía (Figura 20T2, Anexo 9).

T0 **Tratamiento testigo (T0)**
PoT0_01



T1 Tratamiento defoliación inmediata (T1)
PoT1_21



T2 Tratamiento defoliación por estrés hídrico (T2)
PoT2_52

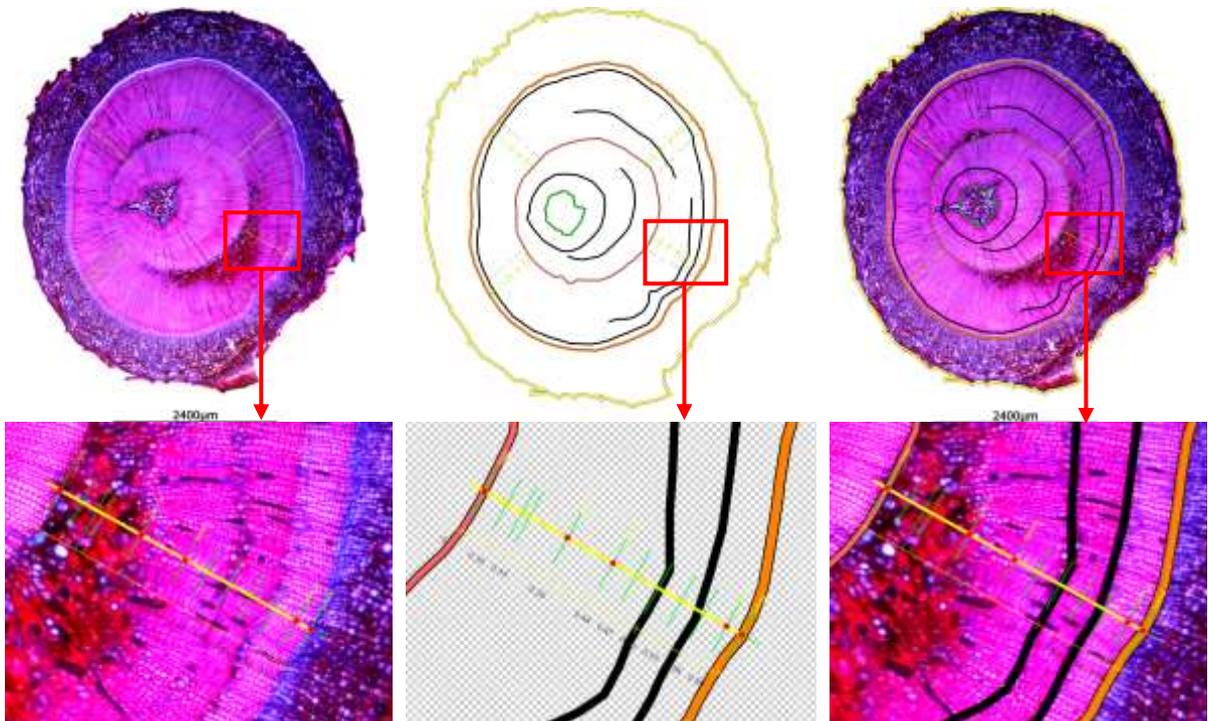


Figura 20. Comparación entre el incremento corriente quincenal del diámetro y la formación de anillos de crecimiento en *Podocarpus oleifolius* D. Don. plantadas en fundas de polietileno en el Testigo, T1, y T2.

Nota. Cada tratamiento muestra tres secciones con las imágenes anatómicas y el esquema del crecimiento con su respectiva ampliación debajo de ellas. En cada imagen se representa el incremento quincenal del diámetro mediante una línea amarilla central y líneas verdes perpendiculares que indican las mediciones del incremento de *Podocarpus oleifolius* D. Don. cada 15 días. Los puntos rojos marcan los eventos importantes desde que se inició el experimento. 1) Imagen anatómica sin diferenciación de tejidos. 2) Esquema de tejidos. 3) Imagen anatómica con diferenciación de tejidos en líneas de colores. Dentro de las imágenes y esquemas se muestran los diferentes tejidos: anillos de crecimiento (líneas negras), límite de incisión producida (línea roja), límite de la médula (línea verde), borde de la corteza interna (línea naranja) y borde de la corteza externa (línea amarilla).

6.2. Evaluación de la formación de anillos de crecimiento en individuos de *Juglans neotropica* Diels y *Podocarpus oleifolius* D. Don. en fundas de polietileno bajo estrés hídrico y defoliación.

En los individuos de *J. neotropica* plantados directamente en el suelo, se observó una relación notable entre la defoliación por estrés hídrico e inmediata y la formación de anillos de crecimiento. El estrés hídrico no tuvo un impacto significativo en la formación de anillos, comportamiento similar a los individuos que estuvieron en fundas de polietileno. Todos los individuos del tratamiento uno y dos (T1 y T2) formaron de anillos verdaderos o completos, mientras que los individuos del tratamiento testigo (T0) presentaron anillos incompletos, con la excepción de un individuo que formó un anillo completo.

Por otro lado, en *P. oleifolius* la defoliación por estrés hídrico e inmediata tuvieron incidencia en la formación de anillos de crecimiento en todos los individuos, los cuales se reflejaron después de dos a ocho semanas. Los tratamientos uno y dos (T1 y T2) formaron tanto anillos de crecimiento completos como incompletos, mientras que el tratamiento testigo (T0) formó solo unos pocos anillos incompletos.

6.2.1. *Juglans neotropica* Diels directo en el suelo

- **Testigo**

En el tratamiento testigo (T0 = riego constante), se observó la formación de anillos incompletos o falsos en dos individuos. Sólo un individuo (Nro. 69) presentó la formación de un anillo de crecimiento completo o verdadero (Figura 21T0, Anexo 9).

- **Tratamiento 1**

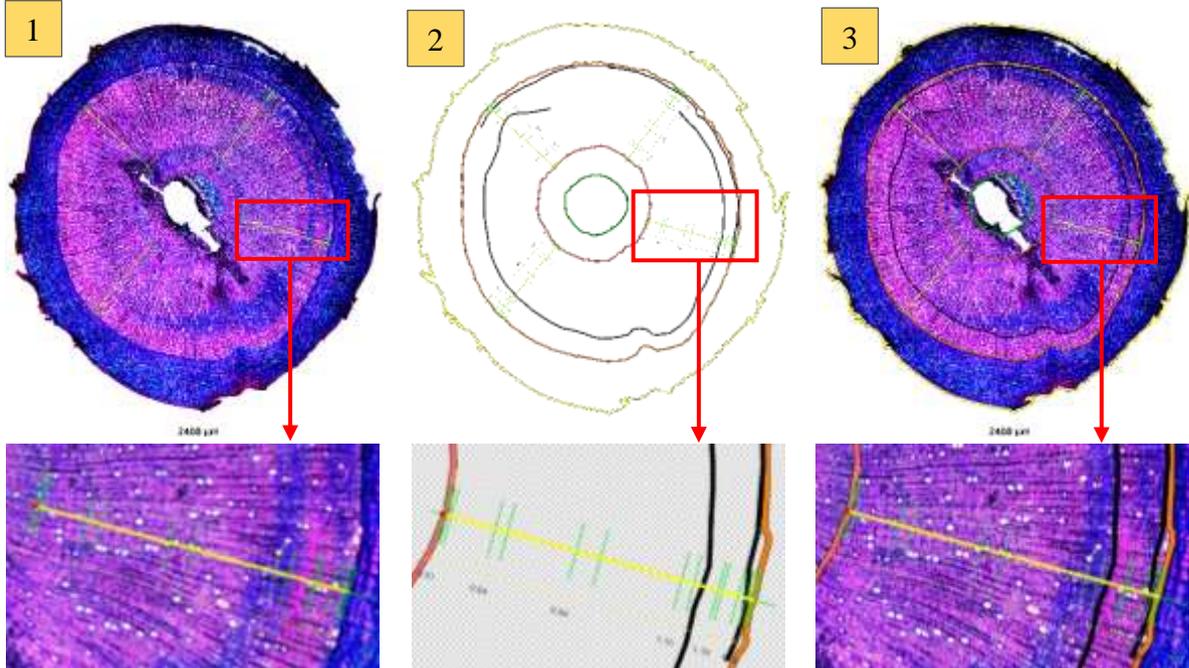
Todos los individuos del tratamiento uno (T1 = defoliación inmediata + riego constante) presentaron la formación anillos de crecimiento completos e incompletos, los cuales mostraron una relación directa con la defoliación inmediata aplicada (Figura 21T1, Anexo 9).

- **Tratamiento 2**

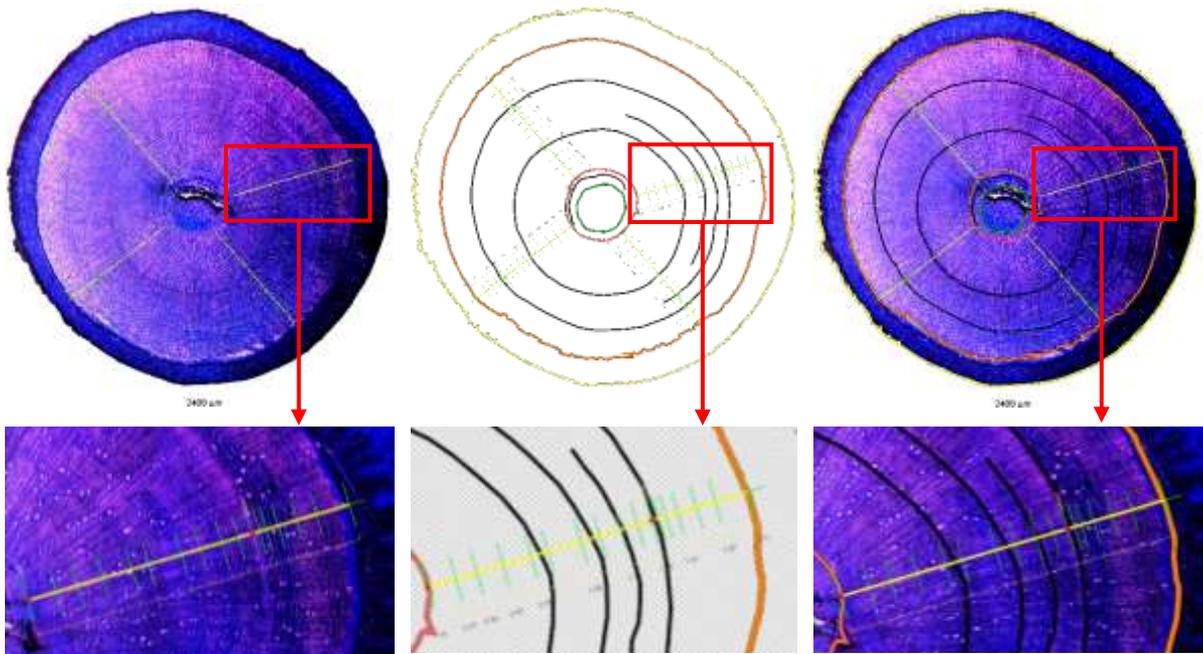
En los tres individuos del tratamiento dos (T2 = defoliación + estrés hídrico), se observó la formación de un anillo completo y varios anillos falsos. El estrés hídrico no coincidió con la

formación de anillos completos, contrastando con la defoliación por estrés hídrico, que sí tuvo una relación directa con la formación de anillos de crecimiento (Figura 21T2, Anexo 9).

T0 Tratamiento testigo (T0)
JnT0_62



T1 Tratamiento defoliación inmediata (T1)
JnT1_99



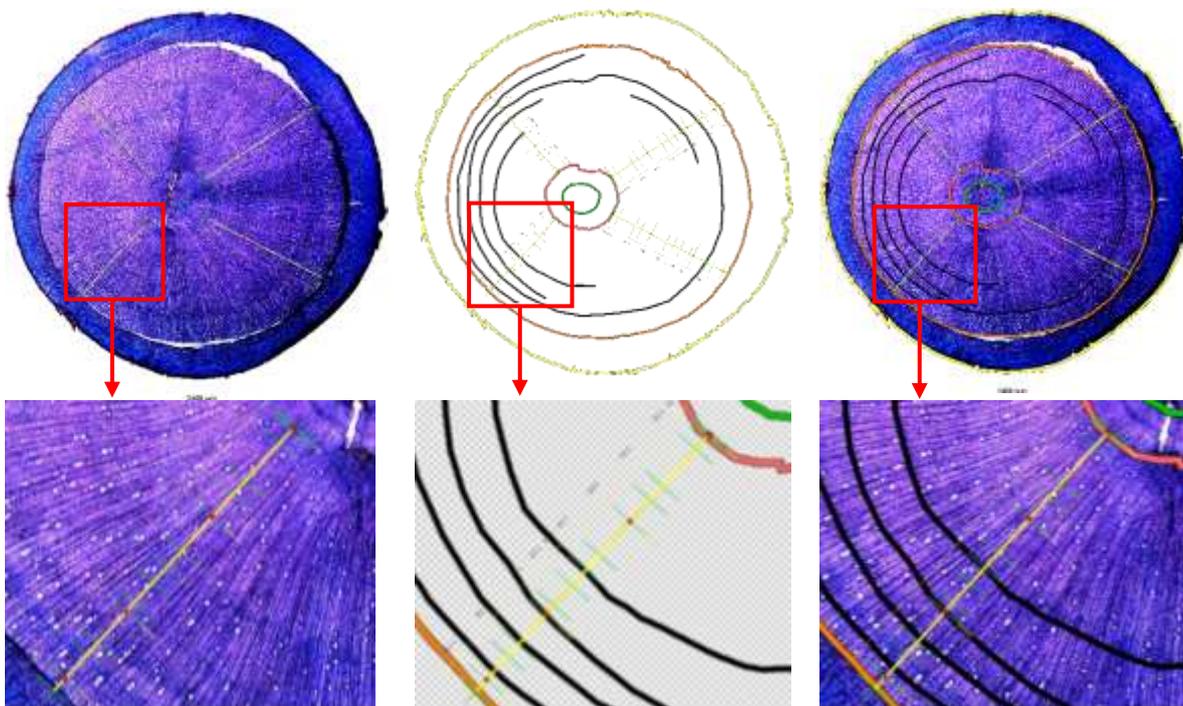
T2**Tratamiento defoliación por estrés hídrico (T2)
JnT2_102**

Figura 21. Comparación entre el incremento corriente quincenal del diámetro y la formación de anillos de crecimiento en *Juglans neotropica* Diels plantadas directo en el suelo.

Nota. Cada tratamiento muestra tres secciones con las imágenes anatómicas y el esquema del crecimiento con su respectiva ampliación debajo de ellas. En cada imagen se representa el incremento quincenal del diámetro mediante una línea amarilla central y líneas verdes perpendiculares que indican las mediciones del incremento de *Juglans neotropica* Diels cada 15 días. Los puntos rojos marcan los eventos importantes desde que se inició el experimento. 1) Imagen anatómica sin diferenciación de tejidos. 2) Esquema de tejidos. 3) Imagen anatómica con diferenciación de tejidos en líneas de colores. Dentro de las imágenes y esquemas se muestran los diferentes tejidos: anillos de crecimiento (líneas negras), límite de incisión producida (línea roja), límite de la médula (línea verde), borde de la corteza interna (línea naranja) y borde de la corteza externa (línea amarilla).

6.2.2. *Podocarpus oleifolius* D. Don. directo en el suelo

- **Testigo**

En el tratamiento testigo (T0 = riego constante), no se observó la formación de anillos de crecimiento verdaderos o completos, sólo se observaron algunos anillos incompletos (Figura 22T0, Anexo 9).

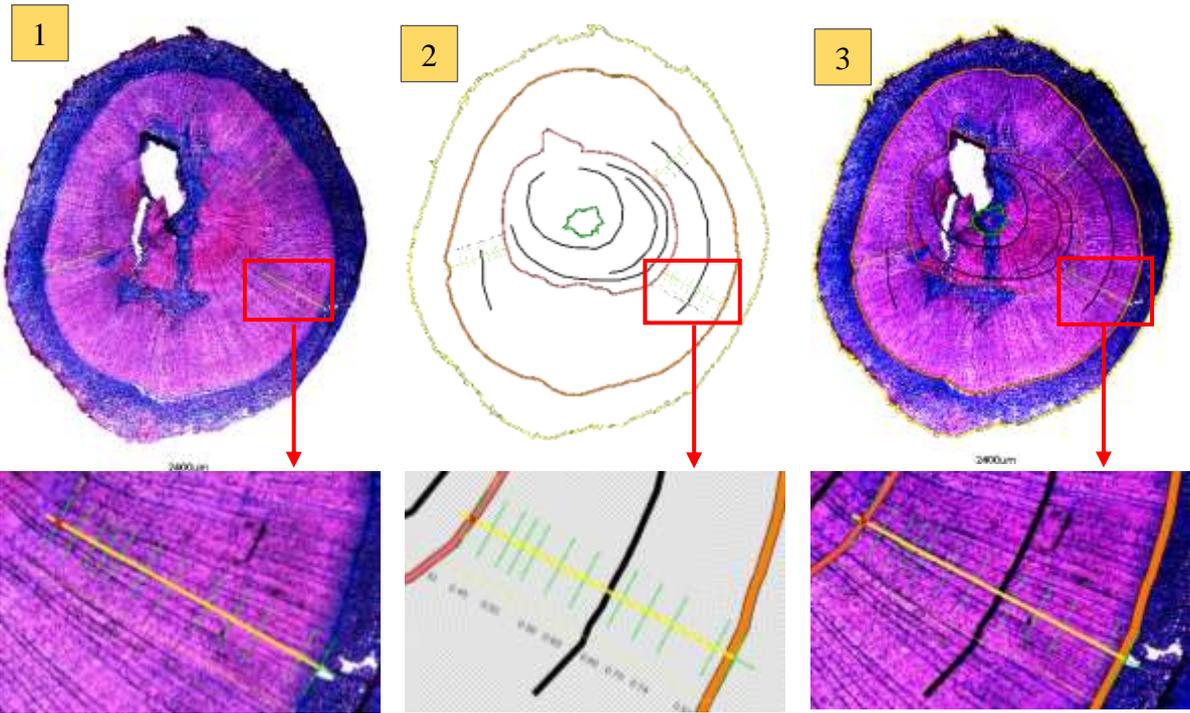
- **Tratamiento 1**

Todos los individuos del tratamiento uno (T1 = defoliación inmediata + riego constante) presentaron formación de anillos de crecimiento verdaderos y falsos. Es importante mencionar que los anillos de crecimiento se formaron entre dos a cuatro semanas después de la defoliación inmediata (Figura 22T1, Anexo 9).

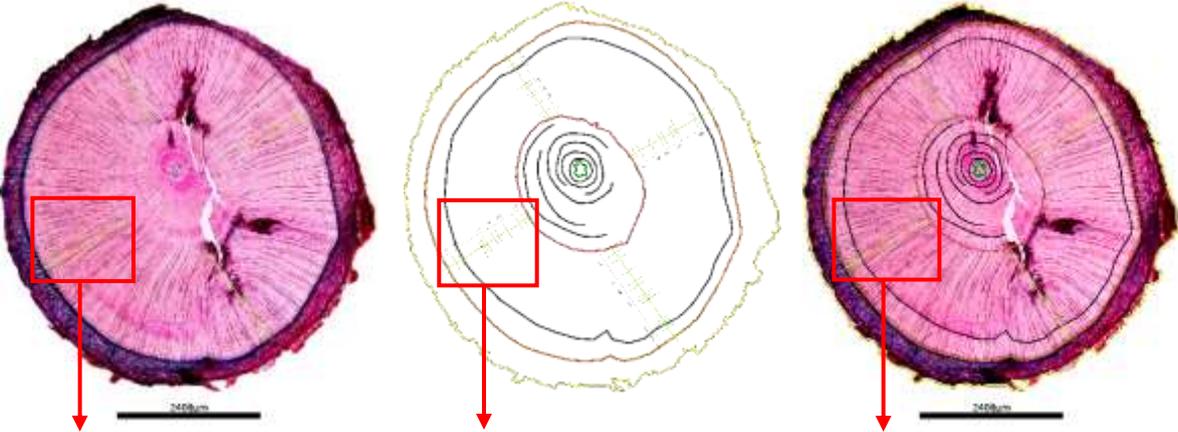
- **Tratamiento 2**

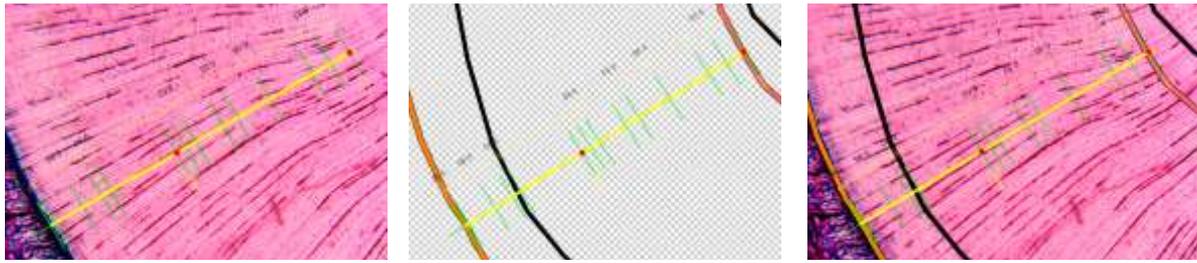
El tratamiento dos (T2 = defoliación + estrés hídrico) mostró una formación de anillos de crecimiento similar al T1, donde la defoliación por estrés hídrico tuvo una respuesta tardía de dos a ocho semanas en la formación de anillos de crecimiento completos (Figura 22T2, Anexo 9).

T0 Tratamiento testigo (T0)
PoT0_68



T1 Tratamiento defoliación inmediata (T1)
PoT1_81





T2 Tratamiento defoliación por estrés hídrico (T2)
PoT2_100

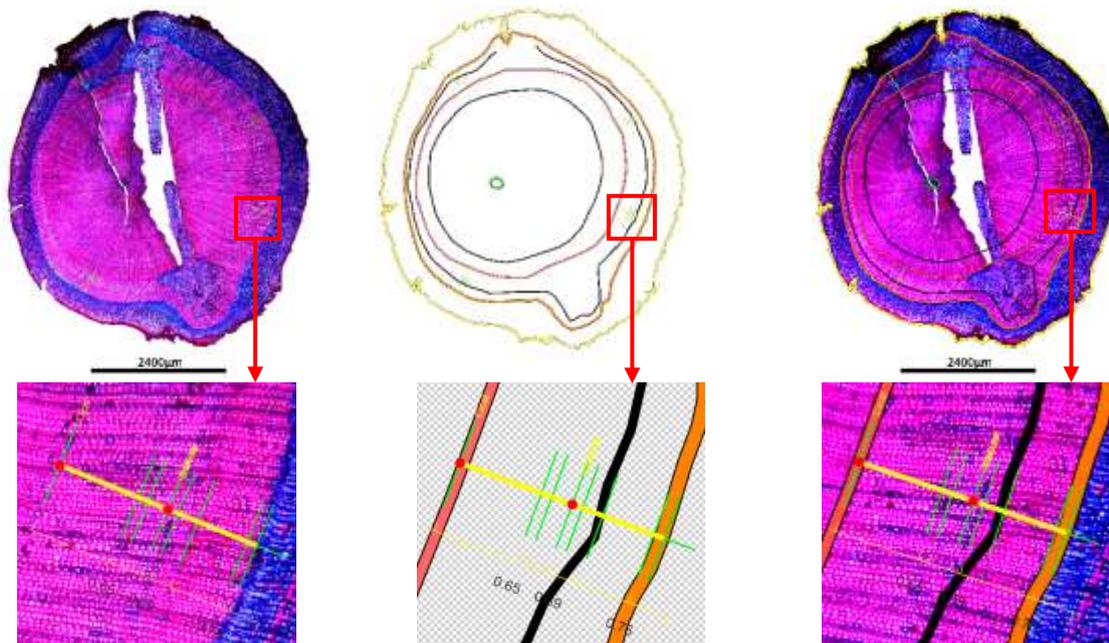


Figura 22. Comparación entre el incremento corriente quincenal del diámetro y la formación de anillos de crecimiento en *Podocarpus oleifolius* D. Don. plantadas directo en el suelo en el Testigo, T1 y T2.

Nota. Cada tratamiento muestra tres secciones con las imágenes anatómicas y el esquema del crecimiento con su respectiva ampliación debajo de ellas. En cada imagen se representa el incremento quincenal del diámetro mediante una línea amarilla central y líneas verdes perpendiculares que indican las mediciones del incremento de *Podocarpus oleifolius* D. Don. cada 15 días. Los puntos rojos marcan los eventos importantes desde que se inició el experimento. 1) Imagen anatómica sin diferenciación de tejidos. 2) Esquema de tejidos. 3) Imagen anatómica con diferenciación de tejidos en líneas de colores. Dentro de las imágenes y esquemas se muestran los diferentes tejidos: anillos de crecimiento (líneas negras), límite de incisión producida (línea roja), límite de la médula (línea verde), borde de la corteza interna (línea naranja) y borde de la corteza externa (línea amarilla).

6.3. Patrón de formación de anillos de crecimiento

6.3.1. *Juglans neotropica* Diels

En *Juglans neotropica*, los anillos de crecimiento presentan inicialmente poros grandes que pueden estar solitarios o no. A medida que se aproxima la formación del anillo, los poros van reduciendo su tamaño. Las células que conforman el anillo también se modifican: el lumen

se reduce y las paredes de las fibras se engrosan, provocando un achatamiento de las células, es decir se muestran más aplanadas y formando entre 4 y 6 filas (Figura 23).

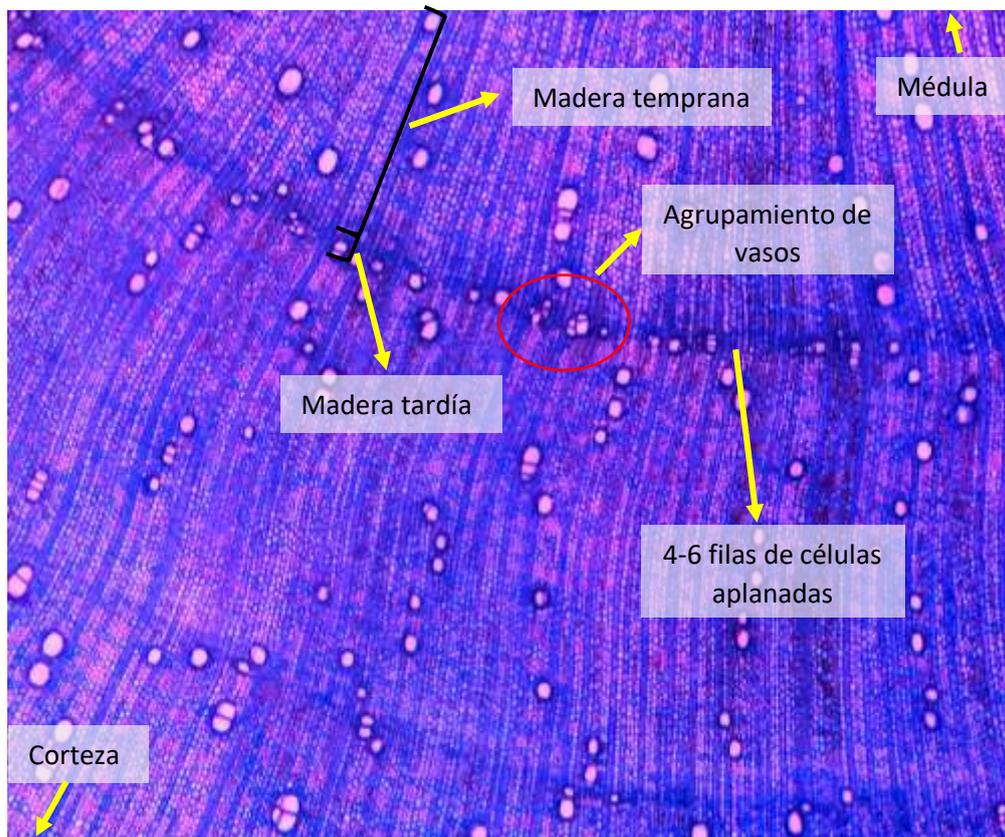


Figura 23. Características de los anillos de crecimiento de *Juglans neotropica*

6.3.2. *Podocarpus oleifolius* D. Don.

En *Podocarpus oleifolius*, al finalizar la formación del anillo (madera tardía), se distingue un engrosamiento de las paredes de las traqueidas y una reducción del lumen, llegando en ocasiones incluso llega a desaparecer. Este engrosamiento y reducción del lumen resultan en un achatamiento de 3 a 4 filas de traqueidas, lo que permite distinguir los anillos de crecimiento. Posteriormente, tras la formación de un anillo, el lumen y las paredes de las traqueidas regresan a su estado normal (Figura 24).

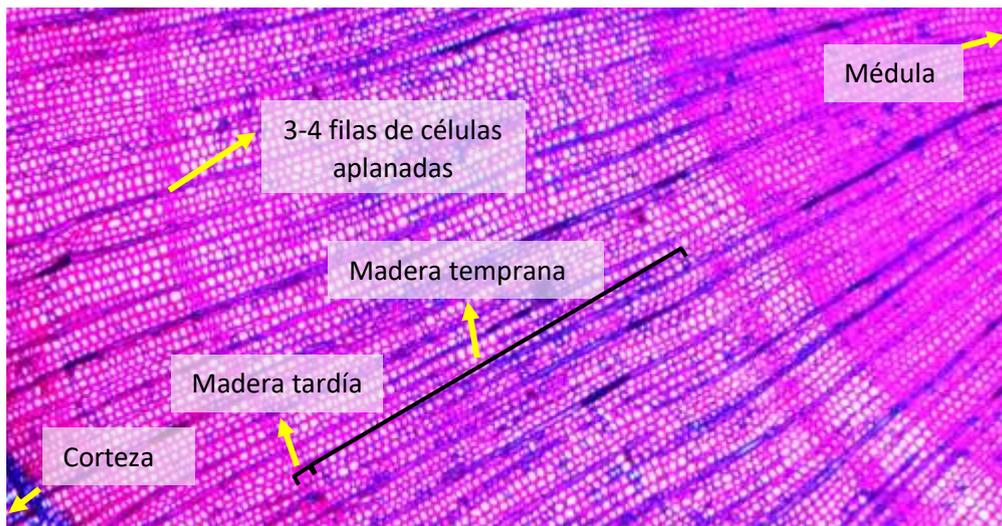


Figura 24. Características de los anillos de crecimiento en *Podocarpus oleifolius*

6.4. Análisis estadístico descriptivo de anillos de crecimiento

En ambas especies se formaron tres tipos de anillos, los completos, incompletos, y de reacción. Se encontraron entre 18 y 23 anillos. Los anillos completos fueron más evidentes en los tratamientos T1 y T2, mientras que en el tratamiento testigo (T0) el número de anillos fue menor. Además, únicamente el testigo (T0) mostró anillos de reacción.

6.4.1. *Juglans neotropica* Diels

En un análisis de todos los individuos en los tratamientos T1 y T2, el 82 % de las plantas que se desarrollaron en las fundas de polietileno formaron anillos completos, mientras que el 50% de las que se desarrollaron en suelo directo formaron anillos completos.

En el tratamiento testigo (T0), tanto para las plantas que se desarrollaron en fundas de polietileno como en suelo directo, se obtuvo resultados similares. El 14 % de anillos fueron completos, y el 57 % de anillos incompletos.

Por otro lado, en el tratamiento T1, la cantidad de anillos completos e incompletos encontrados fue diferente entre los dos medios físicos. El 86 % de anillos en fundas de polietileno fueron completos, a diferencia de los individuos plantados directo en el suelo (63 %.)

En el tratamiento T2, la cantidad de anillos formados también varió entre los dos medios físicos. En las fundas de polietileno, el 75% de los anillos fueron completos, mientras que en el suelo directo solo el 38% fueron completos. En cuanto a los anillos incompletos, en las fundas de polietileno representaron el 25%, y en el suelo directo alcanzaron el 63% (Tabla 3).

Tabla 3. Número de anillos formados en *Juglans neotropica*

Tratamientos	Tipo de anillos	Medio Físico			
		Fundas de polietileno		Directo en el suelo	
		Nro. anillos	Porcentaje (%)	Nro. anillos	Porcentaje (%)
T0	Completos	1	14	1	14
	Incompletos	4	57	4	57
	Reacción	2	29	2	29
	SUBTOTAL	7	100	7	100
T1	Completos	6	86	5	63
	Incompletos	1	14	3	38
	Reacción	0	0	0	0
	SUBTOTAL	7	100	8	100
T2	Completos	3	75	3	38
	Incompletos	1	25	5	63
	Reacción	0	0	0	0
	SUBTOTAL	4	100	8	100
TOTAL (T0-T2)	Completos	10	56	9	39
	Incompletos	6	33	12	52
	Reacción	2	11	2	9
	TOTAL	18	100	23	100
TOTAL (T1-T2)	Completos	9	82	8	50
	Incompletos	2	18	8	50
	Reacción	0	0	0	0
	TOTAL	11	100	16	100

6.4.2. *Podocarpus oleifolius* D. Don.

En *Podocarpus oleifolius*, se observó una mayor formación de anillos de crecimiento incompletos en las fundas de polietileno en los tratamientos T1 y T2, representando un 60%, en comparación con los anillos completos, que constituyeron un 40%. Por otro lado, en las plantas plantadas directamente en el suelo, los anillos incompletos representaron un 42%, mientras que los anillos completos alcanzaron un 58%.

La cantidad de anillos encontrados en el tratamiento testigo (T0) fue diferente en ambos medios físicos donde estuvo *Podocarpus oleifolius*. En fundas de polietileno, se observó la presencia de los tres tipos de anillos (completos, incompletos y reacción), tanto anillos completos e incompletos representaron un 40 %. A diferencia de los individuos plantados directamente en suelo, que mostraron solo la presencia de anillos incompletos.

En el tratamiento T1, se formaron anillos completos e incompletos en ambos medios físicos, sobresaliendo considerablemente los anillos completos en funda de polietileno con un 57 % y en suelo directo con un 60 %. En el tratamiento T2, al igual que en tratamiento T1, se

observaron dos tipos de anillos, con una mayor presencia de anillos incompletos en fundas de polietileno y plantados directo en el suelo, con un 75 % y 43 % de presencia respectivamente (Tabla 4).

Tabla 4. Número de anillos formados en *Podocarpus oleifolius*

Tratamientos	Tipo de anillos	Medio Físico			
		Fundas de polietileno		Directo en el suelo	
		Nro. anillos	Porcentaje (%)	Nro. anillos	Porcentaje (%)
T0	Completos	2	40	0	0
	Incompletos	2	40	6	100
	Reacción	1	20	0	0
	SUBTOTAL	5	100	6	100
T1	Completos	4	57	3	60
	Incompletos	3	43	2	40
	Reacción	0	0	0	0
	SUBTOTAL	7	100	5	100
T2	Completos	2	25	4	57
	Incompletos	6	75	3	43
	Reacción	0	0	0	0
	SUBTOTAL	8	100	7	100
TOTAL (T0-T2)	Completos	8	40	7	39
	Incompletos	11	55	11	61
	Reacción	1	5	0	0
	TOTAL	20	100	18	100
TOTAL (T1-T2)	Completos	6	40	7	58
	Incompletos	9	60	5	42
	Reacción	0	0	0	0
	TOTAL	15	100	12	100

7. Discusión

7.1. Evaluación de la formación de anillos de crecimiento en individuos de *Juglans neotropica* Diels y *Podocarpus oleifolius* D. Don. bajo estrés hídrico y defoliación.

Todos los individuos de *Juglans neotropica* y *Podocarpus oleifolius* de los tratamientos: testigo, defoliación inmediata y defoliación por estrés hídrico, presentaron anillos verdaderos o completos después de la incisión producida en este experimento. Según Llorente (2012), si el árbol sufre alguna herida causada por el fuego, por animales o por el ser humano, este fenómeno queda grabado como cicatrices en los anillos del año correspondiente.

El impacto del estrés hídrico y la defoliación en la formación de anillos de crecimiento varía entre *Juglans neotropica* y *Podocarpus oleifolius*. En *Juglans neotropica*, tanto en fundas de polietileno como en suelo directo se observó la formación de anillos de crecimiento completos, relacionados con la defoliación, existiendo una sincronización significativa entre el desarrollo de los anillos de crecimiento y la segmentación del crecimiento diamétrico, especialmente con los tiempos de defoliación inmediata y por estrés hídrico con el incremento de diámetro de esta especie (tratamiento 1, tratamiento 2). Por otro lado, Acosta (2018), afirma que la defoliación genera estrés en la planta, afectando negativamente en su desarrollo debido a la disminución de su capacidad fotosintética. De igual forma, Foster (2017) menciona que la defoliación provoca cambios en el crecimiento y grosor de la madera y la anatomía del xilema.

A diferencia de la defoliación, el estrés hídrico no mostró incidencia en el desarrollo de anillos de crecimiento en *Juglans neotropica*, coincidiendo con Vizarreta (2023), quien indica que el aumento o disminución de las precipitaciones no determinan la formación de anillos de crecimiento en esta especie. Vizarreta también señala que, en julio, cuando las precipitaciones son menores, no hay influencia en el crecimiento de anillos, aunque la respuesta climática puede variar según el gradiente altitudinal o climas secos.

Por otro lado, en *Podocarpus oleifolius* todos los tratamientos en ambos medios físicos (fundas de polietileno y directo en el suelo) mostraron un comportamiento similar, a excepción del tratamiento testigo (T0). La defoliación no afectó directamente la formación de anillos de crecimiento, pero sí actuó como activador de un mayor crecimiento diamétrico. En el que tras la defoliación inmediata se registró un aumento notable en el diámetro, seguido de la formación del anillo correspondiente. El estrés hídrico en esta especie no tuvo un impacto significativo en esta especie, siendo la relación entre la formación de anillos de crecimiento y este factor poco relevante. Escobar et al., (2023) en su estudio realizado en Podocarpaceas indican que el crecimiento de *Podocarpus oleifolius* presenta una correlación negativa con la precipitación.

En el comportamiento de ambas especies sometidas a defoliación y estrés hídrico respecto al medio físico, tanto en fundas de polietileno como en suelo directo, se observaron anillos de crecimiento.

En *Juglans neotropica*, en fundas de polietileno, se observó mayor número de anillos completos que incompletos, mientras que los individuos que fueron plantados directamente en el suelo presentaron la misma cantidad entre anillos completos e incompletos. Por otro lado, en *Podocarpus oleifolius*, en fundas de polietileno, hubo más anillos incompletos, mientras que en suelo directo se evidenció un menor número. Los individuos plantados en suelo directo mostraron mayor crecimiento y desarrollo que aquellos en fundas de polietileno. Beltrano y Giménez (2011) mencionan que las plantas que crecen en condiciones óptimas (agua, luz, temperatura, suelo, nutrientes y espacio) se encuentran libres de estrés. A medida que los factores se alejan de la situación ideal, algunas funciones pueden alterarse circunstancialmente.

Finalmente, los anillos de reacción se evidenciaron solo en los tratamientos testigos (T0) en las dos especies (T0). Chan Martín et al. (2002) mencionan que la madera de reacción se forma como respuesta del árbol a esfuerzos anormales, especialmente cuando crece inclinado. Estos anillos de reacción son una característica común en muchas especies arbóreas y suelen desarrollarse en respuesta a la inclinación de tronco o ramas, lo que provoca una distribución desigual (Vargas, 2020). Los anillos de crecimiento en los árboles pueden ser causados por cambios en el suministro de agua, enfermedades, plagas y otros factores ambientales (Giraldo, 2011). Estos anillos, reflejan la adaptación de las especies a diferentes condiciones a la que ha sido sometida una especie arbórea.

7.1.1. Tratamientos en fundas de polietileno

7.1.1.1. *Juglans neotropica* Diels.

Los individuos de *Juglans neotropica* plantadas en fundas de polietileno mostraron que en todos sus tratamientos (T0, T1 y T2) hubo la formación de anillos de crecimiento completos e incompletos. En el caso del tratamiento testigo (T0), un individuo formó un anillo completo debido a la pérdida de hojas o defoliación natural a inicios de junio de 2023. Esta pérdida de hojas concuerda con los hallazgos de Díaz y Vilema (2023) en su estudio realizado en Imbabura al norte del país, donde mencionan que la defoliación tuvo mayor intensidad a mitad de junio.

Similarmente, en árboles cercanos al sitio de estudio en el Parque Universitario Francisco Vivar Castro y en el Cerro el Zaño, se observó que esta especie inicia su defoliación natural en el mes de julio (B. Palacios, comunicación personal, 28 de junio de 2024). Sin embargo, en Urdaneta perteneciente al cantón Saraguro se observó algunos individuos que se defoliaron a inicios de junio de este año. Por ello, en un individuo del tratamiento testigo (T0),

se observó defoliación natural a pesar de estar en condiciones óptimas de cuidado. Esto se atribuye a un efecto de reloj biológico interno, que provocó la pérdida del 70% de sus hojas, lo que permitió observar anatómicamente un anillo completo. Cabe destacar que, en condiciones naturales, *Juglans neotropica* no presenta una defoliación sincronizada en todos los árboles (Díaz y Vilema, 2023).

Por otra parte, todos los individuos del tratamiento de defoliación inmediata (T1) mostraron una buena relación o sincronía en la formación de anillos de crecimiento completos cuando se removieron todas sus hojas. Este hallazgo concuerda con Gimenez et al. (2005), quién menciona que la formación de anillos puede atribuirse a causas externas como heladas tardías, caída temporaria de hojas, defoliación y fluctuaciones climáticas que alteran el funcionamiento normal del cambium vascular. Asimismo, Aguilar y Barajas (2005) mencionan que existe relación entre los anillos de crecimiento y la fenología foliar.

En el tratamiento de defoliación por estrés hídrico (T2) se observó un comportamiento similar al tratamiento (T1), donde todos los individuos mostraron la formación de anillos de crecimiento completos. Estos anillos estuvieron más vinculados con la defoliación, que con los periodos estrés hídrico. En esta especie no se formó ningún anillo completo a causa del estrés hídrico de cuatro semanas. Además, Reyes (2024), en su estudio realizado en tres sitios ubicados al sur de Ecuador (Provincia de Loja, Parque Universitario Francisco Vivar Castro, Shucos y en Saraguro), no encontró una correlación significativa entre el crecimiento anual de *Juglans neotropica* y las precipitaciones. Por lo tanto, la precipitación no influye significativamente en la formación y crecimiento de anillos para *Juglans neotropica*. Esto también concuerda con Vizarrata (2023), quien señala que la precipitación tiene una correlación baja con los anillos de crecimiento para esta especie.

Por otro lado, el estado fitosanitario en *Juglans neotropica* está condicionado a diversos factores. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2012) menciona que la sanidad y la vitalidad de los ecosistemas forestales se ven afectadas por agentes naturales como plagas, sequías e incendios. Cabe destacar que el individuo 27 del tratamiento 1 y el individuo 43 del tratamiento 2 mostraron un comportamiento inusual al formar un anillo extra después de la defoliación. Esta respuesta no se observó en los demás individuos, ya que solo estas plantas mostraron un estado fitosanitario regular, el mismo que también redujo su crecimiento diamétrico. Mendivelso et al., (2016) menciona que la detención del crecimiento radial conduce a la formación de líneas concéntricas en la madera que forman los límites de los anillos de crecimiento. Esto corrobora nuestro análisis, que muestra que la formación de anillos de crecimiento coincide con cambios en el estado fitosanitario de la planta.

Por ejemplo, en el individuo 14 del T0, la formación de anillos incompletos coincidió con el amarillamiento de sus hojas y decaimiento de su estado fitosanitario.

7.1.1.2. *Podocarpus oleifolius* D. Don.

En *Podocarpus oleifolius* plantados en fundas de polietileno, como es en el caso del tratamiento testigo, un individuo presentó la formación de dos anillos de crecimiento completos. En el tratamiento uno, todos los individuos formaron un anillo de crecimiento completos e incompletos. Sin embargo, estos anillos no están directamente relacionados con la defoliación, pero actuaron como activadores para que se genere un mayor crecimiento diamétrico. Se observó que este comportamiento fue repetitivo, ya que tras la defoliación se registraba un aumento notable en el diámetro, seguido de la formación del anillo correspondiente.

De manera similar, en individuos del T2 sometidos a estrés hídrico, no se pudo establecer una relación directa entre los anillos de crecimiento y el nivel de estrés hídrico experimentado. Esto difiere del estudio de Luna (2020) realizado en una conífera, donde se menciona que la precipitación influye sobre el desarrollo en los anillos de crecimiento de *Pinus teocote*. Indicando que el crecimiento de los anillos de la especie está influenciado por la precipitación, ya que la correlación de la precipitación y el índice de ancho de anillo total fue positiva y significativa. Esto implica que el agua de las precipitaciones tiene una influencia sobre el desarrollo en los anillos de crecimiento de *Pinus teocote*. Así mismo en un estudio en Podocarpáceas realizado por Escobar et al., (2023) indican que el crecimiento de *Podocarpus oleifolius* presenta una correlación negativa con la precipitación durante los períodos de lluvias.

7.1.2. Tratamientos en suelo directo

7.1.2.1. *Juglans neotropica* Diels.

Las plantas de *Juglans neotropica* sometidas a defoliación y estrés hídrico (T1 y T2) presentaron mayor número de anillos entre completos e incompletos que las plantas del tratamiento testigo. Cartuche (2022) menciona que los individuos de *Juglans neotropica* en la provincia de Loja presentan anillos de crecimiento visibles. Esto concuerda con nuestro estudio, ya que la especie, al ser sometida a defoliación y estrés hídrico, muestran una respuesta reflejada en la formación de anillos de crecimiento falsos o verdaderos.

Un individuo del tratamiento testigo de la especie *Juglans neotropica* presentó anillos de crecimiento. Mendivelso et al., (2016) menciona que la detención del crecimiento radial conduce a la formación de líneas concéntricas en la madera que forman los límites de los anillos de crecimiento. De igual forma, los individuos sometidos a defoliación y estrés presentaron anillos de crecimiento falsos y verdaderos, respuesta directamente relacionada al proceso de defoliación, más no con el estrés hídrico aplicado. Esto también concuerda con Egües (2021),

quien menciona que mediante el análisis de correlación entre la serie cronológica de los árboles de *Juglans neotropica* y las variables temperatura y precipitación, no existe una fuerte relación. Por lo que se puede inferir que la formación de los anillos de crecimiento en esta especie no está influenciada por la precipitación, ni la temperatura. Por lo que su formación podría estar influenciada por otros factores externos como intervención antrópica, el tipo y profundidad del suelo, la incidencia de luz, el viento, la madera de reacción, el agua disponible y el sitio.

7.1.2.2. *Podocarpus oleifolius* D. Don.

Podocarpus oleifolius anatómicamente presentó anillos de crecimiento que se formaron independientemente de las variaciones de estrés hídrico. Al igual que los individuos plantados en fundas de polietileno, la defoliación actuó como un activador de mayor crecimiento diamétrico. En este medio de crecimiento, se encontró que el estrés hídrico no afectó en la formación de anillos de crecimiento.

En *Podocarpus oleifolius*, la reacción de individuos plantados en fundas de polietileno en el tratamiento testigo fue diferente, ya que los individuos en fundas de polietileno presentaron la formación de anillos completos e incompletos, mientras que las de suelo directo presentaron sólo la formación de anillos incompletos. Beltrano y Giménez (2011) mencionan que las plantas que crecen en condiciones óptimas, tales como agua, luz, temperatura, suelo, nutrientes y espacio; se encuentran libres de estrés. A medida que los diferentes factores se alejan de la situación ideal, algunas funciones pueden verse alteradas circunstancialmente.

En ambas especies, tanto en fundas de polietileno como suelo directo, el estrés hídrico no afecta la formación de anillos de crecimiento. En *Juglans neotropica*, la defoliación es un factor condicionante para la formación de anillos. En *Podocarpus oleifolius*, la defoliación no afectó directamente en la formación de anillos, sino que actuó como un activador para un mayor crecimiento diamétrico. Se observó este comportamiento repetitivo en todos los individuos, ya que tras la defoliación inmediata se registraba un aumento notable en el diámetro, seguido de la formación del anillo correspondiente.

7.2. Patrón de formación de anillos de crecimiento

7.2.1. *Juglans neotropica* Diels

Los anillos de crecimiento en *Juglans neotropica*, al principio presentan poros grandes y estos pueden estar solitarios o no, mientras se acerca a la formación del anillo los poros van reduciendo su tamaño. Las células que conforman el anillo se modifican, al reducirse el lumen y aumentar la pared de las fibras causando un achatamiento de las células, es decir, se muestran más aplanadas conformando 4 a 6 filas. Esto concuerda con Egües (2021), quien menciona que los anillos de crecimiento en *Juglans neotropica* son marcados, caracterizados por presentar

poros grandes al inicio y poros más pequeños al final del anillo de crecimiento. Así mismo, Reyes (2024), menciona que al finalizar cada anillo las células deben ser aplanadas formando una o dos bandas. También se evidencia la diferencia de tamaño de los vasos siendo grandes y separados y a medida que va creciendo, estos son más pequeños y agrupados. Esto coincide con Vera et al., (2011) donde menciona que el inicio de un anillo de crecimiento está marcado por la presencia de poros con diámetros grandes, seguido por la reducción de estos hasta el inicio de una tenue concentración de bandas delgadas finalizando el anillo de crecimiento.

7.2.2. *Podocarpus oleifolius* D. Don.

En *Podocarpus oleifolius*, los anillos de crecimiento se distinguen por un engrosamiento de las paredes de las traqueidas en la madera tardía, lo que ocasiona su cierre gradual. Por lo tanto, se produce un achatamiento de las traqueidas de entre 3 a 4 bandas. Esto concuerda con el estudio realizado en Podocarpáceas por Escobar et al. (2023), quien menciona que los anillos de crecimiento en especies como *Retrophyllum rospigliosii* y *Podocarpus oleifolius* están constituidos por el engrosamiento de tres o cuatro filas de traqueidas que definen el límite entre anillos. La madera temprana está definida por paredes delgadas y lúmenes anchos, mientras la madera tardía está definida por traqueidas de paredes gruesas con lúmenes angostos.

7.3. Análisis estadístico descriptivo de anillos de crecimiento en *Juglans neotropica* Diels y *Podocarpus oleifolius* D. Don.

El comportamiento de *Juglans neotropica* y *Podocarpus oleifolius* en los tres tratamientos (T0, T1 y T2) varía en función del medio físico. En fundas de polietileno se observó una mayor formación de anillos de crecimiento completos en ambas especies. Beltrano y Giménez (2011) mencionan que las plantas que crecen en condiciones óptimas (agua, luz, temperatura, suelo, nutrientes y espacio) se encuentran libres de estrés. De igual forma, el espacio ocupado por los individuos influyó en su desarrollo y en la formación de anillos de crecimiento. Así mismo es importante señalar que *Juglans neotropica* presentó un mayor número de anillos de crecimiento completos en ambos medios físicos en comparación con *Podocarpus oleifolius*, lo cual puede estar dado por las características intrínsecas de cada especie.

El comportamiento de ambas especies sometidas a defoliación y estrés hídrico (T1 y T2) fue distinto respecto al medio físico. En fundas de polietileno, *Juglans neotropica* mostró un mayor número de anillos completos, representando un 82 % de presencia, a diferencia de los individuos plantados directo en suelo, que mostraron la misma cantidad de anillos completos e incompletos (50 %). Por otro lado, en *Podocarpus oleifolius*, en fundas de polietileno hubo

mayor formación de anillos incompletos (60 %), mientras que los individuos plantados en suelo directo mostraron un mayor número de anillos completos (58 %).

Juglans neotropica es una especie sensible, y como menciona Vizarreta (2023), es potencial para estudios climáticos por su sensibilidad anatómica en la madera. Según el medio físico en que se encuentre, existe una variación en su desarrollo. Hubo una mayor presencia de anillos de crecimiento completos en fundas de polietileno que en individuos plantados directo en el suelo, posiblemente debido a las condiciones a las que estuvieron expuestos. En fundas de polietileno, el espacio reducido y la defoliación inmediata provocaron una mayor presencia de anillos completos en este medio físico.

En suelo directo, se observó una mayor presencia de anillos incompletos. Esto puede ser una respuesta adaptativa de la especie a condiciones cambiantes del entorno. Aunque experimenta un estrés inicial debido a la defoliación establecida, la especie logra adaptarse y continuar su desarrollo de manera normal, lo que se refleja en la formación de anillos incompletos.

En *Podocarpus oleifolius*, hubo una mayor formación de anillos completos en los individuos plantados directo en el suelo en comparación con aquellos en fundas de polietileno, donde se observó una mayor presencia de anillos incompletos. La conducta de esta especie es diferente a la de *Juglans neotropica* respecto al medio físico en el que fueron establecidos los individuos. Las plantas en suelo directo mostraron una respuesta más sensible a la defoliación inmediata, provocando la formación de anillos de crecimiento completos.

Posiblemente, esta respuesta esté relacionada con la fenología de la especie, dado que, según Gernandt y Pérez (2014), las coníferas presentan hojas perennes que duran más de un año. En *P. oleifolius* se indujo la caída de sus hojas para observar su posible reacción ante este proceso, al igual que las condiciones de humedad y temperatura, ya que como indican Escobar et al. (2023), *P. oleifolius* tiene preferencia por condiciones con menores precipitaciones y mayores temperaturas en el período lluvioso, y mayor precipitación durante el período seco. Esta conducta en individuos plantados en fundas de polietileno se muestra a través de la formación de anillos incompletos.

8. Conclusiones

- En *Juglans neotropica*, la defoliación inmediata y por estrés hídrico influye como un factor directo en la formación de anillos de crecimiento completos e incompletos, mientras que en *Podocarpus oleifolius* se los anillos de crecimiento se forman después de la defoliación inmediata y por estrés hídrico. La defoliación actúa como un activador inmediato, estimulando un mayor crecimiento diamétrico antes de formar un nuevo anillo completo.
- El estrés hídrico no tiene una influencia directa en la formación de anillos de crecimiento, tanto en los individuos de *Juglans neotropica* como en *Podocarpus oleifolius*.
- El medio físico en el que se encuentran las plantas influye considerablemente en la formación de anillos de crecimiento para ambas especies. Así, en fundas de polietileno, existe una mayor formación de anillos completos en *Juglans neotropica* debido a un espacio reducido y la defoliación inmediata. Sin embargo, los individuos de *Podocarpus oleifolius* muestran una mayor formación de anillos completos, reflejando una mejor adaptación a condiciones cambiantes del entorno.
- *Juglans neotropica* y *Podocarpus oleifolius* presentan diferentes patrones de formación de anillos de crecimiento en respuesta a la defoliación y al estrés hídrico.
- Los anillos de madera de reacción se forman sólo en los Testigos, cuya visibilidad es notable en anillos con poco estrés.
- Los anillos de crecimiento incompletos en *Juglans neotropica* indican periodos en los que la planta enfrenta condiciones fitosanitarias adversas. Estos anillos coinciden con los periodos de un estado fitosanitario regular y malo.

9. Recomendaciones

- Para mejorar la precisión de las mediciones, es necesario capacitar al grupo de trabajo con el objetivo de obtener datos precisos de las variables dasométricas. Esta capacitación ayudará a minimizar los errores de muestreo cuando se cambien de personas encargadas de realizar las mediciones dentro del invernadero.
- estandarizar la metodología utilizada para medir variables dasométricas. Esto ayudará a minimizar errores de muestreo cuando se cambia de personas para hacer las mediciones dentro del invernadero.
- Realizar estudios comparativos en diversas condiciones de sitio permitirá una comprensión más precisa del comportamiento anatómico de *Juglans neotropica* y *Podocarpus oleifolius*. Es crucial evaluar estas especies en diferentes ambientes para identificar variaciones significativas.
- Además de la defoliación y el estrés hídrico, es esencial incorporar otras variables de estudio como tipo de suelo, luminosidad, humedad relativa, y temperatura. Este enfoque proporcionará una perspectiva más amplia de los cambios anatómicos que experimentan las especies, permitiendo una comprensión más profunda de su respuesta a diferentes condiciones ambientales.
- Realizar análisis del suelo del sustrato donde se desarrollan las plantas para comprender su influencia en el desarrollo y la formación de anillos de crecimiento.
- Usar bálsamo natural para conservar las muestras de cortes, con el objetivo de garantizar una mayor durabilidad en comparación con otros tipos de bálsamo, asegurando la preservación de las muestras a largo plazo y prevenir su daño.
- Evaluar periodos de estrés hídrico más prolongados, mayores a seis semanas para observar la formación de anillos de crecimiento más visibles.

10. Bibliografía

- Acosta, J. (2018). Efecto de la defoliación severa sobre la actividad de los reguladores maestros del metabolismo tor y snrk1 en amaranto de grano durante el desarrollo [Trabajo de grado, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional]. Repositorio CINVESTAV. <https://n9.cl/3fsu3>
- Adame, P., Alonso, L., Cañellas, I., Hernandez, L., Pasalodos, M., Robla, E. y Alberdi, I. (2022). Hacia un seguimiento más completo y armonizado de los daños en los bosques: Aplicación a la defoliación arbórea en España. *Ecosistemas*, 31(3), 1-13. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2387>
- Aguilar, S., y Barajas, J. (2005). Anatomía de la madera de especies arbóreas de un bosque mesófilo de montaña: un enfoque ecológico-evolutivo. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, (77), 51-58.
- Aguirre, Z., Loja, A., Solano, M. y Aguirre, N. (2015). *Especies Forestales más aprovechadas del Sur del Ecuador*. Universidad Nacional de Loja. Ecuador. 128p.
- Argandoña, V. y Silva, H. (2007). *Transporte a Través del Floema*. Fisiología Vegetal (F.A. Squeo & L. Cardemil, eds.). Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile, 7.
- Barañaño, J., Penón, E., Craig, E., Cucciuffo, E., y Falco, P. (2008). *Manual para la identificación de maderas con aumentos de hasta 10x*. Departamento de Tecnología. Universidad Nacional de Luján. <https://n9.cl/7s83y>
- Beltrán, L. y Valencia, G. (2013). Anatomía de anillos de crecimiento de 80 especies arbóreas potenciales para estudios dendrocronológicos en la Selva Central, Perú. *Revista de Biología Tropical*, 61 (3), 1025-1037. <https://n9.cl/78e10>
- Beltrano, J. y Giménez, D. (2011). *Estrés biótico y abiótico en las plantas*. Catedra de Fisiología vegetal. <https://n9.cl/8yqmj>
- Briceno, A., Rangel, J. y Bogino, S. (2018). Anatomía y anualidad de los anillos de crecimiento de tres especies del bosque seco tropical del caribe de Colombia. *Polibotánica*, 46, 169-178. <https://n9.cl/9nxyb>
- Camarero, J., Guerrero, J., y Gutiérrez, E. (1997). Formación del anillo de crecimiento y clima: un ejemplo de modelos para *Pinus uncinata* Ram. y *Pinus sylvestris* L. en los Pirineos centrales. *Ecología* (11), 235- 254

- Canizales, P. y Aguirre, Ó. (2018). Determinación de la edad en especies maderables del trópico y subtropical. *Ciencia UANL*, 21(88), 37–45. <https://n9.cl/62qkz>
- Carlón, T. (2023). El "lenguaje" de los anillos de crecimiento de los árboles. *Boletín de la SCME*, 3 (2), 32-41.
- Cartuche, K. (2022). Caracterización de la madera de 95 especies forestales del sur de Ecuador con base a sus propiedades físicas, organolépticas y anatómicas [Trabajo de grado, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio Digital Universidad Nacional de Loja. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/24554>
- Chan Martín, M., Araujo Molina, O. y Azueta García, M. (2002). Los defectos naturales en la madera aserrada. *Ingeniería*, 6(1), 29-38. <https://www.redalyc.org/pdf/467/46760104.pdf>
- Chuncho G., Chuncho C., y Aguirre Z. (2019). *Anatomía y morfología vegetal*. Universidad Nacional de Loja. Ecuador. 134 páginas. <https://n9.cl/sk0u7>
- Díaz, C. y Vilema, G. (2023). Determinación de características fenológicas de *Juglans neotropica* Diels en cuatro formaciones vegetales, Imbabura. [Trabajo de grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte. <https://n9.cl/ba6hf>
- Diéguez, U., Barrio, M., Castedo, F., Ruíz, A., Álvarez, M., Álvarez, J., y Rojo, A. (2003). Dendrometría. Universidade de Santiago de Compostela. Departamento de Enxeñaría Agroforestal (2ª ed.). <https://minerva.usc.es/xmlui/handle/10347/31041>
- Egües, A. (2021). Caracterización anatómica de la madera y dendrocronología de *Juglans neotropica* Diels de áreas ribereñas de la provincia de Chachapoyas, Amazonas [Trabajo de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Agraria La Molina. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4771>
- Escobar, M., Marin, A., Giraldo, J. y Ramirez, J. (2023). Potencial dendrocronológico de tres especies de Podocarpaceas de la Cordillera de los Andes. *Botánica*, 71, 1-15. <https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop.v71i1.54971>
- Feijoo, C. (2020). Impacto del estrés hídrico en la anatomía de la madera y morfología de *Acacia macracantha* Willd. y *Cinchona officinalis* L. bajo condiciones de invernadero.

- [Trabajo de grado, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio Digital Universidad Nacional de Loja. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/23446>
- Feijoo, C., Ramón, D., y Pucha, D. (2018). *Guía para cortes anatómicos de la madera*. Loja, Ecuador: EdiLoja.
- Fortes, D., Herrera, R. y González, S. (2004). Estrategias para la resistencia de las plantas a la defoliación. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 38(2), 111-119.
- Foster, J. (2017). Xylem traits, leaf longevity and growth phenology predict growth and mortality response to defoliation in northern temperate forests. *Tree Physiology*, 37, 1151–1165. doi: [10.1093/treephys/tpx043](https://doi.org/10.1093/treephys/tpx043)
- Gené, C., Espelta, J., Gracia, M. y Retana, J. (1993). Identificación de 10s anillos anuales de crecimiento de la encina (*Quercus ilex* L). *Orsis*, 8, 127-139. <https://core.ac.uk/download/pdf/39000886.pdf>.
- Gernandt, D. y Pérez, J. (2014). Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, (85), 126-133.
- Gimenez, A., Moglia, J., Gerez, R. y Hernández, P. (2005). *Anatomía de maderas*. Segunda Edición. <https://n9.cl/i6vubt>
- Giraldo, J. (2011). Dendrocronología en el trópico: aplicaciones actuales y potenciales. *Colombia Forestal*, 14(1), 97–111
- Gonzáles, G., Moya, R. y Monge, F. (2005). Defectos comunes encontrados en las piezas aserradas y cepilladas de melina (Tercera parte). *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 2(4), 110-113.
- González, B. (2022). Cambios morfológicos y anatómicos de la madera en plantas de *Cinchona officinalis* L. y *Acacia macracantha* Willd por sequía inducida en el cantón Loja, Ecuador [Trabajo de grado, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio Digital Universidad Nacional de Loja. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/25108>
- Lallana, V. (2004). *Fisiología vegetal*. Universidad Nacional de Entre Ríos. https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/UT1_FV.pdf

- López, S., López, N., Villegas, D. y Castaño, F. (2018). Caracterización de las propiedades físicas y mecánicas en la sección transversal del tronco de la palma real *Roystonea regia* (Kunth) O. F. Cook. <https://hal.science/hal-01701637>
- Luna, A. (2020). Aplicación de técnicas dendrocronológicas en *Pinus teocote* Schiede ex Schltdl para la reconstrucción climática en el Parque Nacional cumbres de Monterrey [Trabajo de grado, Universidad Autónoma de Nuevo León]. Repositorio Digital Institucional Universidad Autónoma de Nuevo León. <http://eprints.uanl.mx/20019/1/1080313953.pdf>
- Luna, W., Estrada, H., Jiménez, J. y Pinzón, L. (2012). Efecto del estrés hídrico sobre el crecimiento y eficiencia del uso del agua en plantas de tres especies arbóreas caducifolias. *Terra Latinoamericana*, 30(4), 343-353.
- Megías, M., Molist, P. y Pombal, M. (2017). Atlas de histología animal y vegetal. Tejidos vegetales. Parénquima. Vigo, España, Universidad de Vigo. <https://n9.cl/iuci>
- Megías, M., Molist, P. y Pombal, M. (2020). Atlas de histología animal y vegetal. Tejidos vegetales. Xilema. Vigo, España, Universidad de Vigo. <https://n9.cl/my1ez>
- Mendivelso, H., Camarero, J. y Gutiérrez, E. (2016). Dendrocronología en bosques neotropicales secos: métodos, avances y aplicaciones. *Ecosistemas*, 25(2), 66-75.
- Ministerio del Ambiente y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [MAE y FAO]. (2015). Especies forestales arbóreas y arbustivas de los bosques montanos del Ecuador. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/55826.pdf>
- Miranda, R., Puy, M. y Martínez, J. (2007). El árbol: fuente de información en las ciencias de la tierra. *Elementos*, 67, 41-43.
- Mogollón, G., García, J. y León, W. (2008). Materias primas fibrosas. https://www.eucalyptus.com.br/artigos/2008_RIADICYPI_Materias-Primas_Fibrosas.pdf
- Montaño, S., Camargo, S., Grether, R. y Pérez, C. (2011). La madera en función del ambiente: un análisis ecoanatómico. 19-23.
- Moreno, L. (2009). Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 27(2), 179-191. <https://n9.cl/pe7nu>

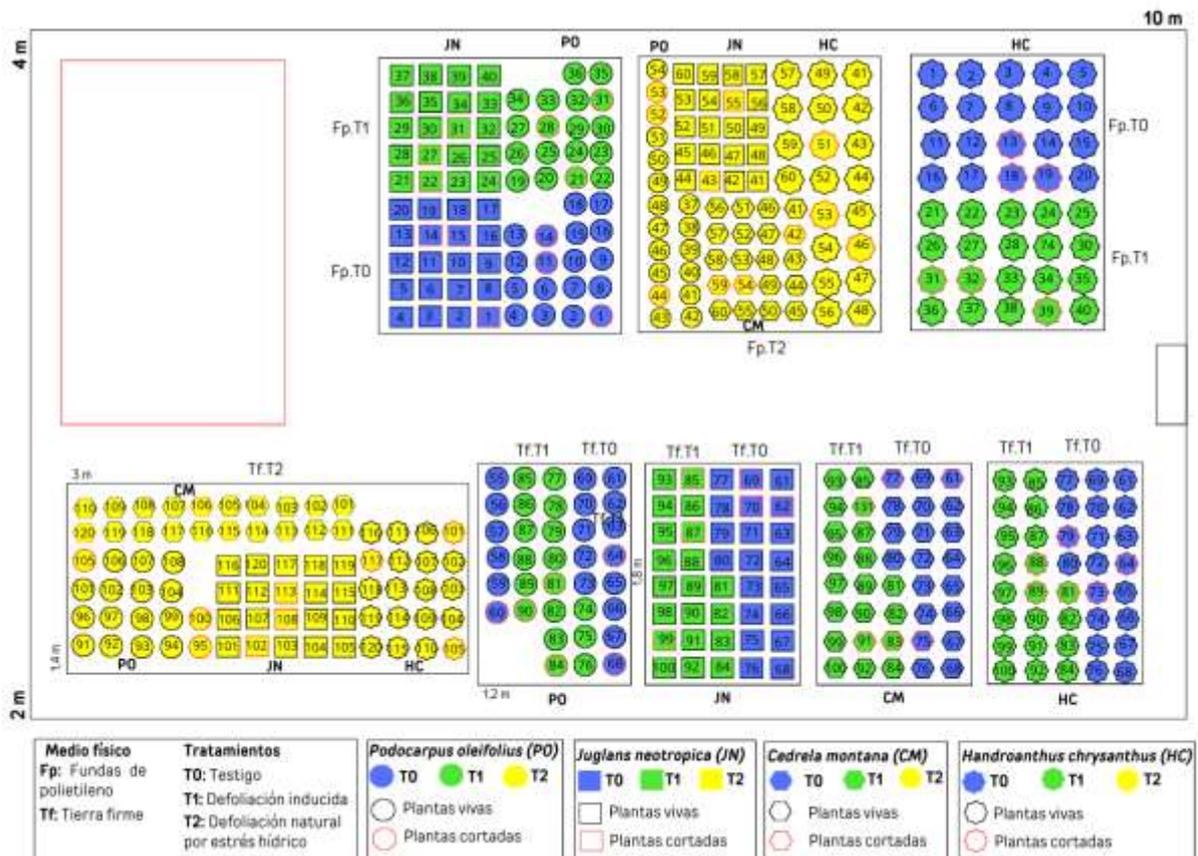
- Morisette, J., Richardson, A., Knapp, A., Fisher, J., Graham, E., Abatzoglou, J., Wilson, B., Breshears, D., Henebry, G., Hanes, J. y Liang, L. (2009). Tracking the rhythm of the seasons in the face of global change: phenological research in the 21st century. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(5), 253–260. doi: [10.1890/070217](https://doi.org/10.1890/070217)
- Ojeda, C. (2015). Efecto de un producto bioactivo compuesto por oligogalacturónidos como mitigador del estrés hídrico en variedades de albahaca (*Ocimum basilicum* L.). <https://n9.cl/npuyi>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación [FAO]. (2012). Guía para la aplicación de normas fitosanitarias en el sector forestal. Bioersity Internacional. <https://www.fao.org/3/i2080s/i2080s.pdf>
- Pozzer, J. y Guzowski, E. (2011). Madera. Materiales y materias primas. <https://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/madera.pdf>
- Puertas, S., Guevara, C. y Espinoza, M. (2013). Manual de transformación de la madera. AIDER-Asociación para la Investigación y Desarrollo Integral.
- Quezada, J. (2022). Cambios morfológicos y formación de anillos de crecimiento por estrés hídrico bajo condiciones controladas en plantas de *Cedrela montana* Moritz ex Turcz y *Handroanthus chrysanthus* (Jacq.) S.O.Grose en el cantón Loja, Ecuador [Trabajo de grado, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio Digital Universidad Nacional de Loja. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/24816>
- Ramos Veintimilla, R., Vera Vélez, R., Grijalva Olmedo, J. y Ramos Veintimilla, M. (2022). Biomasa anhidra en plantas de *Juglans neotropica* Diels, en la etapa de vivero. *AlfaPublicaciones*, 4(3.2), 97–114. <https://doi.org/10.33262/ap.v4i3.2.280>
- Retete, C. (2022). Impacto de la sequía en la anatomía de la madera y morfología de *Caesalpinia spinosa* (Mol.) O. Kuntz y *Podocarpus sprucei* Parl bajo condiciones controladas en el cantón Loja, Ecuador [Trabajo de grado, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio Digital Universidad Nacional de Loja. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/24812>
- Reyes, D. (2024). Estudio dendroclimático de *Juglans neotropica* Diels en cuatro ecosistemas andinos de la provincia de Loja al sur de Ecuador [Trabajo de grado, Universidad

- Nacional de Loja]. Repositorio Digital Universidad Nacional de Loja. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/28802>
- Toro, E. y Roldán, I. (2018). Estado del arte, propagación y conservación de *Juglans neotropica* Diels., en zonas andinas. *Madera y Bosques*, 24 (1), 1-15. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2411560>
- Tropicos. (2023). *Juglans neotropica* Diels. <https://www.tropicos.org/name/16700014>
- Tropicos. (2023). *Podocarpus oleifolius* D. Don. <https://www.tropicos.org/name/25600018>
- Valenzuela, L., Maillard, P., González, J. y González, G. (2014). Balance de carbohidratos en diferentes compartimentos vegetales de encino (*Quercus petraea*) y haya (*Fagus sylvatica*), sometidos a defoliación y sombra. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 8(1), 33-38. <https://www.redalyc.org/pdf/4555/455545054006.pdf>
- Valverde, J. y Arias, D. (2020). Efectos del estrés hídrico en crecimiento y desarrollo fisiológico de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp. *Colombia Forestal*, 23(1), 20-34.
- Vera, A., Ortega, D., Pérez, P., Rosero, J. y Chavesta, M. (2011). Avances en la caracterización e identificación anatómica de los anillos de crecimiento de la especie *Juglans neotropica* Diels (Nogal) para estudios dendrocronológicos en el fundo La Génova, Junín (Perú). *Xilema*, 5-11. doi: [10.21704/x.v24i1.659](https://doi.org/10.21704/x.v24i1.659)
- Verdesoto, T. (2023). Cambios morfológicos y formación de anillos de crecimiento por estrés hídrico bajo condiciones controladas en plantas de *Acacia macracantha* Wild. y *Cinchona officinalis* L. en el cantón Loja, Ecuador [Trabajo de grado, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio Digital Universidad Nacional de Loja. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/27820>
- Villalba, R., Villagra, J., Boninsegna, M., Morales, M. y Moyano, V. (2000). Dendroecología y dendroclimatología con especies del género *Prosopis* en Argentina. *Multequina*, 9(2), 1-18. <https://n9.cl/hdiw75>
- Vizarreta, A. (2023). Influencia climática en la anatomía de la madera de *Juglans neotropica* en un bosque de montaña montano, Chanchamayo - Perú [Trabajo de grado, Universidad Continental]. Repositorio Continental. <https://n9.cl/mayv9>
- Vargas, G. (2020). Biomecánica de los árboles: crecimiento, anatomía y morfología. *Madera y bosques*, 25(3). <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2531712>

Zárate, R., Amasifuen, C. y Flores, M. (2006). Floración y Fructificación de plantas leñosas en bosques de arena blanca y de suelo arcilloso en la Amazonía Peruana. *Revista Peruana de Biología*, 13 (1), 95-102. <https://n9.cl/n8scl>

11. Anexos

Anexo 1. Distribución de las especies en condiciones de invernadero.



Anexo 3. Hoja de campo para la recopilación de variables.



FICHA DE MEDICIONES

Formación de anillos de crecimiento por estrés hídrico y defoliación en *Juglans neotropica* y *Podocarpus oleifolius*

Especie: _____ Código: _____

Responsable: _____

Nro. medición: _____

Fecha: _____

Observaciones: _____

T1: Defoliación inmediata

Indiv.	Altura	Diámetro	Nro. de hojas	Estado fitosanitario		
				Bueno	Regular	Malo
T1_01						
T1_02						
T1_03						
T1_04						
T1_05						
T1_06						
T1_07						
T1_08						
T1_09						
T1_10						
T1_11						
T1_12						
T1_13						
T1_14						
T1_15						
T1_16						
T1_17						
T1_18						
T1_19						
T1_20						

T0 : Testigo

Indiv.	Altura	Diámetro	Nro. de hojas	Estado fitosanitario		
				Bueno	Regular	Malo
T0_01						
T0_02						
T0_03						
T0_04						
T0_05						
T0_06						
T0_07						
T0_08						
T0_09						
T0_10						
T0_11						
T0_12						
T0_13						
T0_14						
T0_15						
T0_16						
T0_17						
T0_18						
T0_19						
T0_20						

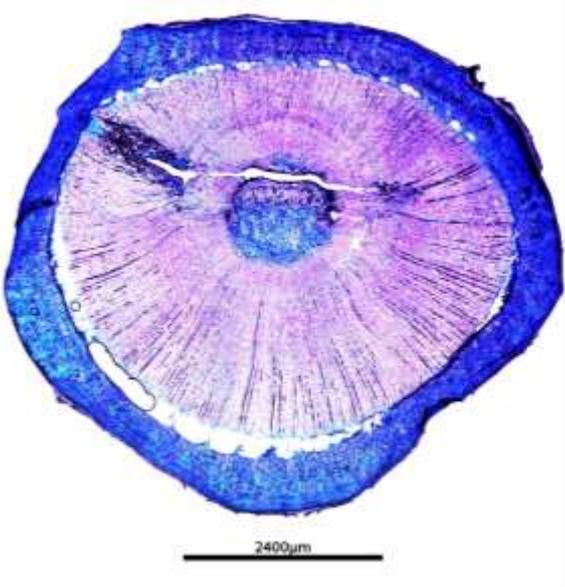
T2: Defoliación inducida por estrés hídrico

Indiv.	Altura	Diámetro	Nro. de hojas	Estado fitosanitario		
				Bueno	Regular	Malo
T2_01						
T2_02						
T2_03						
T2_04						
T2_05						
T2_06						
T2_07						
T2_08						
T2_09						
T2_10						
T2_11						
T2_12						
T2_13						
T2_14						
T2_15						
T2_16						
T2_17						
T2_18						
T2_19						
T2_20						

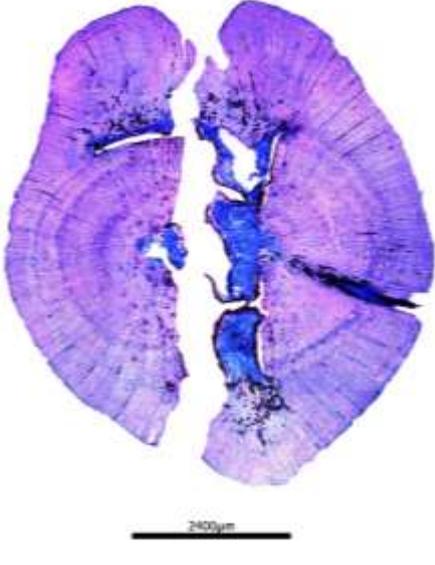
Anexo 4. Cortes referenciales de *Juglans neotropica* Diels y *Podocarpus oleifolius* D. Don.

- *Juglans neotropica* Diels

Jn_17

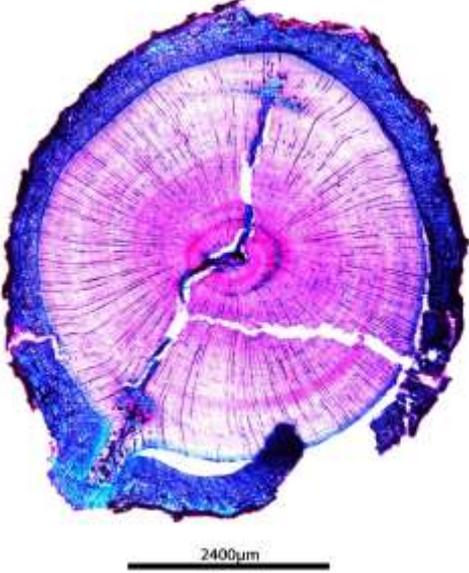


Jn_74

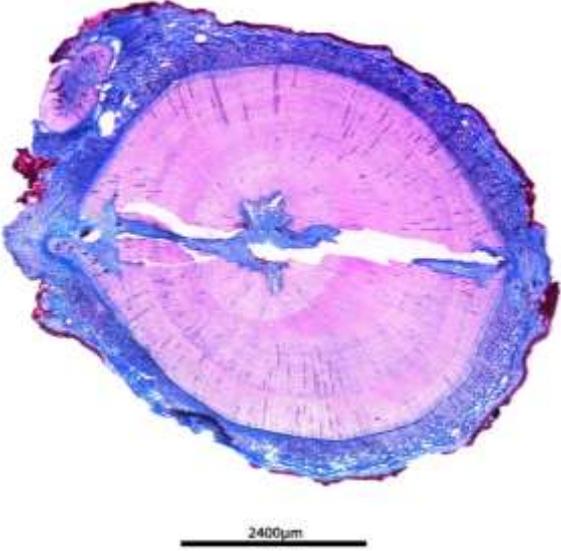


- *Podocarpus oleifolius* D. Don.

Jn_17



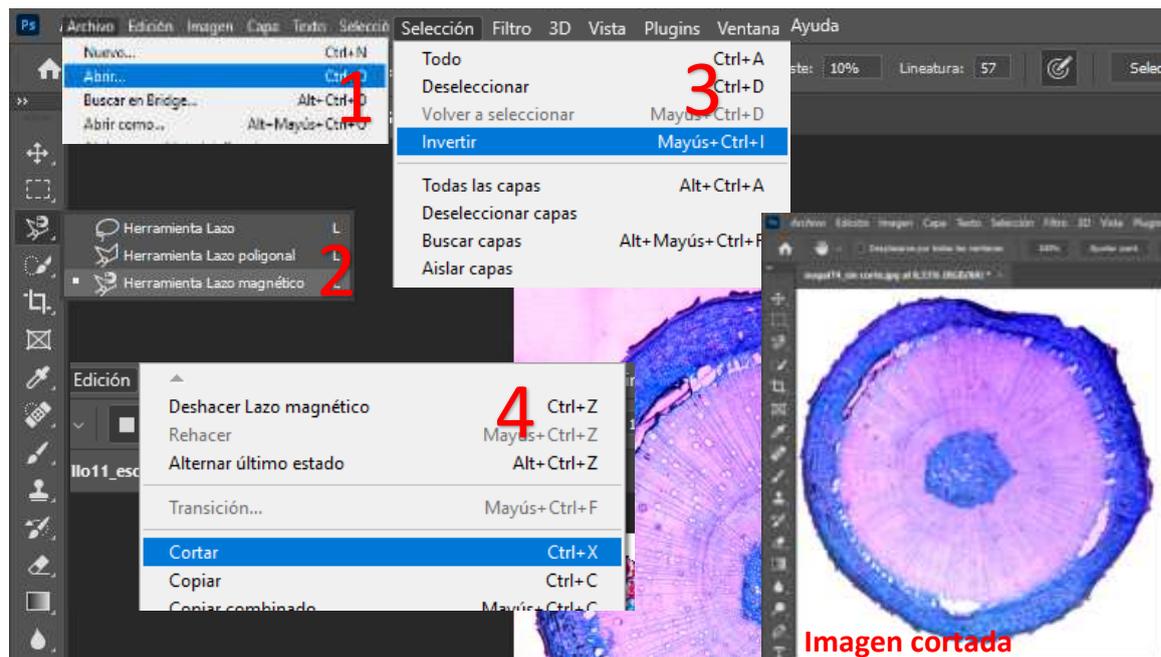
Jn_74



Anexo 5. Procesamiento de fotografías en Photoshop.

a. Cortar el fondo de la imagen

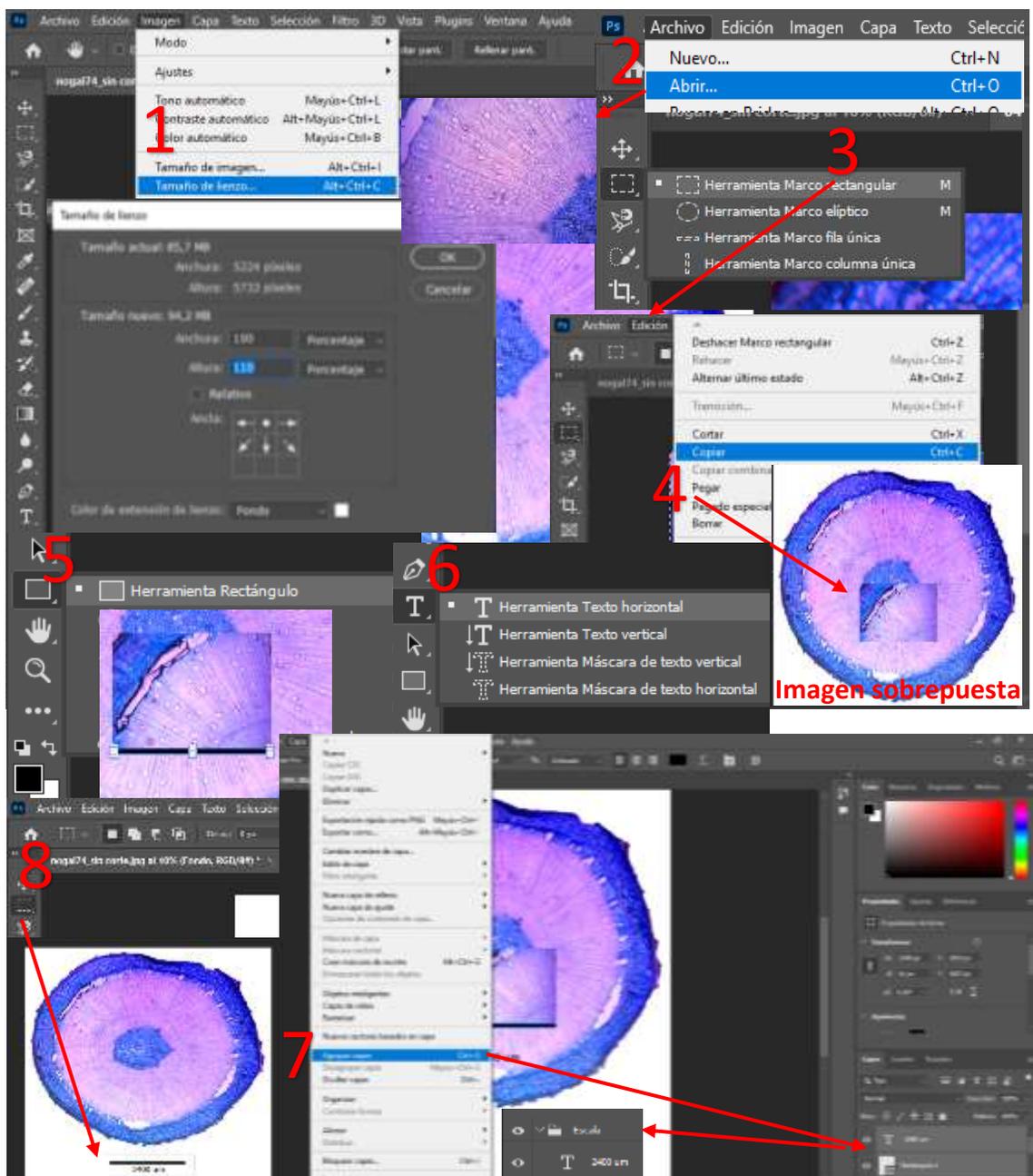
1. Abrir el programa, clic en la opción **Archivo** → **Abrir** (selecciona la imagen)
2. Clic en la herramienta **brazo magnético**  y trazar el perfil de la imagen del corte anatómico seleccionado.
3. Clic en la opción **Selección** → **Invertir**
4. Luego clic en la opción **Edición** → **Cortar**

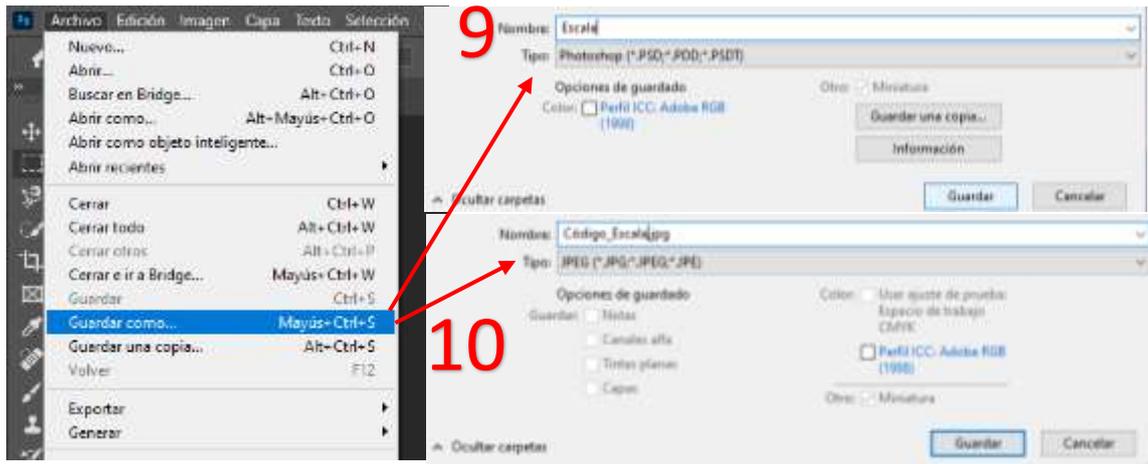


b. Crear y guardar escala

1. Para incrementar el tamaño de lienzo en la imagen editada y colocar la escala, seleccionar la opción **Imagen** → **Tamaño de lienzo**, luego en tamaño nuevo → Altura (cambiar pixeles a porcentaje 110 %) → flechas deslizadas hacia abajo → OK.
2. Para crear la escala de referencia abrir una imagen individual.
3. Escoger la imagen individual con la herramienta **Marco regular** , luego en Edición → Copiar.
4. Se ubica en la imagen completa cortada previamente, clic en **Edición** → **Pegar**
5. Clic en la herramienta **Rectángulo**  y trazar el ancho de la foto individual asemejando una regla.
6. Clic, en la opción herramienta **Texto horizontal**  y colocar el valor del ancho de la imagen (2 400 µm).

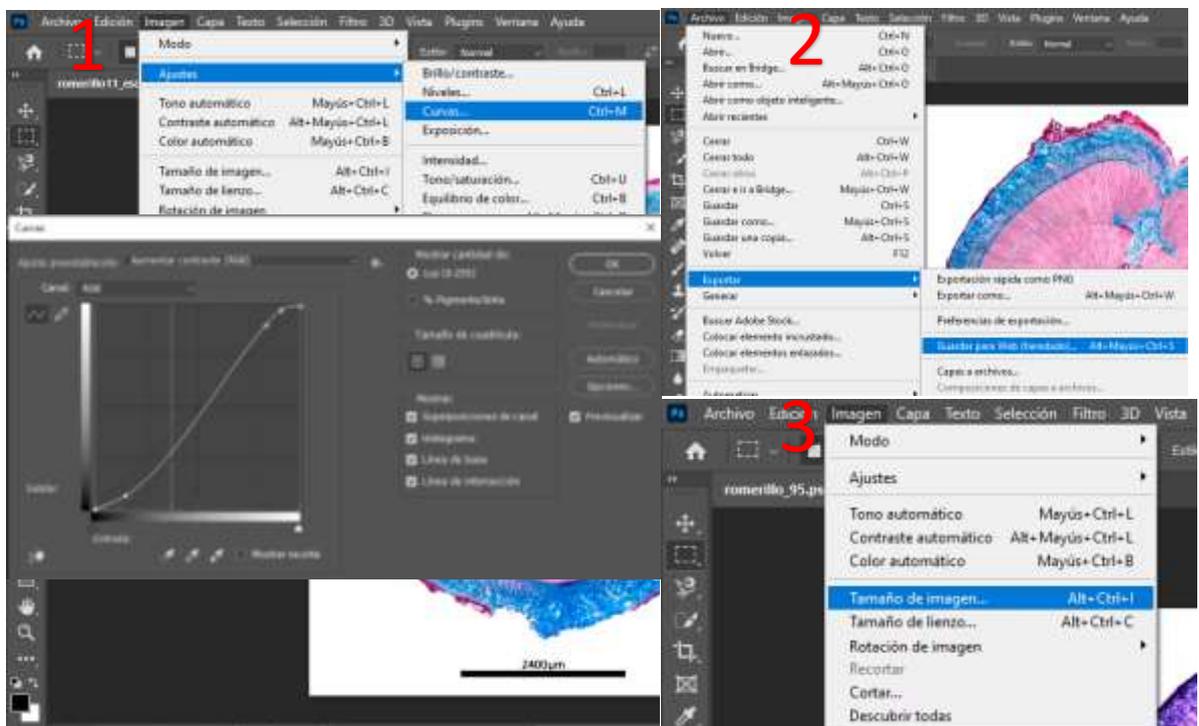
7. Para agrupar el trazo realizado con la herramienta Rectángulo y Texto creado con la opción **Capa** → **Agrupar capa** (nombre: escala).
8. Clic en la herramienta Marco regular , seleccionar la escala, seleccionar **Edición** → **Copiar** y luego **Edición** → **Pegar**.
9. Para guardar la capa agrupada o escala a través de la pestaña **Archivo** → **Guardar como** (Escala-formato Photoshop PSD, PDD). Esta capa agrupada servirá para ubicar la escala de referencia a las demás fotografías de los cortes anatómicos.
10. Para guardar la imagen con la escala, se realiza mediante la pestaña **Archivo** → **Guardar como** (Código_Escala-formato JPEG).





c. Reducir el tamaño de la imagen

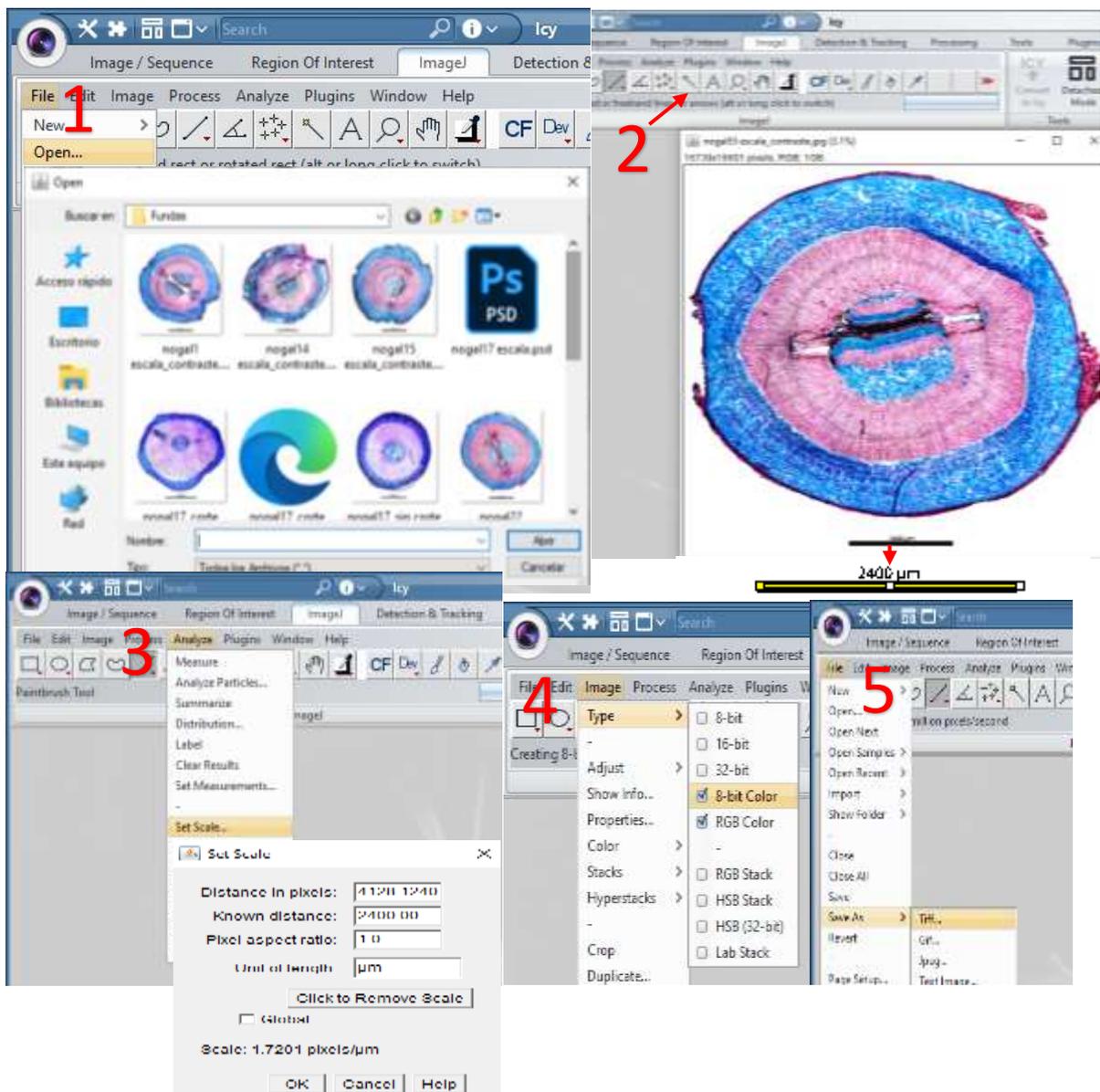
1. Abrir la imagen con la escala, seleccionar la opción **Imagen** → **Ajustes** → **Curvas** → Ajuste preestablecido → Aumentar contraste → OK.
2. Clic en **Archivo** → **Exportar** → **Guardar para la web** → **Ajuste preestablecido (JPEG Alta)** → **Porcentaje 60%** y **Guardar**.
3. En caso de la imagen sea muy pesada, para reducir el tamaño se la imagen se realiza de la siguiente manera, clic en **Imagen** → **Tamaño de imagen** → **Cambiar Anchura a Porcentaje (60%)** → OK.



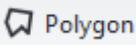
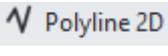
Anexo 6. Procesamiento de cortes anatómicos y diferenciación de anillos de crecimiento en el software bio-imágenes ICY versión 2.4.3.0.

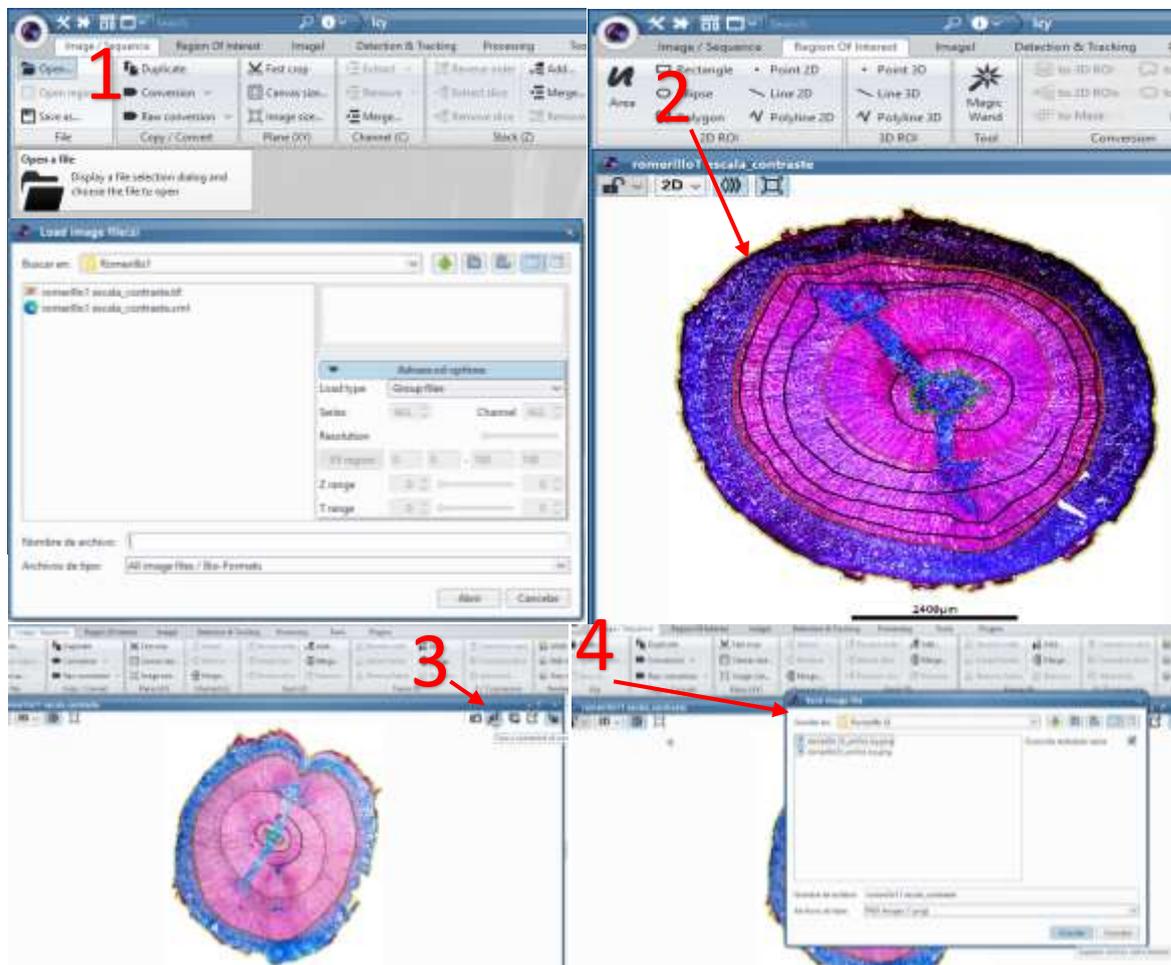
a. Georreferenciar la escala

1. Abrir el programa ICY, clic en **ImageJ** → **File** → **Open** → Imagen editada en Photoshop.
2. Clic en **ImageJ** → **Straight** . (Seleccionar con la línea la escala de la imagen).
3. Clic en **ImageJ** → **Analyze** → **Set scale** y completar los datos: Distance in pixels (predeterminado), Know distance (2400), Pixel aspect ratio (1.0) y Unit of length (μm) → OK.
4. Clic en **ImageJ** → **Image** → **Type** → 8-bit Color
5. Clic en **ImageJ** → **File** → **Save As** → **Tiff** → **Guardar** (Código_Tiff).



b. Diferenciación de anillos

1. Abrir la imagen tipo Tiff a través de **Image/Sequence** → **Open**
2. Seleccionar **Region Of Interest** → **Polygon**  (para delimitar e identificar la médula, xilema, incisión, corteza) y **Polyline 2D**  (para delimitar e identificar los anillos de crecimiento).
3. Realizar una captura de imagen de tamaño original de los cortes anatómicos procesados  (identificación de médula, incisión, corteza, formación de anillos de crecimiento e imagen original junto a lo mencionado anteriormente).
4. Seleccionar **Image/Sequence** → **Save as** (formato PNG) → **Save**.



Anexo 7. Código de R utilizado para la representación gráfica del incremento corriente quincenal del diámetro.

```

# title: PLOT DE SEGMENTOS DE CRECIMIENTO
DIAMETRICO

# subtitle: Formación de anillos de crecimiento por estrés
hídrico y defoliación en Juglans neotropica y Podocarpus
oleifolius D. Don bajo condiciones controladas en la ciudad de
Loja.

# author: Tesista Deysy Ordoñez

# date: 26 de enero del 2024

# director: Darwin Pucha

rm(list = ls()) # Resetear o limpiar todos los objetos del area de
trabajo

graphics.off() # Resetear o limpiar area de graficos

#Ctrl + 1 # Limpiar la consola

##### JUGLANS NEOTROPICA#####

# Fijar carpeta de trabajo

setwd("C:/Users/ORDOÑEZ/Documents/TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR/TIC/Nogal")

##### FUNDAS DE POLIETILENO
#####

#####

##### 1. TRATAMIENTO 0 #####

#####

#####T0_01#####

## 1.1. Abrir base de datos

datos.JN <- read.csv("Nogal.csv", sep = ";", dec = ",")

## 1.2. Seleccionar primer arbol: T0_01

datos.JN.BP_T0.1 <- datos.JN[, c(1:5, 6, 7)]

## 1.3. Funcion que deja solo columnas completas

datos.JN.BP_T0.1 <-
datos.JN.BP_T0.1[complete.cases(datos.JN.BP_T0.1$BP
_T0.1_ICA), ]

row.names(datos.JN.BP_T0.1) <-
1:nrow(datos.JN.BP_T0.1)

# 1.4. Agregar fechas importantes

datos.JN.BP_T0.1$comentarios <- NA

datos.JN.BP_T0.1[3, 8] <- "Cicatriz"

# Plot segmentos

jpeg(filename="JN_Diam_BPT0.1_segment.jpg", width
= 1500*0.2, height = 450*0.2, units = "mm", res=300) #
Exportar como JPG

plot(c(0,max(datos.JN.BP_T0.1$BP_T0.1)),c(1,3),type =
"n",axes = FALSE,

      xlab = "Diámetro (cm)",ylab = "")

points(x=datos.JN.BP_T0.1$BP_T0.1, y = rep(2,18),
pch=3, cex = 10, col = "green", lwd = 2)

segments(x0 = datos.JN.BP_T0.1$BP_T0.1[1:43],

        x1 = datos.JN.BP_T0.1$BP_T0.1[2:44],

        y0 = 2, y1 = 2,

        col = "yellow",

        lwd = 6, lend = 1)

points(x=datos.JN.BP_T0.1[c(3), 6], y = c(2), pch = 19,
col = "red", cex = 1.5)

points(x=0, y=2, pch = 19, col = "red", cex = 1.5)

text(x=datos.JN.BP_T0.1[c(3), 6], y = 3, col = "yellow",

      labels = datos.JN.BP_T0.1$comentarios[c(3)], srt =
90, cex = 0.75)

text(x=0.15, y = 2, labels = "Juglans BP_T0.1", cex =
1.5)

axis(1, at = c(0, 0.25, datos.JN.BP_T0.1$BP_T0.1),labels
= T ,tcl = 0.5, col = "yellow")

axis(1, labels = F, col = "yellow")

dev.off()

#####

##### 1. TRATAMIENTO 1 #####

#####

#####T1_22#####

## 1.1. Abrir base de datos

datos.JN <- read.csv("Nogal.csv", sep = ";", dec = ",")

## 1.2. Seleccionar arbol: T1_22

datos.JN.BP_T1.22 <- datos.JN[, c(1:5, 12, 13)]

## 1.3. Funcion que deja solo columnas completas

datos.JN.BP_T1.22 <-
datos.JN.BP_T1.22[complete.cases(datos.JN.BP_T1.22$
BP_T1.22_ICA), ]

row.names(datos.JN.BP_T1.22) <-
1:nrow(datos.JN.BP_T1.22)

# 1.4. Agregar fechas importantes

datos.JN.BP_T1.22$comentarios <- NA

datos.JN.BP_T1.22[3, 8] <- "Cicatriz"

datos.JN.BP_T1.22[10, 8] <- "Defoliación 1"

```

```

# Plot segmentos

jpeg(filename="JN_Diam_BPT1.22_segment.jpg", width
= 1500*0.2, height = 450*0.2, units = "mm", res=300) #
Exportar como JPG

plot(c(0,max(datos.JN.BP_T1.22$BP_T1.22)),c(1,3),type
= "n",axes = FALSE,

      xlab = "Diámetro (cm)",ylab = "")

points(x=datos.JN.BP_T1.22$BP_T1.22, y = rep(2,17),
pch=3, cex = 10, col = "green", lwd = 2)

segments(x0 = datos.JN.BP_T1.22$BP_T1.22[1:43],

         x1 = datos.JN.BP_T1.22$BP_T1.22[2:44],

         y0 = 2, y1 = 2,

         col = "yellow",

         lwd = 6, lend = 1)

points(x=datos.JN.BP_T1.22[c(3,10), 6], y = c (2,2), pch
= 19, col = "red", cex = 1.5)

points(x=0, y =2, pch = 19, col = "red", cex = 1.5)

text(x=datos.JN.BP_T1.22[c(3, 10), 6], y = 3, col =
"yellow",

      labels = datos.JN.BP_T1.22$comentarios[c(3, 10)], srt
= 90, cex = 0.75)

text(x=0.15, y = 2, labels = "Juglans BP_T1.22", cex =
1.5)

axis(1, at = c(0, 0.25,
datos.JN.BP_T1.22$BP_T1.22),labels = T ,tcl = 0.5, col
= "yellow")

axis(1, labels = F, col = "yellow")

dev.off()

#####
##### 1. TRATAMIENTO 2 #####
#####
#####T2_43#####
## 1.1. Abrir base de datos

datos.JN <- read.csv("Nogal.csv", sep = ";", dec = ",")

## 1.2. Seleccionar primer arbol: T2_43

datos.JN.BP_T2.43 <- datos.JN[, c(1:5, 20, 21)]

## 1.3. Funcion que deja solo columnas completas

datos.JN.BP_T2.55 <-
datos.JN.BP_T2.55[complete.cases(datos.JN.BP_T2.55$
BP_T2.55_ICA) , ]row.names(datos.JN.BP_T2.55) <-
1:nrow(datos.JN.BP_T2.55)

# 1.4. Agregar fechas importantes

datos.JN.BP_T2.43$comentarios <- NA

```

```

datos.JN.BP_T2.43[3, 8] <- "Cicatriz"

datos.JN.BP_T2.43[8, 8] <- "Inicio sequía 1"

datos.JN.BP_T2.43[10, 8] <- "Defoliación 1"

datos.JN.BP_T2.43[20, 8] <- "Inicio sequía 2"

datos.JN.BP_T2.43[23, 8] <- "Defoliación 2"

# Plot segmentos

jpeg(filename="JN_Diam_BPT2.43_segment.jpg", width
= 1500*0.2, height = 450*0.2, units = "mm", res=300) #
Exportar como JPG

plot(c(0,max(datos.JN.BP_T2.43$BP_T2.43)),c(1,3),type
= "n",axes = FALSE,

      xlab = "Diámetro (cm)",ylab = "")

points(x=datos.JN.BP_T2.43$BP_T2.43, y = rep(2,26),
pch=3, cex = 10, col = "green", lwd = 2)

segments(x0 = datos.JN.BP_T2.43$BP_T2.43[1:43],

         x1 = datos.JN.BP_T2.43$BP_T2.43[2:44],

         y0 = 2, y1 = 2,

         col = "yellow",

         lwd = 6, lend = 1)

points(x=datos.JN.BP_T2.43[c(3,8,10,20,23), 6], y = c
(2,2,2,2,2), pch = 19, col = "red", cex = 1.5)

points(x=0, y =2, pch = 19, col = "red", cex = 1.5)

text(x=datos.JN.BP_T2.43[c(3,8,10,20,23), 6], y = 3, col
= "yellow",

      labels =
datos.JN.BP_T2.43$comentarios[c(3,8,10,20,23)], srt =
90, cex = 0.75)

text(x=0.15, y = 2, labels = "Juglans BP_T2.43", cex =
1.5)

axis(1, at = c(0, 0.25,
datos.JN.BP_T2.43$BP_T2.43),labels = T ,tcl = 0.5, col
= "yellow")

axis(1, labels = F, col = "yellow")

dev.off()

##### DIRECTO EN SUELO #####
#####
##### 1. TRATAMIENTO 0 #####
#####
#####T0_62#####
## 1.1. Abrir base de datos

datos.JN <- read.csv("Nogal.csv", sep = ";", dec = ",")

## 1.2. Seleccionar primer arbol: T0_62

datos.JN.TF_T0.62 <- datos.JN[, c(1:5, 22, 23)]

```

```

## 1.3. Funcion que deja solo columnas completas

datos.JN.TF_T0.62 <-
datos.JN.TF_T0.62[complete.cases(datos.JN.TF_T0.62$
TF_T0.62_ICA) , ]

row.names(datos.JN.TF_T0.62) <-
1:nrow(datos.JN.TF_T0.62)

# 1.4. Agregar fechas importantes

datos.JN.TF_T0.62$comentarios <- NA

datos.JN.TF_T0.62[3, 8] <- "Cicatriz"

# Plot segmentos

jpeg(filename="JN_Diam_TFT0.62_segment.jpg", width
= 1500*0.2, height = 450*0.2, units = "mm", res=300) #
Exportar como JPG

plot(c(0,max(datos.JN.TF_T0.62$TF_T0.62)),c(1,3),type
= "n",axes = FALSE,

      xlab = "Diámetro (cm)",ylab = "")

points(x=datos.JN.TF_T0.62$TF_T0.62, y = rep(2,19),
pch=3, cex = 10, col = "green", lwd = 2)

segments(x0 = datos.JN.TF_T0.62$TF_T0.62[1:43],

         x1 = datos.JN.TF_T0.62$TF_T0.62[2:44],

         y0 = 2, y1 = 2,

         col = "yellow",

         lwd = 6, lend = 1)

points(x=datos.JN.TF_T0.62[c(3), 6], y = c (2), pch = 19,
col = "red", cex = 1.5)

points(x=0, y =2, pch = 19, col = "red", cex = 1.5)

text(x=datos.JN.TF_T0.62[c(3), 6], y = 3, col = "yellow",

     labels = datos.JN.TF_T0.62$comentarios[c(3)], srt =
90, cex = 0.75)

text(x=0.15, y = 2, labels = "Juglans TF_T0.62", cex =
1.5)

axis(1, at = c(0, 0.25,
datos.JN.TF_T0.62$TF_T0.62),labels = T ,tcl = 0.5, col =
"yellow")

axis(1, labels = F, col = "yellow")

dev.off()

#####

##### 1. TRATAMIENTO 1 #####

#####

#####T1_85#####

## 1.1. Abrir base de datos

datos.JN <- read.csv("Nogal.csv", sep = ";", dec = ",")

## 1.2. Seleccionar primer arbol: T1_85

```

```

datos.JN.TF_T1.85 <- datos.JN[, c(1:5, 28, 29)]

## 1.3. Funcion que deja solo columnas completas

datos.JN.TF_T1.85 <-
datos.JN.TF_T1.85[complete.cases(datos.JN.TF_T1.85$
TF_T1.85_ICA) , ]

row.names(datos.JN.TF_T1.85) <-
1:nrow(datos.JN.TF_T1.85)

# 1.4. Agregar fechas importantes

datos.JN.TF_T1.85$comentarios <- NA

datos.JN.TF_T1.85[3, 8] <- "Cicatriz"

datos.JN.TF_T1.85[13, 8] <- "Defoliación 1"

# Plot segmentos

jpeg(filename="JN_Diam_TFT1.85_segment.jpg", width
= 1500*0.2, height = 450*0.2, units = "mm", res=300) #
Exportar como JPG

plot(c(0,max(datos.JN.TF_T1.85$TF_T1.85)),c(1,3),type
= "n",axes = FALSE,

      xlab = "Diámetro (cm)",ylab = "")

points(x=datos.JN.TF_T1.85$TF_T1.85, y = rep(2,19),
pch=3, cex = 10, col = "green", lwd = 2)

segments(x0 = datos.JN.TF_T1.85$TF_T1.85[1:43],

         x1 = datos.JN.TF_T1.85$TF_T1.85[2:44],

         y0 = 2, y1 = 2,

         col = "yellow",

         lwd = 6, lend = 1)

points(x=datos.JN.TF_T1.85[c(3,13), 6], y = c (2,2), pch
= 19, col = "red", cex = 1.5)

points(x=0, y =2, pch = 19, col = "red", cex = 1.5)

text(x=datos.JN.TF_T1.85[c(3,13), 6], y = 3, col =
"yellow",

     labels = datos.JN.TF_T1.85$comentarios[c(3,13)], srt
= 90, cex = 0.75)

text(x=0.15, y = 2, labels = "Juglans TF_T1.85", cex =
1.5)

axis(1, at = c(0, 0.25,
datos.JN.TF_T1.85$TF_T1.85),labels = T ,tcl = 0.5, col =
"yellow")

axis(1, labels = F, col = "yellow")

dev.off()

#####

##### 1. TRATAMIENTO 2 #####

#####

#####T2_102#####

```

```

## 1.1. Abrir base de datos
datos.JN <- read.csv("Nogal.csv", sep = ";", dec = ",")

## 1.2. Seleccionar primer arbol: T2_102
datos.JN.TF_T2.102 <- datos.JN[, c(1:5, 34, 35)]

## 1.3. Funcion que deja solo columnas completas
datos.JN.TF_T2.102 <-
datos.JN.TF_T2.102[complete.cases(datos.JN.TF_T2.102
$TF_T2.102_ICA), ]

row.names(datos.JN.TF_T2.102) <-
1:nrow(datos.JN.TF_T2.102)

# 1.4. Agregar fechas importantes
datos.JN.TF_T2.102$comentarios <- NA

datos.JN.TF_T2.102[3, 8] <- "Cicatriz"
datos.JN.TF_T2.102[8, 8] <- "Inicio sequía 1"
datos.JN.TF_T2.102[13, 8] <- "Defoliación 1"
datos.JN.TF_T2.102[20, 8] <- "Inicio sequía 2"

# Plot segmentos
jpeg(filename="JN_Diam_TFT2.102_segment.jpg",
width = 1500*0.2, height = 450*0.2, units = "mm",
res=300) # Exportar como JPG

plot(c(0,max(datos.JN.TF_T2.102$TF_T2.102)),c(1,3),ty
pe = "n",axes = FALSE,

      xlab = "Diámetro (cm)",ylab = "")

points(x=datos.JN.TF_T2.102$TF_T2.102, y = rep(2,21),
pch=3, cex = 10, col = "green", lwd = 2)

segments(x0 = datos.JN.TF_T2.102$TF_T2.102[1:43],
         x1 = datos.JN.TF_T2.102$TF_T2.102[2:44],
         y0 = 2, y1 = 2,
         col = "yellow",
         lwd = 6, lend = 1)

points(x=datos.JN.TF_T2.102[c(3,8,13,20), 6], y = c
(2,2,2,2), pch = 19, col = "red", cex = 1.5)

points(x=0, y=2, pch = 19, col = "red", cex = 1.5)

text(x=datos.JN.TF_T2.102[c(3,8,13,20), 6], y = 3, col =
"yellow",

      labels =
datos.JN.TF_T2.102$comentarios[c(3,8,13,20)], srt = 90,
cex = 0.75)

text(x=0.15, y = 2, labels = "Juglans TF_T2.102", cex =
1.5)

axis(1, at = c(0, 0.25,
datos.JN.TF_T2.102$TF_T2.102),labels = T ,tcl = 0.5,
col = "yellow")

```

```

axis(1, labels = F, col = "yellow")

dev.off()

##### PODOCARPUS OLEIFOLIUS
#####

# Fijar carpeta de trabajo
setwd("C:/Users/ORDOÑEZ/Documents/TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR/TIC/Romerillo")

##### FUNDAS DE POLIETILENO
#####

#####
##### 1. TRATAMIENTO 0 #####
#####
#####T0_01#####

## 1.1. Abrir base de datos
datos.PO <- read.csv("Romerillo1.csv", sep = ";", dec =
",")

## 1.2. Seleccionar primer arbol: T0_01
datos.PO.BP_T0.1 <- datos.PO[, c(1:5, 8, 9)]

## 1.3. Funcion que deja solo columnas completas
datos.PO.BP_T0.1 <-
datos.PO.BP_T0.1[complete.cases(datos.PO.BP_T0.1$B
P_T0.1_ICA), ]

row.names(datos.PO.BP_T0.1) <-
1:nrow(datos.PO.BP_T0.1)

# 1.4. Agregar fechas importantes
datos.PO.BP_T0.1$comentarios <- NA

datos.PO.BP_T0.1[3, 8] <- "Cicatriz"

# Plot segmentos
jpeg(filename="PO_Diam_BPT0.1_segment.jpg", width
= 1500*0.2, height = 450*0.2, units = "mm", res=300) #
Exportar como JPG

plot(c(0,max(datos.PO.BP_T0.1$BP_T0.1)),c(1,3),type =
"n",axes = FALSE,

      xlab = "Diámetro (cm)",ylab = "")

points(x=datos.PO.BP_T0.1$BP_T0.1, y = rep(2,26),
pch=3, cex = 10, col = "green", lwd = 2)

segments(x0 = datos.PO.BP_T0.1$BP_T0.1[1:43],
         x1 = datos.PO.BP_T0.1$BP_T0.1[2:44],
         y0 = 2, y1 = 2,
         col = "yellow",

```

```

lwd = 6, lend = 1)
points(x=datos.PO.BP_T0.1[c(3), 6], y = c(2), pch = 19,
col = "red", cex = 1.5)
points(x=0, y=2, pch = 19, col = "red", cex = 1.5)
text(x=datos.PO.BP_T0.1[c(3), 6], y = 3, col = "yellow",
labels = datos.PO.BP_T0.1$comentarios[c(3)], srt =
90, cex = 0.75)
text(x=0.15, y = 2, labels = "Podocarpus BP_T0.1", cex =
1.5)
axis(1, at = c(0, 0.25, datos.PO.BP_T0.1$BP_T0.1), labels
= T ,tcl = 0.5, col = "yellow")
axis(1, labels = F, col = "yellow")
dev.off()
#####
##### 1. TRATAMIENTO 1 #####
#####
#####T1_21#####
## 1.1. Abrir base de datos
datos.PO <- read.csv("Romerillo1.csv", sep = ";", dec =
",")
## 1.2. Seleccionar primer arbol: T1_21
datos.PO.BP_T1.21 <- datos.PO[, c(1:5, 16, 17)]
## 1.3. Funcion que deja solo columnas completas
datos.PO.BP_T1.21 <-
datos.PO.BP_T1.21[complete.cases(datos.PO.BP_T1.21$
BP_T1.21_ICA), ]
row.names(datos.PO.BP_T1.21) <-
1:nrow(datos.PO.BP_T1.21)
# 1.4. Agregar fechas importantes
datos.PO.BP_T1.21$comentarios <- NA
datos.PO.BP_T1.21[3, 8] <- "Cicatriz"
datos.PO.BP_T1.21[11, 8] <- "Defoliación 1"
datos.PO.BP_T1.21[22, 8] <- "Defoliación 2"
# Plot segmentos
jpeg(filename="PO_Diam_BPT1.21_segment.jpg", width
= 1500*0.2, height = 450*0.2, units = "mm", res=300) #
Exportar como JPG
plot(c(0,max(datos.PO.BP_T1.21$BP_T1.21)),c(1,3),typ
e = "n",axes = FALSE,
xlab = "Diámetro (cm)",ylab = "")
points(x=datos.PO.BP_T1.21$BP_T1.21, y = rep(2,26),
pch=3, cex = 10, col = "green", lwd = 2)
segments(x0 = datos.PO.BP_T1.21$BP_T1.21[1:43],

```

```

x1 = datos.PO.BP_T1.21$BP_T1.21[2:44],
y0 = 2, y1 = 2,
col = "yellow",
lwd = 6, lend = 1)
points(x=datos.PO.BP_T1.21[c(3,11,22), 6], y = c
(2,2,2), pch = 19, col = "red", cex = 1.5)
points(x=0, y=2, pch = 19, col = "red", cex = 1.5)
text(x=datos.PO.BP_T1.21[c(3,11,22), 6], y = 3, col =
"yellow",
labels = datos.PO.BP_T1.21$comentarios[c(3,11,22)],
srt = 90, cex = 0.75)
text(x=0.15, y = 2, labels = "Podocarpus BP_T1.21", cex
= 1.5)
axis(1, at = c(0, 0.25,
datos.PO.BP_T1.21$BP_T1.21), labels = T ,tcl = 0.5, col
= "yellow")
axis(1, labels = F, col = "yellow")
dev.off()
#####
##### 1. TRATAMIENTO 2 #####
#####
#####T2_44#####
## 1.1. Abrir base de datos
datos.PO <- read.csv("Romerillo1.csv", sep = ";", dec =
",")
## 1.2. Seleccionar árbol: T2_44
datos.PO.BP_T2.44 <- datos.PO[, c(1:5, 18, 19)]
## 1.3. Funcion que deja solo columnas completas
datos.PO.BP_T2.44 <-
datos.PO.BP_T2.44[complete.cases(datos.PO.BP_T2.44$
BP_T2.44_ICA), ]
row.names(datos.PO.BP_T2.44) <-
1:nrow(datos.PO.BP_T2.44)
# 1.4. Agregar fechas importantes
datos.PO.BP_T2.44$comentarios <- NA
datos.PO.BP_T2.44[3, 8] <- "Cicatriz"
datos.PO.BP_T2.44[8, 8] <- "Inicio sequía 1"
datos.PO.BP_T2.44[10, 8] <- "Defoliación 1"
# Plot segmentos
jpeg(filename="PO_Diam_BPT2.44_segment.jpg", width
= 1500*0.2, height = 450*0.2, units = "mm", res=300) #
Exportar como JPG

```

```

plot(c(0,max(datos.PO.BP_T2.44$BP_T2.44)),c(1,3),typ
e = "n",axes = FALSE,

      xlab = "Diámetro (cm)",ylab = "")

points(x=datos.PO.BP_T2.44$BP_T2.44, y = rep(2,18),
pch=3, cex = 10, col = "green", lwd = 2)

segments(x0 = datos.PO.BP_T2.44$BP_T2.44[1:43],
         x1 = datos.PO.BP_T2.44$BP_T2.44[2:44],
         y0 = 2, y1 = 2,
         col = "yellow",
         lwd = 6, lend = 1)

points(x=datos.PO.BP_T2.44[c(3, 8, 10), 6], y = c(2,2,2),
pch = 19, col = "red", cex = 1.5)

points(x=0, y =2, pch = 19, col = "red", cex = 1.5)

text(x=datos.PO.BP_T2.44[c(3, 8, 10), 6], y = 3, col =
"yellow",

      labels = datos.PO.BP_T2.44$comentarios[c(3, 8, 10)],
srt = 90, cex = 0.75)

text(x=0.15, y = 2, labels = "Podocarpus BP_T2.44", cex
= 1.5)

axis(1, at = c(0, 0.25,
datos.PO.BP_T2.44$BP_T2.44),labels = T ,tcl = 0.5, col
= "yellow")

axis(1, labels = F, col = "yellow")

dev.off()

##### DIRECTO EN SUELO #####
#####
##### 1. TRATAMIENTO 0 #####
#####
#####T0_60#####

## 1.1. Abrir base de datos

datos.PO <- read.csv("Romerillo1.csv", sep = ";", dec =
",")

## 1.2. Seleccionar primer arbol: T0.60

datos.PO.TF_T0.60 <- datos.PO[, c(1:5, 24, 25)]

## 1.3. Funcion que deja solo columnas completas

datos.PO.TF_T0.60 <-
datos.PO.TF_T0.60[complete.cases(datos.PO.TF_T0.60$
TF_T0.60_ICA), ]

row.names(datos.PO.TF_T0.60) <-
1:nrow(datos.PO.TF_T0.60)

## 1.4. Agregar fechas importantes

datos.PO.TF_T0.60$comentarios <- NA

```

```

datos.PO.TF_T0.60[3, 8] <- "Cicatriz"

## Plot segmentos

jpeg(filename="PO_Diam_TFT0.60_segment.jpg", width
= 1500*0.2, height = 450*0.2, units = "mm", res=300) #
Exportar como JPG

plot(c(0,max(datos.PO.TF_T0.60$TF_T0.60)),c(1,3),type
= "n",axes = FALSE,

      xlab = "Diámetro (cm)",ylab = "")

points(x=datos.PO.TF_T0.60$TF_T0.60, y = rep(2,20),
pch=3, cex = 10, col = "green", lwd = 2)

segments(x0 = datos.PO.TF_T0.60$TF_T0.60[1:43],
         x1 = datos.PO.TF_T0.60$TF_T0.60[2:44],
         y0 = 2, y1 = 2,
         col = "yellow",
         lwd = 6, lend = 1)

points(x=datos.PO.TF_T0.60[c(3), 6], y = c (2), pch = 19,
col = "red", cex = 1.5)

points(x=0, y =2, pch = 19, col = "red", cex = 1.5)

text(x=datos.PO.TF_T0.60[c(3), 6], y = 3, col = "yellow",

      labels = datos.PO.TF_T0.60$comentarios[c(3)], srt =
90, cex = 0.75)

text(x=0.15, y = 2, labels = "Podocarpus TF_T0.60", cex
= 1.5)

axis(1, at = c(0, 0.25,
datos.PO.TF_T0.60$TF_T0.60),labels = T ,tcl = 0.5, col
= "yellow")

axis(1, labels = F, col = "yellow")

dev.off()

#####
##### 1. TRATAMIENTO 1 #####
#####
#####T1_81#####

## 1.1. Abrir base de datos

datos.PO <- read.csv("Romerillo1.csv", sep = ";", dec =
",")

## 1.2. Seleccionar primer arbol: T1_81

datos.PO.TF_T1.81 <- datos.PO[, c(1:5, 30, 31)]

## 1.3. Funcion que deja solo columnas completas

datos.PO.TF_T1.81 <-
datos.PO.TF_T1.81[complete.cases(datos.PO.TF_T1.81$
TF_T1.81_ICA), ]

row.names(datos.PO.TF_T1.81) <-
1:nrow(datos.PO.TF_T1.81)

```

```

## 1.4. Agregar fechas importantes

datos.PO.TF_T1.81$comentarios <- NA

datos.PO.TF_T1.81[3, 8] <- "Cicatriz"

datos.PO.TF_T1.81[13, 8] <- "Defoliación 1"

# Plot segmentos

jpeg(filename="PO_Diam_TFT1.81_segment.jpg", width
= 1500*0.2, height = 450*0.2, units = "mm", res=300) #
Exportar como JPG

plot(c(0,max(datos.PO.TF_T1.81$TF_T1.81)),c(1,3),type
= "n",axes = FALSE,

      xlab = "Diámetro (cm)",ylab = "")

points(x=datos.PO.TF_T1.81$TF_T1.81, y = rep(2,20),
pch=3, cex = 10, col = "green", lwd = 2)

segments(x0 = datos.PO.TF_T1.81$TF_T1.81[1:43],
         x1 = datos.PO.TF_T1.81$TF_T1.81[2:44],
         y0 = 2, y1 = 2,
         col = "yellow",
         lwd = 6, lend = 1)

points(x=datos.PO.TF_T1.81[c(3,13), 6], y = c (2,2), pch
= 19, col = "red", cex = 1.5)

points(x=0, y =2, pch = 19, col = "red", cex = 1.5)

text(x=datos.PO.TF_T1.81[c(3,13), 6], y = 3, col =
"yellow",

      labels = datos.PO.TF_T1.81$comentarios[c(3,13)], srt
= 90, cex = 0.75)

text(x=0.15, y = 2, labels = "Podocarpus TF_T1.81", cex
= 1.5)

axis(1, at = c(0, 0.25,
datos.PO.TF_T1.81$TF_T1.81),labels = T ,tcl = 0.5, col
= "yellow")

axis(1, labels = F, col = "yellow")

dev.off()

#####

##### 1. TRATAMIENTO 2 #####

#####

#####T2_95#####

## 1.1. Abrir base de datos

datos.PO <- read.csv("Romerillo1.csv", sep = ";", dec =
",")

## 1.2. Seleccionar árbol: T2_95

```

```

datos.PO.TF_T2.95 <- datos.PO[, c(1:5, 36, 37)]

## 1.3. Funcion que deja solo columnas completas

datos.PO.TF_T2.95 <-
datos.PO.TF_T2.95[complete.cases(datos.PO.TF_T2.95$
TF_T2.95_ICA) , ]

row.names(datos.PO.TF_T2.95) <-
1:nrow(datos.PO.TF_T2.95)

# 1.4. Agregar fechas importantes

datos.PO.TF_T2.95$comentarios <- NA

datos.PO.TF_T2.95[3, 8] <- "Cicatriz"

datos.PO.TF_T2.95[8, 8] <- "Inicio sequía 1"

datos.PO.TF_T2.95[13, 8] <- "Defoliación 1"

# Plot segmentos

jpeg(filename="PO_Diam_TFT2.95_segment.jpg", width
= 1500*0.2, height = 450*0.2, units = "mm", res=300) #
Exportar como JPG

plot(c(0,max(datos.PO.TF_T2.95$TF_T2.95)),c(1,3),type
= "n",axes = FALSE,

      xlab = "Diámetro (cm)",ylab = "")

points(x=datos.PO.TF_T2.95$TF_T2.95, y = rep(2,20),
pch=3, cex = 10, col = "green", lwd = 2)

segments(x0 = datos.PO.TF_T2.95$TF_T2.95[1:43],
         x1 = datos.PO.TF_T2.95$TF_T2.95[2:44],
         y0 = 2, y1 = 2,
         col = "yellow",
         lwd = 6, lend = 1)

points(x=datos.PO.TF_T2.95[c(3, 8, 13), 6], y = c(2,2,2),
pch = 19, col = "red", cex = 1.5)

points(x=0, y =2, pch = 19, col = "red", cex = 1.5)

text(x=datos.PO.TF_T2.95[c(3, 8, 13), 6], y = 3, col =
"yellow",

      labels = datos.PO.TF_T2.95$comentarios[c(3, 8, 13)],
srt = 90, cex = 0.75)

text(x=0.15, y = 2, labels = "Podocarpus TF_T2.95", cex
= 1.5)

axis(1, at = c(0, 0.25,
datos.PO.TF_T2.95$TF_T2.95),labels = T ,tcl = 0.5, col
= "yellow")

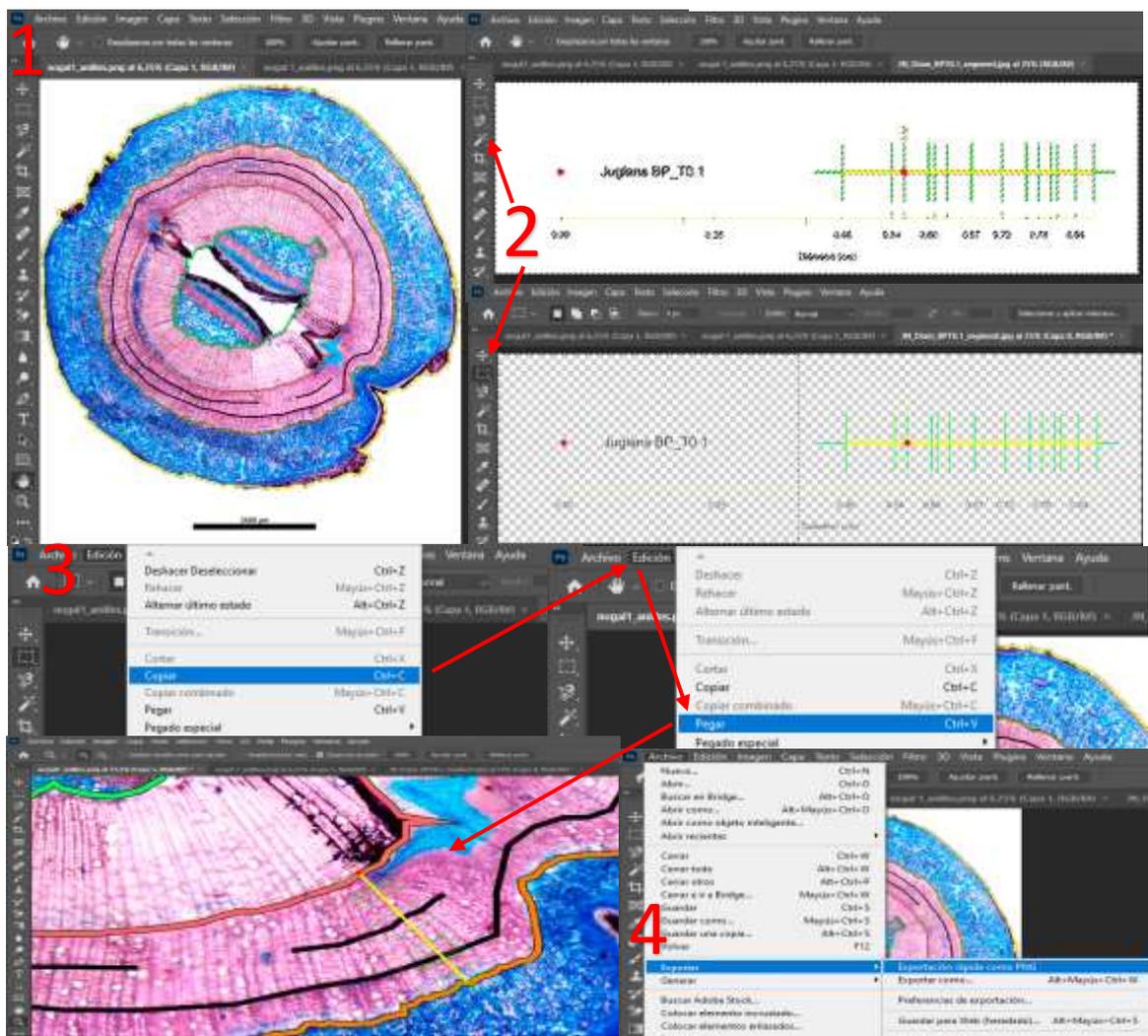
axis(1, labels = F, col = "yellow")

dev.off()

```

Anexo 8. Procesamiento de cortes anatómicos para la relación de los anillos de crecimiento con el incremento corriente quincenal de la variable diámetro en el software Photoshop.

1. Abrir el programa Photoshop y seleccionar las imágenes guardadas del programa ICY, anexando a esto la imagen del segmento de incremento corriente quincenal.
2. Para quitar el fondo de la imagen del segmento, seleccionar la herramienta varita mágica  y la tecla suprimir, luego utilizar la herramienta marco rectangular  y elegir la parte que se encuentra antes de la etiqueta de la cicatriz. Utilizar la tecla suprimir del teclado y borrar el área seleccionada.
3. Ir a **Edición** → **Copiar** y luego ubicarse en la imagen del corte anatómico **Edición** → **Pegar**, para lo cual se va a crear cuatro copias del segmento ya editado y se ubica en diferentes direcciones del corte utilizando las teclas Ctrl + T.
4. Guardar las imágenes generadas a través de **Archivo** → **Exportar** → **Exportación rápida como PNG**.

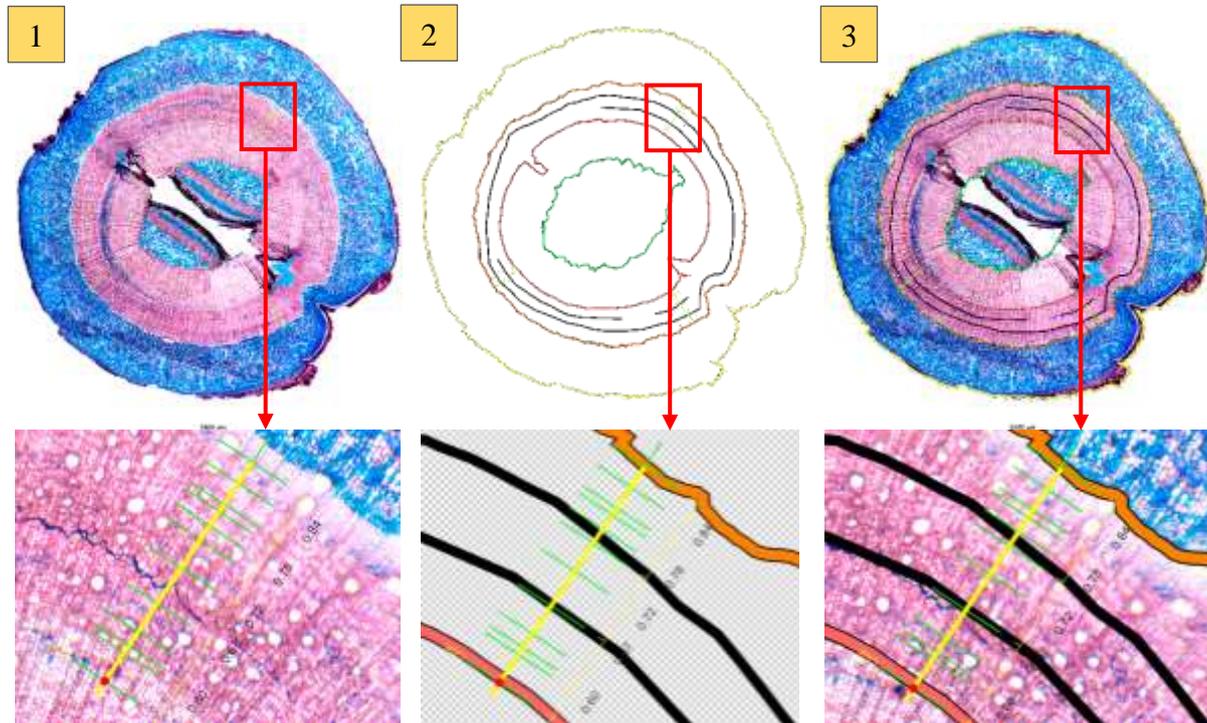


Anexo 9. Relación entre el incremento corriente quincenal y formación de anillos de crecimiento en cortes anatómicos de *Juglans neotropica* Diels y *Podocarpus oleifolius* D. Don

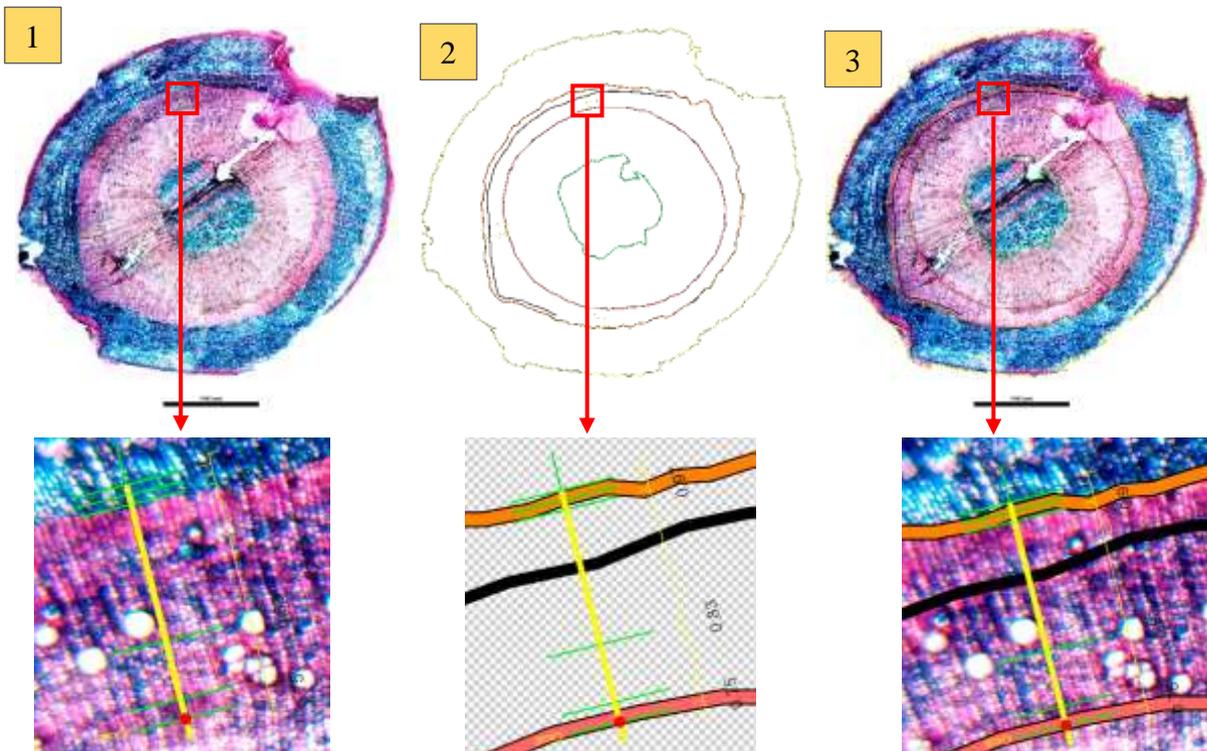
- *Juglans neotropica* Diels en fundas de polietileno

Testigo (T0)

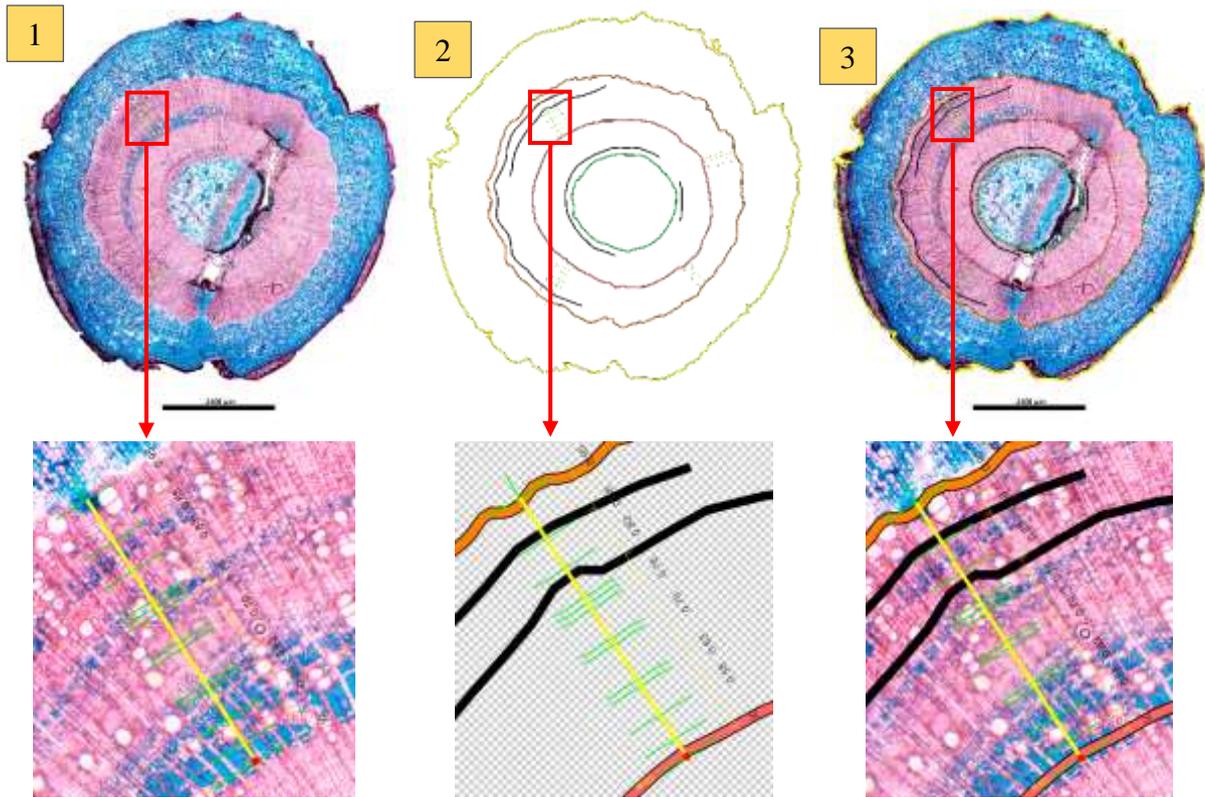
JnT0_01



JnT0_14

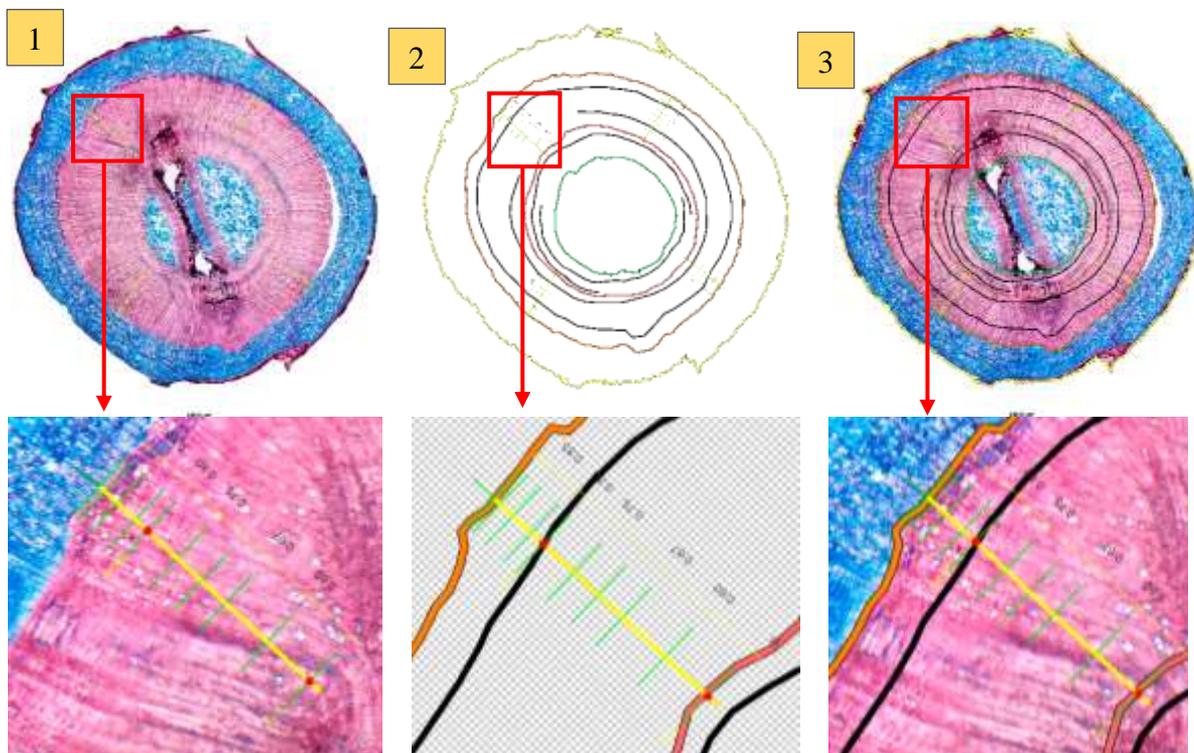


JnT0_15



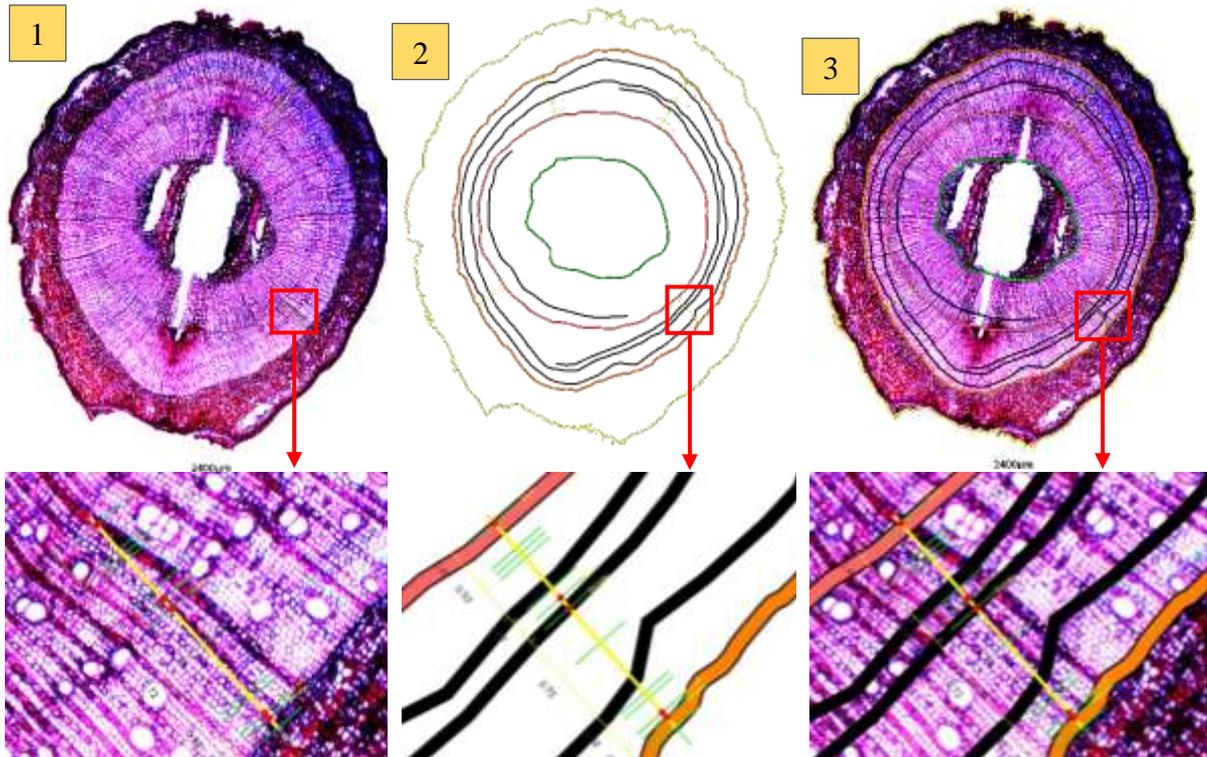
Tratamiento defoliación inmediata (T1)

JnT1_22

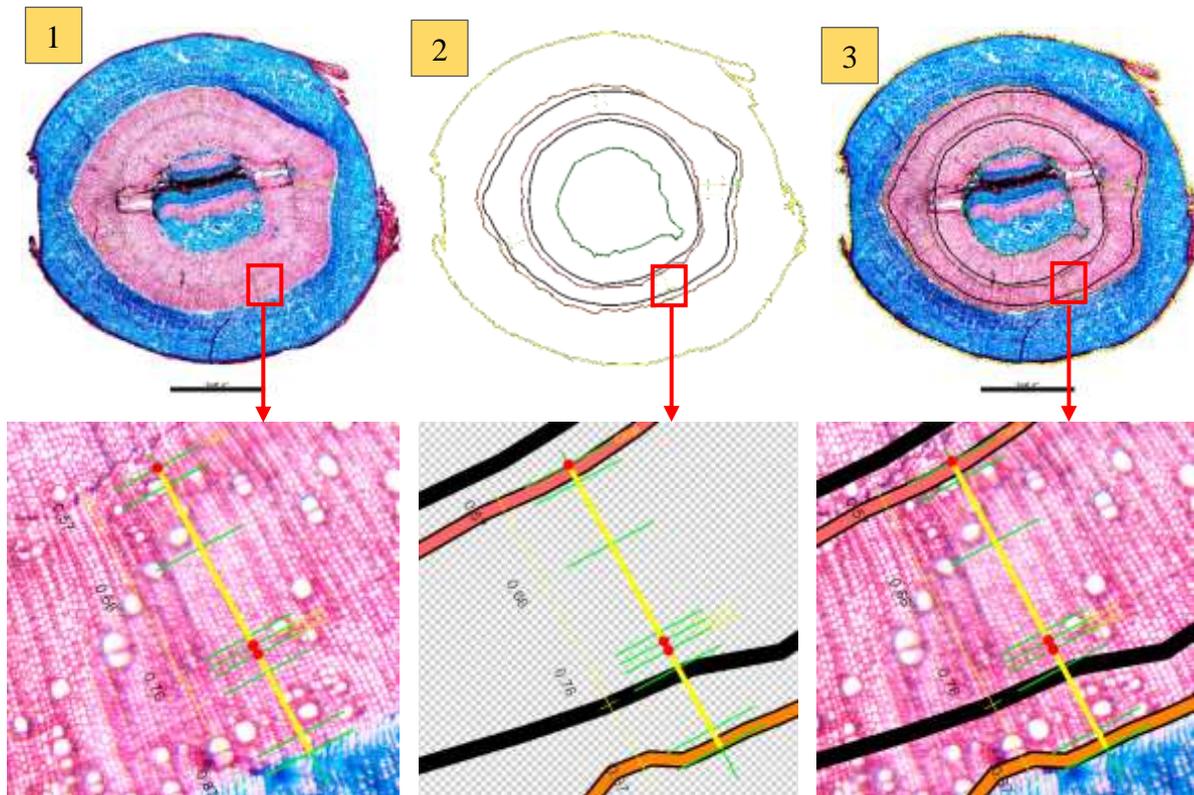


Tratamiento defoliación por estrés hídrico (T2)

JnT2_43



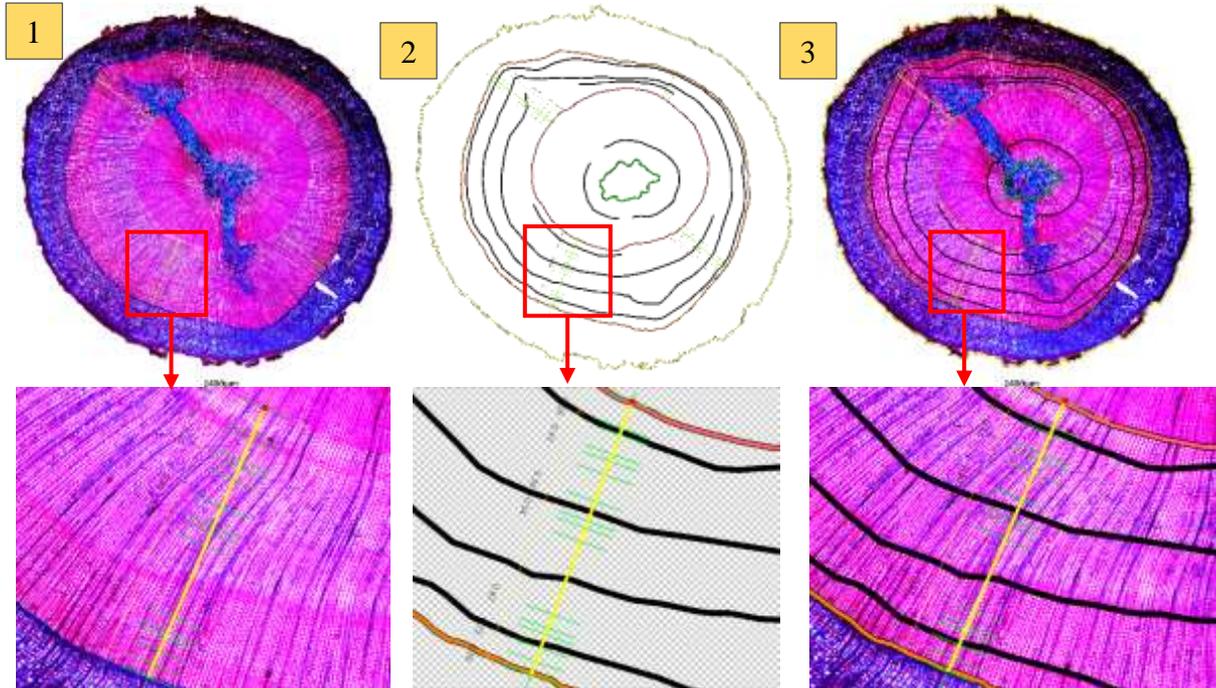
JnT2_55



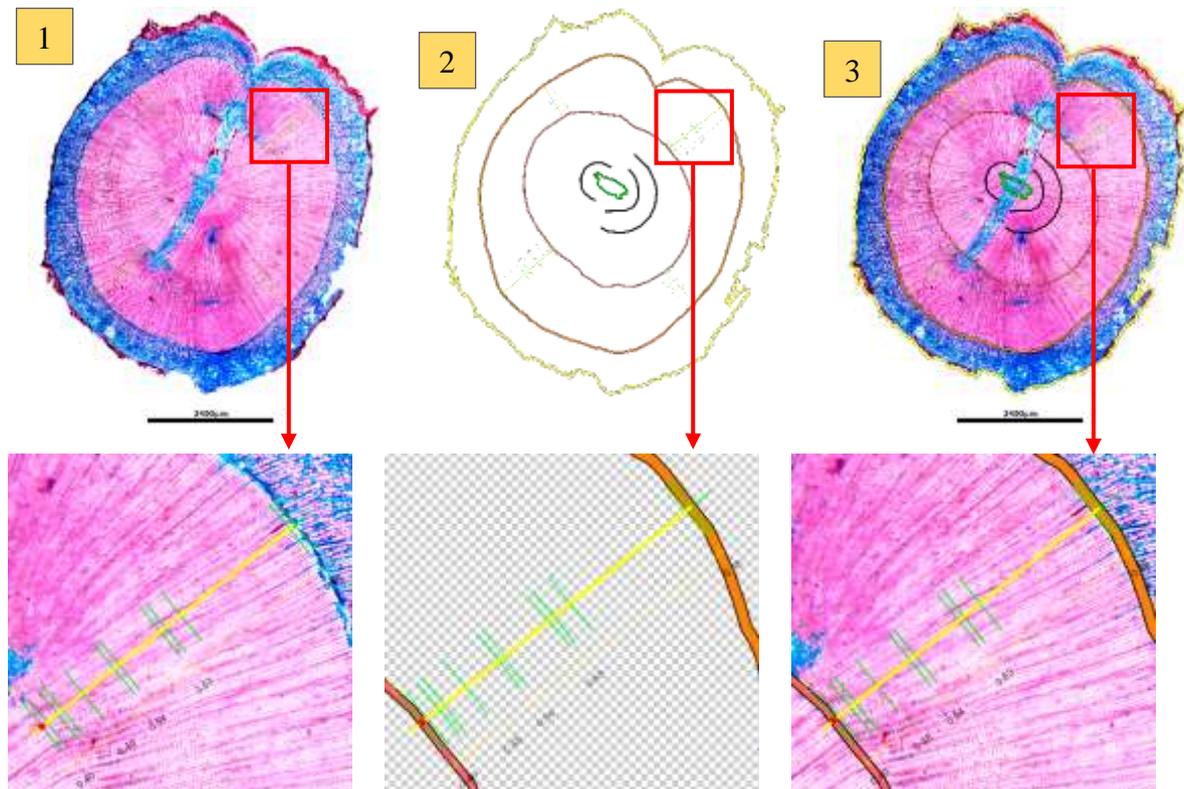
- *Podocarpus oleifolius* D. Don en fundas de polietileno

Testigo (T0)

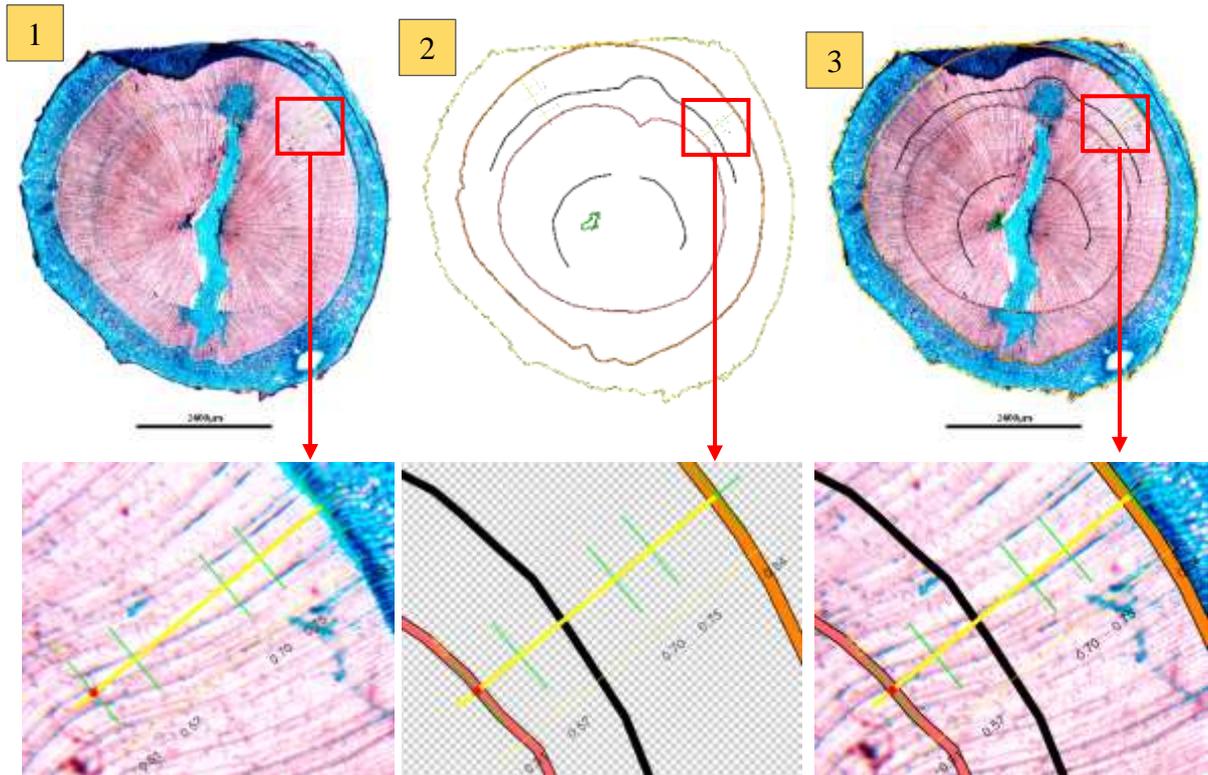
PoT0_01



PoT0_11

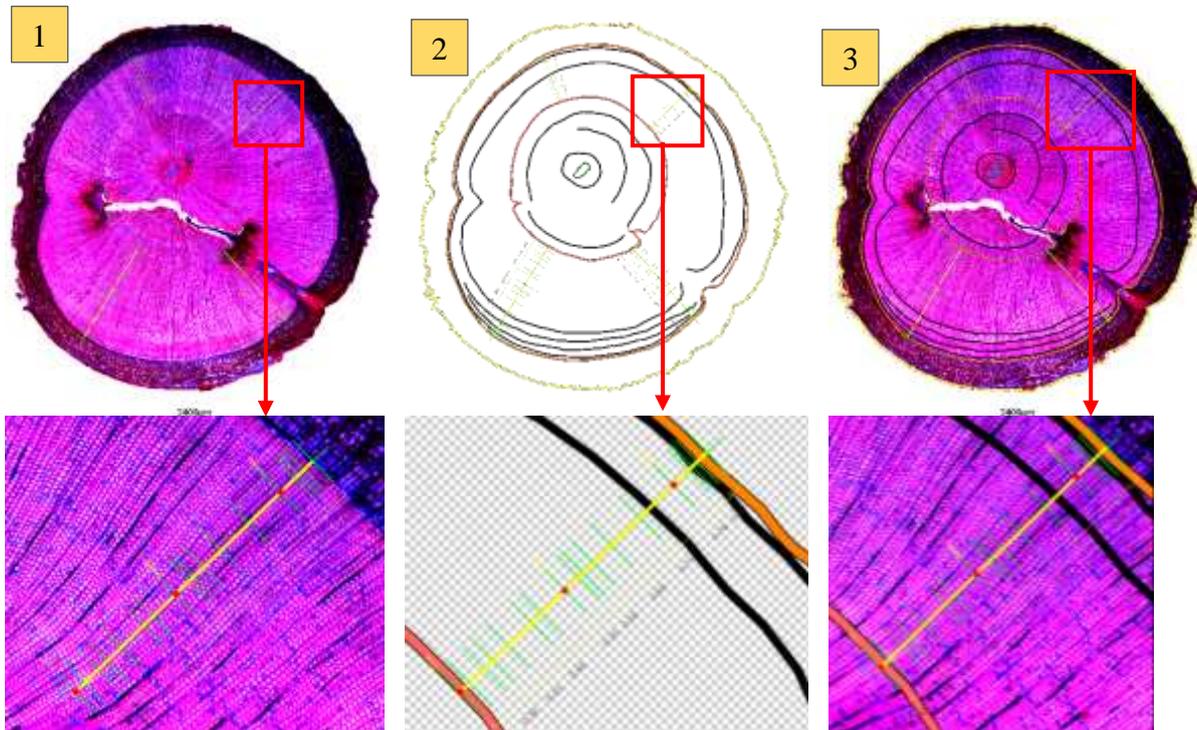


PoT0_14

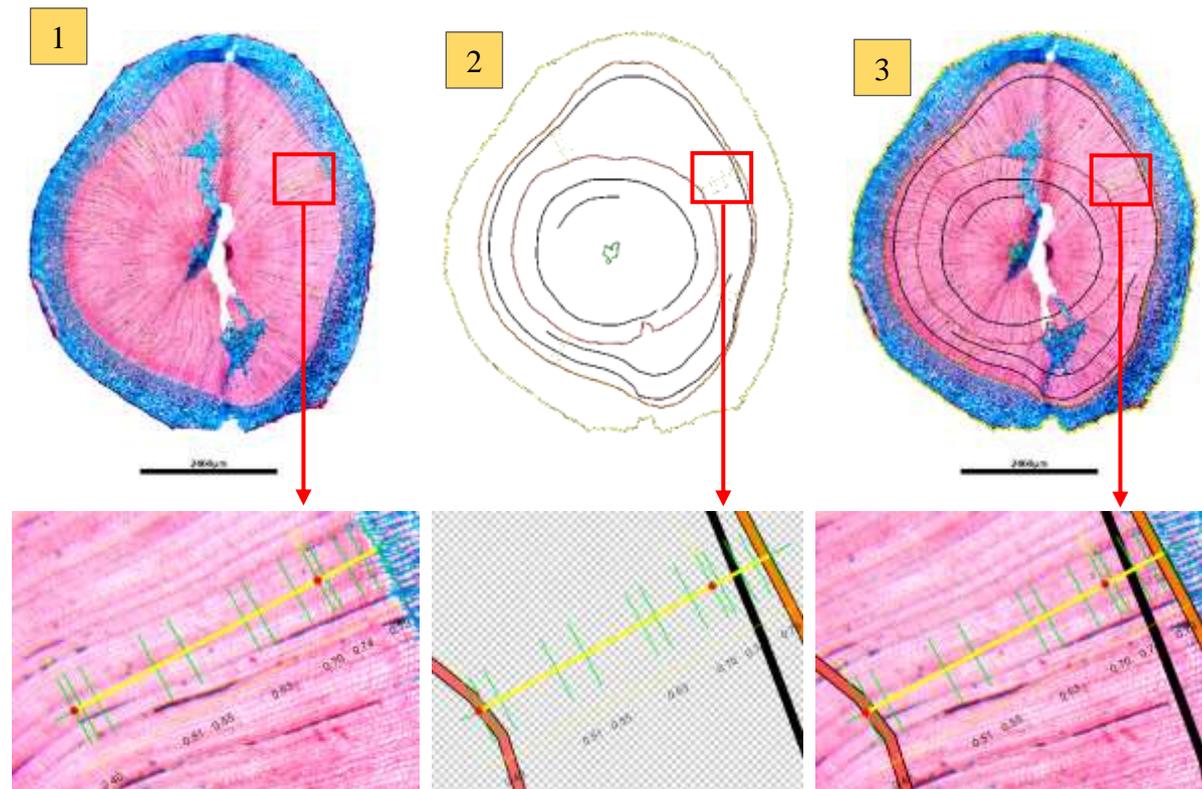


Tratamiento defoliación inmediata (T1)

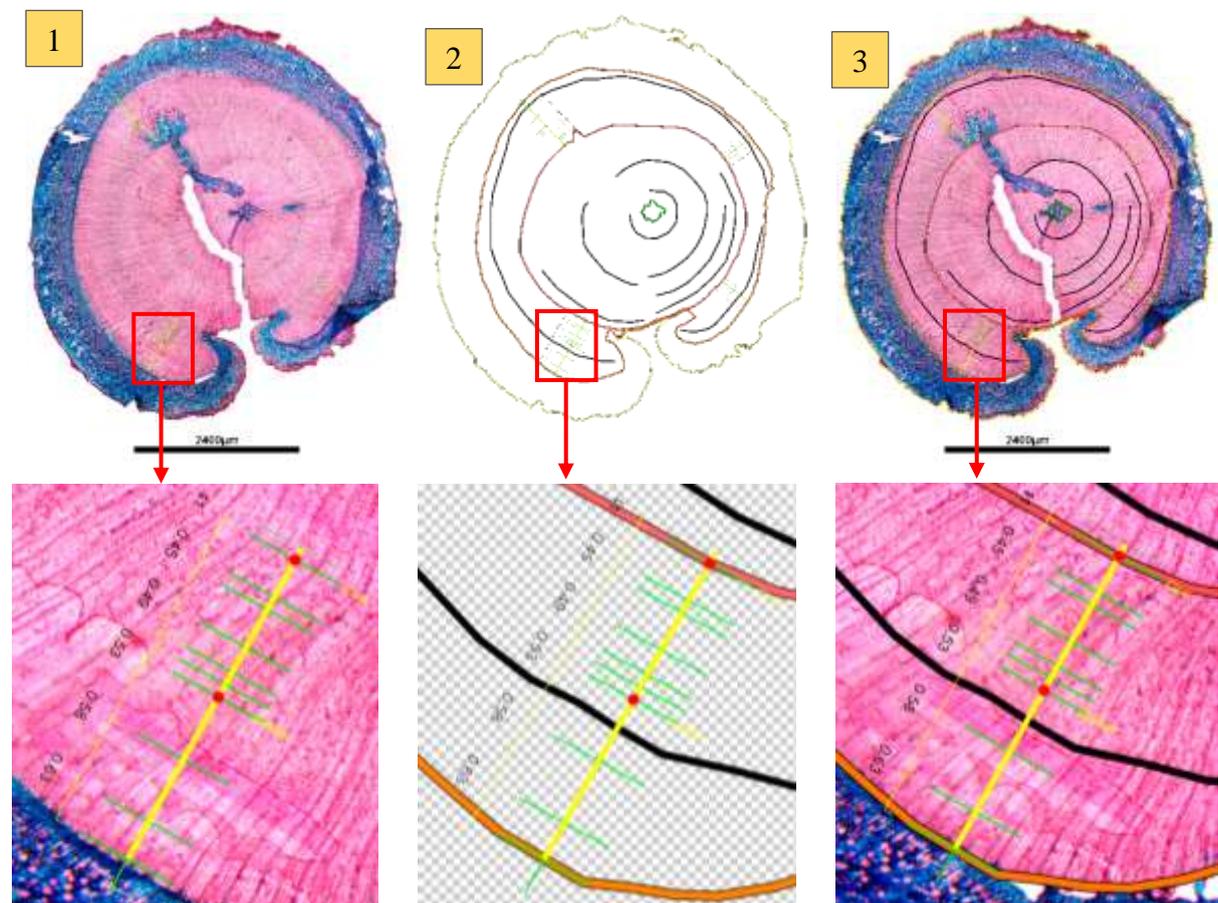
PoT1_21



PoT1_28

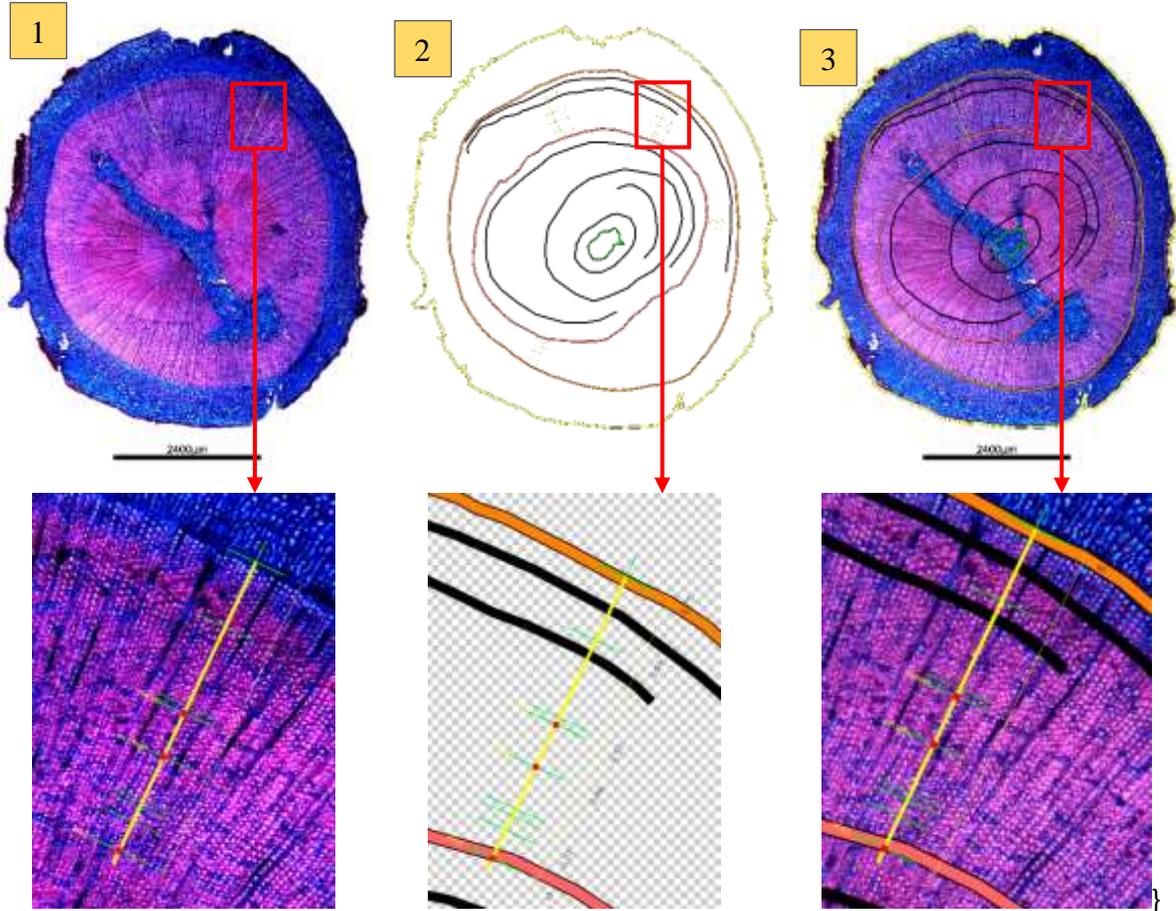


PoT1_31

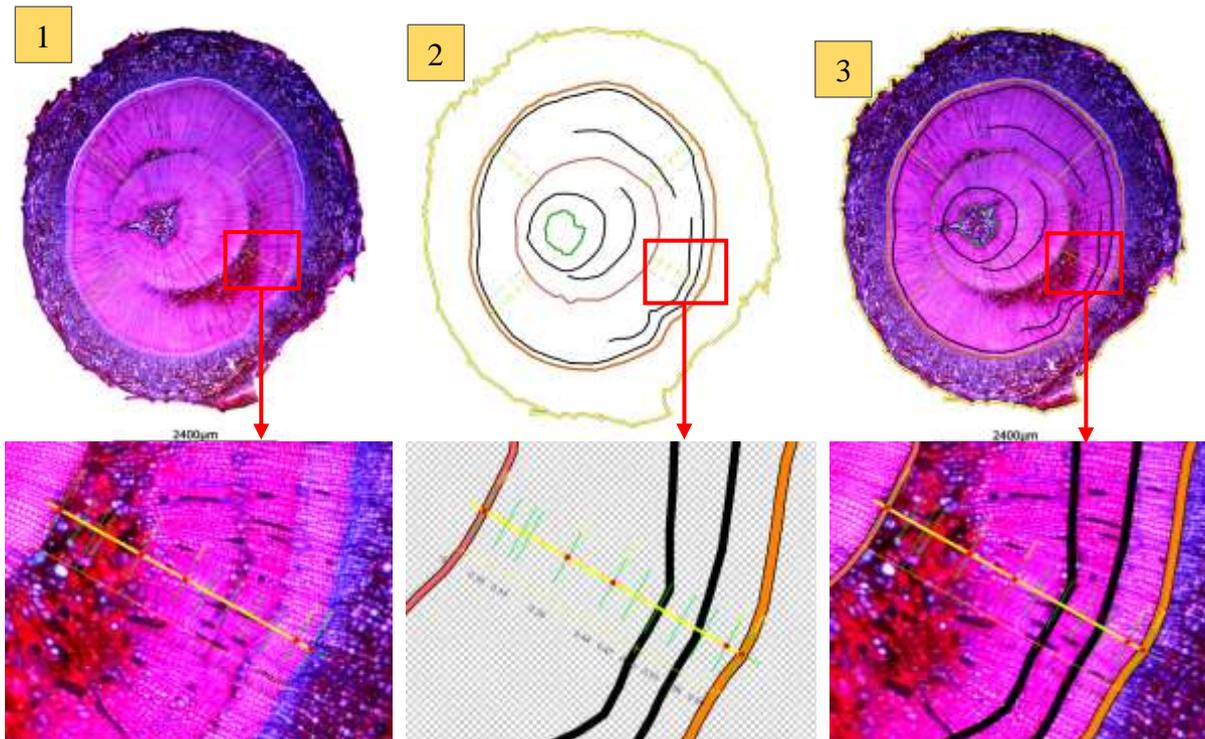


Tratamiento defoliación por estrés hídrico (T2)

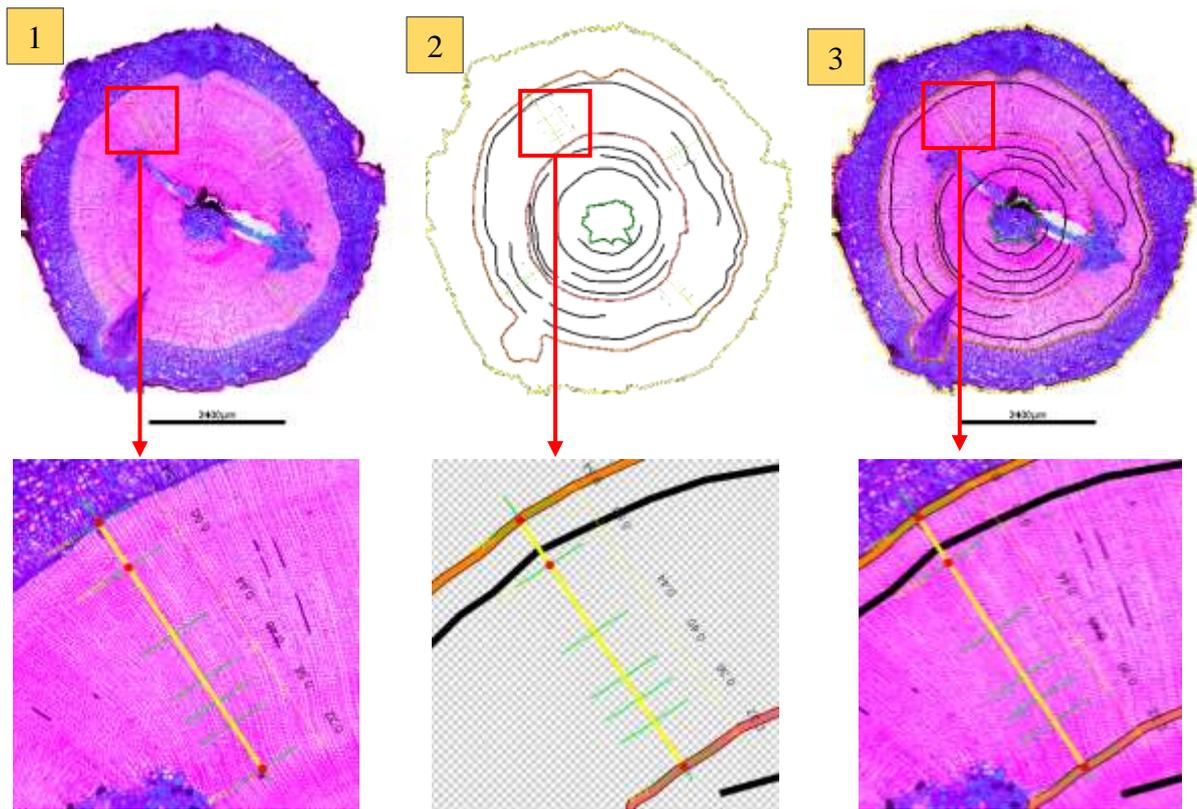
PoT2_44



PoT2_52



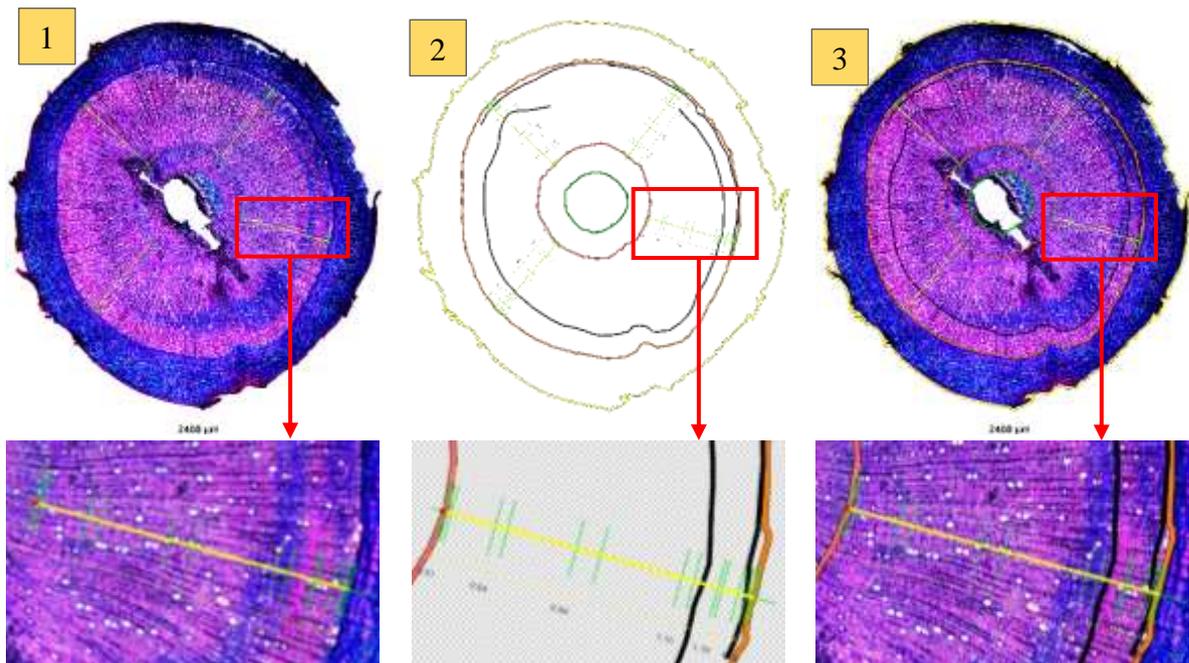
PoT2_53



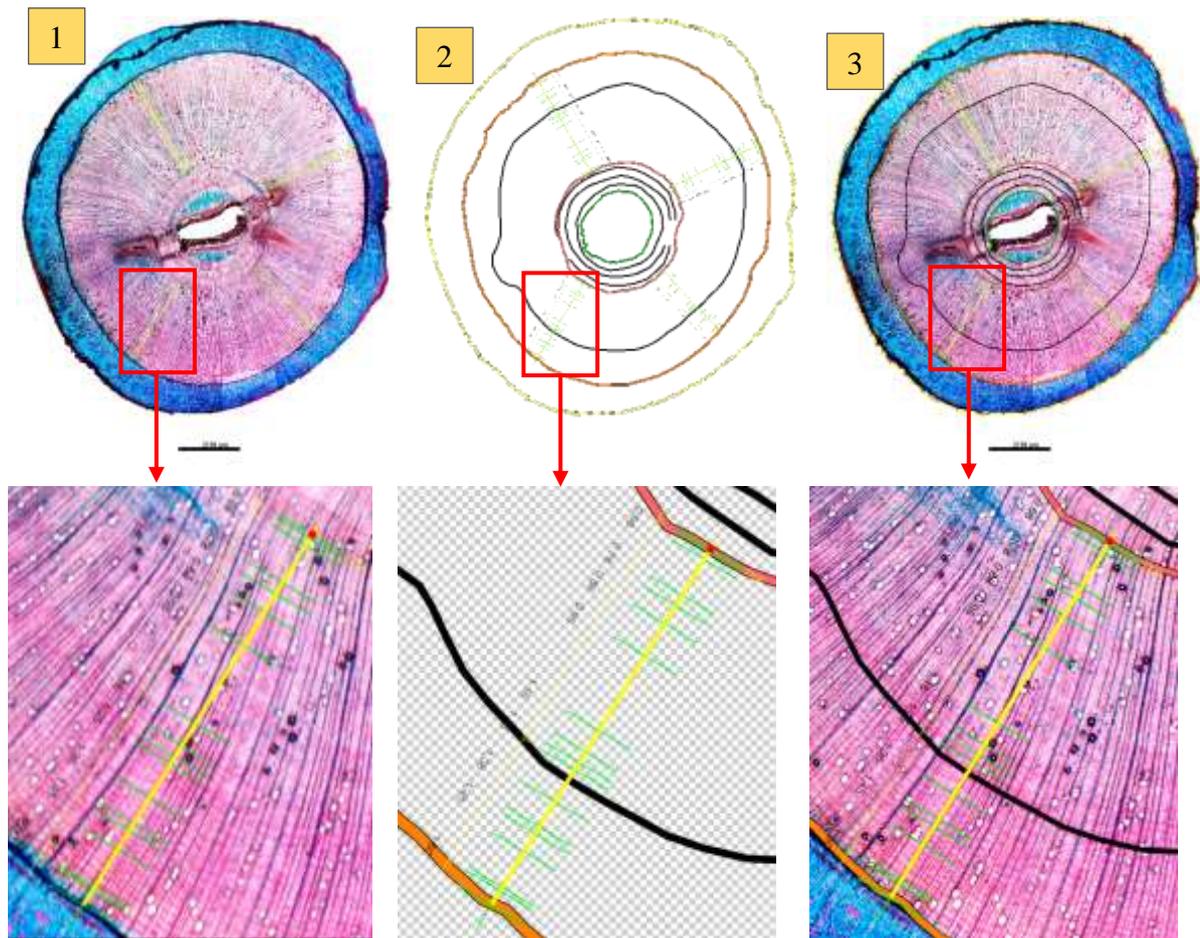
- *Juglans neotropica* Diels plantadas directo en el suelo.

Testigo (T0)

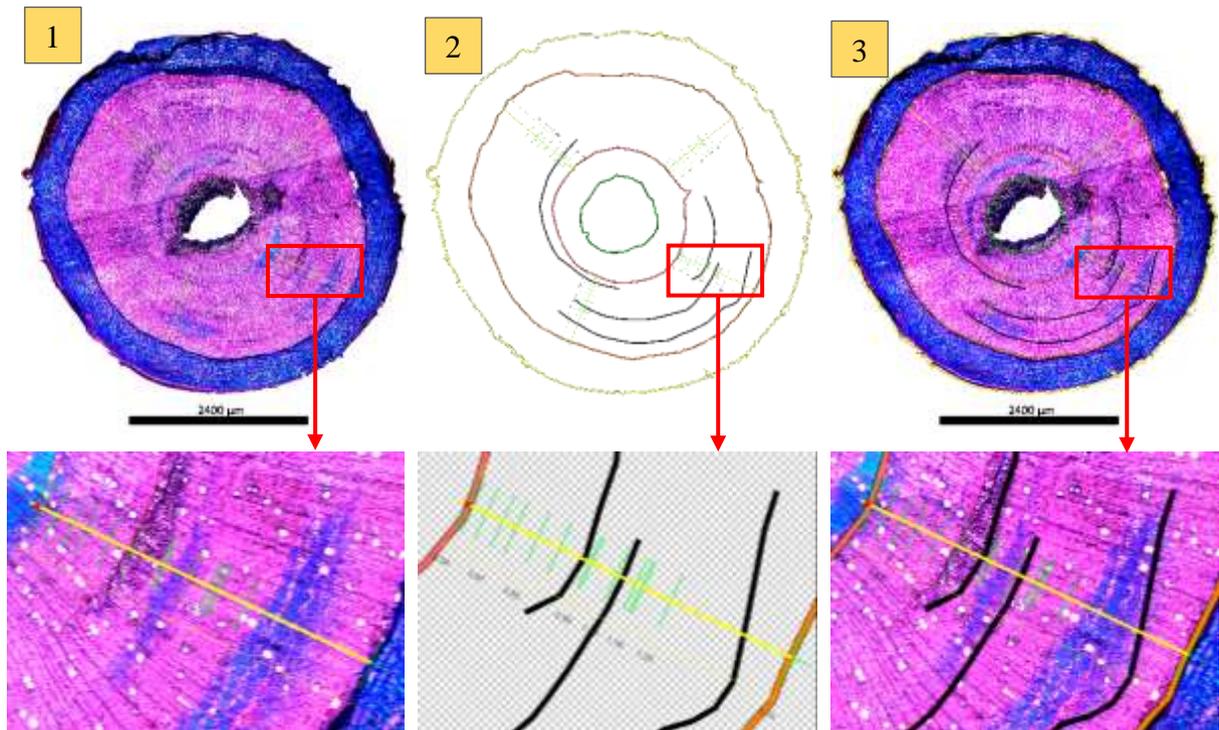
JnT0_62



JnT0_69

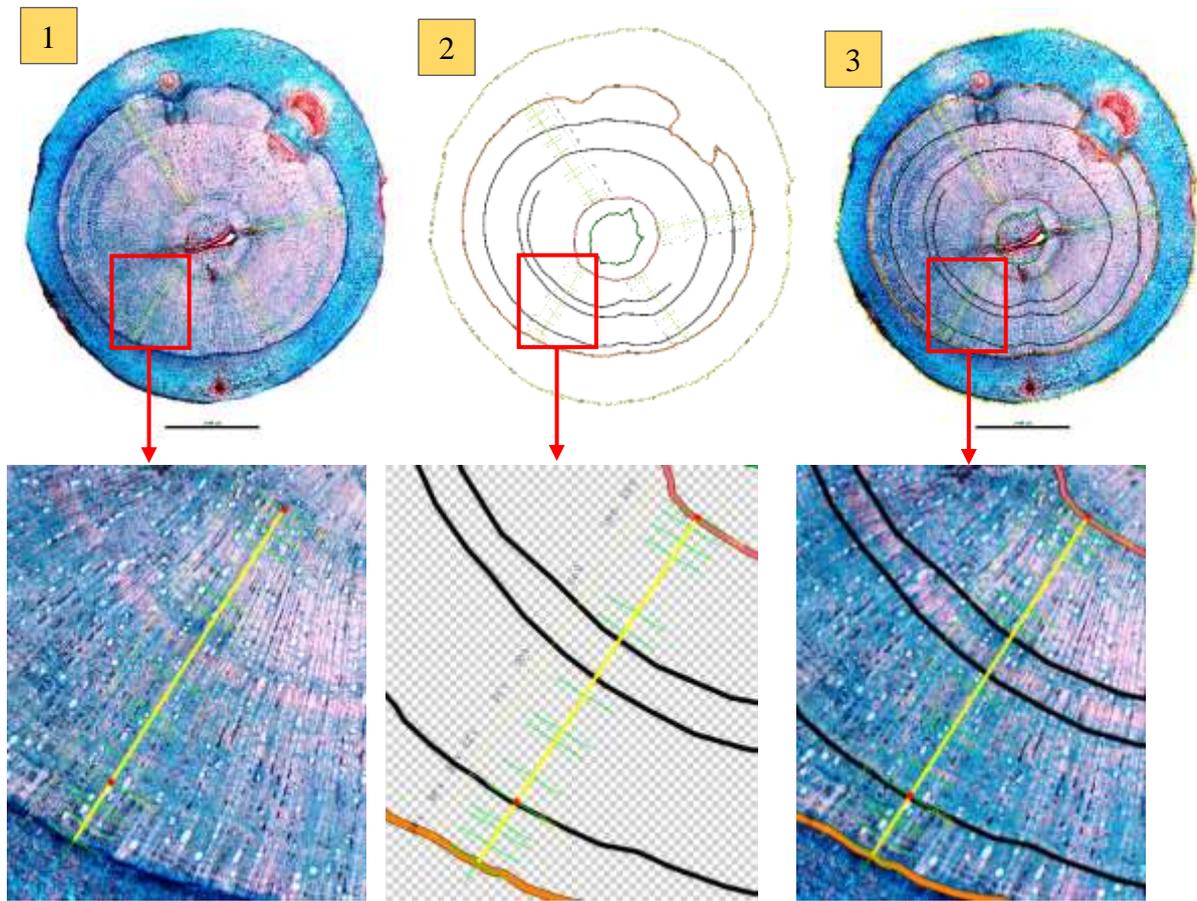


JnT0_70

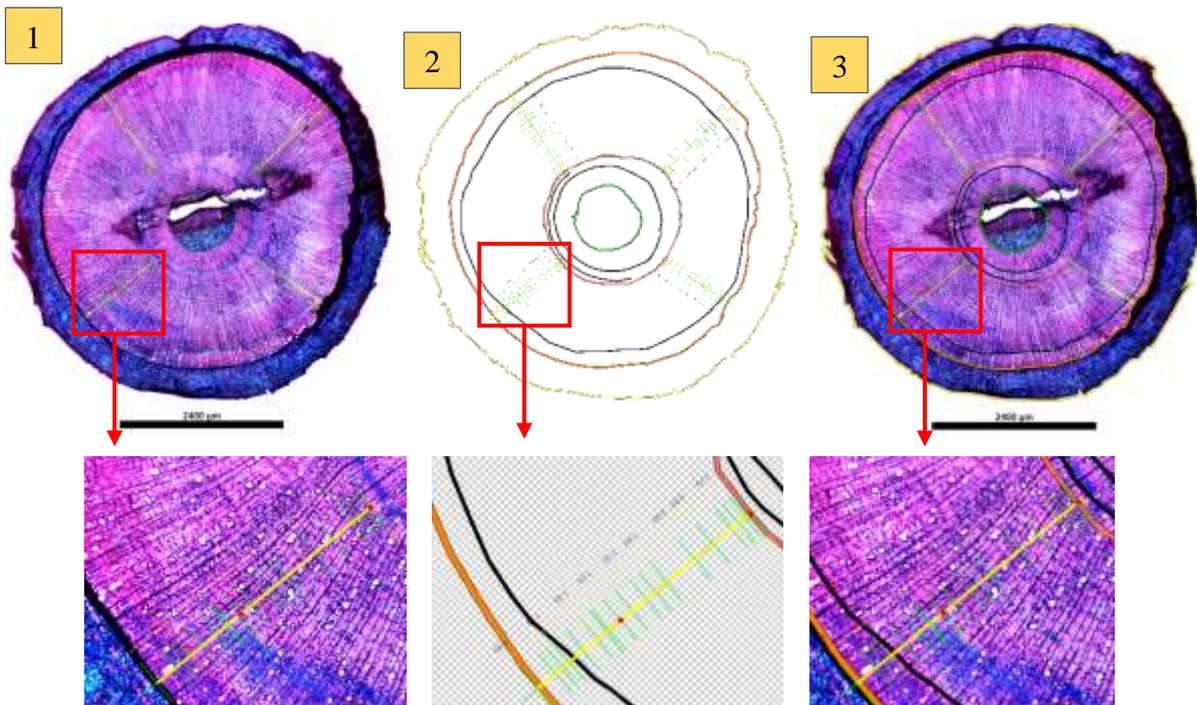


Tratamiento defoliación inmediata (T1)

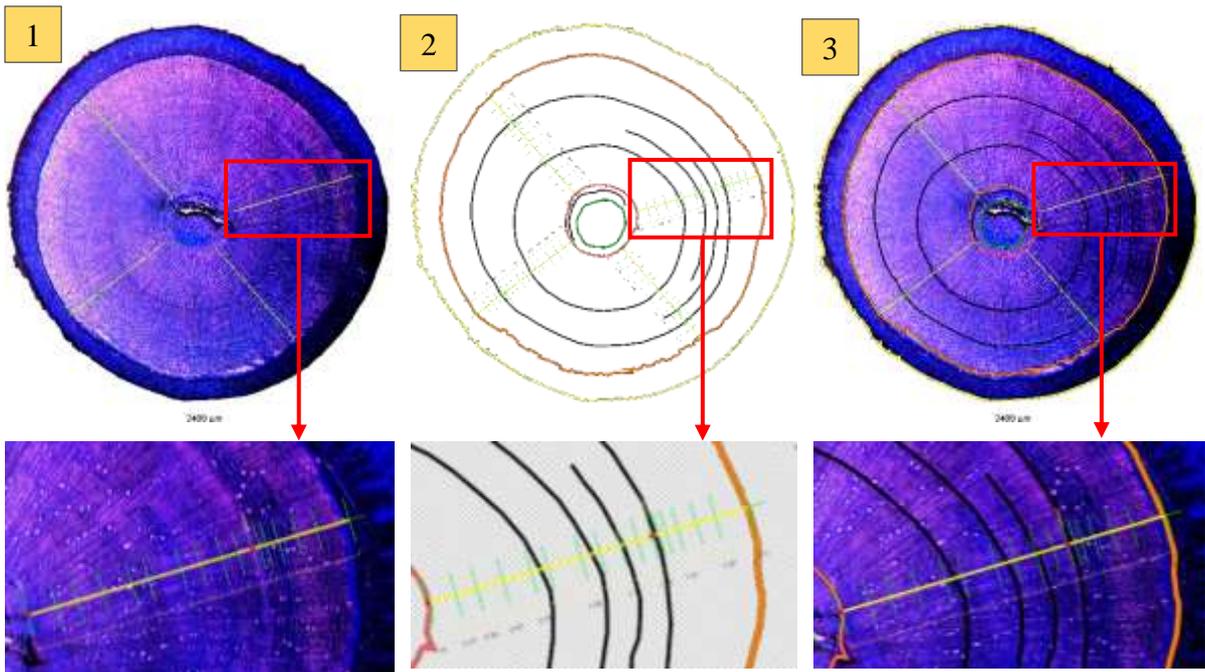
JnT1_85



JnT1_87

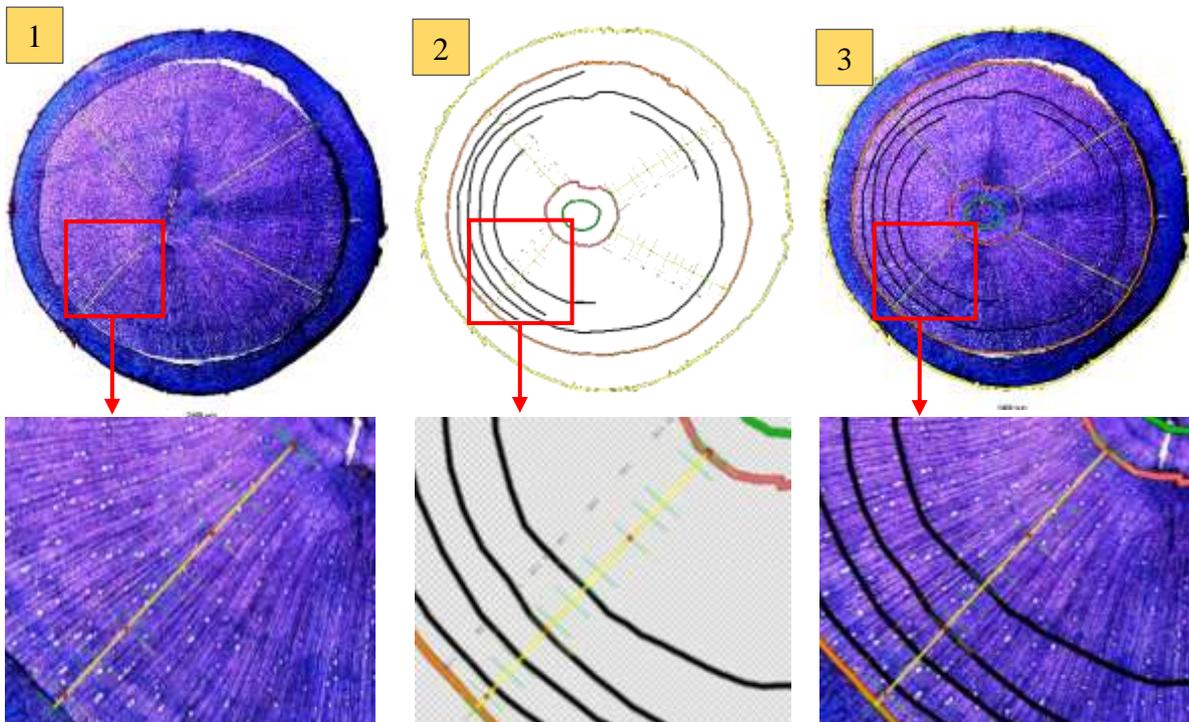


JnT1_99

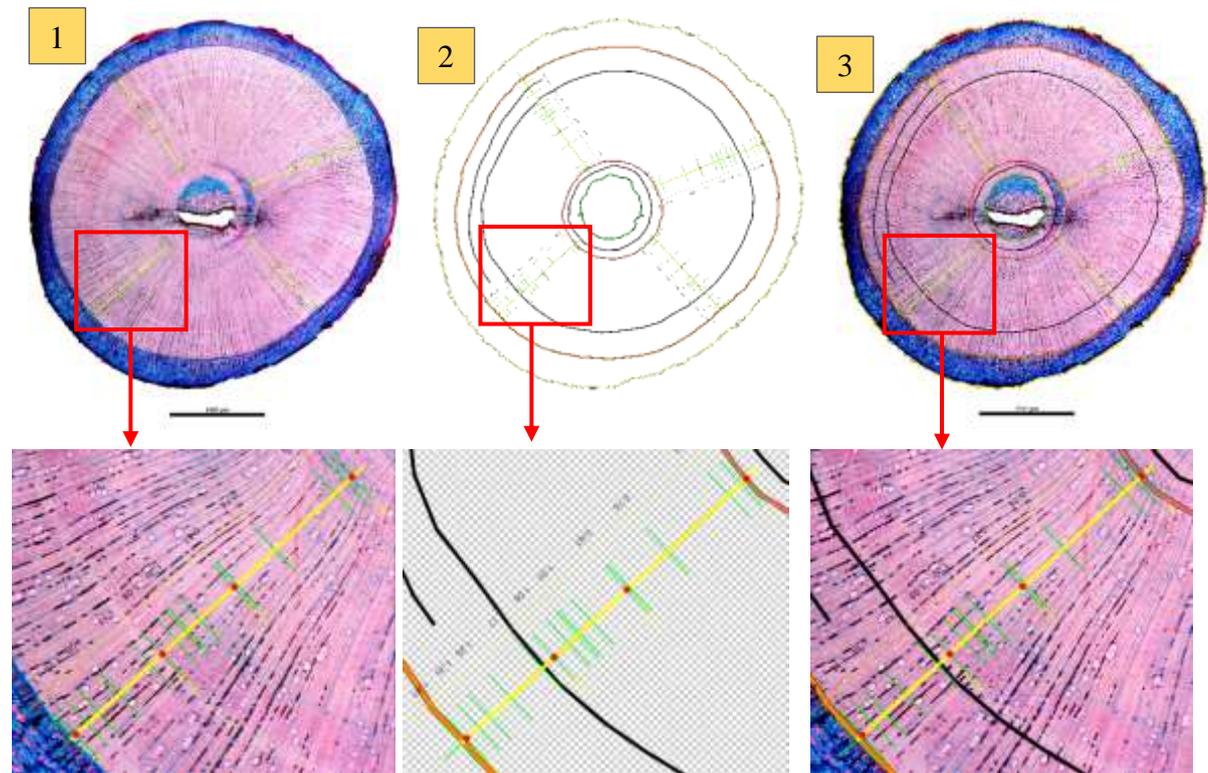


Tratamiento defoliación por estrés hídrico (T2)

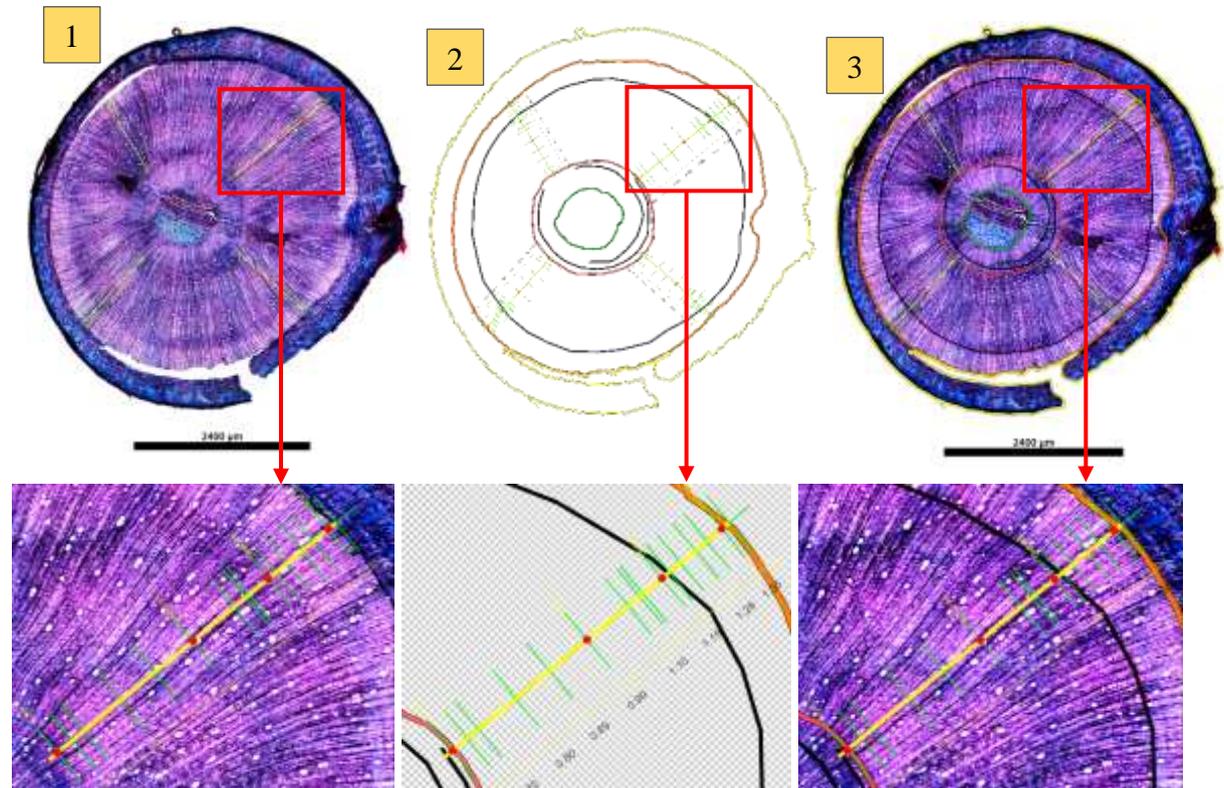
JnT2_102



JnT2_108



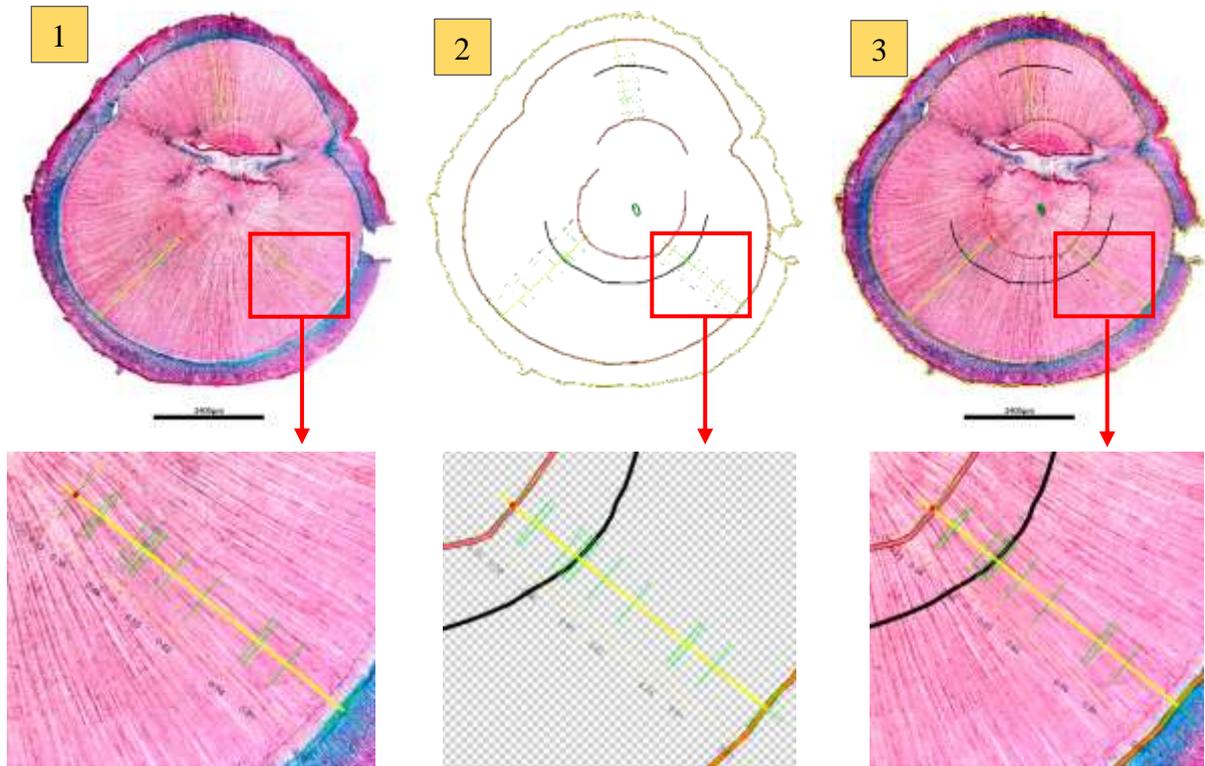
JnT2_113



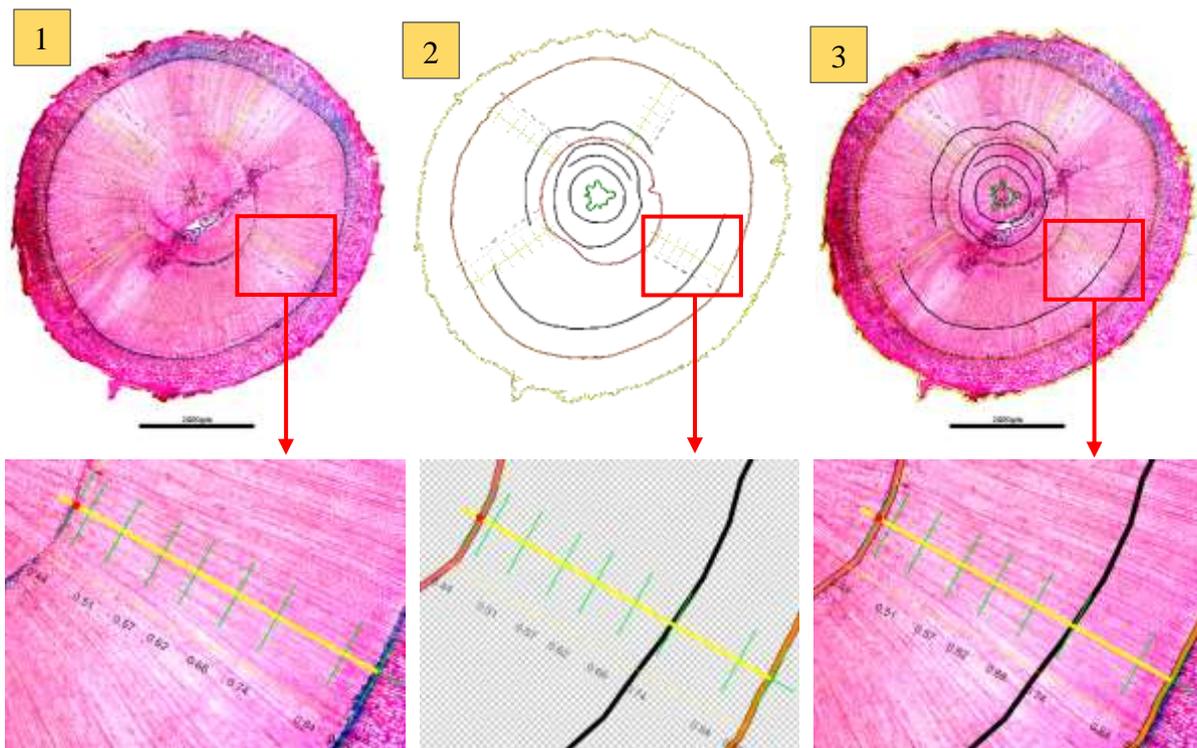
- *Podocarpus oleifolius* D. Don plantadas directo en el suelo

Testigo (T0)

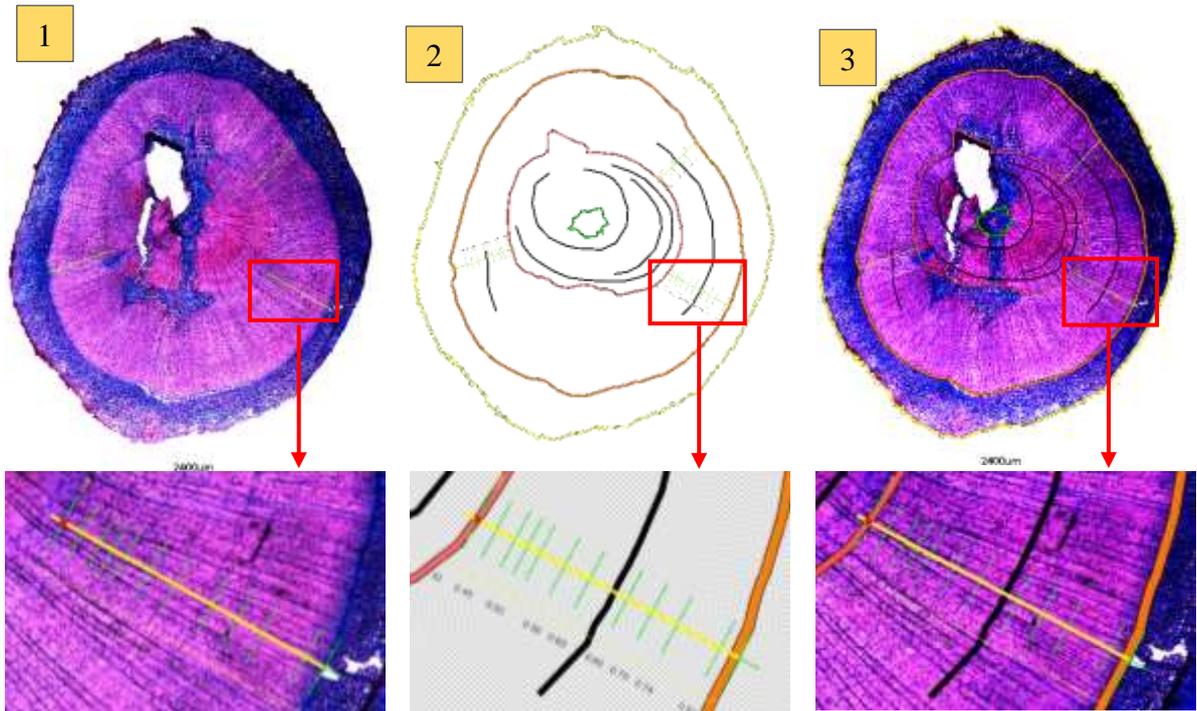
PoT0_60



PoT0_64

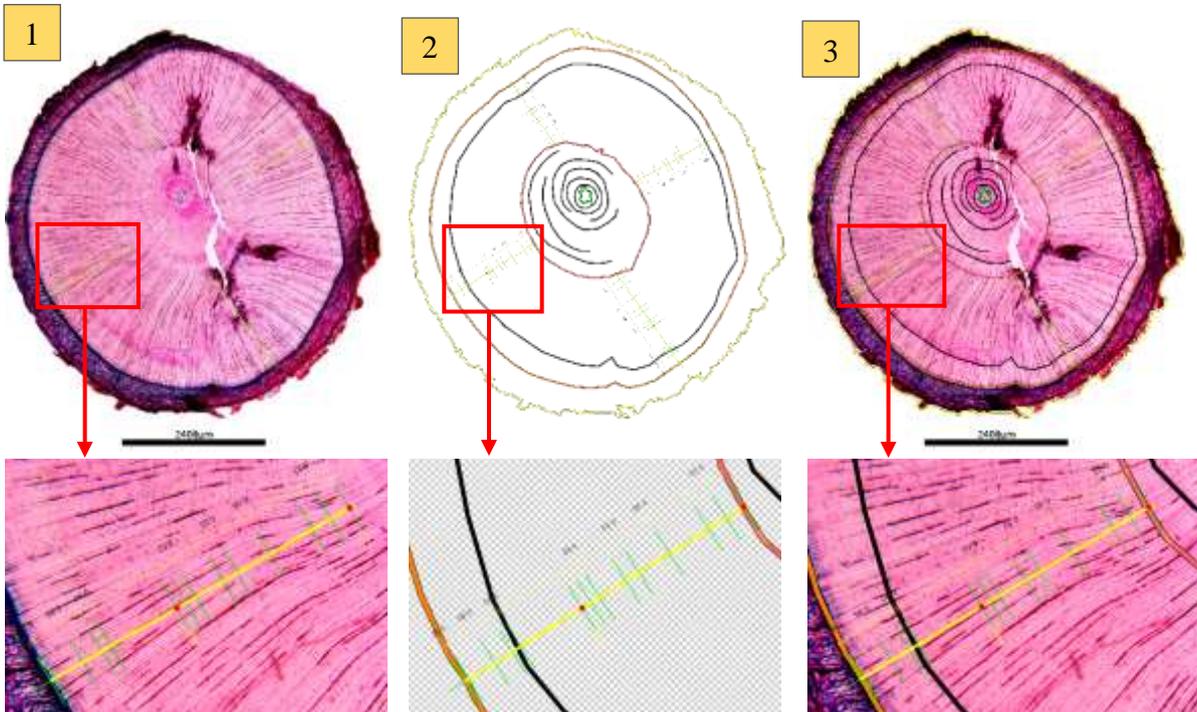


PoT0_68

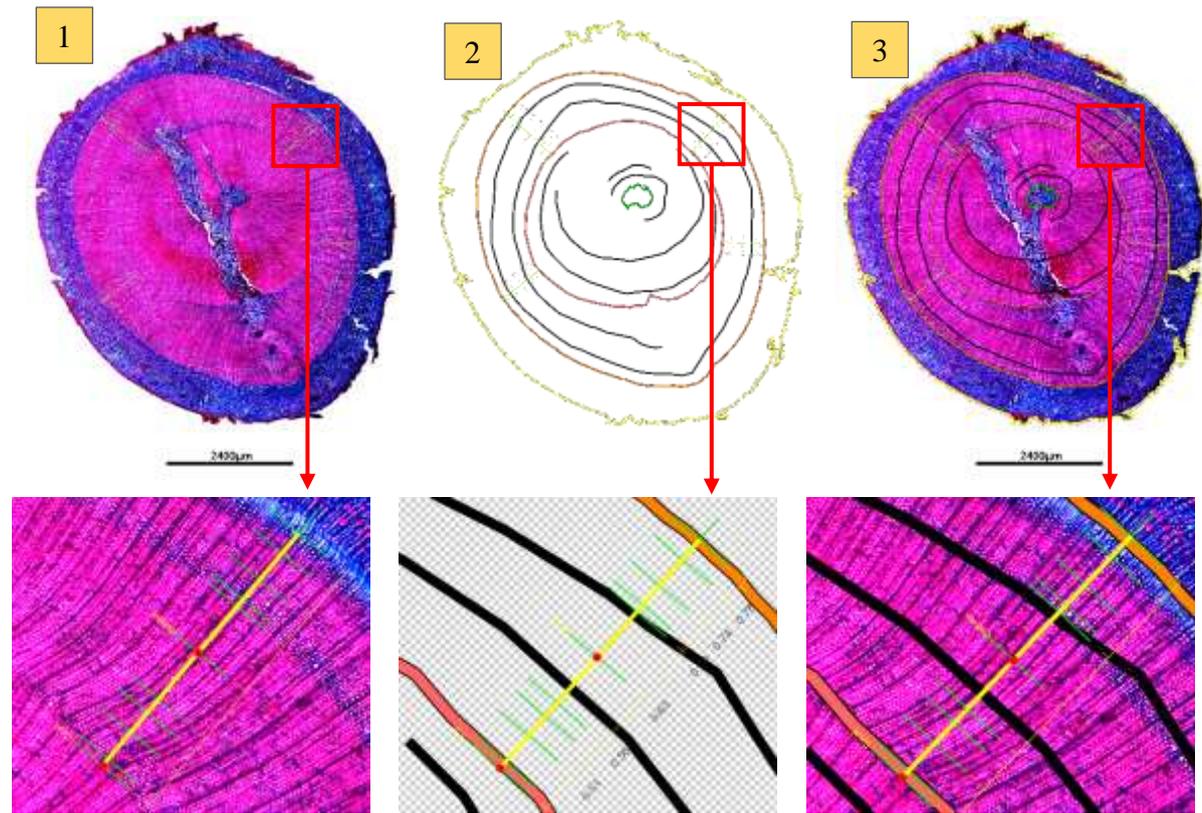


Tratamiento defoliación inmediata (T1)

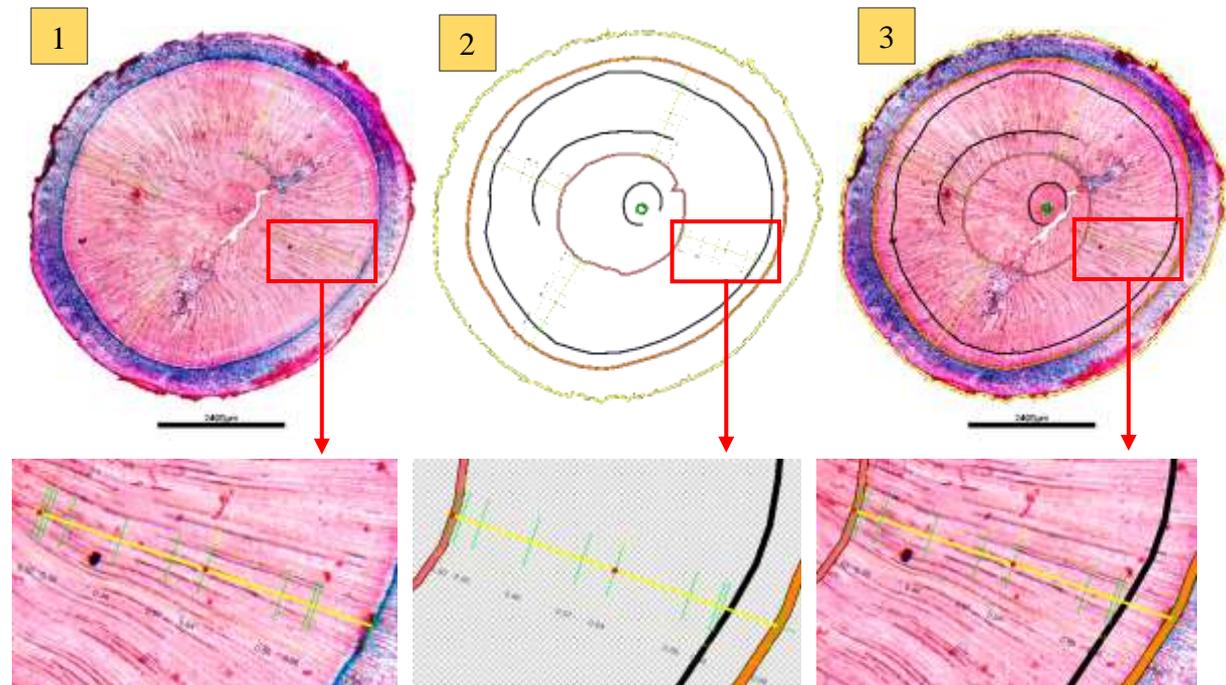
PoT1_81



PoT1_84

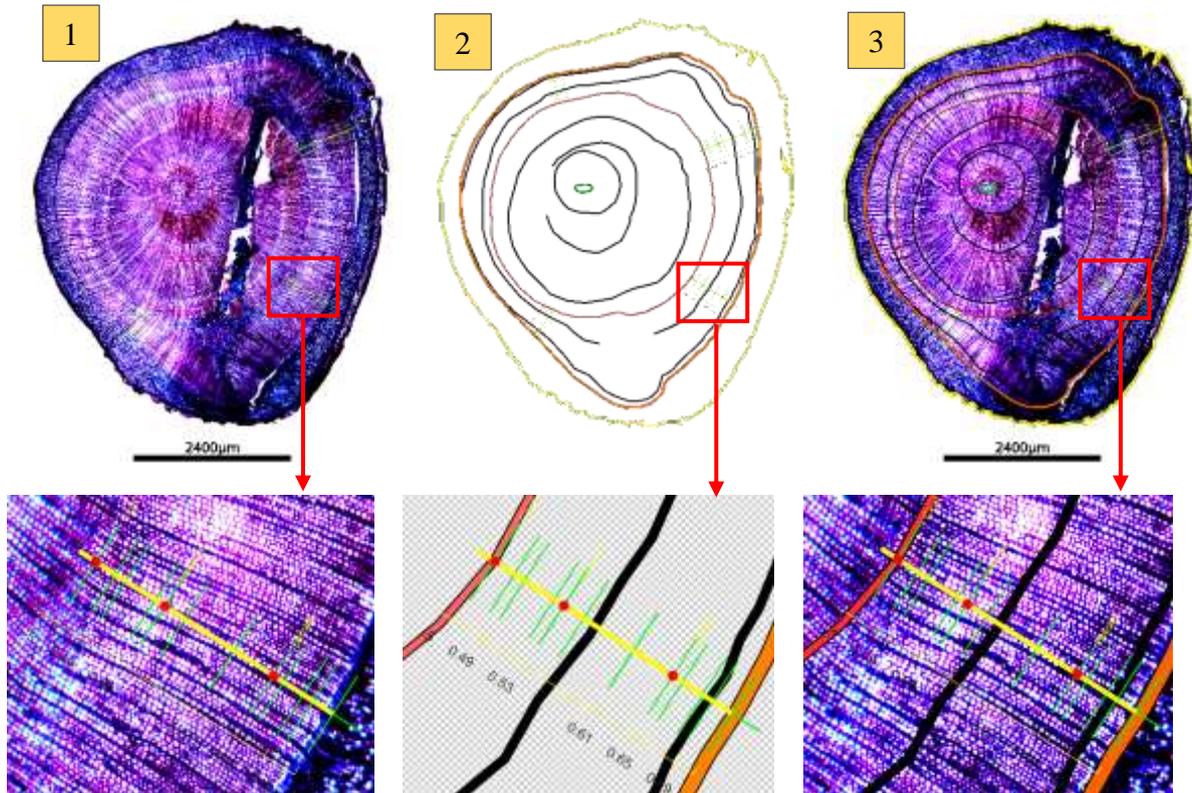


PoT1_90

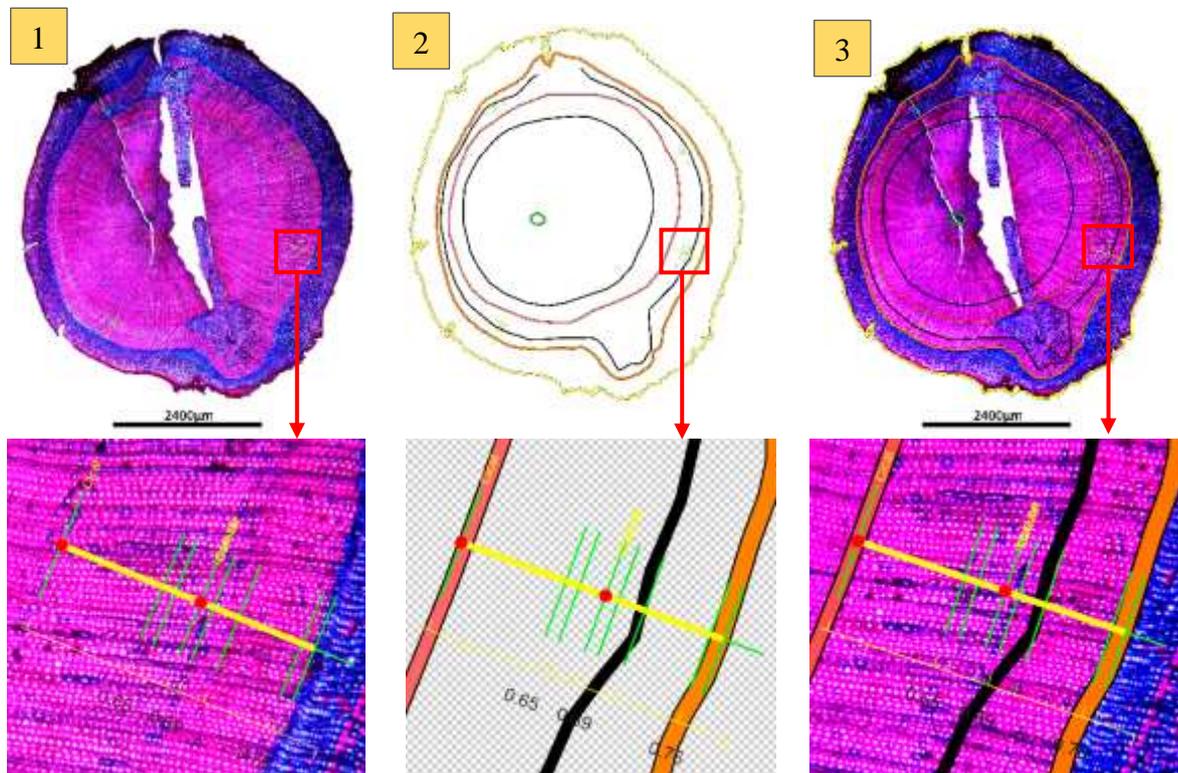


Tratamiento defoliación por estrés hídrico (T2)

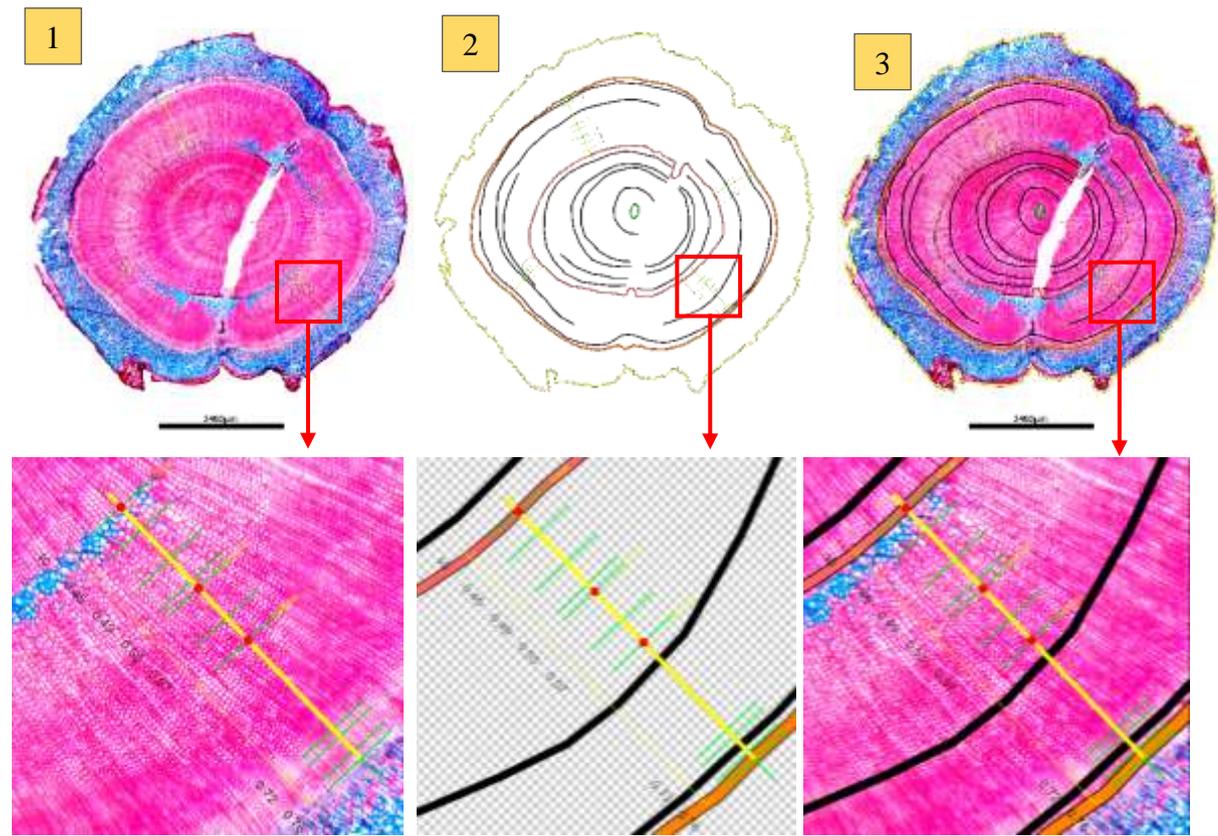
PoT2_95



PoT2_100



PoT2_105



Anexo 10. Certificado de traducción del Resumen.

CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN

Loja, 31 de julio del 2024

Yo, Andrea Carolina Piedra González, con número de cédula 1150054664 y con título de Licenciada en Pedagogía del Idioma Inglés, registrado en la SENESCYT con número 1008-2023-2797579.

CERTIFICO:

Que he realizado y revisado la traducción de español a Inglés del resumen del Trabajo de Integración Curricular denominado: **“Formación de anillos de crecimiento por estrés hídrico y defoliación en *Juglans neotropica* Diels y *Podocarpus oleifolius* D. Don. bajo condiciones controladas en la ciudad de Loja”**, de autoría de **Deysy Laura Ordoñez González**, portadora de cédula de identidad Nro. **1104844244**, estudiante de la carrera de **Ingeniería Forestal** de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja, siendo el mismo verdadero y correcto a mi mejor saber y entender.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado hacer uso del presente en lo que creyera conveniente.



Lic. Andrea Carolina Piedra González

C.I. 1150054664

Registro SENESCYT: 1008-2023-2797579