



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS  
NATURALES RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

**“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”**

*Tesis de grado previa a la obtención del título de Ingeniero Forestal*

AUTOR:

JEFFERSON IVÁN QUEZADA ARMIJOS

DIRECTOR:

ING. DARWIN ALEXANDER PUCHA COFREP PH.D.

Loja – Ecuador

2022

# CERTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN



**unl**

Universidad  
Nacional  
de Loja

CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

---

Docente investigador  
**Ing. Darwin Pucha Cofrep**  
**Ph.D.** Ciudadela Universitaria  
“Guillermo Falconí Espinosa”  
darwin.pucha@unl.edu.ec  
<http://unl.edu.ec/>

## CERTIFICO:

Que en calidad de director de la tesis titulada “**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**” de autoría del señor egresado de la Carrera de Ingeniería Forestal **Jefferson Iván Quezada Armijos**, con número de cédula 1150176350, ha sido **Dirigida, Revisada, y Concluida** dentro del cronograma aprobado.

Por tal razón autorizo su presentación y publicación.

Loja, 18 de enero de 2022

Atentamente,

Dr. Darwin Pucha Cofrep  
**DIRECTOR DE  
TESIS**



Firmado electrónicamente por:  
**DARWIN  
ALEXANDER PUCHA  
COFR**

## AUTORÍA

Yo, Jefferson Iván Quezada Armijos, estudiante de la Universidad Nacional de Loja, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la carrera de Ingeniería Forestal declaro ser autor del presente trabajo de tesis, añadiendo que, la propiedad intelectual de la misma pertenece a la Universidad Nacional de Loja.

**Firma**  Firmado electrónicamente por:  
JEFFERSON IVAN  
QUEZADA ARMIJOS

**C.I:** 1150176350

**Correo electrónico:** jefferson.quezada@unl.edu.ec

**Celular:** 0978734269

**CARTA DE AUTORIZACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN POR PARTE DEL  
AUTOR PARA LA CONSULTA DE PRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y  
PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO**

Yo, Jefferson Iván Quezada Armijos declaro ser autor, de la tesis titulada: “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”, como requisito para optar al grado de: Ingeniero Forestal, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo en el RDI, 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 de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 27 días del mes de mayo de 2022, firma el autor.

Firma:  firmado electrónicamente por:  
**JEFFERSON IVAN  
QUEZADA ARMIJOS**

**Autor:** Jefferson Iván Quezada Armijos

**Número de cédula:** 1150176350

**Dirección:** Barrio Las Pitás, Loja – Ecuador

**Correo electrónico:** jefferson.quezada@unl.edu.ec

**Celular:** 0978734269

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director de Tesis:** Ing. Darwin Pucha Cofrep PhD

**Tribunal de grado:** Ing. Oscar Rodrigo Ordóñez Gutiérrez Mg. Sc.,

Ing. Vanessa Alexandra Granda Moser Mg. Sc.,

Ing. Darlin Ulises González Zaruma PhD.

**Presidente**

**Vocal**

**Vocal**

## **DEDICATORIA**

*Dedicado de manera especial a mi madre Macrina Armijos y hermanas Andrea, Gabriela y Nataly, motivos de inspiración y ambición de seguir adelante, siento orgullo al decir que sin importar cualquier obstáculo que se presente en la vida, si se puede, se puede con todo.*

*Y a todos los que creyeron en mí, por el apoyo, consejos y confianza que ayudaron a entender de mejor manera situaciones personales y académicas, sin ellos no hubiera sido posible la culminación de este proyecto.*

***Jefferson Quezada Armijos***

## AGRADECIMIENTO

*Expreso mi agradecimiento, en primer lugar, a mi familia, de manera especial a mis padres Macrina e Iván, que con su apoyo incondicional y confianza me ayudaron a sobresalir de manera satisfactoria en varias etapas de mi vida universitaria, a mis hermanas, sobrino, primos, tíos y abuelitos, que siempre estuvieron atentos, preocupados y me brindaron apoyo absoluto cuando lo necesitaba.*

*A la Universidad Nacional de Loja, de manera particular a la carrera de Ingeniería Forestal, escenario en donde pude formarme profesionalmente, y a todos mis docentes, que, con sus conocimientos, vivencias, experiencias y enseñanzas contribuyeron de forma concisa en la calidad de aprendizaje y formación académica.*

*Al Ing. Darwin Pucha Ph. D, director de mi proyecto de investigación, por el conocimiento transmitido durante toda mi etapa universitaria y por la amistad incondicional brindada.*

*A mis compañeros y amigos, con los cuales compartí experiencias amenas y gratificantes, a Dalton y César, que siempre supieron transmitir ese apoyo indiscutible en cada momento de mi vida universitaria. A Shey Monteza, por el cariño, apoyo y crítica constructiva para ser mejor persona y profesional.*

*Finalmente agradezco a mi persona, por ser perseverante, por la superación en cada obstáculo que se presentaba de forma aleatoria, por las ganas de siempre querer aprender algo nuevo, y por el cariño y aprecio que, conforme pasaba los ciclos universitarios tuve hacia la profesión de Ingeniería Forestal.*

***A todos ¡Gracias totales!***

***Jefferson Quezada Armijos***

## ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido	Pág.
PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	ii
AUTORÍA.....	iii
CARTA DE AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
1. TÍTULO.....	1
2. RESUMEN.....	2
2.1. ABSTRACT.....	3
3. INTRODUCCIÓN .....	4
4. MARCO TEÓRICO .....	9
4.1. Morfología de las plantas.....	9
4.1.1. Atributos morfológicos .....	9

4.1.1.1.	Variables dasométricas .....	10
4.1.1.2.	Variables ecológicas .....	10
4.2.	Crecimiento de las plantas .....	11
4.2.1.	Incremento corriente Anual .....	11
4.3.	Anatomía de la madera .....	11
4.3.1.	Características anatómicas .....	12
4.3.1.1.	Corteza externa .....	12
4.3.1.2.	Floema .....	13
4.3.1.3.	Cambium vascular .....	13
4.3.1.4.	Xilema .....	13
4.3.1.5.	Parénquima .....	13
4.3.1.6.	Médula .....	14
4.3.2.	Desarrollo del xilema .....	14
4.3.3.	Xilogénesis.....	15
4.4.	Estructura química de la madera.....	15
4.4.1.	Celulosa.....	15
4.4.2.	Lignina .....	16
4.5.	Dendrocronología .....	17
4.5.1.	Dendroecología.....	17
4.5.2.	Anillos de crecimiento .....	18

4.6.	Estrés hídrico .....	19
4.6.1.	Estrés hídrico en árboles .....	19
4.6.2.	Cambios morfológicos por estrés hídrico .....	21
4.6.3.	Cambios anatómicos por estrés hídrico .....	21
4.7.	Fertilización de especies forestales.....	22
4.7.1.	Macronutrientes .....	22
4.7.2.	Micronutrientes .....	23
4.8.	Características generales de especies forestales .....	23
4.8.1.	<i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz.....	23
4.8.1.1.	Descripción taxonómica. ....	23
4.8.1.2.	Descripción botánica. ....	23
4.8.1.3.	Distribución y ecología.....	24
4.8.1.4.	Uso y estado de conservación.....	25
4.8.2.	<i>Handroanthus chrysanthus</i> (Jacq.) S.O.Grose.....	25
4.8.2.1.	Descripción taxonómica. ....	25
4.8.2.2.	Descripción botánica. ....	26
4.8.2.3.	Distribución y ecología.....	27
4.8.2.4.	Uso y estado de conservación.....	28
<b>5.</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>29</b>
5.1.	Área de estudio .....	29

5.2.	Registro de datos.....	29
5.2.1.	Procedencia de las plantas .....	30
5.2.2.	Diseño experimental .....	30
5.2.3.	Niveles de riego .....	31
5.2.4.	Descripción de los tratamientos .....	32
5.2.4.1.	Testigo (T0= riego constante, n= 20 individuos). .....	32
5.2.4.2.	Tratamiento uno (T1= riego + estrés hídrico moderado, n= 20 individuos). ..	33
5.2.4.3.	Tratamiento dos (T2= riego + estrés hídrico severo, n= 20 individuos). .....	34
5.2.4.4.	Tratamiento tres (T3= riego + estrés hídrico moderado + fertilizante, n= 20 individuos). .....	35
5.2.4.5.	Tratamiento cuatro (T4= riego + estrés hídrico severo + fertilizante, n= 20 individuos). .....	35
5.3.	Evaluación de los cambios morfológicos por estrés hídrico en <i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz y <i>Handroanthus chrysanthus</i> (Jacq.) S.O.Grose bajo condiciones de invernadero... 37	
5.3.1.	Monitoreo y evaluación de variables morfológicas de plantas en invernadero .....	38
5.3.2.	Evaluación y análisis de datos de estrés hídrico y variables morfológicas.....	39
5.3.3.	Representación gráfica de cambios morfológicos .....	40
5.3.3.1.	Gráfica de series temporales.....	41
5.3.3.2.	Diagramas de caja (Boxplot) y gráficos de vértices .....	42

5.4.	Evaluación del impacto del estrés hídrico en la formación de anillos de crecimiento a través de análisis anatómico de la madera en <i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz y <i>Handroanthus chrysanthus</i> (Jacq.) S.O.Grose.....	44
5.4.1.	Fase de laboratorio.....	44
5.4.1.1.	Selección de individuos.....	44
5.4.1.2.	Cortes anatómicos.....	45
5.4.2.	Identificación de anillos de crecimiento.....	47
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>53</b>
6.1.	Cambios morfológicos en <i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz y <i>Handroanthus chrysanthus</i> (Jacq.) S.O.Grose.....	53
6.1.1.	Cambios morfológicos temporales en <i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz.....	53
6.1.2.	Diferencias significativas entre tratamientos en <i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz.....	61
6.1.3.	Cambios morfológicos temporales en <i>Handroanthus chrysanthus</i> (Jacq.) S.O.Grose.....	64
6.1.4.	Diferencias significativas entre tratamientos en <i>Handroanthus chrysanthus</i> (Jacq.) S.O.Grose.....	72
6.2.	Impacto del estrés hídrico en la formación de anillos de crecimiento a través de análisis anatómico de la madera en <i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz y <i>Handroanthus chrysanthus</i> (Jacq.) S.O.Grose.....	76

6.2.1.	Impacto del estrés hídrico en la formación de anillos de crecimiento a través de análisis anatómico de la madera en <i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz.....	76
6.2.2.	Impacto del estrés hídrico en la formación de anillos de crecimiento a través de análisis anatómico de la madera <i>Handroanthus chrysanthus</i> (Jacq.) S.O.Grose .....	81
6.2.3.	Cambios anatómicos de la madera de <i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz y <i>Handroanthus chrysanthus</i> (Jacq.) S.O.Grose.....	85
<b>7.</b>	<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>90</b>
7.1.	Cambios morfológicos por estrés hídrico en <i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz y <i>Handroanthus chrysanthus</i> (Jacq.) S.O.Grose.....	90
7.2.	Relación entre el estrés hídrico y la formación de anillos de crecimiento a través del análisis anatómico de la madera en las especies <i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz y <i>Handroanthus chrysanthus</i> (Jacq.) S.O.Grose.....	94
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>96</b>
<b>9.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>97</b>
<b>10.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>99</b>
<b>11.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>111</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Distribución de cantidad de riego para el Testigo de <i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz y <i>Handroanthus chrysanthus</i> (Jacq.) S.O.Grose.....	32
<b>Tabla 2.</b> Distribución de cantidad de riego para el tratamiento uno de <i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz y <i>Handroanthus chrysanthus</i> (Jacq.) S.O.Grose .....	33
<b>Tabla 3.</b> Matriz para la orgaznaición de información de riego y mediciones quincenales de variables morfológicas de <i>Cedrela montana</i> y <i>Handroanthus chrysanthus</i> .....	40
<b>Tabla 4.</b> Tabla resumen con información respecto a riego y medición de variables morfológicas .....	40

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Estructura anatómica de la madera en un corte transversal de <i>Cedrela montana</i> .....	12
<b>Figura 2.</b> Componentes químicos de la madera identificados en <i>Handroanthus chrysanthus</i> ....	16
<b>Figura 3.</b> Anillos de crecimiento en <i>Cedrela montana</i> y <i>Handroanthus chrysanthus</i> .....	18
<b>Figura 4.</b> Estrés hídrico en <i>Cedrela montana</i> y <i>Handroanthus chrysanthus</i> .....	21
<b>Figura 5.</b> <i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz .....	24
<b>Figura 6.</b> Distribución geográfica de la especie <i>Cedrela montana</i> .....	25
<b>Figura 7.</b> <i>Handroanthus chrysanthus</i> (Jacq.) S.O.Grose .....	27
<b>Figura 8.</b> Distribución geográfica de la especie <i>Handroanthus chrysanthus</i> .....	28
<b>Figura 9.</b> Área de estudio .....	29
<b>Figura 10.</b> Esquema del diseño experimental establecido para las especies de estudio .....	36
<b>Figura 11.</b> Niveles de riego semanal para cada tratamiento .....	30
<b>Figura 12.</b> Hoja de campo para mediciones quincenales de especies forestales .....	39
<b>Figura 13.</b> Selección de individuos para análisis anatómico .....	44
<b>Figura 14.</b> Toma de muestra de individuos seleccionados .....	45
<b>Figura 15.</b> Tinción y sellado de muestras .....	46
<b>Figura 16.</b> Captura de imágenes .....	47
<b>Figura 17.</b> Procesamiento de imágenes en el software Photoshop para la eliminación de fondo e inserción de escala .....	48
<b>Figura 18.</b> Software para análisis de bio – imágenes ICY .....	49
<b>Figura 19.</b> Diferenciación de partes de muestra anatómica .....	50
<b>Figura 20.</b> Esquema del incremento corriente quincenal de diámetro .....	52

<b>Figura 21.</b> Relación entre incremento corriente quincenal de diámetro y formación de anillos de crecimiento.....	52
<b>Figura 22.</b> Desarrollo quincenal de las variables morfológicas entre individuos de <i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz en todos sus tratamientos (T0 a T4) durante 24 meses .....	55
<b>Figura 23.</b> Desarrollo quincenal promedio de las variables morfológicas entre tratamientos de <i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz durante 24 meses .....	60
<b>Figura 24.</b> Diferencias significativas de las variables morfológicas entre tratamientos de <i>Cedrela montana</i> durante 24 meses de monitoreo, representados en diagramas de caja (Boxplot) y gráficos de vértices .....	62
<b>Figura 25.</b> Desarrollo quincenal de las variables morfológicas entre individuos de <i>Handroanthus chrysanthus</i> (Jacq.) S.O.Grose en todos sus tratamientos (T0 a T4) durante 24 meses .....	66
<b>Figura 26.</b> Desarrollo quincenal promedio de las variables morfológicas entre tratamientos de <i>Handroanthus chrysanthus</i> (Jacq.) S.O.Grose durante 24 meses.....	71
<b>Figura 27.</b> Diferencias significativas de las variables morfológicas entre tratamientos de <i>Handroanthus chrysanthus</i> durante 24 meses de monitoreo, representados en diagramas de caja (Boxplot) y gráficos de vértices .....	74
<b>Figura 28.</b> Relación entre el incremento corriente quincenal de la variable diámetro y formación de anillos de crecimiento de todos los tratamientos en <i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz.....	78
<b>Figura 29.</b> Relación entre el incremento corriente quincenal de la variable diámetro y formación de anillos de crecimiento de todos los tratamientos en <i>Handroanthus chrysanthus</i> (Jacq.) S.O.Grose.....	82
<b>Figura 30.</b> Cortes anatómicos transversales de <i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz .....	86
<b>Figura 31.</b> Cortes anatómicos transversales de <i>Handroanthus chrysanthus</i> (Jacq.) S.O.Grose ..	88

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Hoja de campo para recopilación de variables morfológicas .....	111
<b>Anexo 2.</b> Cronograma detallado de actividades en el proyecto: periodos de riego/estrés hídrico moderado y severo, mediciones de variables morfológicas, actividades varias realizadas en el invernadero y laboratorio de anatomía de maderas tropicales.....	112
<b>Anexo 3.</b> Representación de gráficas de series temporales de variables morfológicas de las especies en estudio a través de la utilización del software estadístico Rstudio .....	115
<b>Anexo 4.</b> Script detallado para la elaboración de diagramas de caja y gráfica de vértices .....	138
<b>Anexo 5.</b> Código R utilizado para la representación gráfica del incremento corriente quincenal del diámetro .....	145
<b>Anexo 6.</b> Procesamiento de imágenes en programa Photoshop .....	153
<b>Anexo 7.</b> Procesamiento de cortes anatómicos y diferenciación de anillos de crecimiento en software para bio - imágenes ICY y Photoshop.....	155
<b>Anexo 8.</b> Relación entre el incremento corriente quincenal de diámetro y formación de anillos de crecimiento en cortes anatómicos de <i>Cedrela montana</i> y <i>Handroanthus chrysanthus</i> .....	156
<b>Anexo 9.</b> Certificado de traducción.....	169

**“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”**

## 2. RESUMEN

Los cambios de la morfología interna y estructura anatómica de la planta son consecuencia de las variaciones ambientales. Sin embargo, no se conoce con exactitud como las especies forestales de nuestro medio reaccionan ante el estrés hídrico ni cuáles son sus estrategias de adaptación. Por ello, se seleccionó a *Cedrela montana* y *Handroanthus chrysanthus* como especies representativas de ecosistemas con distintos regímenes de precipitación para este experimento en condiciones controladas bajo invernadero. El objetivo fue evaluar como el estrés hídrico influye en la morfología y la formación de anillos de crecimiento. Para ello, se estableció cuatro tratamientos de estrés hídrico (T1-T4) y un testigo (T0) con 20 individuos cada uno. Se evaluó durante 24 meses cada 15 días con un registro continuo la altura, diámetro, número de hojas, mortalidad y estado fitosanitario. En el Laboratorio de Anatomía de Maderas Tropicales de la UNL se realizó cortes anatómicos transversales del tallo, y con el software ICY Bioimage Analysis se caracterizó los distintos tejidos anatómicos. A través del entorno de programación R se realizó el análisis estadístico de datos, con pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis y Wilcoxon ( $\alpha = 0,05$ ), junto a diagramas de caja (Boxplot) y gráficos de vértices. Con relación a morfología, *Cedrela montana* no tuvo diferencias significativas entre el T0 y los tratamientos de estrés hídrico ( $\alpha = 0,05$ ; p-value > 0,05). Por otro lado, *Handroanthus chrysanthus* si mostró diferencias significativas entre los tratamientos de estrés hídrico ( $\alpha = 0,05$ ; p-value > 0,05) y el testigo. Además, *Cedrela montana* tuvo el 2,58% y *Handroanthus chrysanthus* 34,8% de mortalidad en los tratamientos con estrés hídrico. El desarrollo morfológico de *Cedrela montana* fue independiente al tipo de estrés hídrico al que estuvo sometido, mostrando una eficiente resistencia a condiciones adversas. Al contrario, *Handroanthus chrysanthus* fue más vulnerable a periodos extensos de estrés hídrico. A nivel anatómico *Cedrela montana* presentó una regeneración rápida del cambium vascular ocasionada por una fuerte incisión en el xilema, mientras que *Handroanthus chrysanthus* tuvo una leve regeneración. Ambas especies formaron anillos incompletos o falsos, y sólo los anillos de *Handroanthus chrysanthus* mostraron una leve relación con las mediciones instrumentales del diámetro.

**Palabras clave:** Estrés hídrico, desarrollo morfológico, anillos de crecimiento.

## 2.1. ABSTRACT

The internal morphology changes and anatomical structure of the plant are consequences of the environmental variations. However, not exactly known how the forest species in our environment react to the water stress nor what their adaptation strategies are. Therefore, *Cedrela montana* and *Handroanthus chrysanthus* were selected as representative species of the ecosystems with different precipitation regimes for this experiment in controlled conditions under greenhouse. The objective was to evaluate how the water stress influences morphology and the tree rings formation. For this reason, four water stress treatments was established (T1-T4) and a control (T0) with 20 individuals each. Evaluated during 24 months each 15 days with a continuous register the height, diameter, number of leaves, mortality and phytosanitary status. At the Laboratorio de Anatomía de Maderas Tropicales - UNL transverse anatomical sections of stem were performed, and with the software ICY Bioimage Analysis the different anatomical tissues were characterized. Through the programming environment R, the statistics data analysis was performed, with non-parametric tests of Kruskal-Wallis and Wilcoxon ( $\alpha = 0, 05$ ), with boxplot and graph of vertices. With morphology relation, *Cedrela montana* did not have significant differences between T0 and the water stress treatments ( $\alpha = 0, 05$ ; p-value  $> 0, 05$ ). On the other hand, *Handroanthus chrysanthus* showed significant differences between the water stress treatments ( $\alpha = 0, 05$ ; p-value  $> 0, 05$ ) and the control. Furthermore, *Cedrela montana* had the 2, 58% and *Handroanthus chrysanthus* 34, 8% of mortality in the water stress treatments. The morphological development *Cedrela montana* was independent of the type of water stress to which it was subjected, showing an efficient resistance to adverse conditions. Instead, *Handroanthus chrysanthus* was more vulnerable in long periods of water stress. At the anatomic level *Cedrela montana* showed a faster regeneration of the vascular cambium caused by a strong incision in the xylem, while the *Handroanthus chrysanthus* was more vulnerable in long periods of water stress. Both tree species created incomplete or false rings, just the *Handroanthus chrysanthus* tree-rings showed a few relation with the diametric instrumental measurements.

**Key words:** Water stress, morphological development, tree ring.

### 3. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas forestales ocupan el 30,8% de la superficie terrestre mundial y se caracterizan por ser ecosistemas con una alta biodiversidad. Pese a su importancia, factores como la deforestación y degradación de los bosques siguen contribuyendo de forma alarmante en la pérdida acelerada de los bosques. La superficie forestal disminuyó del 32,5% al 30,8% en el periodo 1990 – 2020, esto muestra una pérdida neta de 178 millones de hectáreas de bosques en las últimas tres décadas (FAO y PNUMA, 2020).

Los impactos del cambio climático se han extendido de forma significativa, a través de eventos climáticos extremos, tales como: olas de calor, sequías, inundaciones e incendios forestales. Estos fenómenos meteorológicos extremos se producen de forma simultánea, generando impactos en cascada difícil de controlar, alterando la estructura y funcionalidad de numerosos ecosistemas (IPCC, 2022). Incluso estudios sugieren que dichas variaciones pueden desencadenar en la mortalidad de especies forestales presentes en biomas de todo el mundo (Ordóñez, 2017). Así mismo, existe una alteración de la estructura microscópica, morfológica, dinámica de crecimiento y resistencia a plagas y enfermedades (Pucha et al., 2020a). Los impactos en los ecosistemas debido a la deforestación y el cambio climático no son ajenos a nivel de Ecuador, en forma específica, a la región sur. Aquí yace una gran variedad de climas y vegetación, que constantemente se encuentran sometidas a condiciones perjudiciales para el ecosistema. El cambio de uso de suelo, la colonización, deforestación y la fragmentación han sido los principales artífices de la degradación de los ecosistemas y sus servicios ecosistémicos (Aguirre et al., 2015).

La adaptación y productividad de especies forestales está relacionada directamente con su capacidad de resistencia a variaciones climáticas extremas del ambiente (Pucha et

al., 2020b). Alteraciones en las condiciones de temperatura y precipitación provocarán un impacto en la disponibilidad de agua y servicios ecosistémicos que ofrecen ecosistemas forestales (Aguirre et al., 2015). La reducción de altura, tallo, raíces, área foliar, peso foliar específico y biomasa se presentan como los principales efectos de estrés hídrico (Kaya et al., 2019). En especies tropicales, esta variación climática incide en una reducción considerable de transpiración y conductividad estomática, debido al cierre de estomas (Blum, 2011). Los cloroplastos se afectan de manera directa cuando existe la disminución de la expansión foliar, por ende, un cierre total de estomas provoca una alteración en la asimilación fotosintética (Varone et al., 2012).

El crecimiento de las especies forestales está vinculado a las condiciones climáticas del ecosistema en donde habitan. Debido a estas características el relicto boscoso tiene la capacidad de reaccionar y registrar las condiciones dominantes de humedad y temperatura, al igual que variaciones interanuales en una escala espacial y temporal de un ecosistema determinado (Manzanilla et al., 2020). La dinámica de crecimiento anual de los árboles puede ser estudiada por la Dendrocronología, donde se analizan las variaciones en el ancho de los anillos de crecimiento. Estos análisis han permitido obtener datos significativos sobre el comportamiento histórico del clima de diversas regiones del mundo, dando una explicación y entendimiento sobre la variabilidad climática local y regional desarrollada a lo largo del tiempo (Zhang et al., 2018; Reyes et al., 2020).

La formación de anillos de crecimiento está directamente relacionada con el proceso de formación de xilema (xilogénesis). La xilogénesis en árboles tropicales depende de la variabilidad estacional producida por varios factores de estrés ambiental, como la estación seca, inundaciones o variaciones de salinidad en el caso de ecosistemas de

manglar; este proceso, de forma más específica, está determinado por la disponibilidad de agua, que interviene en la fase de elongación celular, o la disponibilidad de carbohidratos, que facilita el engrosamiento de la pared celular (Mendivelso et al., 2016; Cuny y Rathgeber, 2016).

La formación de anillos de crecimiento no sucede solo en ecosistemas que presentan una estacionalidad muy marcada, como es el caso de zonas boreales y templadas, sino también es observada en zonas tropicales, en donde la formación de anillos de crecimiento depende de la variación estacional de precipitaciones, y en menor proporción por la temperatura. En regiones de latitud media y alta, el principal factor para la formación de anillos de árboles es la variación estacional de la duración del día y la temperatura. En los trópicos, en donde la latitud es baja, como es el caso de Ecuador, la estacionalidad de precipitación y temperatura no existe o es muy limitada, por tal motivo, se creía que los árboles presentaban un crecimiento anual constante, dando a entender que no formarían anillos anuales. No obstante, muchos árboles de este tipo de ecosistema muestran patrones fenológicos que se repiten anualmente, que ralentizan la actividad cambial, provocando una capa de madera nueva, es decir un límite de anillo arbóreo (Brienen et al., 2016).

El análisis sobre las causas de formación de anillos en árboles tropicales permite evaluar los diferentes efectos graduales que tienen las condiciones climáticas sobre el crecimiento y fisiología de los mismos, de igual forma, permite conocer las diversas respuestas que tienen estos bosques a una variabilidad climática cada vez más acentuada, por motivo del cambio climático (Brienen et al., 2016).

La vegetación es un indicador para la evaluación de diferentes procesos biofísicos en los ecosistemas, entre ellos se puede mencionar: la pérdida de biodiversidad,

desertificación, relación entre la vegetación y erosión del suelo e interacción vegetación – clima (Gonzaga, 2015). Dado el caso, es necesario realizar un análisis fisiológico, así como de cambios anatómicos y morfológicos en especies forestales con alta sensibilidad y valor ecológico. Por ello, en este estudio se seleccionó a *Cedrela montana* y *Handroanthus chrysanthus*, especies representativas de los ecosistemas que conforman la región sur de Ecuador. Los periodos de estrés hídrico en especies forestales se registran en la madera como anillos de crecimiento, y es allí donde este estudio busca detectar los cambios anatómicos y morfológicos de especies forestales y determinar el grado de influencia de periodos de estrés hídrico en la formación de anillos de crecimiento y desarrollo morfológico. De igual forma, la información generada sobre anillos de crecimiento en este tipo de cobertura vegetal no es cuantiosa, por tal motivo, existe la necesidad de mejorar o desarrollar una metodología que permita tener una idea clara sobre la estructura y tendencia respecto a la formación de anillos de crecimiento en este tipo de ecosistemas.

Por tal razón, el proyecto de investigación busca generar información que permita analizar desde otra perspectiva la morfología y anatomía de la madera de *Cedrela montana* y *Handroanthus chrysanthus*, a través de la formación de anillos de crecimiento, bajo influencia de un estrés hídrico, para de este modo, seguir un lineamiento y profundizar más a detalle futuras investigaciones relacionadas a la temática planteada, con la finalidad de gestionar de mejor manera la viabilidad y sostenibilidad de ecosistemas que conforman ambas especies.

Evaluar los cambios que se producen en estas especies bajo la variable de estrés hídrico permite conocer a detalle su comportamiento bajo una situación o condición delicada y extrema. Por tal razón, se muestran las siguientes hipótesis de investigación:

H0: Las condiciones de estrés hídrico bajo invernadero no ocasionan cambios morfológicos significativos en plantas de *Cedrela montana* y *Handroanthus chrysanthus*.

H1: Las condiciones de estrés hídrico bajo invernadero producen cambios morfológicos significativos en plantas de *Cedrela montana* y *Handroanthus chrysanthus*.

H0: Los periodos de estrés hídrico inducido no están relacionados con la formación de anillos de crecimiento en plantas de *Cedrela montana* y *Handroanthus chrysanthus*.

H1: Los periodos de estrés hídrico inducido están relacionados con la formación de anillos de crecimiento en plantas de *Cedrela montana* y *Handroanthus chrysanthus*.

Para poder comprobar las hipótesis trazadas se plantearon los siguientes objetivos de investigación:

### **Objetivo General**

Contribuir a la generación de conocimientos sobre los cambios morfológicos y la formación de anillos de crecimiento por estrés hídrico en *Cedrela montana* Moritz ex Turcz y *Handroanthus chrysanthus* (Jacq.) S.O.Grose bajo condiciones controladas en el cantón Loja, Ecuador.

### **Objetivos específicos**

Evaluar los cambios morfológicos por estrés hídrico en *Cedrela montana* Moritz ex Turcz y *Handroanthus chrysanthus* (Jacq.) S.O.Grose bajo condiciones de invernadero.

Evaluar el impacto del estrés hídrico en la formación de anillos de crecimiento a través de análisis anatómico de la madera en *Cedrela montana* Moritz ex Turcz y *Handroanthus chrysanthus* (Jacq.) S.O.Grose.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1. Morfología de las plantas

La morfología de la planta es la manifestación de la respuesta fisiológica de la misma a las condiciones ambientales y prácticas culturales de vivero en la que se encuentra sometida (Birchler et al., 1998). El conjunto de caracteres cualitativos y cuantitativos sobre la forma y estructura de una planta determinan la calidad morfológica de la misma, por ejemplo, la morfología de una planta que ha sido cultivada en contenedor en un vivero forestal dependerá directamente de la característica genética de la planta, las condiciones ambientales del vivero, prácticas de cultivo empleadas, la fecha de siembra, densidad del cultivo, el tipo de contenedor, el grado de sombreado, el régimen de fertilización y riego, podas aéreas, etc. (Mexal y Landis, 1990). Existe un sinnúmero de atributos morfológicos para describir la calidad de una planta, los más utilizados han sido: altura, el diámetro, y los pesos secos de la raíz y parte aérea, estas variables son reconocidas como descriptores del grado de desarrollo de las partes aérea y radical (Navarro et al., 2006).

#### 4.1.1. *Atributos morfológicos*

La viabilidad o desarrollo óptimo de una plantación forestal, forestación o reforestación depende del comportamiento final en terreno, esto está directamente relacionado y regulado por los atributos morfológicos y fisiológicos de las plantas y por su interacción con el ambiente en el sitio o terreno (Duryea y McClain 1984). Existen numerosos parámetros morfológicos a examinar, dado el caso, se deben elegir aquellos que puedan proporcionar mayor información pero que también sean de fácil medición, como, por ejemplo: altura, diámetro, número de hojas, estado fitosanitario, entre otros (Birchler et al., 1998).

#### **4.1.1.1. Variables dasométricas**

**a. Diámetro.** El diámetro de una planta da una aproximación de la sección transversal de transporte de agua, de la resistencia mecánica y de la capacidad relativa para tolerar altas temperaturas en la superficie del suelo (Cleary y Greaves, 1977). Si se quiere saber la cantidad de madera que se puede obtener de un árbol en pie, lo primero que se tiene que hacer es medir el diámetro del árbol a la altura del pecho (dap), esta medición se realiza a 1,30 m de altura a partir de la base del árbol (López y Detlefsen, 2012).

**b. Altura.** Es la distancia vertical entre el nivel del suelo y el extremo superior del árbol (Puertas et al., 2013).

#### **4.1.1.2. Variables ecológicas**

**a. Número de hojas.** Las hojas son el órgano más sensible a cambios en las condiciones climáticas, con relación al tallo o la raíz; las hojas presentan una respuesta clara a los efectos de estrés por condiciones ambientales (Levitt, 1980). Cabe recalcar que la mejor forma de extraer características válidas de una especie vegetal es basándose en la imagen de la hoja de la planta (Cervantes et al., 2017).

**b. Estado fitosanitario.** El estado fitosanitario indica el estado de vitalidad de una planta, en donde plagas y enfermedades; y el vigor de cada individuo son variables fundamentales para el diagnóstico de vitalidad (Castillo y Suzuarte, 2010).

**c. Mortalidad.** La mortalidad de árboles en bosques naturales se genera por factores endógenos y exógenos, la mortalidad es generada en la mayoría de los casos por procesos como la senescencia como factor endógeno, o por factores exógenos como sustancias tóxicas, agentes patógenos, catástrofes naturales, entre otros. La periodicidad y frecuencia

de cada una de las causas es diferente y opera en escalas de distinta intensidad, espacio y tiempo (Mosquera et al., 2009).

## **4.2. Crecimiento de las plantas**

El desarrollo o crecimiento de las plantas es la variación de tamaño de un individuo respecto al tiempo, el crecimiento depende de la actividad de meristemas primarios y secundarios. El meristemo primario está encargado del crecimiento longitudinal: altura, longitud de ramas y raíces, mientras que los meristemas secundarios o cambium inducen un crecimiento en grosor (Diéguez et al., 2003). El crecimiento de los árboles también está influenciado por la interacción de procesos genéticos, bioquímicos, fisiológicos y ambientales (Klaus et al., 2007).

### ***4.2.1. Incremento corriente Anual***

El crecimiento en plantas también se puede evaluar en diferentes periodos de tiempo: día, mes y años. En rodales y bosques se evalúa anualmente el crecimiento a través de anillos de crecimiento, se utiliza el Incremento Corriente Anual (ICA), esto hace referencia a los cambios que existen en relación al inicio y final de un año de crecimiento (Cancino, 2006).

## **4.3. Anatomía de la madera**

La madera no es un elemento homogéneo, está formado por diferentes tipos de células especializadas que forman tejidos, estos tejidos cumplen funciones importantes, tales como: conducir la savia, transformar y almacenar los alimentos y formar una estructura resistente (Anaya, 2013). El análisis anatómico de la madera tiene una significancia en el campo de investigación, puede ser estudiado utilizando diversos

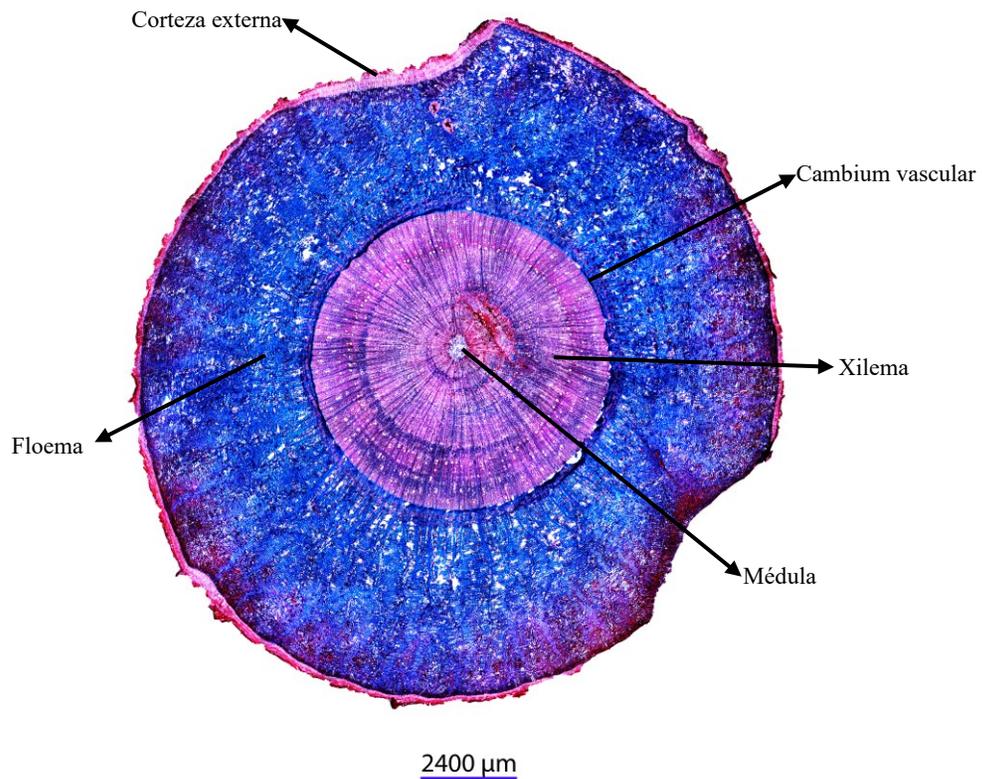
enfoques; relacionado con propiedades físicas, o a su vez, a través de aspectos evolutivos, ecológicos y taxonómicos (Aguilar et al., 2000).

#### **4.3.1. Características anatómicas.**

Las especies forestales se encuentran formadas por diferentes estructuras anatómicas: corteza externa, floema, cambium vascular, xilema y médula (Figura 1).

### **Figura 1**

*Estructura anatómica de la madera en un corte transversal de Cedrela montana*



#### **4.3.1.1. Corteza externa**

La corteza está constituida por todos los tejidos del tronco localizados por fuera del cilindro de la madera (Giménez et al., 2005).

#### **4.3.1.2. Floema**

Constituido por tejido vivo, también es llamada corteza interna, transporta de manera descendente, hasta llegar a las raíces los alimentos producidos a través de la fotosíntesis y el oxígeno absorbido del aire usado en la respiración. El floema presenta fibras de fibra, muy fuertes, estas células tienen un periodo de vida corto, al morir se convierten en súber, formando parte de la corteza externa (Presa, 2015).

#### **4.3.1.3. Cambium vascular**

Esta capa de células siempre está en un periodo de división y produce alternativamente células de floema y xilema (Presa, 2015).

#### **4.3.1.4. Xilema**

El xilema se encarga del transporte y reparto de agua y sales minerales que vienen principalmente de la raíz para el resto de la planta, es el principal elemento de soporte mecánico de las plantas (Megías et al., 2017).

#### **4.3.1.5. Parénquima**

El parénquima está formado por células vivas que presentan una fina pared primaria, son células poco diferenciadas que pueden realizar actividades meristemáticas con facilidad, forman el tejido fundamental de planta. Este tipo de células se encuentran en la médula y corteza de tallos y raíces; en el mesófilo de las hojas, etc. En este tejido se realizan funciones importantes de la planta, como la fotosíntesis, almacenamiento de reservas, secreción, entre otros (Santamarina y Rosello, 2018).

#### **4.3.1.6. Médula**

Presenta un pequeño núcleo central, tiene como función almacenar sustancias nutritivas en la etapa inicial de crecimiento del árbol, se encuentra formada principalmente por tejido parenquimatoso o blando (Vásquez y Ramírez, 2011).

#### **4.3.2. Desarrollo del xilema**

El xilema y floema primarios se originan durante el crecimiento primario de la planta, a través de procambium, en esta fase de crecimiento existen varios estados, tales como: el protoxilema y el profloema, posterior a esto el metaxilema y el metafloema sustituyen gradualmente a los anteriores. El protoxilema está estructurado por pocos elementos traqueales y abundante parénquima, se forma en áreas de crecimiento rápido, las zonas delgadas de la pared primaria de la planta permiten que este se extienda durante la elongación, está diseñado para funcionar en fases de elongación. El metaxilema es más complejo, está formado por elementos traqueales, fibras y parénquima, ocurre cuando la planta aún crece y hasta que cese el periodo de elongación, brinda apoyo y conducción, sus células son más permanentes, es más rígido y menos permeable que el protoxilema (Zepeda, 2017).

El cambium vascular es el tejido meristemático responsable del crecimiento secundario, se encarga de la producción de xilema hacia el interior y floema hacia el exterior del fuste, este meristemo lateral origina células iniciales fusiformes y radiales, que, por división de las mismas, generan a los sistemas celulares axiales y radiales (Carrillo et al., 2013). Al terminar el proceso, la madera se encuentra formada por diversos tipos de células: vasos, traqueidas, parénquima y fibras, las cuales poseen una pared celular formada por celulosa, hemicelulosa y lignina, y componentes químicos secundarios formados por

diversos extractos, azúcares y sustancias orgánicas e inorgánicas (Castrillón y Pinzón, 2017).

### **4.3.3. Xilogénesis**

El xilema y floema secundarios se originan del cambium vascular, el número de células con presencia de estos tejidos depende de la división de células cambiales y la diferenciación de sus derivadas (Begum et al. 2013). La actividad cambial está regulada por condiciones climáticas (temperatura, precipitación y la duración del día) (Begum et al., 2007, Liang et al., 2009), por factores endógenos, tales como: ácido indolacético, giberelinas y ácido abscísico (Rossi et al., 2007), y por factores transcripcionales, es decir, proteínas que se unen a secuencias específicas de ADN (De Mico et al., 2019). La formación y diferenciación de xilema secundario está relacionado a la temperatura y precipitación; y a la dinámica que presentan algunas especies en respuesta a variaciones climáticas originadas por los factores antes mencionados (Begum et al., 2008). El proceso de xilogénesis está determinado por diversas variables, como la disponibilidad de agua, que interviene en la fase de elongación, o la disponibilidad de carbohidratos que promueven la fase de engrosamiento celular de la pared celular (Cuny y Rathgeber 2016).

## **4.4. Estructura química de la madera**

### **4.4.1. Celulosa**

La celulosa es un polímero que presenta una importancia significativa a nivel biológico y también industrial. Está estructurado por unidades de anhidroglucosa unidas por un enlace de oxígeno para formar cadenas moleculares largas lineales (Imai et al., 2003). Es el biopolímero más abundante de la tierra, químicamente son cadenas lineales de

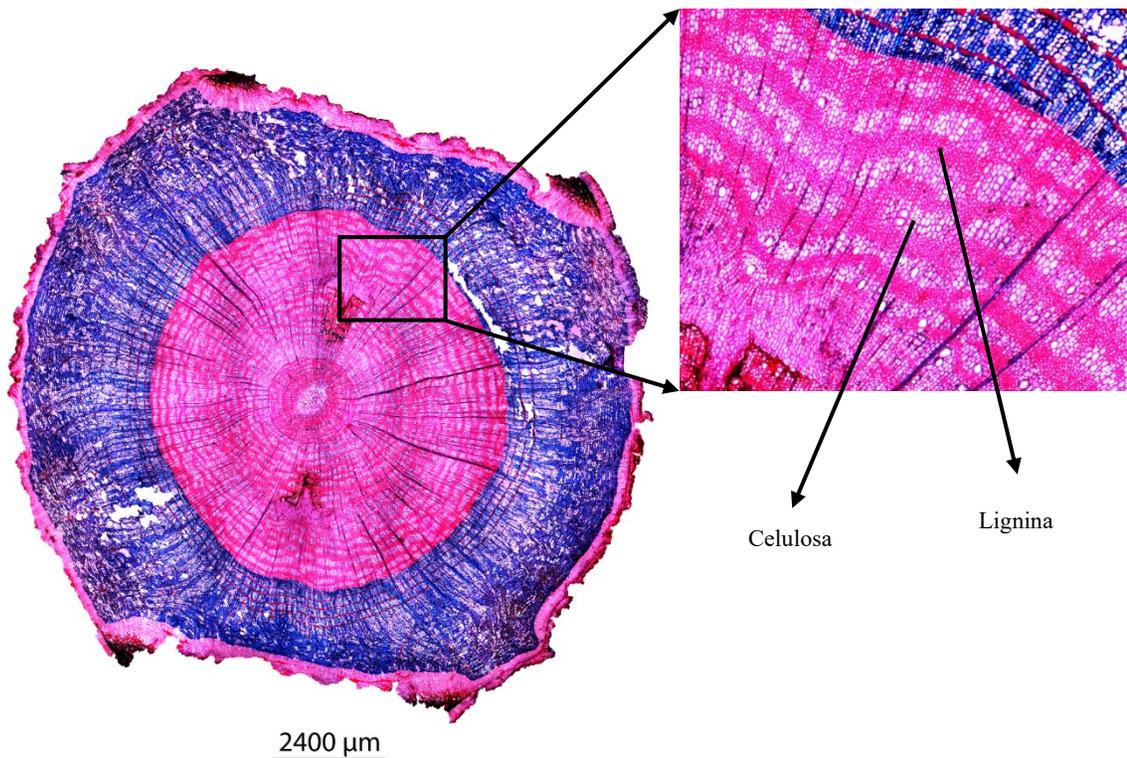
celobiasa (D-glucopiranasol-  $\beta$ -1,4-D-glucopiranos). En una célula vegetal, la celulosa se presenta como microfibrillas acomodadas de forma muy densa (Prinsen, 2010) (Figura 2).

#### 4.4.2. *Lignina*

La lignina es un biopolímero formado por unidades de fenilpropano y compuesto por enlaces de C-C y C-O, distribuido en forma de red polimérica tridimensional al azar, (Kubo y Kadla, 2005). Este polímero se encuentra en la lámina media y en las capas de la pared celular, interviene en el transporte de agua, nutrientes y metabolitos en el sistemas vascular, se encuentra en abundancia en el xilema, participa en la defensa de la planta frente a patógenos, y protege a los polisacáridos que se encuentran en la pared celular de la despolimerización (Hückelhoven, 2007) (Figura 2).

#### Figura 2

*Componentes químicos de la madera identificados en Handoranthus chrysanthus.*



## **4.5. Dendrocronología**

Dendrocronología deriva del griego *dendron* –árbol-, *crono* –tiempo- y *logo* – conocimiento, es una disciplina científica que se caracteriza por tener un conjunto de principios, técnicas y métodos que permiten datar los anillos de crecimiento anuales, extraer, separar e interpretar la información que contienen de los diferentes factores que han influido en su crecimiento (Gutiérrez, 2009).

Es la ciencia que utiliza la datación anual de anillos de crecimiento en especies arbóreas y arbustivas con la finalidad de analizar patrones temporales y espaciales de procesos que inmescuyen a las ciencias físicas y culturales. La dendrocronología presenta varias subdisciplinas según la aplicación y uso de la serie de anillos, existe la dendroarqueología, la dendroclimatología, la dendroecología y la dendrogeomorfología (Amoroso y Suárez, 2015).

### **4.5.1. Dendroecología**

La dendroecología es una subdisciplina de la dendrocronología, trata sobre el estudio de los procesos ecológicos en un bosque a través del análisis de anillos de crecimiento de los árboles. Esta subdisciplina es útil, dado que permite comprender la dinámica de crecimiento en condiciones naturales y de manejo (Rojas et al., 2020).

La dendroecología utiliza la serie de anillos datados para responder a numerosos interrogantes ecológicos, los anillos de crecimiento almacenan información referente a factores ambientales que afectan el crecimiento del árbol. En dendroecología, las relaciones entre clima y crecimiento secundario o radial de las especies leñosas se mide a través de funciones respuesta, esta es una técnica de regresión múltiple que relaciona los

componentes principales de los datos climáticos mensuales y el crecimiento radial de ese mismo periodo (Amoroso y Suarez, 2015; Fritts, 1976).

#### 4.5.2. Anillos de crecimiento

### Figura 3

*Anillos de crecimiento en Cedrela montana y Handroanthus chrysanthus*



*Nota. a) Cedrela montana. b) Handroanthus chrysanthus*

Los anillos de crecimiento de los árboles son bandas de células producidas por el cambium vascular en un periodo determinado (Jiménez, 2011). En bosques naturales, el clima incide como factor responsable en el proceso de formación de anillos de crecimiento en especies arbóreas (Camarero et al., 1997; Rojas et al., 2020). El uso, aplicación y análisis de series de anillos de especies leñosas permite obtener de forma precisa información del crecimiento radial de los árboles en diferentes escenarios o ambientes naturales, de igual forma, determina diferencias respecto a la estructura poblacional del bosque en función a

factores como el suelo, disturbios y el clima (Villalba et al., 2000). La madera que se forma al inicio del anillo se denomina madera temprana, presenta células con paredes delgadas y lúmenes amplios, también presenta madera tardía, que está constituida por células con paredes anchas y lúmenes estrechos, este tipo de madera se forma al término del periodo vegetativo (Díaz, 2003). En bosques templados los anillos de crecimiento son notorios debido a la presencia de células de mayor tamaño en la madera temprana y de menor tamaño en la madera tardía, a diferencia de maderas que se encuentran en bosques tropicales, donde la identificación de anillos está sujeta a estructuras celulares como el parénquima marginal y fibras de paredes más gruesas o aplanadas en sentido radial, debido a esto, es necesario el estudio anatómico microscópico de componentes celulares en la madera tales como: elementos de vaso y fibras para la identificación de las mismas (Carlquist, 1988). La mayoría de especies pueden formar anillos anuales claros en lugares estacionales marcados, y a su vez, especies que habitan en sitios muy húmedos con baja precipitación o secos con precipitaciones irregulares pueden formar falsos anillos o carecer de ellos. Por lo tanto, la formación de anillos puede ser anual, bianual o irregular (falsos anillos), también puede diferir según la fase de vida del árbol, con anillos claros y anuales en la fase adulta y anillos ausentes o no anuales en la fase juvenil (Brienen et al., 2016) (Figura 3).

## **4.6. Estrés hídrico**

### ***4.6.1. Estrés hídrico en árboles***

El estrés hídrico es una de las principales causas de muerte en plantas, ocurre cuando la transpiración excede el agua absorbida por las raíces (Luna et al., 2012). La escasez de agua disponible o el estrés por déficit en el medio es uno de los principales

factores que provocan mortalidad o inconvenientes en el desarrollo de cualquier ser vivo. Conocer el efecto fisiológico, morfológico y anatómico que el estrés hídrico produce en la planta es importante para su desarrollo, la cantidad de agua que presenta una planta es el resultado del balance interno entre el agua absorbida por las raíces y el agua que se pierde por transpiración, la mayor parte del agua absorbida es llevada hacia las hojas y se pierde a través de la transpiración, sólo de un 1 a 3% pasa al metabolismo de las plantas. El estrés hídrico afecta la mayor parte de las funciones vitales de la planta, no existe proceso fisiológico que no esté afectado por la variable antes mencionada (Montoya, 2010). Cada especie tiene sus propios mecanismos de adaptabilidad frente a variaciones climáticas a corto y largo plazo, las sequías no afectan solo a la vitalidad de las plantas, también reducen la productividad primaria neta global por motivo de reducción de secuestro de carbono desde ecosistemas forestales (Pan et al., 2011) (Figura 4).

El estrés hídrico puede generar tres niveles de afectación en el desarrollo de una planta: i) mínimo, existe la pérdida de turgencia celular, reducción de la expansión celular, disminución de la síntesis de la pared celular y síntesis de proteínas; ii) moderado, interviene en el aumento del ácido abscísico y cierre estomático parcial o total; y iii) máximo, la planta rompe los elementos del xilema (cavitación), se produce la disminución de la cobertura foliar, existe la acumulación de solutos orgánicos, produciendo un punto de marchitez (Chen et al., 2020) (Figura 4).

## Figura 4

*Estrés hídrico en a) Cedrela montana y b) Handroanthus chrysanthus*



### 4.6.2. Cambios morfológicos por estrés hídrico

La intensidad y duración del estrés hídrico influye en los efectos y la capacidad de las plantas para resistirlo, incide en la reducción de altura, tallo, raíces, área foliar, peso foliar específico y biomasa de la planta (Engelbrecht, 2001). Cuando la planta está en estado de plántula existe un mayor estrés hídrico, debido a que los individuos aún no han desarrollado un sistema radicular extenso ni profundo, y su acceso al agua del suelo es limitado (Lüttge, 2007) (Figura 4).

### 4.6.3. Cambios anatómicos por estrés hídrico

La anatomía vegetal se encarga del estudio de la morfología de los tejidos en las plantas y de la formación de anillos anuales en el leño debido al crecimiento secundario del mismo (Evert 2006). El periodo de actividad del cambium vascular está determinado por los factores climáticos en donde se desarrollan las especies (Salazar y Delgado, 2000).

El déficit hídrico no sólo ocurre cuando hay poca agua en el ambiente, sino también por bajas temperaturas y por una elevada salinidad del suelo. Estas condiciones, capaces de inducir una disminución del agua disponible del citoplasma de las células, también se conocen como estrés osmótico (Levitt, 1980).

#### **4.7. Fertilización de especies forestales**

Los nutrientes de mayor requerimiento por parte de las plantas son el carbono, hidrogeno y oxigeno; estos provienen del agua y atmosfera, representando el 95% del peso de la planta. El 5% restante está estructurado por minerales que se encuentran en el suelo (Sadeghian, 2021).

Los fertilizantes son materiales que dotan a la planta nutrimentos, estos se agregan a través del suelo, del agua o aspersiones foliares. Producen efectos favorables sobre los árboles, incrementan su crecimiento, se mejora la calidad de la madera y sanidad de plantación. El uso de fertilizantes no solo ayuda a los árboles, interviene en el suelo, mejorando y restituyendo su fertilidad. Existen numerosos beneficios con el uso de fertilizantes en árboles: se sustituye deficiencias nutricionales de los árboles, mejora y mantiene la fertilidad del suelo, mejora la resistencia de los árboles a plagas y enfermedades, se incrementa la producción de madera, entre otros. (Alvarado y Raigosa, 2012).

##### **4.7.1. *Macronutrientes***

Son considerados como macronutrientes de las plantas el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), son importantes, porque las plantas requieren de estos nutrientes en cantidades muy altas. Los macronutrientes son elementos básicos de la mayoría de fertilizantes que son utilizados de forma común. La fertilización a partir de N, P y k influye

de manera positiva en el crecimiento y productividad de la mayoría de especies arbóreas (Alvarado y Raigosa, 2012).

#### **4.7.2. Micronutrientes**

Los micronutrientes son igual de importantes que los macronutrientes, son elementos esenciales de los árboles, que se requieren en cantidades pequeñas. Se dividen en micronutrientes aniónicos: cloro (Cl), boro (B), y Molibdeno (Mo), y micronutrientes catiónicos: hierro (Fe), Cobre (Cu), zinc (Zn) y Manganeseo (Mn). La ausencia de estos elementos menores en el suelo provocaría una limitante para el desarrollo de la planta.

### **4.8. Características generales de especies forestales**

#### **4.8.1. *Cedrela montana* Moritz ex Turcz**

##### **4.8.1.1. Descripción taxonómica.**

**Orden:** Sapindales

**Familia:** Meliaceae

**Género:** *Cedrela*

**Especie:** *montana*

**Nombre común:** Cedro, cedro de montaña, cedro blanco.

##### **4.8.1.2. Descripción botánica.**

Árbol de hasta 14-16 m. Fuste café-oscuro. Corteza fisurada longitudinalmente. Hojas compuestas, alternas, con folíolos verdes pálido, ásperos, pecíolos y raquis rojizos. Olor a ajo en todas sus partes. Flores pequeñas verdosas en racimos terminales. Fruto una cápsula café-claro de 3-4 cm de largo, dehiscente, con lenticelas circulares. Semillas pequeñas aladas. Madera rosada con jaspe blanco. Esciófita, clímax (Aguirre, 2018).

## Figura 5

Plantas de *Cedrela montana* Moritz ex Turcz

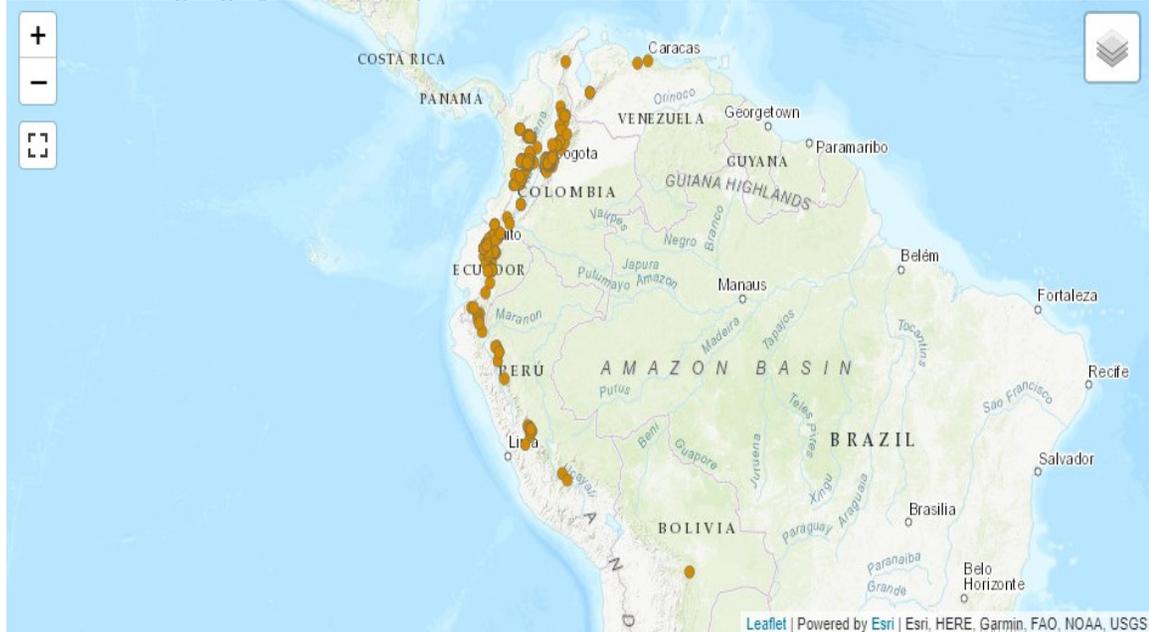


### 4.8.1.3. Distribución y ecología.

Esta especie globalmente se distribuye desde Venezuela hasta Perú, en la región biogeográfica de los Andes, en donde existe una precipitación de 1 000 mm y 2 000 mm, con temperaturas anuales que van entre 12°C y 18°C (Bernal et al., 2015; León, 2014). En Ecuador se puede encontrar en los bosques de la sierra y oriente, entre los 1 800 a 3 200 m s.n.m. En la provincia de Loja, están localizados en los cantones Loja, Saraguro y Sozoranga (Díaz, 2012) (Figura 6).

**Figura 6**

*Distribución geográfica de la especie Cedrela montana*



*Nota.* Distribución geográfica de la especie (Hills, 2021).

#### **4.8.1.4. Uso y estado de conservación.**

La madera de cedro es suave y liviana, es una de las maderas más utilizadas en la actualidad. Se utiliza para la fabricación de muebles, ebanistería, construcciones en general y en la elaboración de guitarras (Vargas, 2002). Funcionalmente esta especie actúa como barrera natural contra el ruido y el viento, regula la erosión del suelo y controla la estabilidad de taludes. Genera regulación climática, específicamente de temperatura. Es una especie ornamental que sirve como nicho y hábitat para los animales (Acero, 2005). *Cedrela montana* se encuentra catalogada según los criterios de la UICN como una especie vulnerable (VU) (Hills, 2021).

#### **4.8.2. *Handroanthus chrysanthus* (Jacq.) S.O.Grose**

##### **4.8.2.1. Descripción taxonómica.**

**Orden:** Lamiales

**Familia:** Bignoniaceae

**Género:** *Handroanthus*

**Especie:** *chrysanthus*

**Nombre común:** Guayacán (Aguirre, 2012)

**4.8.2.2. Descripción botánica.**

Árboles hasta 25 m de altura. Fuste recto y cilíndrico. Corteza gris pálida a oscura, fisurada. Ramitas subcuadrangulares, estrellado pubescentes, glabrescentes. Hojas con 5 a 7 foliolos ampliamente elípticos a oblongo-ovados, ápice abruptamente acuminado, base obtusa a truncada o asimétricamente subcordada, enteros o aserrados, lepidotos en ambas caras, a veces estrellado-pubescente en el haz, estrellado-pubescente en el envés. Flores en panículas, pubescentes, brácteas reducidas; cáliz campanulado, lobulado, lóbulos frecuentemente reflexos, estrellado-pubescentes; corola amarilla con máculas rojizas en la garganta, glabra por fuera. Fruto cápsulas cilíndricas de 50 x 2 cm, estrellado-pubescente; semillas con alas hialino-membranáceas (Aguirre, 2012).

## Figura 7

Plantas de *Handroanthus chrysanthus* (Jacq.) S.O.Grose

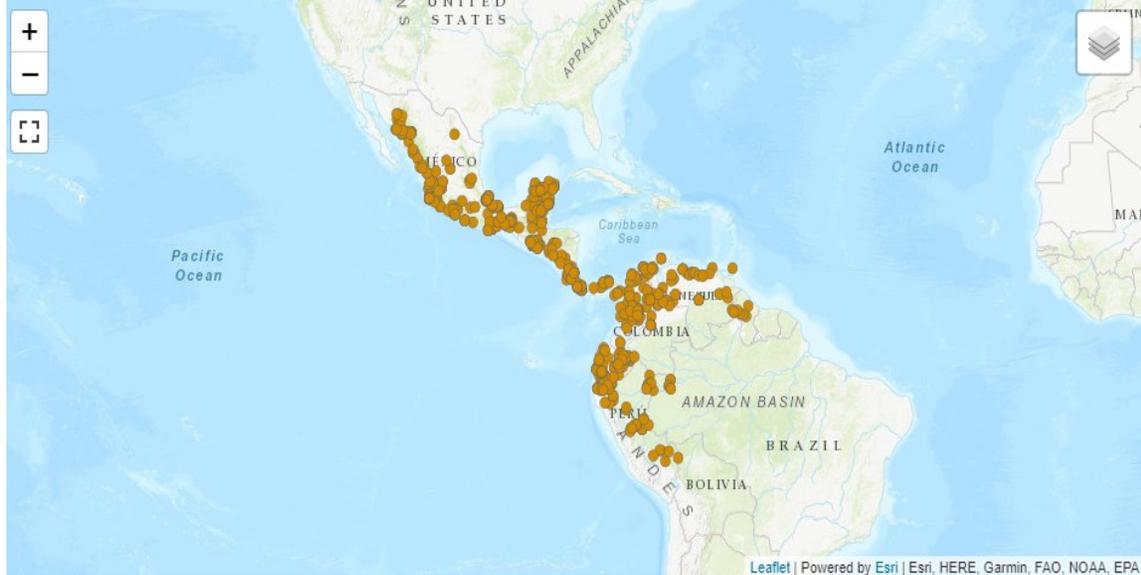


### 4.8.2.3. Distribución y ecología.

Esta especie crece en la mayoría de países del continente americano, desde México hasta Ecuador y Perú (Largo, 2017). En Ecuador se encuentra entre 0 – 2 000 m s.n.m en las provincias de Bolívar, Chimborazo, El Oro, Esmeraldas, Guayas, Loja, Los Ríos, Manabí, Morona Santiago, Napo, Pastaza, Pichincha y Sucumbíos (Calle, 2016) (Figura 8).

**Figura 8**

*Distribución geográfica de Handroanthus chrysanthus*



*Nota.* Distribución geográfica de la especie (Hills, 2021).

**4.8.2.4. Uso y estado de conservación.**

Esta especie tiene una de las maderas más pesadas y duraderas. Es una madera de valor y buena calidad. Se usa en ebanistería, carpintería, y para la producción de forraje. Forma parte de sistemas silvopastoriles e interviene en la recuperación del suelo. Actúa como recurso escénico debido a su florecimiento (Villacis et al., 2015). *Handroanthus chrysanthus* se encuentra catalogada según los criterios de la UICN como una especie vulnerable (VU) (Hills, 2021).

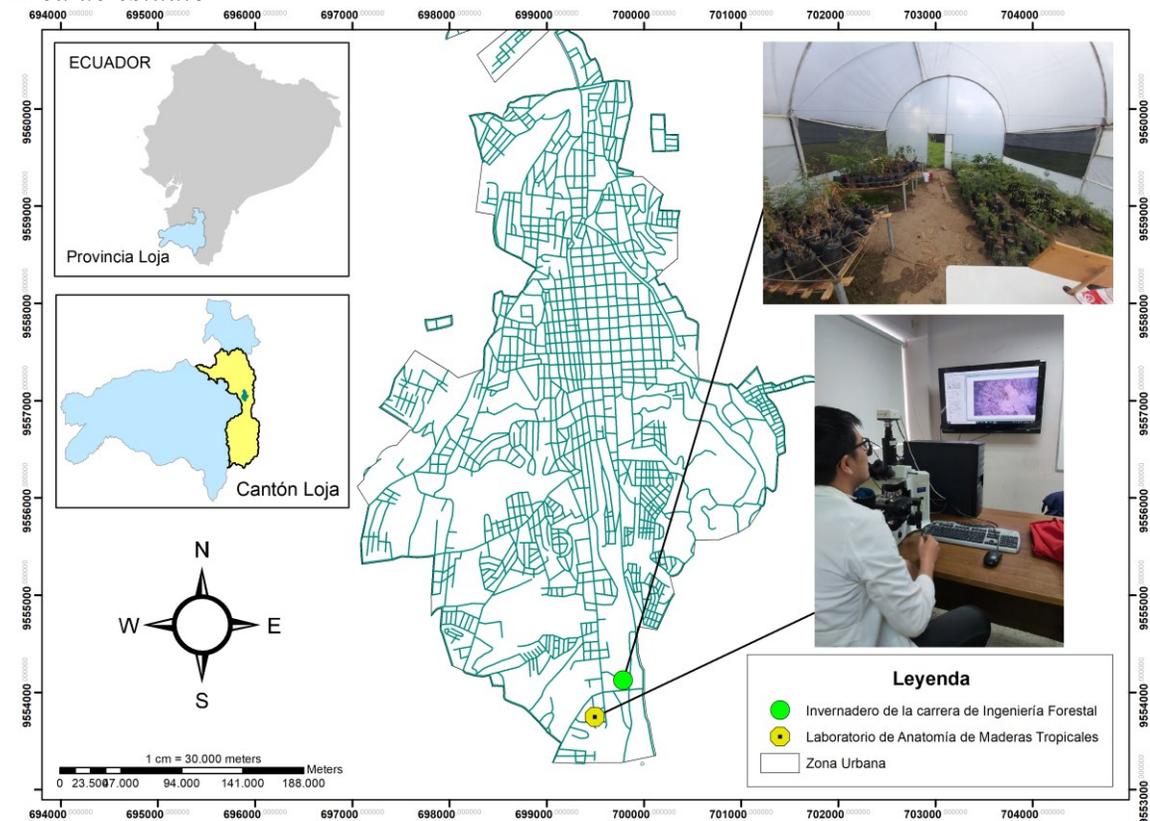
## 5. METODOLOGÍA

### 5.1. Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el laboratorio de Anatomía de Maderas Tropicales y en el vivero de la Carrera de Ingeniería Forestal de la Universidad Nacional de Loja (Figura 9).

**Figura 9**

*Área de estudio*



### 5.2. Registro de datos

La presente investigación se basó en información obtenida del proyecto 21-DI-FARNR-2019: “*Impacto de las variaciones climáticas en la fijación de carbono en ecosistemas forestales al sur de Ecuador*”. Los datos correspondieron a investigaciones realizadas por Barrera (2021) en los primeros seis meses de monitoreo y Aponte (2021) en

los seis meses subsecuentes. La información obtenida fue sobre cambios anatómicos y morfológicos por estrés hídrico controlado en *Cedrela montana* Moritz ex Turcz y *Handroanthus chrysanthus* (Jacq.) S.O.Grose. La información recogida se anexó a una base de datos que continuó el monitoreo y evaluación de crecimiento de las especies antes mencionadas por parte del autor de esta tesis.

### **5.2.1. Procedencia de las plantas**

Las plantas de *Cedrela montana* y *Handroanthus chrysanthus* son provenientes de semillas colectadas en árboles localizados en relictos boscosos de la Hoya de Loja y germinados en el vivero Forestal de la UNL. Se obtuvieron plantas mayores a un año de edad, con la finalidad de que células del xilema de todos los individuos se encuentren bien formadas y lignificadas.

### **5.2.2. Diseño experimental**

El delineamiento experimental utilizado fue un diseño de bloques sistemáticos (Figura 10) con 100 individuos por especie, organizados en cuatro tratamientos más un control. Esta investigación continuó con el control dasométrico y ecológico de todos los individuos que fueron monitoreados en dos etapas por dos tesistas anteriores (Barrera, 2021; y Aponte, 2021). Los individuos tuvieron dos incisiones realizadas en sentido tangencial, estas se efectuaron al inicio del proyecto y ocho meses después del establecimiento de las plantas, con la finalidad de observar el comportamiento morfológico y anatómico de cicatrización por estrés hídrico controlado. Para el análisis anatómico se seleccionó tres individuos por tratamiento a través de un muestreo sistemático tomando en cuenta las plantas más representativas de cada tratamiento cuyo diámetro del tallo no sea mayor a 1,5 cm para evitar problemas técnicos de corte con el micrótopo.

**Figura 10**

*Esquema del diseño experimental establecido para las especies de estudio*

<b>Tratamiento testigo</b> (20 individuos) Riego constante
<b>Tratamiento 1</b> (20 individuos) Riego + estrés hídrico moderado
<b>Tratamiento 2</b> (20 individuos) Riego + estrés hídrico severo
<b>Tratamiento 3</b> (20 individuos) Riego + estrés hídrico moderado + fertilizante
<b>Tratamiento 4</b> (20 individuos) Riego + estrés hídrico severo + fertilizante

### **5.2.3. Niveles de riego**

Es preciso mencionar que en el transcurso del proyecto existió una variación respecto a la cantidad de riego y temporada de estrés hídrico a la que fueron sometidos los tratamientos por el cambio de invernadero. Al inicio del monitoreo (abril 2019 – junio 2020) la temperatura diaria promedio del invernadero de Investigación del Laboratorio de Micropropagación Vegetal de la UNL según Pucha et al., (2020b) fue de 19,5°C (mín.: 14,8°C; máx.: 23,1°C), con una humedad relativa diaria promedio de 73,3% (mín.: 63,4%; máx.: 91,8%). En el cambio al nuevo invernadero del proyecto 21-DI-FARNR-2019 a partir del 15 de junio de 2020 hasta el 24 de febrero de 2021 la temperatura promedio fue de 34,18°C (mín.: 21,5°C; máx.: 43,4°C), y una humedad relativa de 46,33% (mín.: 33%; máx.: 61%). La temperatura y humedad relativa de ambos escenarios varió en demasía, por tal razón, se estableció la modificación de riego y temporadas de estrés hídrico en periodos determinados para ambas especies, con la finalidad de que exista una aclimatación adecuada para continuar con el monitoreo y evaluación controlada del estrés hídrico.

#### 5.2.4. Descripción de los tratamientos

##### 5.2.4.1. Testigo ( $T_0$ = riego constante, $n= 20$ individuos).

Las plantas mantuvieron el suelo al 100 % de humedad todo el tiempo con un riego constante. Sin embargo, los niveles de riego variaron por cuatro ocasiones debido a la Pandemia COVID 19 y al cambio de invernadero (Tabla 1, Figura 11a, y Anexo 2).

**Tabla 1**

*Distribución de cantidad de riego para el testigo de Cedrela montana Moritz ex Turcz y Handroanthus chrysanthus (Jacq.) S.O.Grose*

Fase de riego	Fecha de inicio	Fecha final	Invernadero	Riego (ml)	Frecuencia de riego	Comentario
1	03/04/2019	12/02/2020	Invernadero de Investigación del Laboratorio de Micropropagación Vegetal de la UNL	200	2 riegos de 100 ml por semana	Al inicio del experimento se realizó el riego los martes y jueves de cada semana
2	19/02/2020	10/07/2020	Invernadero de Investigación del Laboratorio de Micropropagación Vegetal de la UNL  Invernadero del Proyecto 21-DI-FARNR-2019 (a partir del 15/jun/2020)	500	1 vez por semana	Al inicio de la pandemia se cambió el riego a 500 ml una vez por semana para mantener la humedad del suelo constante
3	15/07/2020	05/08/2020	Invernadero del Proyecto 21-DI-FARNR-2019	1000	1 vez por semana	Por el cambio al nuevo invernadero se duplicó el riego tomando en cuenta que la temperatura se incrementó al doble.
	12/08/2020	03/03/2021	Invernadero del Proyecto 21-DI-FARNR-2019	750		Se reajustó los niveles de riego que permitieron

Fase de riego	Fecha de inicio	Fecha final	Invernadero	Riego (ml)	Frecuencia de riego	Comentario
4					1 vez por semana	tener el suelo saturado contantemente hasta el final del experimento.

#### 5.2.4.2. Tratamiento uno (T1= riego + estrés hídrico moderado, n= 20 individuos).

Las plantas fueron sometidas a periodos de estrés hídrico moderados con un leve riego intermedio y periodos de riego constante (Figura 11b, Tabla 2 y Anexo 2). El nivel de riego inicial (abril 2019) y final (febrero 2021) tuvo cambios por cuatro ocasiones como se indica en la Figura 11b y Tabla 2 de la siguiente manera:

**Tabla 2**

*Distribución de cantidad de riego para el tratamiento uno de Cedrela montana Moritz ex Turcz y Handroanthus chrysanthus (Jacq.) S.O.Grose*

Fase de riego	Fecha de inicio	Fecha final	Riego (ml)	Riego intermedio (ml)	Comentario
1					Del 03/04/2019 hasta 17/10/2019: cinco semanas de riego constante, y diez semanas de estrés hídrico, con un riego intermedio en la sexta semana
	03/04/2019	12/02/2020	200	50	Del 25/10/2019 hasta 06/11/2019: cuatro semanas de riego constante, y diez semanas de estrés hídrico, con un riego intermedio en la sexta semana
					Del 13/11/2019 hasta 12/02/2020: tres semanas de riego constante, y diez semanas de estrés hídrico, con un riego intermedio en la sexta semana

Fase de riego	Fecha de inicio	Fecha final	Riego (ml)	Riego intermedio (ml)	Comentario
2	19/02/2020	10/07/2020	500	100	Del 19/02/2020 hasta 30/04/2020: cuatro semanas de riego constante, y seis semanas de estrés hídrico, con un riego intermedio en la quinta semana  Del 08/05/2020 hasta 10/07/2020: cinco semanas de riego constante y cuatro semanas de estrés hídrico
3	15/07/2020	05/08/2020	1000		Cuatro semanas de riego constante. No hubo estrés hídrico, solo se niveló cantidad de riego para adaptabilidad en el nuevo invernadero
4	12/08/2020	03/03/2021	750	500	Del 12/08/2020 hasta 30/09/2020: dos semanas de riego constante, y seis semanas de estrés hídrico, con un riego intermedio en la tercera y cuarta semana  Del 07/10/2020 hasta 22/12/2020: nueve semanas de riego constante, y tres semanas de estrés hídrico, con un riego intermedio en la segunda semana  Del 30/12/2020 hasta 03/02/2021: tres semanas de riego constante, y tres semanas de estrés hídrico, con un riego intermedio en la segunda semana  Del 10/02/2021 hasta 03/03/2021: cuatro semanas de riego constante

#### 5.2.4.3. Tratamiento dos (T2= riego + estrés hídrico severo, n= 20 individuos).

Las plantas tuvieron un periodo de estrés hídrico severo, intercalada con periodos de riego constante. El tratamiento dos presenta el mismo sistema de riego que el tratamiento

uno (Tabla 2), con la diferencia de que no existió intermedios de riego en las semanas concernientes a estrés hídrico (Figura 11c).

**5.2.4.4. Tratamiento tres (T3= riego + estrés hídrico moderado + fertilizante, n= 20 individuos).**

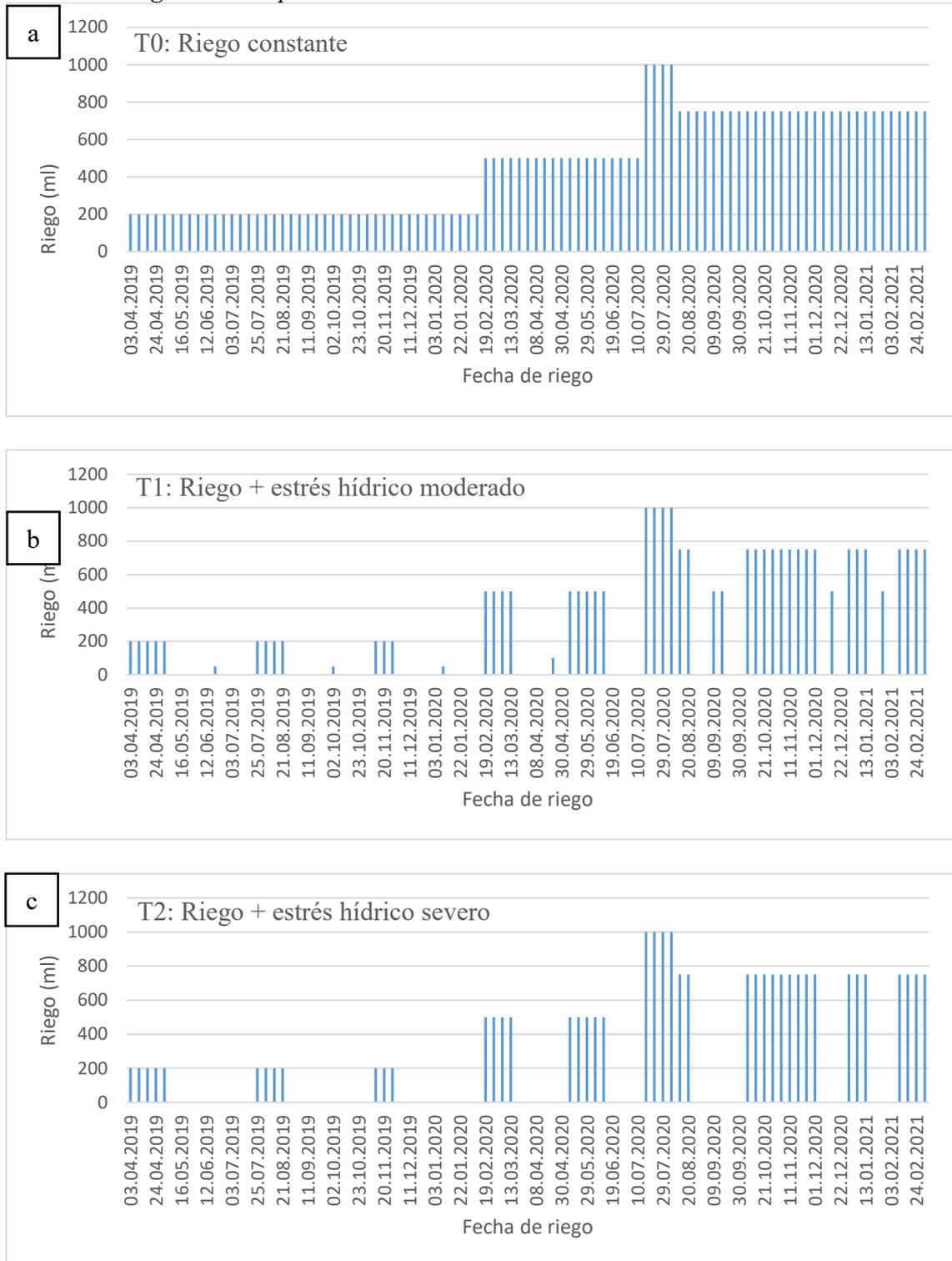
Las plantas fueron sometidas al mismo periodo de riego que el tratamiento uno (Tabla 2), con la diferencia de que los individuos de este tratamiento adquirieron macro y micronutrientes (fertilizante YaraMila complex) (Figura 11d).

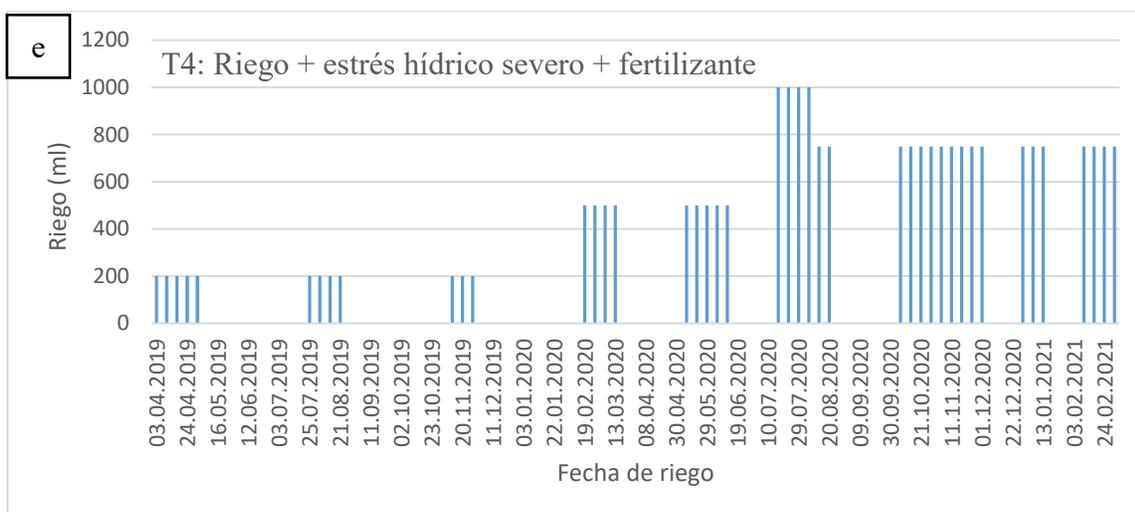
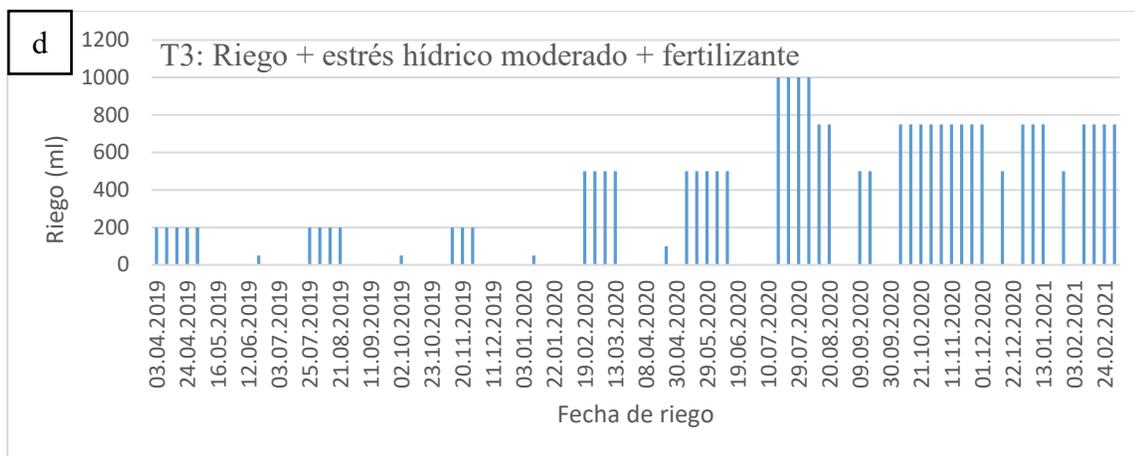
**5.2.4.5. Tratamiento cuatro (T4= riego + estrés hídrico severo + fertilizante, n= 20 individuos).**

Las plantas con macro y micronutrientes (fertilizante YaraMila complex) fueron sometidas a los mismos periodos de riego que el tratamiento dos (Figura 11e). Este tratamiento tuvo el mismo sistema de riego que el tratamiento uno (Tabla 2).

**Figura 11**

*Niveles de riego semanal para cada tratamiento*





### 5.3. Evaluación de los cambios morfológicos por estrés hídrico en *Cedrela montana* Moritz ex Turcz y *Handroanthus chrysanthus* (Jacq.) S.O.Grose bajo condiciones de invernadero

Para analizar los cambios morfológicos de las especies tratadas en este estudio, se recopiló información referente a mediciones quincenales que se hicieron a los individuos de *Cedrela montana* y *Handroanthus chrysanthus* durante el tiempo de un año por Barrera (2021) y Aponte (2021). Posteriormente, se continuó con el levantamiento de datos referente a las variables morfológicas durante el periodo julio 2020 – febrero 2021.

### **5.3.1. Monitoreo y evaluación de variables morfológicas de plantas en invernadero**

Se realizaron mediciones quincenales en un periodo de 24 meses (abril 2019 – marzo 2021) a los 100 individuos de *Cedrela montana* y *Handroanthus chrysanthus*, distribuidos en cuatro tratamientos y un testigo que están detallados en la sección 3.2.4. (Descripción de los tratamientos). Las mediciones quincenales se fundamentaron en medir variables dasométricas y ecológicas. Las variables dasométricas (diámetro y altura) se midieron con la ayuda de: un calibrador digital y un flexómetro. Las variables ecológicas (número de hojas caídas, nacidas y totales, estado fitosanitario y mortalidad), se determinaron a través de observación directa. La información generada se anotó en una hoja de campo estructurada que se muestra en la Figura 12 (ver matrices individuales detalladas por tratamiento en el Anexo 1) con la finalidad de tener datos organizados para el análisis correcto de los mismos.

Durante las mediciones quincenales realizadas, se hizo un control de plagas exhaustivo a las especies tratadas en este estudio, poniendo mayor énfasis en *Handroanthus chrysanthus* la cual se veía perjudicada por la presencia del mosquito blanco (*Trialeurodes vaporariorum*). Así mismo, se observó una tasa de mortalidad natural significativa en individuos de *Handroanthus chrysanthus*, provocando la mortalidad natural total de los tratamientos uno, dos, tres y cuatro a inicios de septiembre del 2020 (04/09/2020). Por tal razón, no hubo individuos para la medición de variables morfológicas después del periodo ya mencionado, con excepción del Testigo que tuvo sobrevivencia hasta la finalización de la investigación (marzo 2021).

**Figura 12**

*Hoja de campo para mediciones quincenales de especies forestales*

 <p style="text-align: center;"><b>Carrera de Ingeniería Forestal</b></p> <p style="text-align: center;">Proyecto de investigación: “<i>Impacto de las variaciones climáticas en la fijación de carbono en ecosistemas forestales al sur de Ecuador</i>”</p> <p style="text-align: center;"><b>FICHA DE MEDICIONES</b></p> <p style="text-align: center;">Para proyecto de tesis sobre cambios morfológicos y formación de anillos de crecimiento bajo estrés hídrico a través de un estudio anatómico de la madera.</p>									
<b>Especie:</b>						<b>Código:</b>			
<b>Responsable:</b>									
<b>Medición Nro:</b>									
<b>Fecha:</b>									
<b>Observaciones:</b>									
<b>TRATAMIENTO X</b>									
Indiv.	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Nº de hojas			Mortalidad	Estado fitosanitario		
			C	N	T		Bueno	Regular	Malo
T_x									

**5.3.2. Evaluación y análisis de datos de estrés hídrico y variables morfológicas**

Se colectó la información de datos morfológicos y datos de riego para unificarlos y sincronizarlos de acuerdo con la fecha, ya que el riego se realizó de manera semanal y la obtención de datos morfológicos fue de forma quincenal. Se consideraron estas dos variables con la finalidad de evaluar y analizar la relación entre el comportamiento morfológico (diámetro, altura, número de hojas y estado fitosanitario) de las especies y los periodos de estrés hídrico o riego constante.

Esta elección consistió en agrupar a periodos similares o iguales de tiempo los datos concernientes a riego y medición de variables morfológicas, la información recopilada se estructuró en el formato que muestra la Tabla 3.

Una vez obtenida y ordenada la información respecto a datos de estrés hídrico y variables morfológicas se procedió a calcular el Incremento Corriente Quincenal de variables dasométricas (diámetro y altura) aplicando a siguiente formula:

$$ICq = \text{Medición quincenal 2} - \text{medición quincenal 1}$$

**Tabla 3**

*Matriz para la organización de información de riego y mediciones quincenales de variables morfológicas de Cedrela montana y Handroanthus chrysanthus*

Tratamiento		Especie		Individuo				
Tratamiento X		Especie X		Individuo X				
RIEGO				Medición				
Año	mes	semana de riego	fecha de riego	Riego (ml)	Fecha de medición	Semana de medición	Variable morfológica	IC

### 5.3.3. Representación gráfica de cambios morfológicos

A partir de la matriz general (Tabla 3) se obtuvo una tabla resumen (Tabla 4) con la información de riego y mediciones quincenales de variables morfológicas de *Cedrela montana* y *Handroanthus chrysanthus*, adaptada para el entorno R y RStudio (Versión 3.5.1-© 2009-2018 RStudio, Inc). De igual forma se utilizó la información tabulada según la estructura que se muestra en la Figura 12, referente a variables ecológicas (número de hojas y mortalidad natural) y dasométricas (diámetro y altura) de todos los individuos pertenecientes a los diferentes tratamientos establecidos para este estudio, esto con la finalidad de obtener información que permita crear diagramas de caja que muestran la existencia de diferencias significativas entre tratamientos.

**Tabla 4**

*Tabla resumen con información respecto a riego y medición de variables morfológicas*

Nro_Sema	Fecha_	Riego	Fecha_me	Nro_Se	Tx_	Tx_	Tx_	Tx_0	Tx_1	Tx_1
na_riego	riego	_mm	dicion	mana_	04_	14_	15_	4_Alt	4_Alt	5_Alt
		_Tx		med	Alt	Alt	Alt	_ICq	_ICq	_ICq

*Nota.* Tx: tratamiento. Alt: altura. ICq: incremento corriente quincenal

### **5.3.3.1. Gráfica de series temporales**

Las figuras de series temporales explican el comportamiento que presentan las variables morfológicas a lo largo del tiempo transcurrido del proyecto. Para un análisis óptimo de resultados, las figuras se separaron en tres etapas, con la finalidad de distinguir con mayor facilidad los cambios producidos en las especies tratadas en este estudio. Estas etapas se dividieron según el tiempo de trabajo realizado por cada tesista: Barrera (2021), Aponte (2021) y el autor de esta tesis:

- Etapa 1: desde el 01 de abril de 2019 hasta el 24 de septiembre del 2019, Barrera (2021).
- Etapa 2: desde el 25 de septiembre del 2019 hasta 07 de julio del 2020, Aponte (2021).
- Etapa 3: desde el 08 de julio del 2020 hasta el 24 de febrero del 2021, el autor de esta tesis.

Se realizó el procesamiento de los datos estructurados detallados en la Tabla 4 utilizando el entorno R y RStudio. A través de los paquetes o librerías como “stats” (reshape), “ggplot2”, “graphics” (grid), “egg”, se creó gráficas de series a partir de tablas (data frames) que presentaron información concerniente a la tabla resumen con información de estrés hídrico y mediciones quincenales de variables morfológicas (Tabla 4). Se realizó gráficas de series temporales por cada tratamiento de ambas especies, mostrando valores promedio de variables morfológicas e incremento corriente quincenal, esto asociado al riego que se hizo conforme se efectuaba el proyecto de investigación, de igual forma, se hizo gráficas que representan el desarrollo de variables morfológicas de todos los tratamientos (ver script detallado en Anexo 3).

La función “reshape” remodela un marco de datos entre un formato ancho (con medidas repetidas en columnas separadas de las mismas filas) y formato largo (con las medidas repetidas en filas separadas). La librería “ggplot2” es un sistema para crear gráficos de una forma estética que permita visualizar data frames de una forma sencilla. La función “egg” es una extensión ggplot2, se utiliza para postprocesar los diseños de la función ggplot2 (R Core Team, 2022). La función “grid” permite construir rejillas sobre un gráfico, con la finalidad de facilitar la interpretación, o como una guía para ubicar elementos dentro del gráfico (Hernández, 2021).

#### **5.3.3.2. Diagramas de caja (Boxplot) y gráficos de vértices**

Antes de iniciar el procesamiento estadístico se realizó una reconstrucción o relleno de datos de la información organizada en el formato que muestra la Figura 12, debido principalmente a la mortalidad gradual de los individuos de varios tratamientos, específicamente de la especie *Handroanthus chrysanthus*. El relleno de información se hizo a través de funciones ortogonales creadas por Taylor et al., (2013) (ver script detallado en Anexo 4). Ya con los datos totalmente reconstruidos se procedió a utilizar diagramas de caja a través de la función *boxplot ()* en el entorno RStudio.

Este estudio no aplicó para el análisis de varianza pruebas paramétricas debido a la naturaleza de las variables tratadas (diámetro, altura y número de hojas), porque nuestra información mostró muchos valores atípicos con una distribución que no fue normal. Para realizar una prueba paramétrica es necesario que los datos presenten normalidad, independencia y homogeneidad de varianza, es decir que existan valores no atípicos, que en el caso de este estudio es imposible estructurar, por tal razón, se decidió utilizar pruebas no paramétricas para el análisis estadístico.

Para realizar el análisis de varianza que muestra si existen diferencias significativas entre tratamientos de las especies en estudio se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, alternativa a la prueba paramétrica ANOVA y un Post Hoc análisis a través del estadístico Wilcoxon, alternativa a la prueba paramétrica T-Student, usando la corrección de Bonferroni con un nivel de significancia 95% ( $\alpha = 0,05$ ).

El test no paramétrico de Kruskal-Wallis, se utilizó con la finalidad de mostrar diferencias significativas entre todos los tratamientos, en un contexto general por cada variable: diámetro, altura y número de hojas ( $\alpha = 0,05$ ;  $p < 0,05$ ). Adicionalmente, se aplicó la prueba pareada no paramétrica de Wilcoxon estructurada con la corrección de Bonferroni, que permitió exponer de forma más específica la diferencia entre cada tratamiento. Este Test permite realizar una comparación entre dos muestras relacionadas y determinar si hay diferencias entre las mismas. Wilcoxon es una prueba que indica en qué par de tratamientos hay una diferencia significativa, esta diferencia se expone gráficamente como una línea horizontal (—<sup>\*\*\*\*</sup>—) sobre los tratamientos que indiquen diferencia significativa ( $p\text{-value} < 0,05$ ).

El test no paramétrico Kruskal-Wallis se mostró gráficamente a través del diagrama de cajas. La prueba no paramétrica Wilcoxon se anexó a este diagrama, mostrando gráficamente (—<sup>\*\*\*\*</sup>—) la diferencia significativa por pares. Adicional a esto, esta prueba también muestra gráficos de vértices adicionales al BoxPlot, este tipo de gráfico determina que tratamientos son iguales o no, si se conectan entre sí no son significativamente diferentes ( $p\text{-value} > 0,05$ ), si los tratamientos no se conectan muestra una diferencia significativa ( $p\text{-value} < 0,05$ ). Cabe recalcar que las pruebas no paramétricas Kruskal-

Wallis y Wilcoxon se realizaron en el entorno estadístico RStudio (ver script detallado en Anexo 4).

#### **5.4. Evaluación del impacto del estrés hídrico en la formación de anillos de crecimiento a través de análisis anatómico de la madera en *Cedrela montana* Moritz ex Turcz y *Handroanthus chrysanthus* (Jacq.) S.O.Grose**

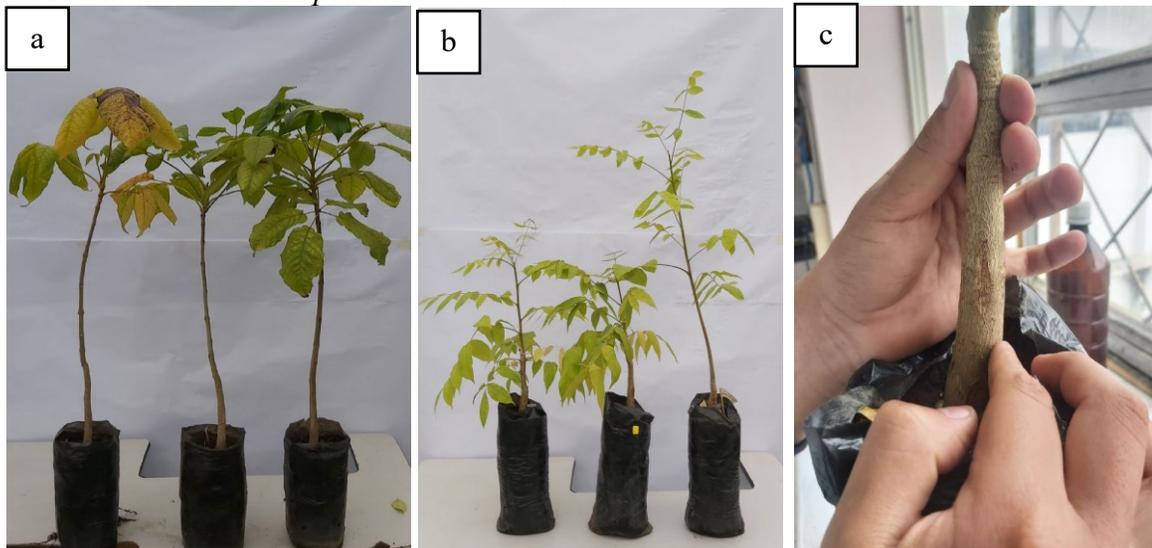
##### **5.4.1. Fase de laboratorio**

##### **5.4.1.1. Selección de individuos**

Se procedió a escoger por cada tratamiento de cada especie tres individuos de forma sistemática, es importante mencionar que cada individuo presenta dos incisiones realizadas en sentido tangencial, estas se efectuaron al inicio del proyecto y ocho meses después del establecimiento de las plantas (Figura 13a, 13b, 13c). Los individuos que se seleccionaron fueron llevados al Laboratorio de Anatomía de Maderas Tropicales para su análisis, siguiendo la metodología de Cortes Anatómicos de Madera propuesta por Feijoo et al., (2018).

#### **Figura 13**

##### *Selección de individuos para análisis anatómico*



*Nota.* a) Selección de individuos de *Handroanthus chrysanthus* (Jacq.) S.O.Grose. b) Selección de individuos de *Cedrela montana* Moritz ex Turcz. c) Incisión producida en especies de estudio

#### 5.4.1.2. Cortes anatómicos

*a. Toma de muestra.* Para la toma de muestras se realizó un corte transversal en la sección del tallo que presenta la cicatriz por motivo de la incisión producida, se obtuvo una muestra de 20 a 30  $\mu\text{m}$  de ancho utilizando el micrótopo GSL1/WSL (Figura 14a, 14b, 14c).

### Figura 14

*Toma de muestra de individuos seleccionados.*

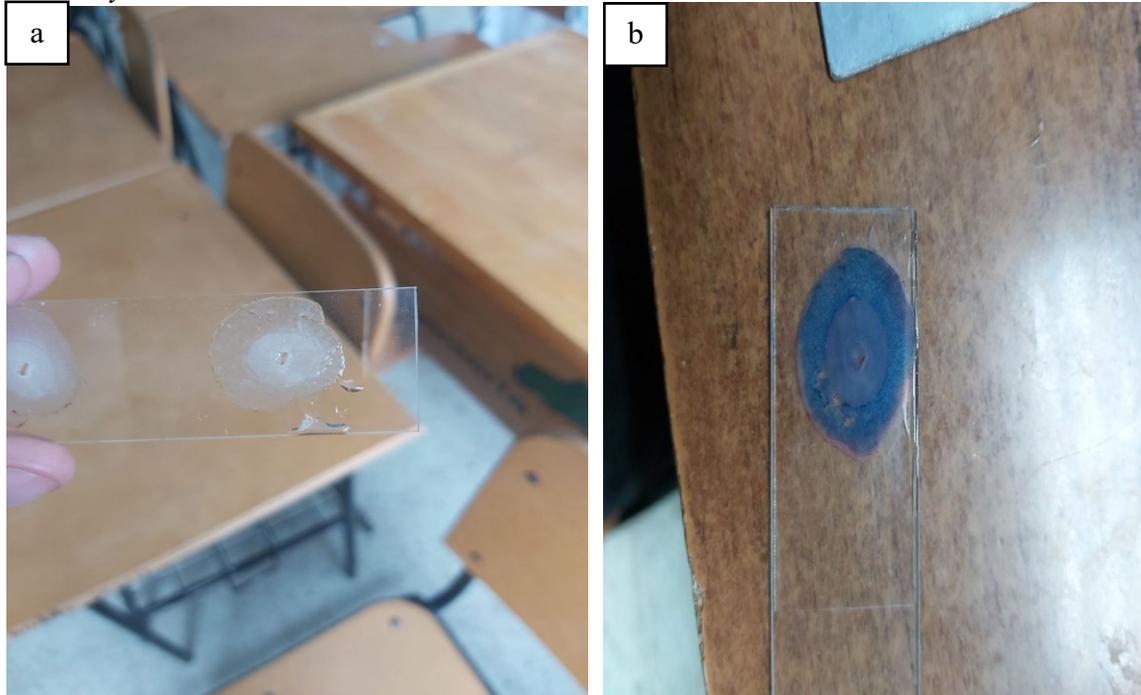


*Nota.* a) Corte transversal de muestra. b) Corte transversal con presencia de cicatriz. c) Obtención de muestra con micrótopo.

**b. Tinción y sellado de muestras.** Los cortes ya obtenidos se llevaron a un portaobjetos, a cada corte se le agregó una combinación de Astra blue y Safranina con un reposo de 10 minutos, una vez transcurrido el tiempo se procedió a lavar las muestras con ayuda de una pipeta utilizando alcohol con tres diferentes concentraciones (50%, 75%, 96%), ya lavada la muestra se utilizó una gota de bálsamo de Canadá con la finalidad de conservar la muestra, finalmente se utilizó un cubreobjetos para sellar completamente la muestra (Figura 15a, 15b).

**Figura 15**

*Tinción y sellado de muestras*

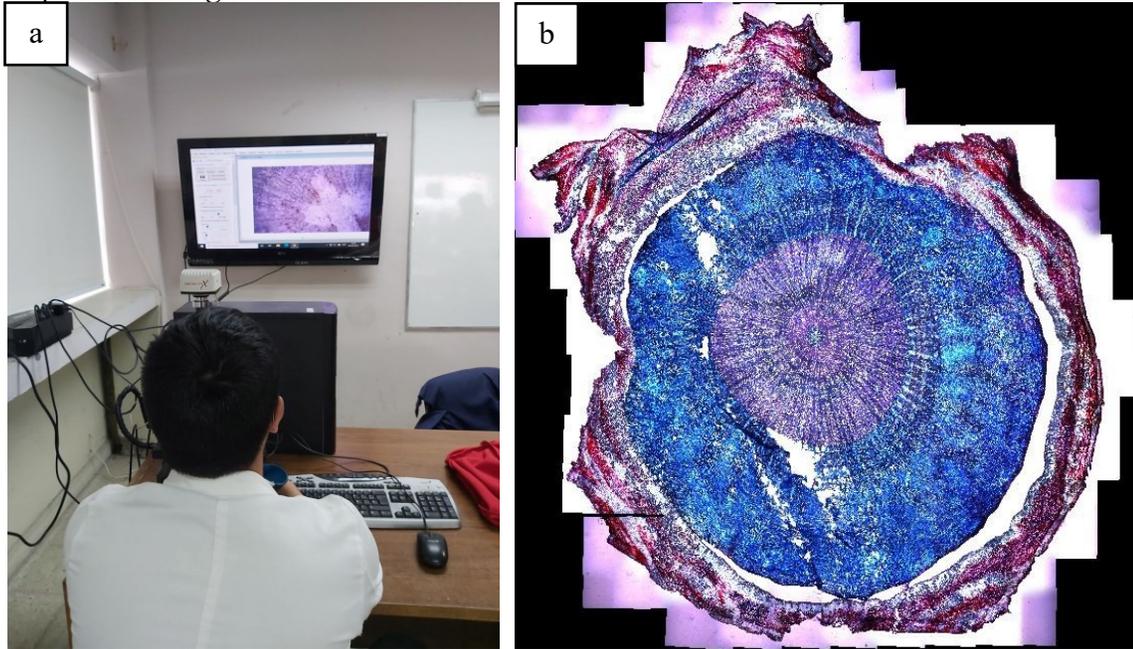


*Nota.* a) Corte obtenido en portaobjetos. b) Tinción y sellado de la muestra

**c. Fotografías.** Con los cortes ya sellados, y con ayuda del microscopio Olympus BX41TF y el software Infinity Analyze v5 se llevó a cabo capturas a imagen completa de las muestras (Figura 16a, 16b).

**Figura 16**

*Captura de imágenes*



*Nota.* a) Capturas de imagen de la muestra. b) Muestra completa

#### **5.4.2. Identificación de anillos de crecimiento**

Ya obtenida la información a través de imágenes generadas con el microscopio OlympusBX41TF y el software Infinity Analyze v 5 con una escala de 2 400  $\mu\text{m}$ , se procesó de manera detallada cada sección transversal (imágenes digitales) con el software Photoshop, con la finalidad de complementar detalles como: tamaño, eliminación de fondo de imagen, y fijación de escala (Figura 17a, 17b y Anexo 6 para procedimiento detallado). Una vez realizado el arreglo digital en el software Photoshop, se identificó el patrón de anillos en los cortes anatómicos basado en las variaciones de color, bandas de parénquima y bandas de fibras.

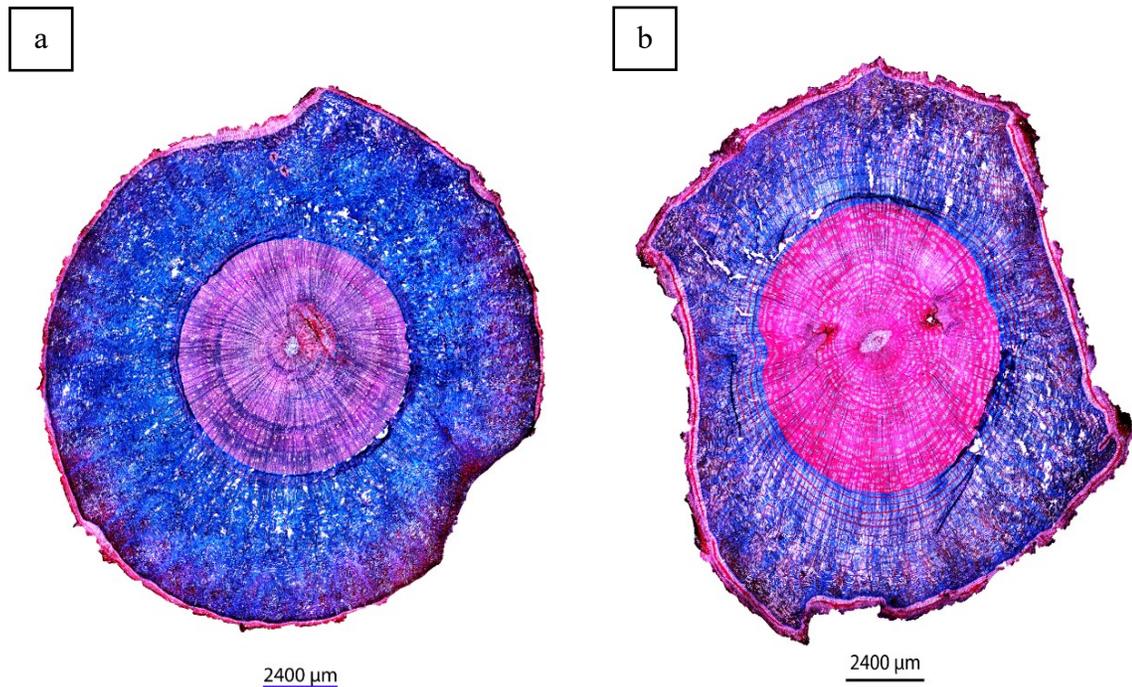
Se identificaron dos tipos de anillos, los verdaderos o completos, y los falsos o incompletos. Para definir un anillo verdadero se verificó que el anillo sea continuo y completo a través de toda la circunferencia del corte transversal. Mientras que los anillos

que fueron discontinuos y solo en ciertas secciones del corte transversal se consideraron como anillos falsos o incompletos (Figura 19c)

Adicional a esto, se identificó y trazó la médula, incisión producida por el bisturí, xilema y corteza, a través de software para análisis de bio – imágenes ICY. Por medio de ICY y Photoshop se realizó el análisis digital de los individuos concernientes a todos los tratamientos de las especies tratadas (Figura 18a, 18b y Anexo 7 para procedimiento detallado).

### Figura 17

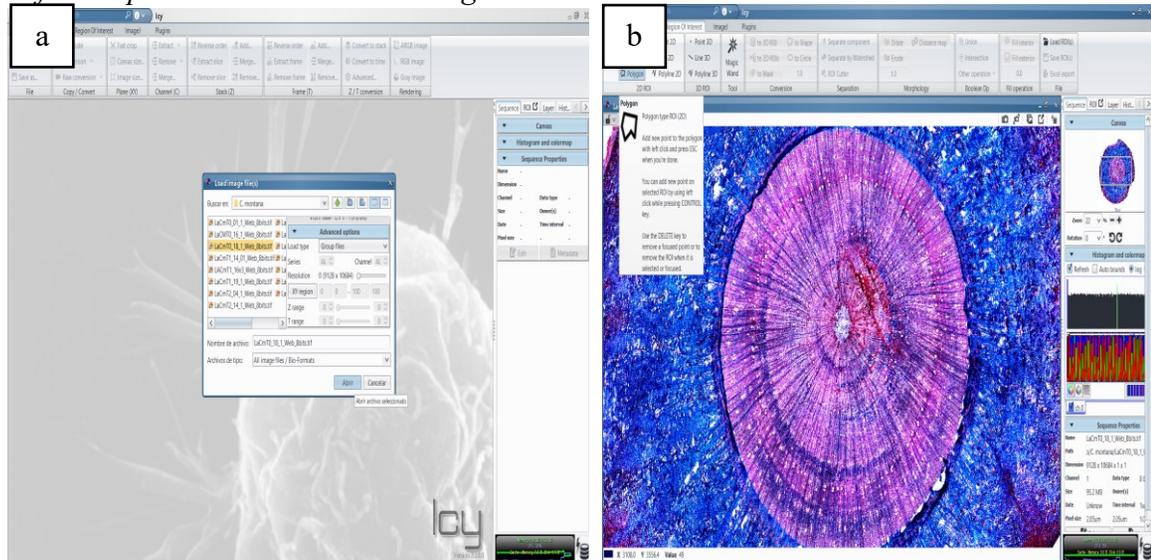
*Procesamiento de imágenes en el software Photoshop para eliminación de fondo e inserción de escala*



*Nota. a) Cedrela montana. b) Handroanthus chrysanthus*

Figura 18

Software para análisis de bio – imágenes ICY

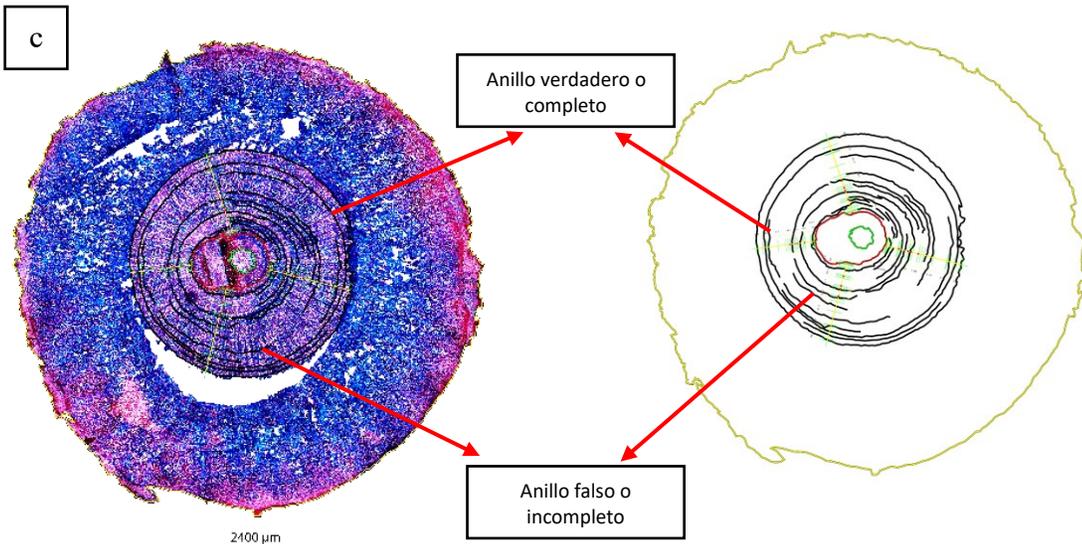
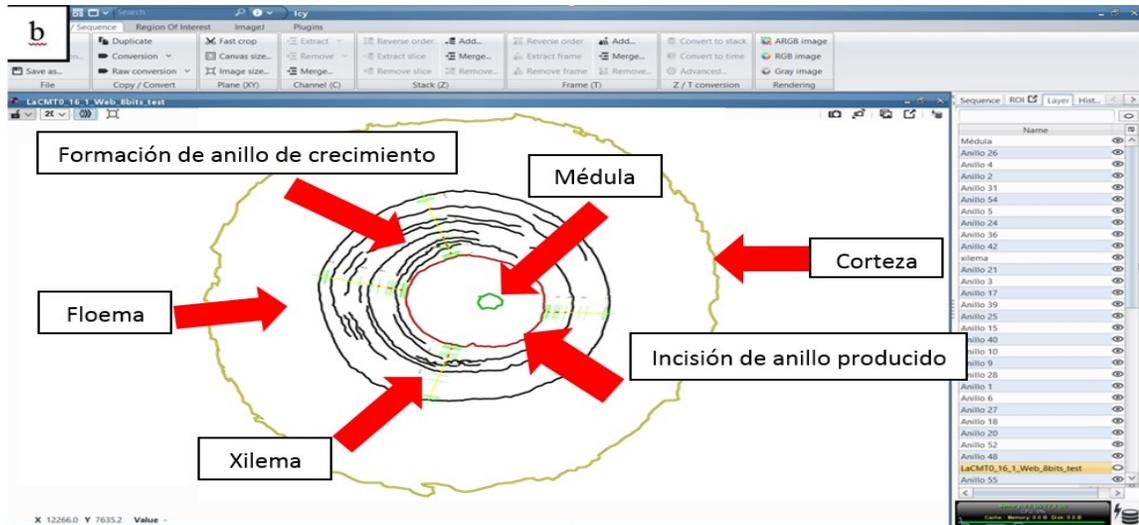
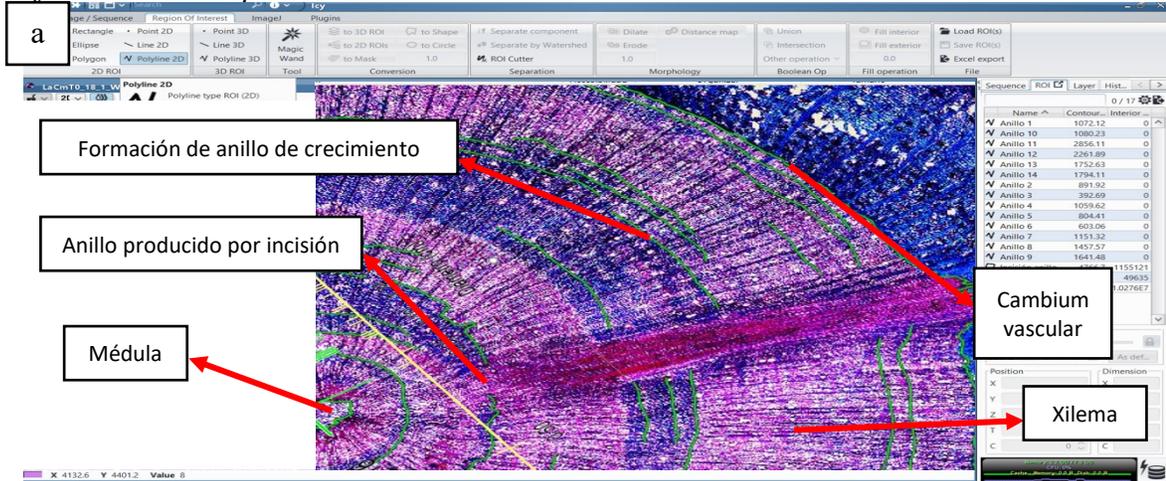


Nota. a) Apertura de Software ICY y elección de individuo. b) Individuo seleccionado para identificación de anillos.

Una vez abierta la imagen en el programa se realizó la separación en diferentes partes de la muestra utilizada para el análisis digital de formación de anillos. A través de funciones tales como: *polygon*, *polyline 2D*, dispuestas en el apartado de *Region of Interest*, se hizo la separación de la médula, anillo formado por la incisión con bisturí realizada ocho meses después de la iniciación del proyecto, xilema y corteza, para finalmente empezar con la diferenciación de formación de anillos falsos o verdaderos ocasionados por el estrés hídrico al que fueron sometidos todos los tratamientos, ubicados entre el anillo formado por la incisión y el xilema (Figura 19a, 19b, 19c).

Figura 19

Diferenciación de partes de muestra anatómica



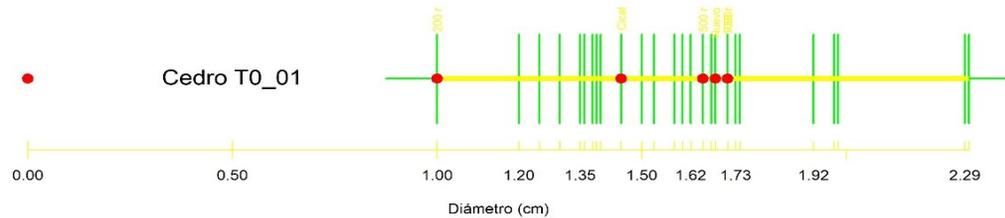
*Nota.* a) Trazo individual de diferentes partes de muestra para identificación de anillos de crecimiento. b) Identificación de médula, xilema, corteza y anillos de crecimiento. c) Identificación de anillos de crecimientos verdaderos o completos y falsos o incompletos

Una vez obtenida la información creada en la identificación de anillos de crecimiento de manera digital, se procedió a realizar en el entorno estadístico RStudio una representación gráfica del incremento corriente quincenal de la variable de diámetro de todos los tratamientos (Figura 20, y script detallado en Anexo 5). Esto, con la finalidad de comparar el desarrollo de diámetro con los puntos de estrés (formación de anillos verdaderos o falsos que se encuentran entre el xilema y anillo formado por incisión) que presentan los individuos de forma anatómica (Figura 21a, 21b y Anexo 5 para detalle específico del procedimiento).

Para evaluar el impacto del estrés hídrico en la formación de anillos de crecimiento en las especies de estudio se utilizó cortes anatómicos en plano transversal e información proporcionada por gráficas de segmentos del incremento corriente quincenal que presentó cada individuo a lo largo del proyecto con relación al desarrollo de diámetro. El impacto del estrés hídrico en la formación de anillos de crecimiento se mide en relación a la sincronía que presenta la formación de anillos y el incremento corriente quincenal, es decir, a la concordancia o coincidencia que existe gráficamente entre el anillo formado y el incremento corriente quincenal de diámetro. El análisis de relación entre la formación de anillos de crecimiento y estrés hídrico se realizó a los ocho meses de iniciación del proyecto (incisión producida por bisturí) hasta final del mismo.

## Figura 20

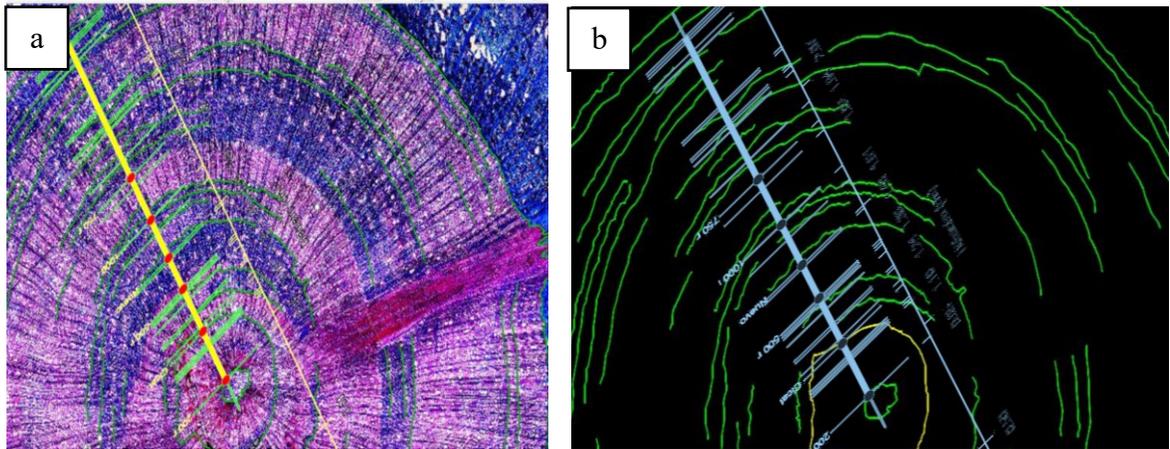
*Esquema del incremento corriente quincenal de diámetro*



*Nota.* Las líneas verticales verdes muestran el valor del incremento diamétrico por cada medición quincenal. Los puntos rojos indican eventos importantes desde que se inició el experimento. El tercer punto rojo izquierdo es cuando se hizo la incisión, y los demás puntos indican las fases del cambio de riego, cuyos valores se muestran en letras amarillas.

## Figura 21

*Relación entre incremento corriente quincenal de diámetro y formación de anillos de crecimiento*



*Nota.* a) Relación entre incremento corriente de diámetro y formación de anillos. b) Diferenciación y comparación entre formación de anillos de crecimiento identificados e incremento corriente de diámetro

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Cambios morfológicos en *Cedrela montana* Moritz ex Turcz y *Handroanthus chrysanthus* (Jacq.) S.O.Grose

#### 6.1.1. Cambios morfológicos temporales en *Cedrela montana* Moritz ex Turcz

El crecimiento acumulado e incremento corriente quincenal de *Cedrela montana* mostró una tendencia similar entre todos los tratamientos en cada una de sus variables dasométricas y ecológicas durante los 24 meses de investigación (Figura 23). Cabe recalcar que el comportamiento y tendencia del Testigo (T0) no se diferenció de los demás tratamientos con estrés hídrico (T1, T2, T3, T4), ni tuvo diferencias significativas (Figura 24).

#### *Testigo*

Los individuos del Testigo o Control (T0= Riego constante, Figura 22T0) en el tiempo transcurrido de 24 meses de proyecto presentaron un crecimiento acumulado estable en relación con las variables dasométricas (diámetro y altura) y ecológicas (número de hojas caída, nacidas y totales, estado fitosanitario). El incremento corriente quincenal fue similar en todos los individuos.

#### *Tratamiento 1*

Las plantas del tratamiento uno (T1= Riego + estrés hídrico moderado, Figura 22T1), presentaron un desarrollo estable, el estrés hídrico moderado aplicado para este tratamiento afectó a variables ecológicas de forma leve en la etapa uno (01 de abril – 24 de septiembre de 2019). El desarrollo de las plantas no presentó un crecimiento considerable, sino hasta después del intervalo de la pandemia. En la etapa tres (08 de julio del 2020 – 24 de febrero del 2021) las plantas presentaron un considerable crecimiento al subir la

temperatura y riego en el nuevo invernadero. Aunque los individuos de este tratamiento tuvieron temporadas de estrés hídrico moderado, no mostraron respuesta negativa con relación al desarrollo de las variables morfológicas.

### ***Tratamiento 2***

El desarrollo de variables dasométricas en la etapa uno y etapa dos (25 de septiembre del 2019 – 07 de julio del 2020) del tratamiento dos (T2= Riego + estrés hídrico severo, Figura 22T2) mostraron un comportamiento constante. El desarrollo de este tratamiento fue similar al tratamiento uno. El cambio de invernadero y el incremento de riego en la etapa tres tuvieron una repercusión significativa en el desarrollo de los individuos. El crecimiento de las plantas después de condiciones de estrés severo en la etapa tres no se vio afectado, mostrando un desarrollo creciente.

### ***Tratamiento 3***

El tratamiento tres (T3; Riego + estrés hídrico moderado + fertilizante, Figura 22T3) presentó individuos con desarrollo estable durante la etapa uno, a excepción del estado fitosanitario de las plantas, que tuvo afectaciones de forma constante, mostrando un comportamiento regular durante el transcurso del proyecto. Al igual que los tratamientos uno y dos; los individuos del tratamiento tres tuvieron un desarrollo emergente en la etapa tres, a pesar de tener periodos de estrés hídrico.

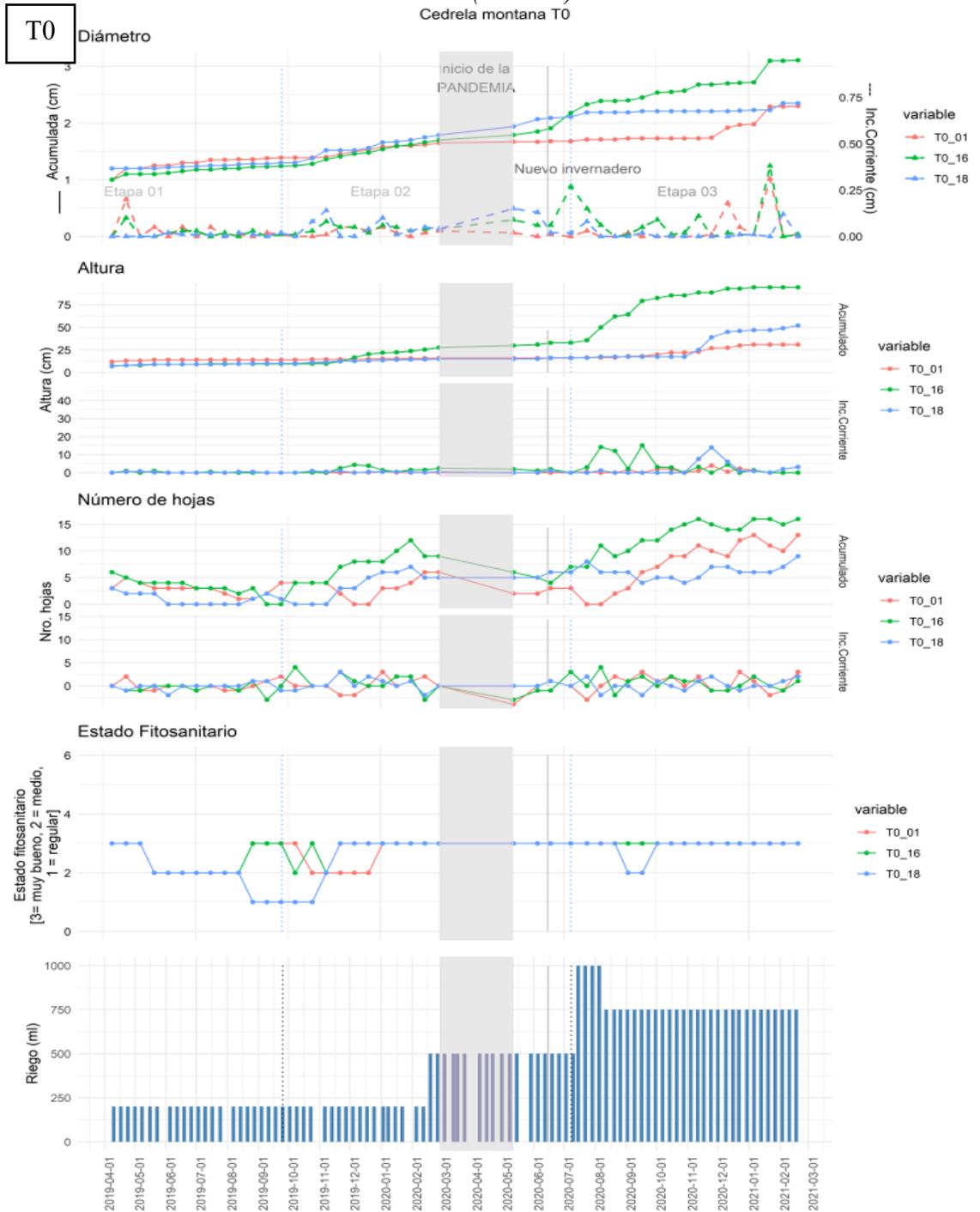
### ***Tratamiento 4***

Los individuos del tratamiento cuatro (T4; Riego + estrés hídrico severo + fertilizante, Figura 22T4) mostraron un comportamiento casi idéntico en el desarrollo de diámetro. El incremento corriente quincenal de esta variable presentó un mismo ritmo. El

desarrollo de variables dasométricas de este tratamiento se asemeja a los tratamientos uno, dos y tres.

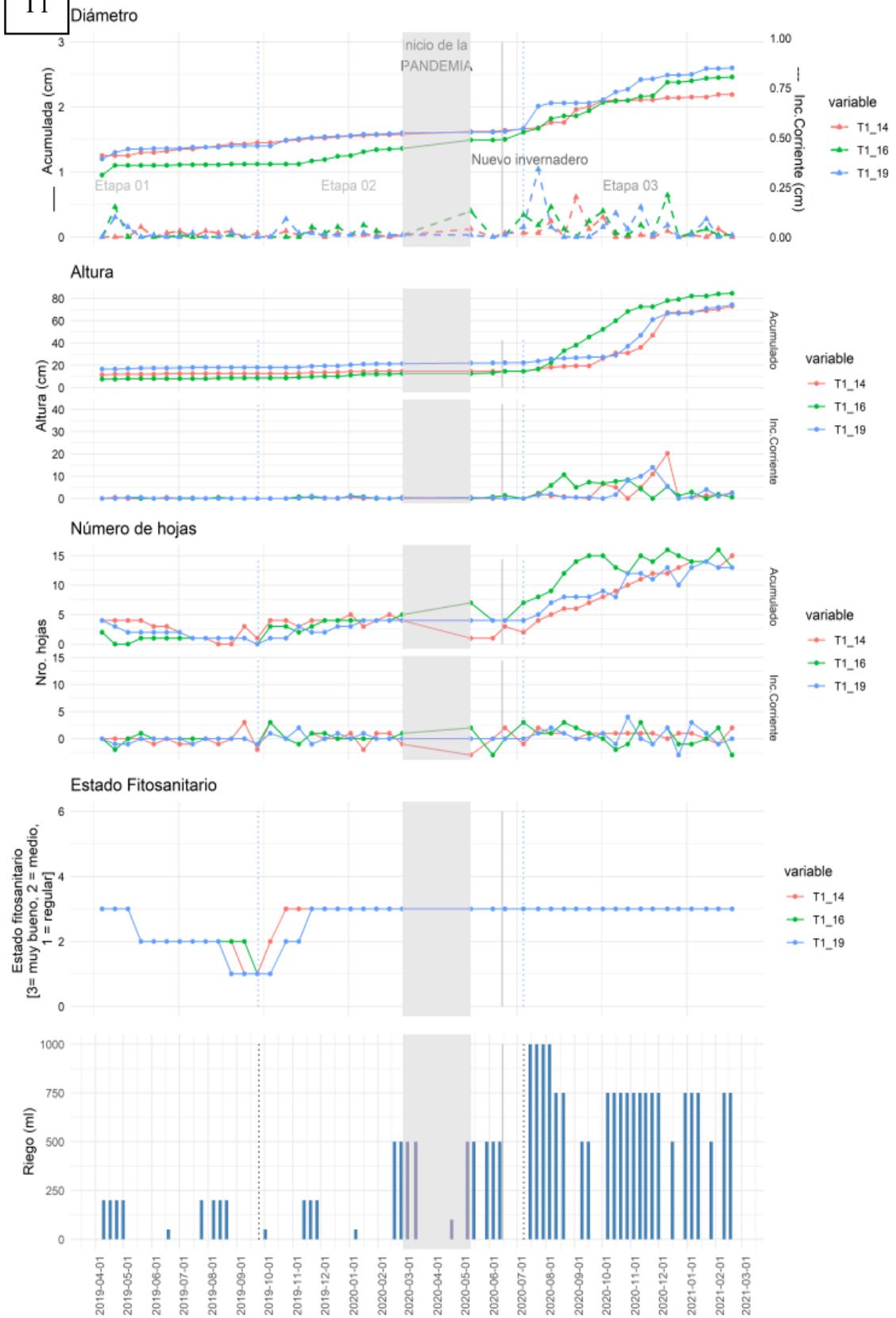
**Figura 22**

*Desarrollo quincenal de las variables morfológicas entre individuos de Cedrela montana Moritz ex Turcz en todos sus tratamientos (T0 a T4) durante 24 meses*



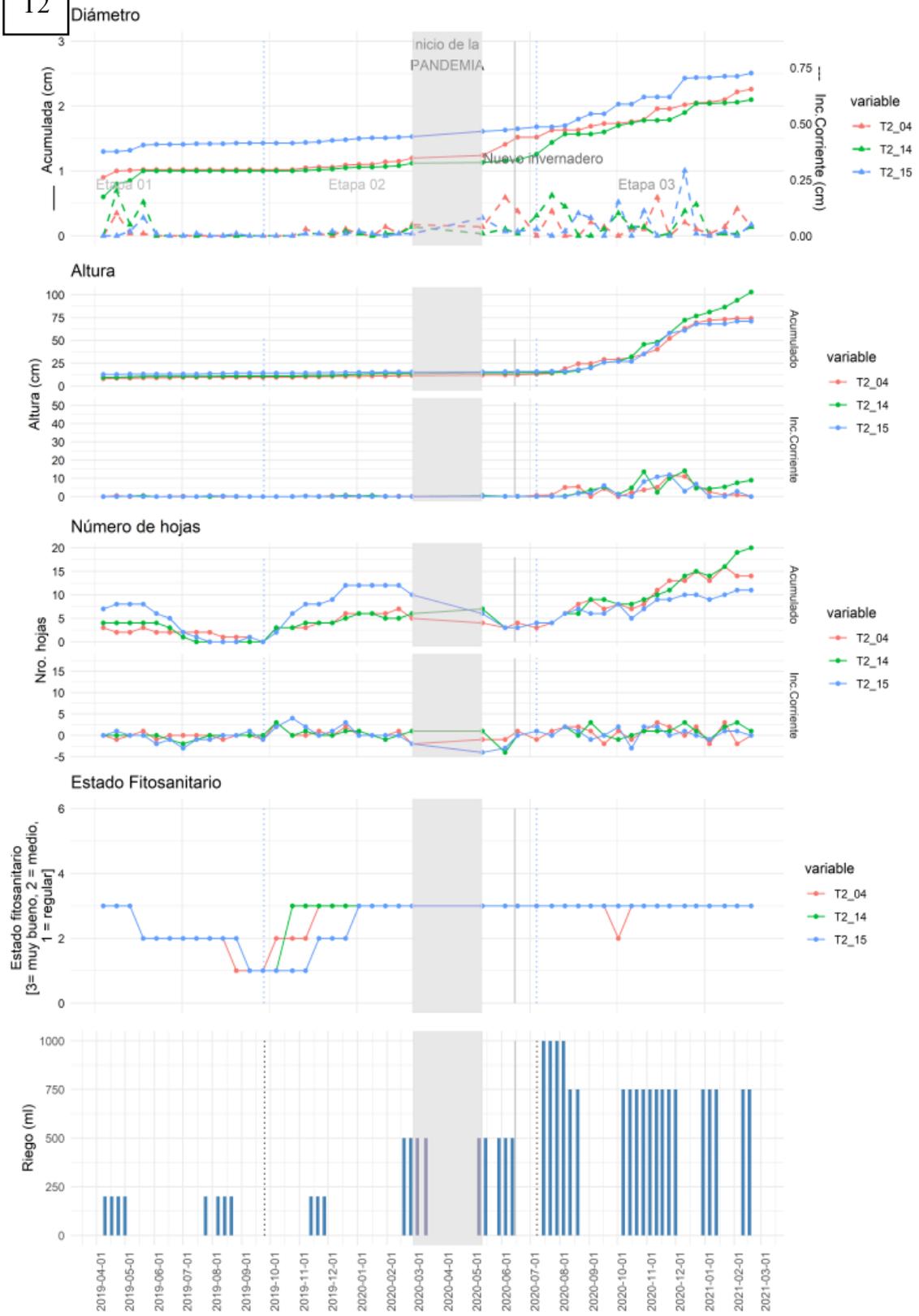
T1

Cedrela montana T1



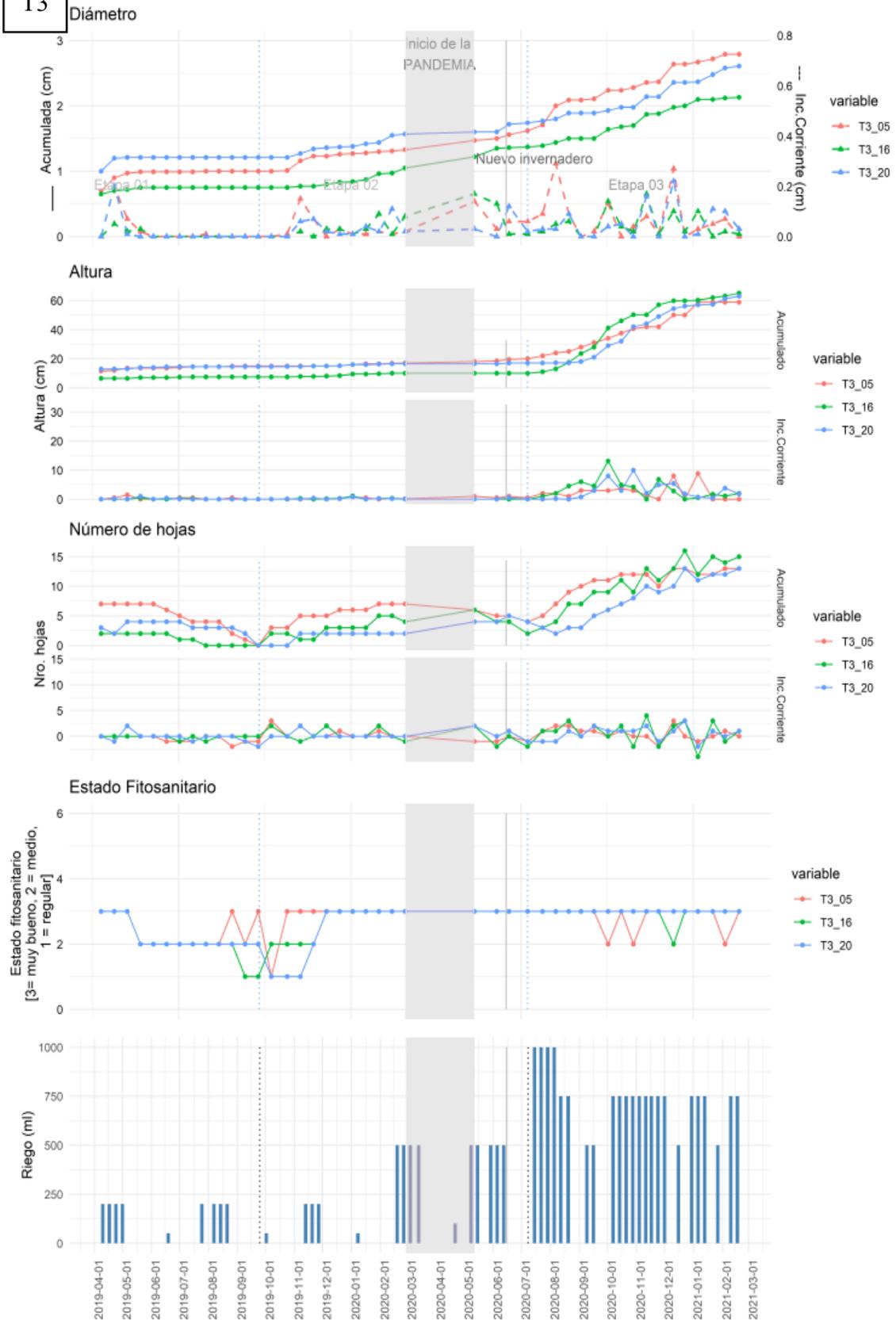
T2

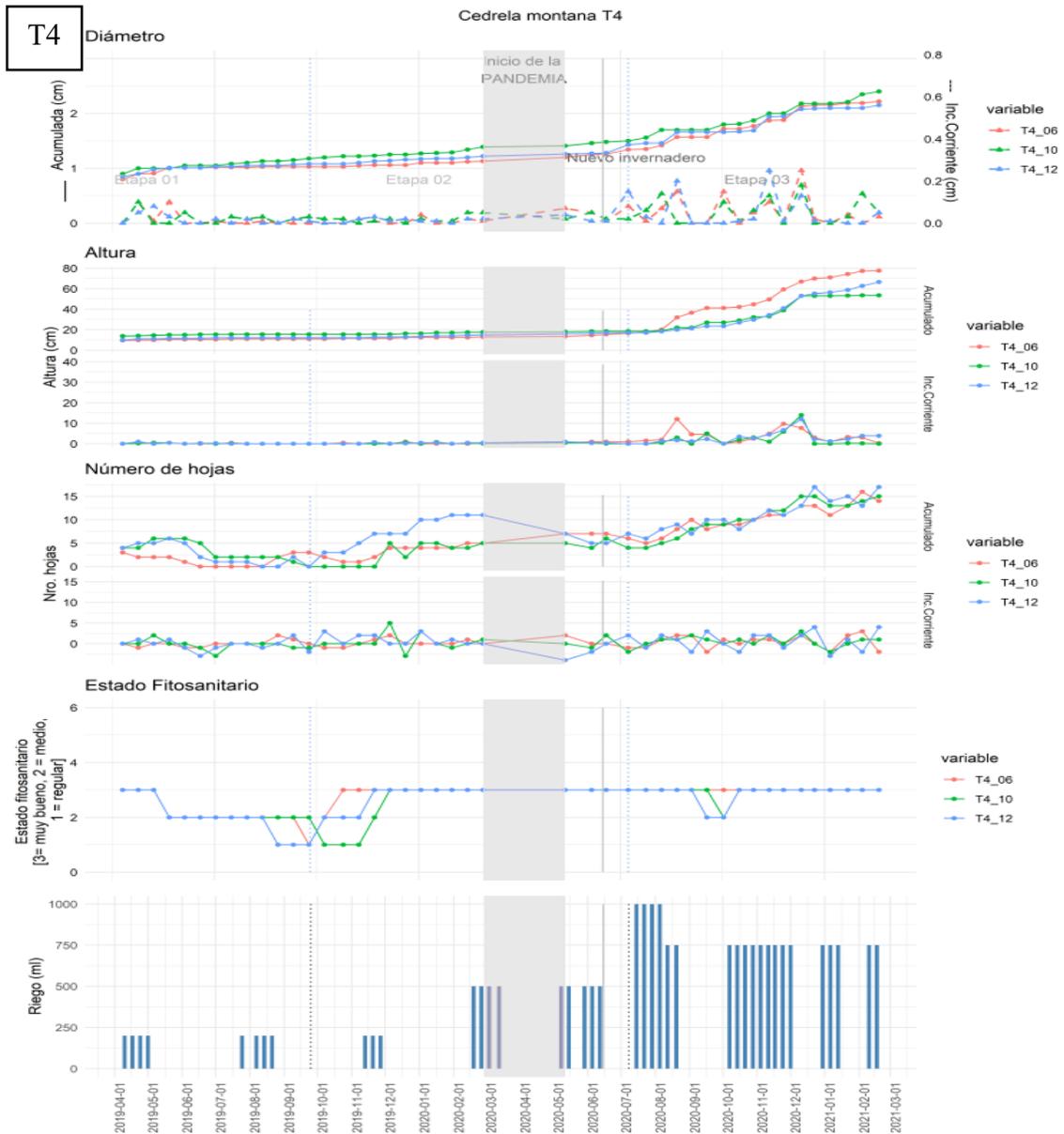
Cedrela montana T2



T3

### Cedrela montana T3



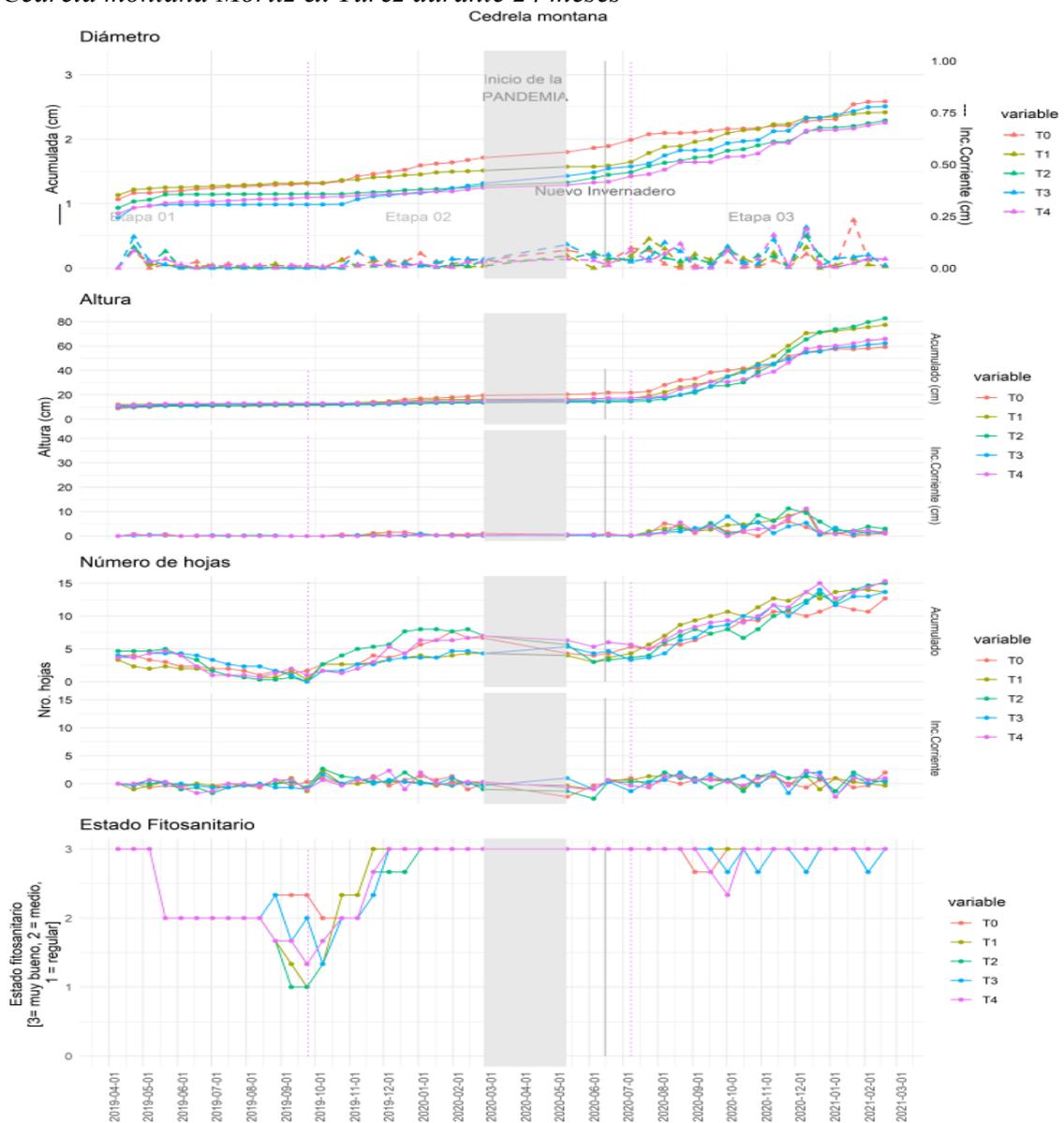


*Nota.* Desarrollo temporal de las variables morfológicas y ecológicas (altura, diámetro, número de hojas, estado fitosanitario) de *Cedrela montana* durante 24 meses de monitoreo. Nótese que, en cada sección del diámetro, altura y número de hojas se muestra el incremento acumulado en las series temporales superiores, y el incremento corriente en las series temporales inferiores. Esta figura está separada en cinco literales, uno por página, que muestra los resultados del: T0 = riego constante, b) T1 = estrés hídrico moderado, c)

T2 = estrés hídrico severo, d) T3 = estrés hídrico moderado + fertilizante y e) T4 = estrés hídrico severo + fertilizante. Los individuos concernientes a cada tratamiento están diferenciados por diferentes colores. El estado fitosanitario está representado por medio de una escala diferenciada por colores: 3 = bueno, 2 = regular, 1 = malo. Finalmente, los periodos de riego y estrés hídrico se muestran en el gráfico de barras.

**Figura 23**

*Desarrollo quincenal promedio de las variables morfológicas entre tratamientos de Cedrela montana Moritz ex Turcz durante 24 meses*



*Nota.* Desarrollo temporal promedio de las variables morfológicas y ecológicas (altura, diámetro, número de hojas, estado fitosanitario) de *Cedrela montana* durante 24 meses de monitoreo. Nótese que, en cada sección del diámetro, altura y número de hojas se muestra el incremento acumulado en las series temporales superiores, y el incremento corriente en las series temporales inferiores. Los individuos concernientes a cada tratamiento están diferenciados por diferentes colores. El estado fitosanitario está representado por medio de una escala diferenciada por colores: 3 = bueno, 2 = regular, 1 = malo.

### ***6.1.2. Diferencias significativas entre tratamientos en Cedrela montana Moritz ex Turcz***

La prueba no paramétrica Kruskal-Wallis, con un nivel de confiabilidad del 95% ( $\alpha = 0,05$ ) mostró leves diferencias significativas en un contexto general en las variables altura (Figura 24a.,  $\alpha = 0,05$ ;  $p\text{-value} = 0,01$ ), diámetro (Figura 24b.,  $\alpha = 0,05$ ;  $p\text{-value} = 0,075$ ) y número de hojas (Figura 24c.,  $\alpha = 0,05$ ;  $p\text{-value} = 0,074$ ).

De manera similar en el análisis pareado entre tratamientos, el test no paramétrico Wilcoxon con un nivel de confianza del 95% y valor p ajustado con la corrección de Bonferroni, representadas gráficamente con barras sobre los tratamientos (|<sup>\*\*\*\*</sup>—|) mostró diferencias solo en la variable altura (Figura 24a).

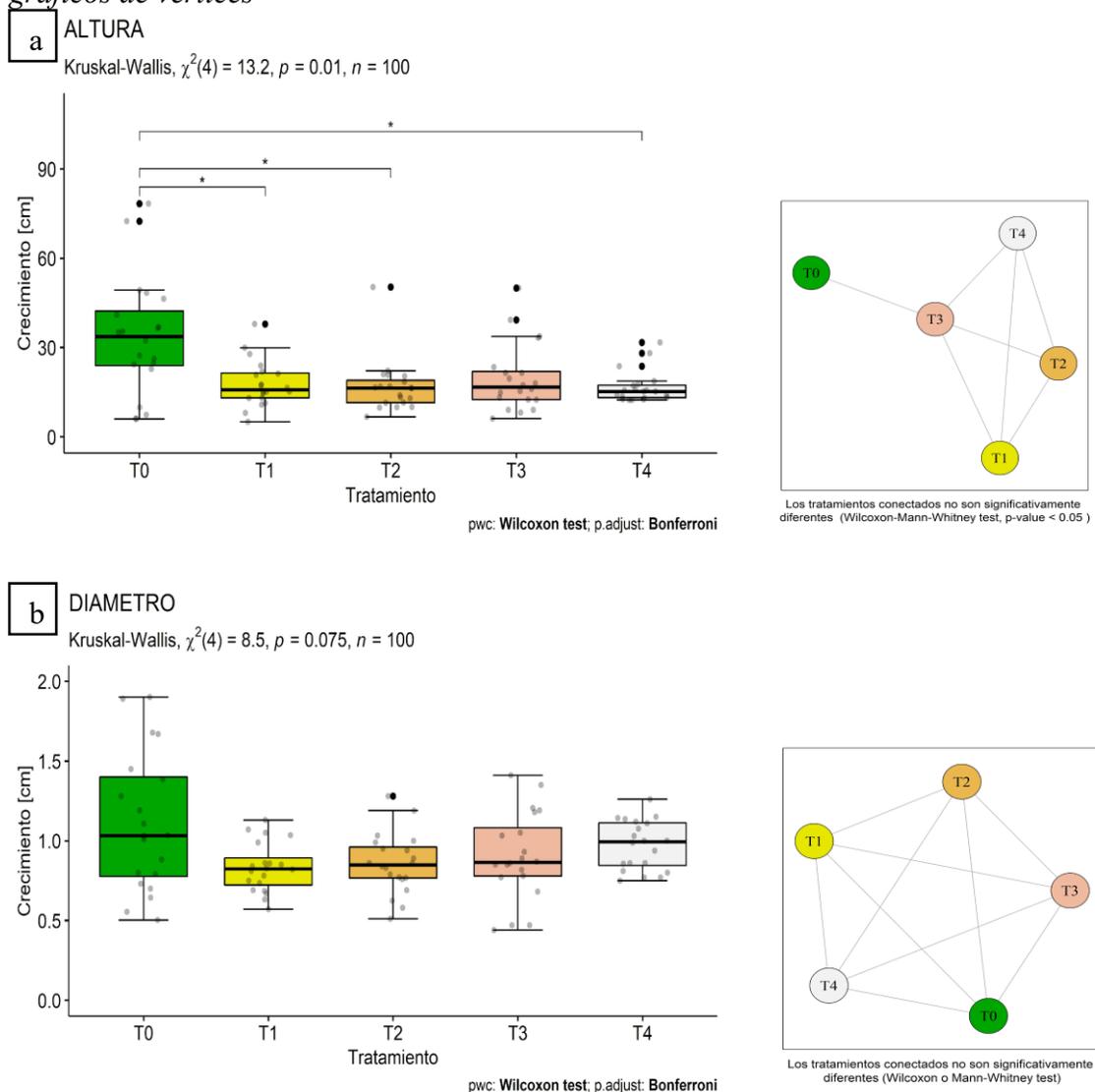
Las diferencias en altura de *Cedrela montana* se dieron solo en el T0 y se mostraron poco considerables (\*). Estas diferencias fueron entre el T0 y los tratamientos T1, T2 y T4 de la siguiente manera: T0 – T1 ( $\alpha = 0,05$ ;  $p\text{-value} = 0,043$ ), T0 – T2 ( $\alpha = 0,05$ ;  $p\text{-value} = 0,026$ ) y T0 – T4 ( $\alpha = 0,05$ ;  $p\text{-value} = 0,026$ ).

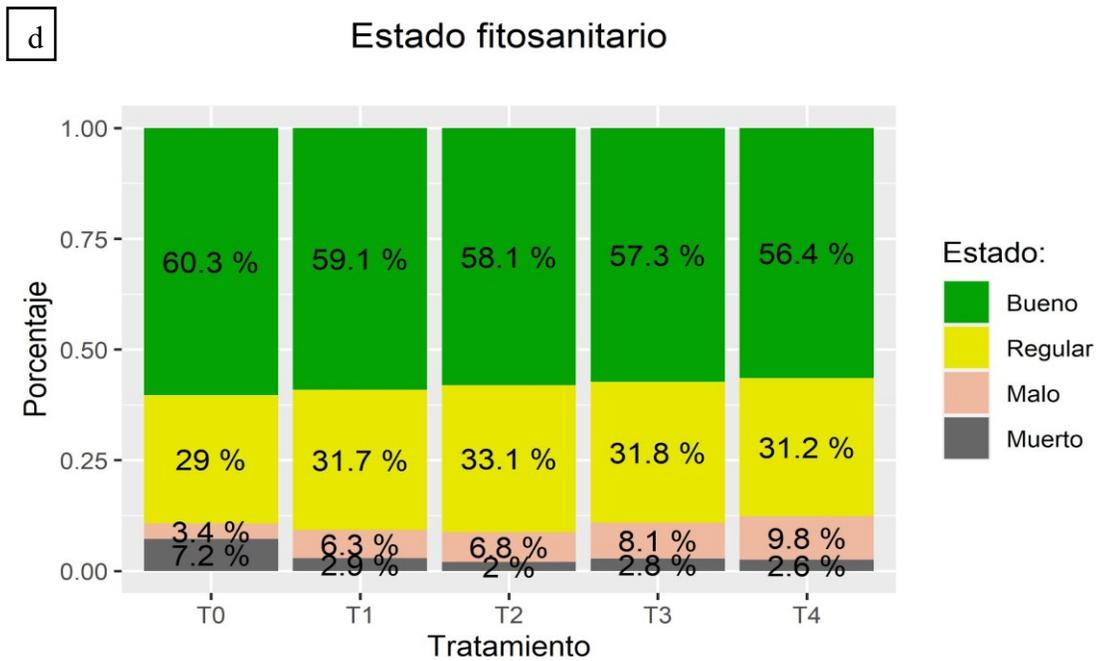
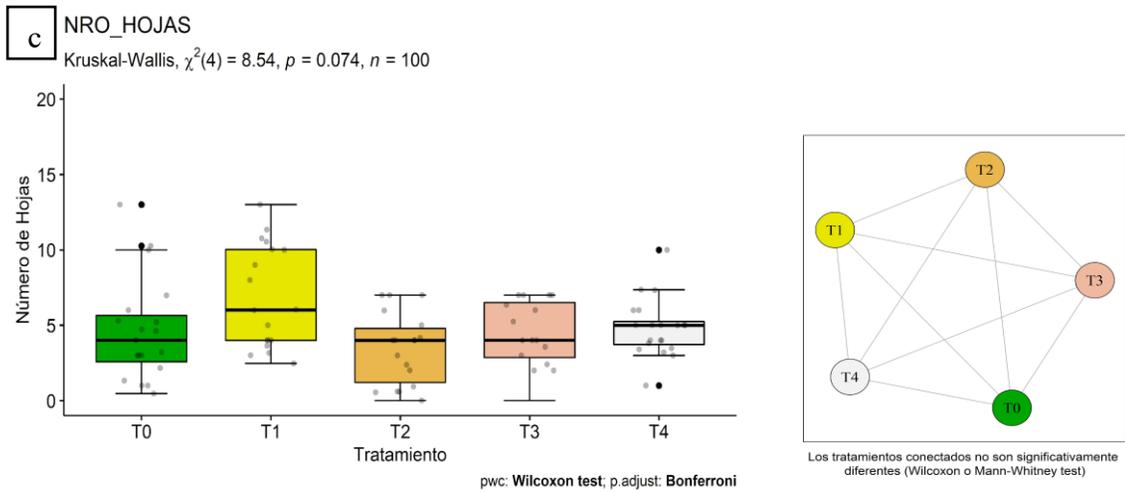
Por su parte, las variables diámetro y número de hojas ( $\alpha = 0,05$ ;  $p\text{-value} > 0,05$ ), no mostraron diferencias significativas entre tratamientos, esto se puede distinguir por la

ausencia de barras sobre los boxplots (Figura 24b y 24c). Adicionalmente, el gráfico de vértices corrobora lo mencionado, mostrando la no existencia de diferencias significativas, ya que todos los vértices estuvieron unidos entre sí (Figura 24a, 24b, 24c). La mortalidad natural reflejada en el estado fitosanitario de *Cedrela montana* fue mínima en todos los tratamientos (Figura 24d).

### Figura 24

*Diferencias significativas de las variables morfológicas entre tratamientos de Cedrela montana durante 24 meses de monitoreo, representados en diagramas de caja (Boxplot) y gráficos de vértices*





*Nota.* Para la altura, diámetro y número de hojas se aplicó el test no paramétrico de Kruskal – Wallis y el test pareado de Wilcoxon con corrección de Bonferroni para determinar la existencia de diferencias significativas entre tratamientos. El gráfico de vértices muestra que los tratamientos que están conectados no son significativamente diferentes. a) Altura, b) Diámetro, c) Número de hojas y d) Estado fitosanitario.

### **6.1.3. Cambios morfológicos temporales en *Handroanthus chrysanthus* (Jacq.)**

#### ***S.O.Grose***

*Handroanthus chrysanthus* mostró diferencias del crecimiento acumulado e incremento corriente quincenal entre los tratamientos sometidos a estrés hídrico (T1, T2, T3, T4) y el Testigo (T0) en relación con las variables dasométricas y ecológicas tratadas en este estudio (Figura 26). El desarrollo y comportamiento que mostraron los tratamientos con estrés hídrico moderado y severo se diferenciaron significativamente al Testigo (Figura 27).

#### ***Testigo***

Las plantas del Testigo (T0= Riego constante, Figura 25T0) en las curvas temporales acumuladas mostraron un desarrollo continuo en las variables dasométricas (diámetro y altura) y variables ecológicas (estado fitosanitario y número de hojas) en las etapas uno (01 de abril 2019 – 24 de septiembre de 2019) y dos (25 de septiembre del 2019 – 07 de julio del 2020). En la etapa tres (08 de julio de 2020 – 24 de febrero del 2021) después de la pandemia, el número de hojas presentó un leve decaimiento, pero con un desarrollo creciente en relación con las variables dasométricas al mismo tiempo que se dio un aumento en la cantidad de riego y temperatura por cambio de invernadero. Por su parte el incremento corriente quincenal mostró un comportamiento similar entre todos los individuos.

#### ***Tratamiento 1***

Los individuos del tratamiento uno (T1= Riego + estrés hídrico moderado, Figura 25T1) mostraron diferencias entre ellos con un desarrollo constante y poco crecimiento en las etapas uno y dos. Solo la altura mostró un crecimiento visible a principios de la etapa

dos, el estado fitosanitario disminuyó considerablemente a mediados de la etapa dos. A principios de la etapa tres, la sobrevivencia de los individuos del T1 fue severamente afectada con una mortalidad natural total en septiembre 2020. Por lo tanto, al final de esta etapa no hubo individuos para la evaluación de esta investigación (periodo febrero 2021).

### ***Tratamiento 2***

El tratamiento dos (T2= Riego + estrés hídrico severo, Figura 25T2) mostró un comportamiento similar al tratamiento uno. Las plantas tuvieron desarrollo diferente entre ellas, su crecimiento fue lento y pasivo. El estado fitosanitario se vio afectado a lo largo del proyecto. A principios de la etapa tres los individuos del T2 presentaron una mortalidad natural total.

### ***Tratamiento 3***

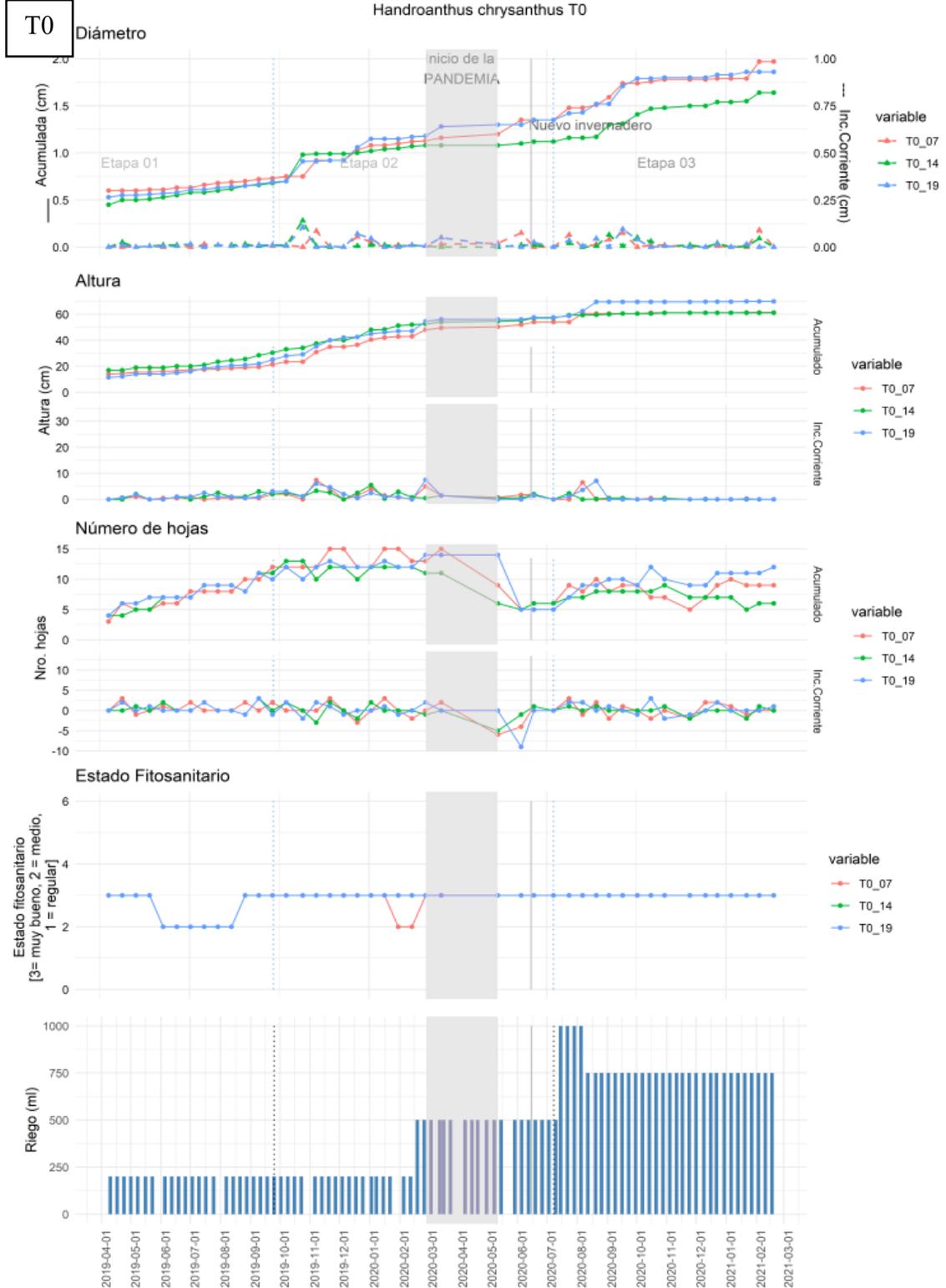
El tratamiento tres (T3= Riego + estrés hídrico moderado + fertilizante, Figura 25T3) al igual que los tratamientos uno y dos presentó individuos con desarrollo pasivo en las etapas uno y dos, aunque es preciso señalar que a finales de la etapa dos y principios de la etapa tres la altura y diámetro mostraron un desarrollo visible. La mortalidad natural de las plantas en la etapa tres fue total.

### ***Tratamiento 4***

Los individuos del tratamiento cuatro (T4= Riego + estrés hídrico severo + fertilizante, Figura 25T4) presentaron un crecimiento estable y pausado a excepción del estado fitosanitario, que tuvo un comportamiento regular a lo largo del monitoreo. Aunque los individuos de este tratamiento mostraron una conducta emergente al principio de la etapa tres, la sobrevivencia no fue óptima, a tal punto, que al igual que los tratamientos uno, dos y tres, las plantas tuvieron una mortalidad natural total.

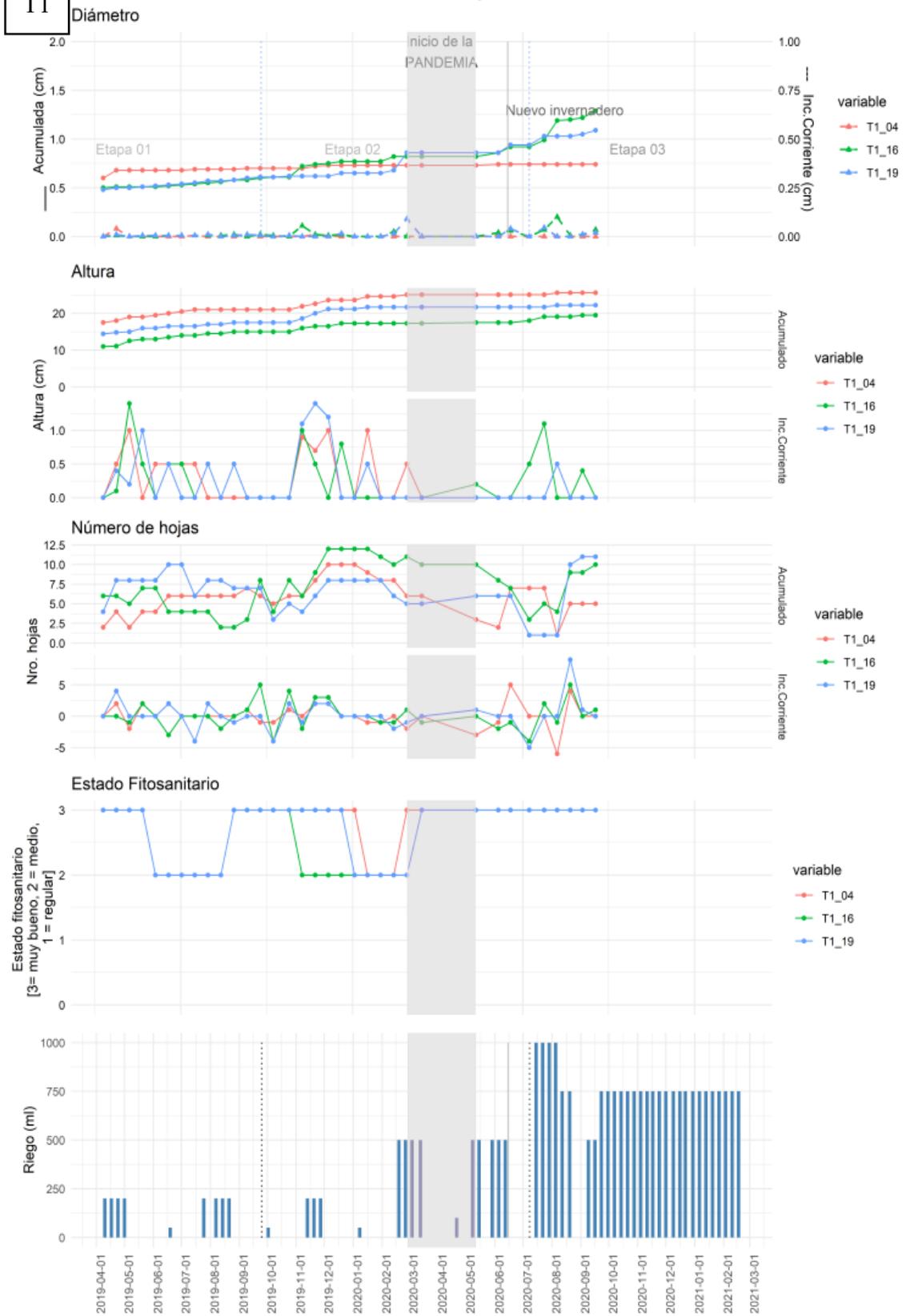
**Figura 25**

*Desarrollo quincenal de las variables morfológicas entre individuos de *Handroanthus chrysanthus* (Jacq.) S.O.Grose en todos sus tratamientos (T0 a T4) durante 24 meses*



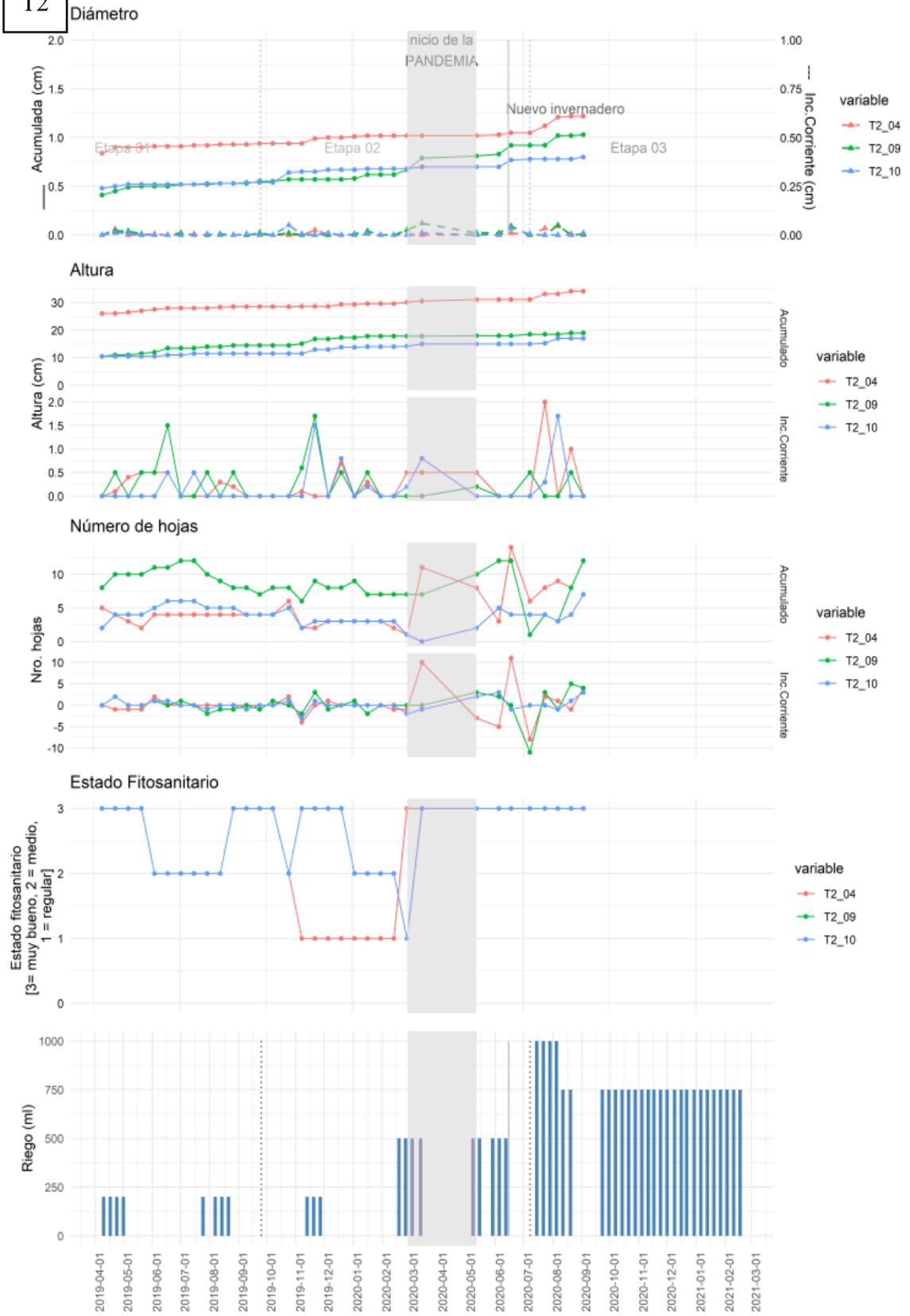
T1

### Handroanthus chrysanthus T1



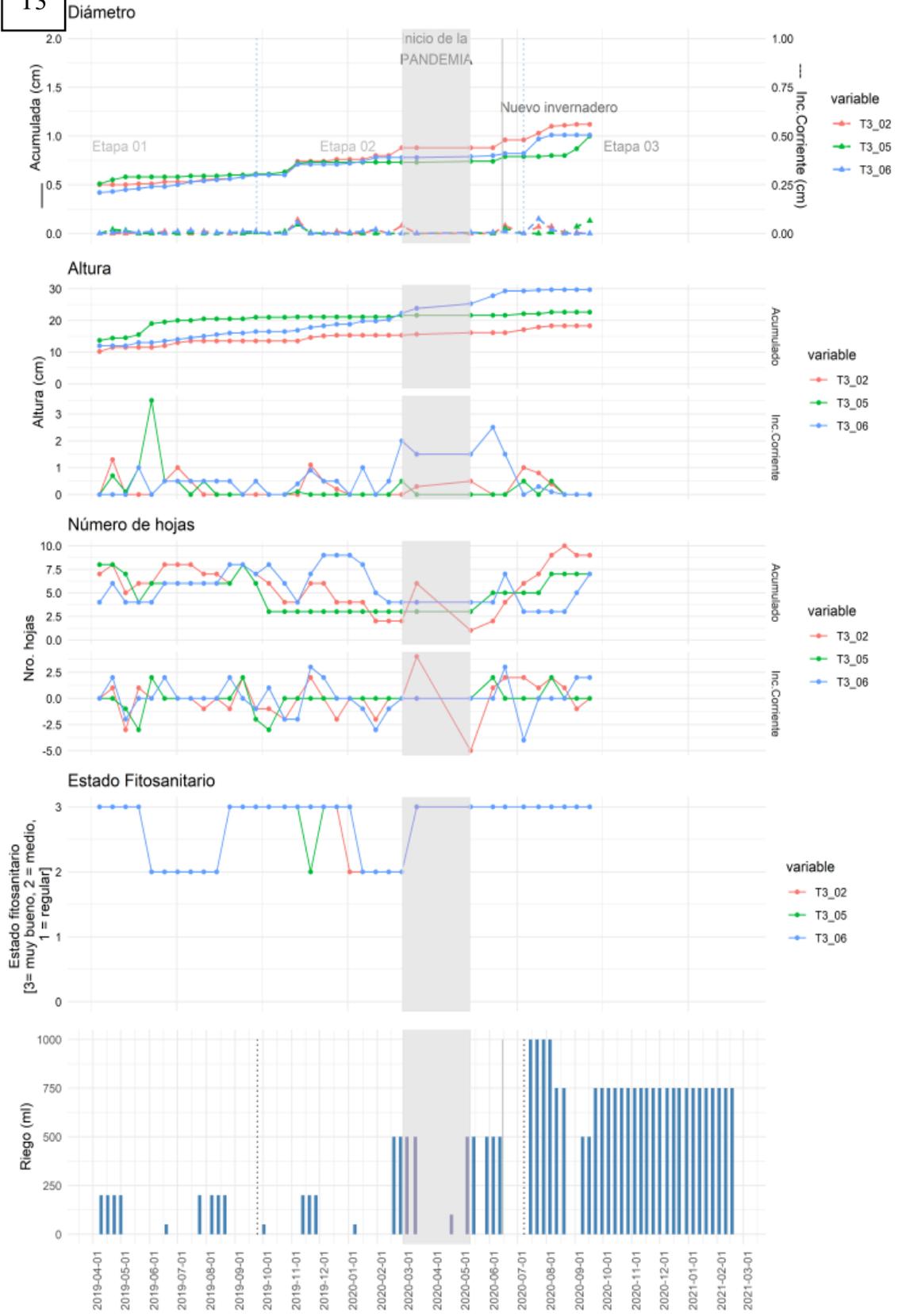
T2

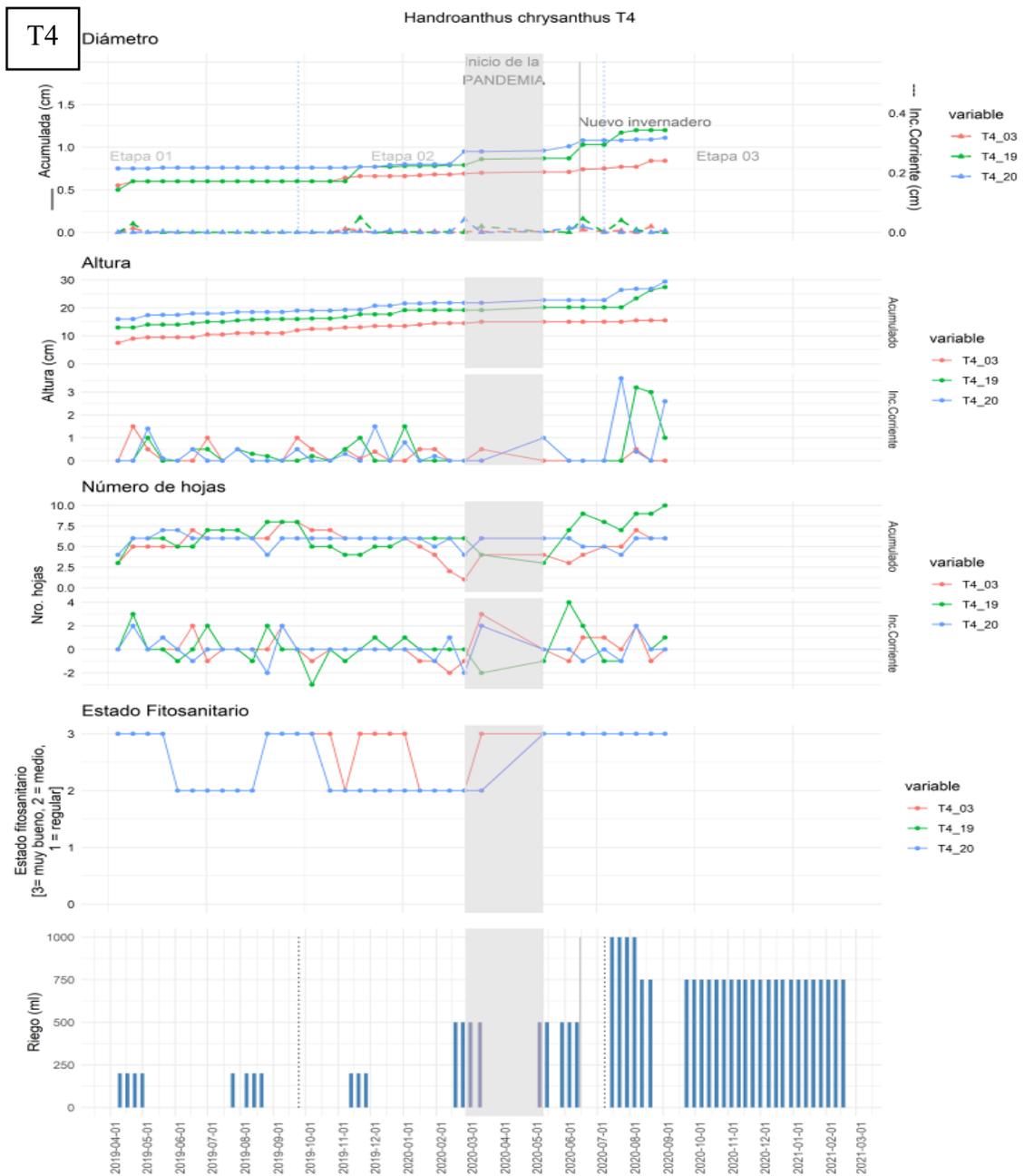
Handroanthus chrysanthus T2



T3

### Handroanthus chrysanthus T3



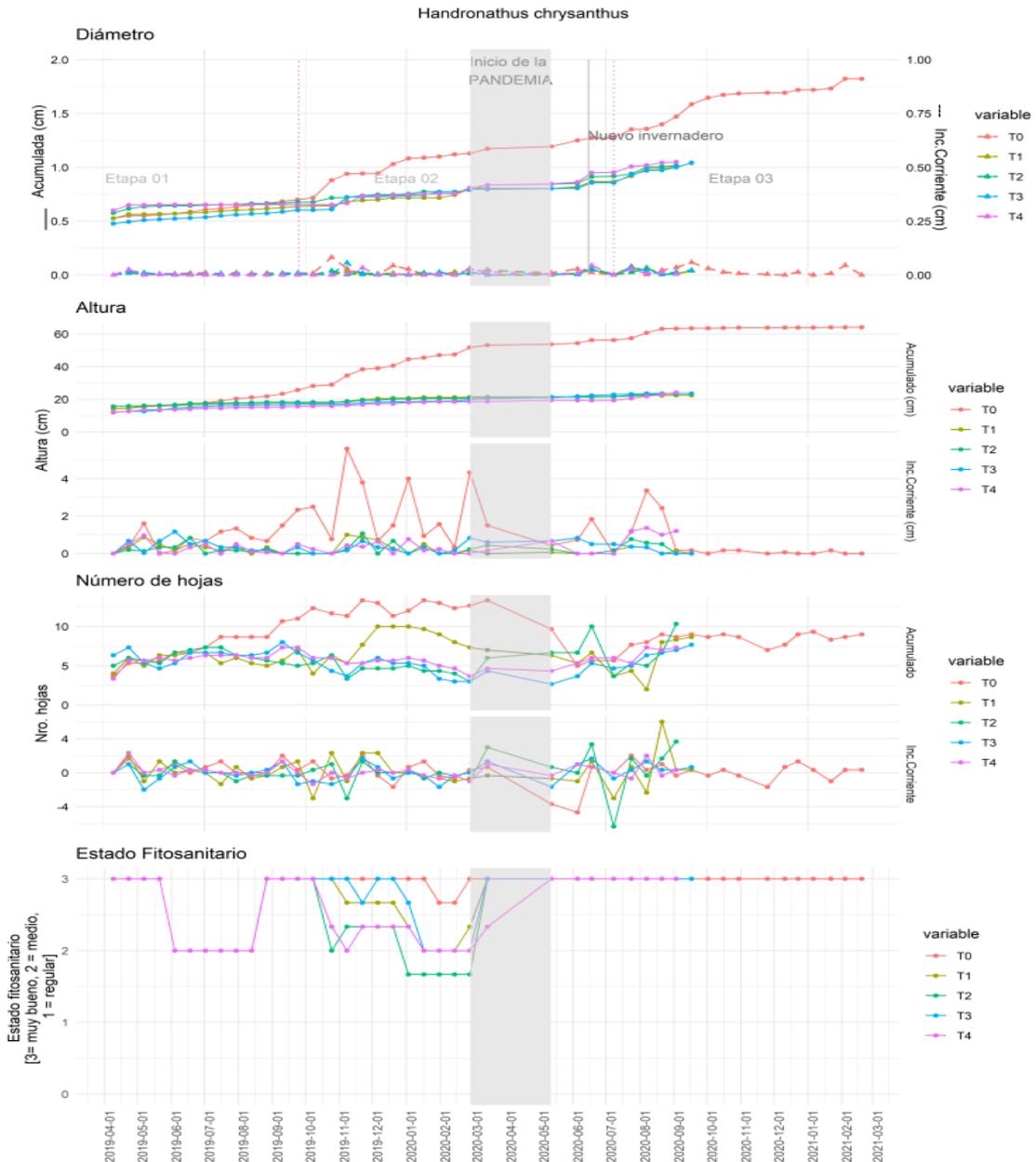


*Nota.* Desarrollo temporal de las variables morfológicas y ecológicas (altura, diámetro, número de hojas, estado fitosanitario) de *Handroanthus chrysanthus* durante 24 meses de monitoreo. Nótese que, en cada sección del diámetro, altura y número de hojas se muestra el incremento acumulado en las series temporales superiores, y el incremento corriente en las series temporales inferiores. Esta figura está separada en cinco literales, uno por página, que muestra los resultados del: T0 = riego constante, b) T1 = estrés hídrico moderado, c)

T2 = estrés hídrico severo, d) T3 = estrés hídrico moderado + fertilizante y e) T4 = estrés hídrico severo + fertilizante. El estado fitosanitario está representado por medio de una escala diferenciada por colores: 3 = bueno, 2 = regular, 1 = malo. Finalmente, los periodos de riego y estrés hídrico se muestran en el gráfico de barras.

**Figura 26**

*Desarrollo quincenal promedio de las variables morfológicas entre tratamientos de Handroanthus chrysanthus (Jacq.) S.O.Grose durante 24 meses*



*Nota.* Desarrollo temporal promedio de las variables morfológicas y ecológicas (altura, diámetro, número de hojas, estado fitosanitario) de *Handroanthus chrysanthus* durante 24 meses de monitoreo. Nótese que, en cada sección del diámetro, altura y número de hojas se muestra el incremento acumulado en las series temporales superiores, y el incremento corriente en las series temporales inferiores. Los individuos concernientes a cada tratamiento están diferenciados por diferentes colores. El estado fitosanitario está representado por medio de una escala diferenciada por colores: 3 = bueno, 2 = regular, 1 = malo.

#### **6.1.4. Diferencias significativas entre tratamientos en *Handroanthus chrysanthus* (Jacq.) S.O.Grose**

El análisis estadístico estructurado por medio de la prueba no paramétrica Kruskal – Wallis, con un nivel de confiabilidad del 95% ( $\alpha = 0,05$ ) mostró diferencias significativas entre tratamientos, en las variables altura (Figura 27a.,  $\alpha = 0,05$ ;  $p\text{-value} < 0,0001$ ), diámetro (Figura 27b.,  $\alpha = 0,05$ ;  $p\text{-value} < 0,0001$ ) y número de hojas (Figura 27c.,  $\alpha = 0,05$ ;  $p\text{-value} < 0,0001$ ).

A su vez, con un análisis estadístico pareado a través del test no paramétrico de Wilcoxon con un nivel de confianza del 95% y valor p ajustado con la corrección de Bonferroni se determinó que hay las diferencias significativas entre tratamientos. Estas diferencias se muestran con barras sobre los diagramas de caja (Figura 27) de los tratamientos con diferencias significativas (—\*\*\*\*—). Se encontró una fuerte diferencia significativa entre el T0 y los tratamientos T1, T2, T3 y T4 en las variables altura, diámetro, y número de hojas.

### **Altura**

En la variable altura, el T0 tuvo una diferencia significativa (\*\*\*\*) con todos los tratamientos: T0 – T1 ( $\alpha = 0,05$ ;  $p\text{-value} = 1,45e^{-10}$ ), T0 – T2 ( $\alpha = 0,05$ ;  $p\text{-value} = 1,45e^{-10}$ ), T0 – T3 ( $\alpha = 0,05$ ;  $p\text{-value} = 5,8e^{-10}$ ) y T0 – T4 ( $\alpha = 0,05$ ;  $p\text{-value} = 5,8e^{-10}$ ). También es preciso mencionar que existió diferencias significativas (\*\*) entre los pares T1 y T4 ( $\alpha = 0,05$ ;  $p\text{-value} = 8 e^{-10}$ ) (Figura 27a).

### **Diámetro**

De igual forma, en la variable diámetro, el T0 tuvo una diferencia significativa alta (\*\*\*\*) con todos los tratamientos considerados en este estudio (Figura 27b): T0 – T1 ( $\alpha = 0,05$ ;  $p\text{-value} = 4,12e^{-6}$ ), T0 – T2 ( $\alpha = 0,05$ ;  $p\text{-value} = 2,76e^{-10}$ ), T0 – T3 ( $\alpha = 0,05$ ;  $p\text{-value} = 2,02e^{-9}$ ) y T0 – T4 ( $\alpha = 0,05$ ;  $p\text{-value} = 4,35e^{-10}$ ).

### **Hojas**

Con relación al número de hojas, el T3 fue el que se diferenció de forma considerable (\*\*\*) de los tratamientos testigo y uno: T3 – T0 ( $\alpha = 0,05$ ;  $p\text{-value} = 4,51e^{-05}$ ), T3 - T1 ( $\alpha = 0,05$ ;  $p\text{-value} = 1,83e^{-05}$ ). En menor medida (\*\*) el T3 - T2 ( $\alpha = 0,05$ ;  $p\text{-value} = 6,68e^{-04}$ ), y con una diferencia mínima (\*) el T1 – T4 ( $\alpha = 0,05$ ;  $p\text{-value} = 2,00e^{-03}$ ) (Figura 27c).

El gráfico de vértices representado gráficamente en las variables altura, diámetro y número de hojas corrobora lo mencionado anteriormente e indica que los tratamientos que no se conectaron entre sí no son significativamente diferentes (Figura 27a, 27b, 27c).

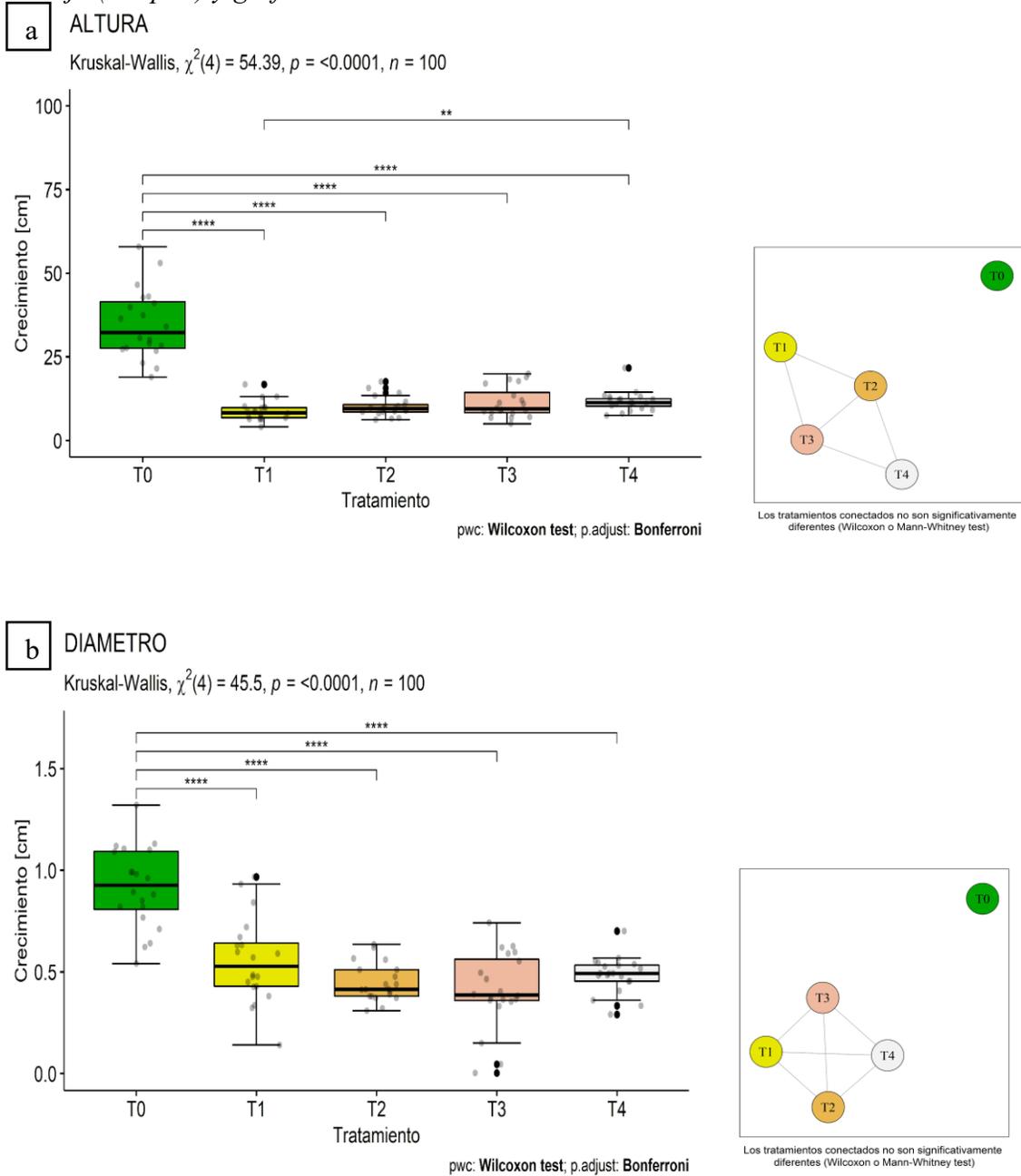
### **Estado fitosanitario**

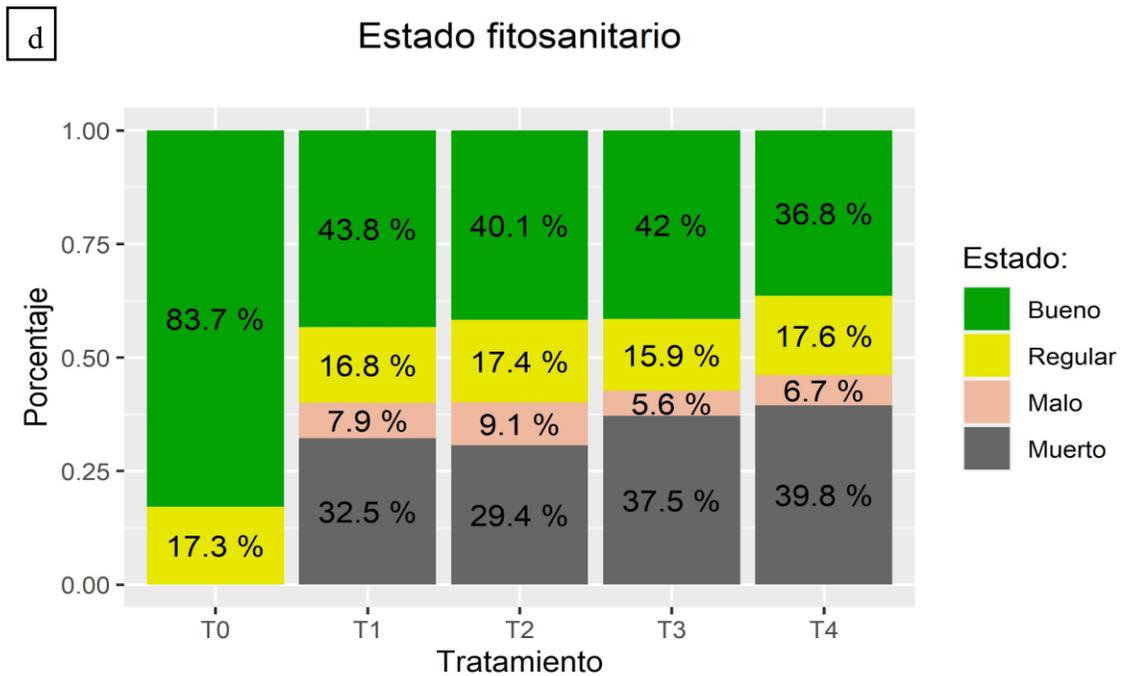
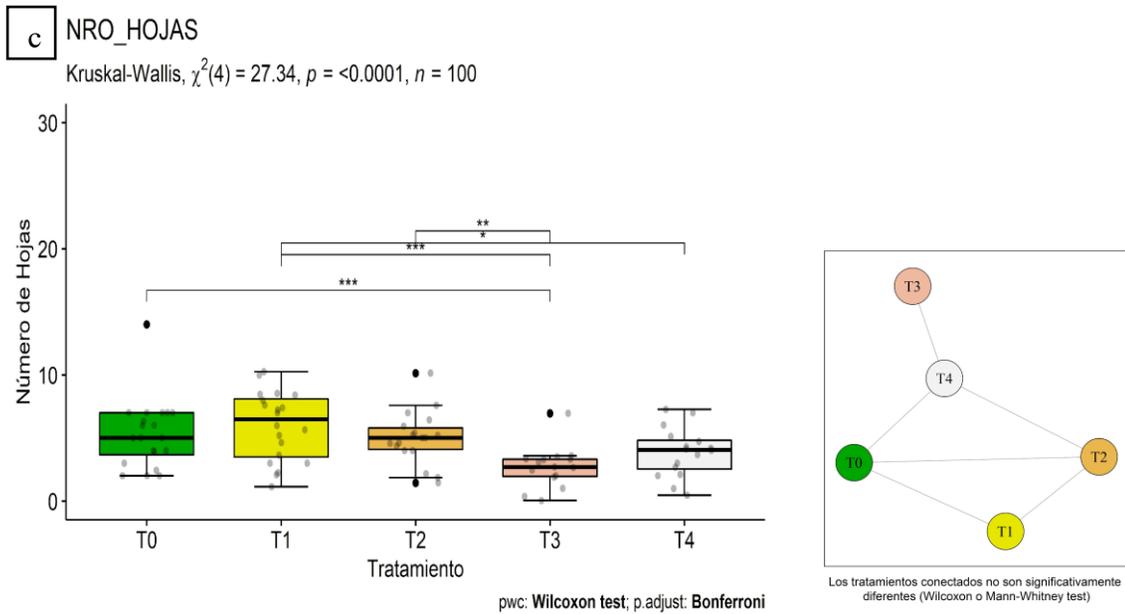
Las plantas de *Handroanthus chrysanthus* mostraron un alto daño del estado fitosanitario y mortalidad en los tratamientos T1 a T4 (Figura 27d). El T0 mantuvo el mejor

estado fitosanitario reflejado en un 87,7% de individuos con buen estado, y solo un 17,3% en estado regular.

**Figura 27**

*Diferencias significativas de las variables morfológicas entre tratamientos de Handroanthus chrysanthus durante 24 meses de monitoreo, representados en diagramas de caja (Boxplot) y gráficos de vértices*





*Nota.* Para la altura, diámetro y número de hojas se aplicó el test no paramétrico de Kruskal – Wallis y el test pareado de Wilcoxon con corrección de Bonferroni para determinar la existencia de diferencias significativas entre tratamientos. El gráfico de vértices muestra que los tratamientos que están conectados no son significativamente diferentes. a) Altura, b) Diámetro, c) Número de hojas y d) Estado fitosanitario.

## **6.2. Impacto del estrés hídrico en la formación de anillos de crecimiento a través de análisis anatómico de la madera en *Cedrela montana* Moritz ex Turcz y *Handroanthus chrysanthus* (Jacq.) S.O.Grose**

Los resultados mostraron que los anillos de *Cedrela montana* no tuvieron una relación directa o sincronía con los periodos de riego y estrés hídrico (Figura 28). Sólo un individuo de los tratamientos T2, T3, y T4 presentaron un anillo verdadero o completo a parte del primer anillo formado por la incisión realizada en el experimento (ver Anexo 8: *Cedrela montana* T2, T3, y T4).

Por otro lado, *Handroanthus chrysanthus* evidenció esta relación entre el incremento corriente diamétrico con la formación de anillos en los tratamientos T1, T2, y T4 (Figura 29). En esta especie no se observó ningún anillo verdadero o completo a parte del que se formó por la incisión producida en el experimento. Lo que sí se pudo observar en los tratamientos T2 y T4 fueron anillos casi completos en algunos individuos (ver Anexo 8: *Handroanthus chrysanthus* T2 y T4).

### **6.2.1. Impacto del estrés hídrico en la formación de anillos de crecimiento a través de análisis anatómico de la madera en *Cedrela montana* Moritz ex Turcz**

#### ***Testigo***

Las plantas del testigo (T0= riego constante) presentaron una numerosa formación de anillos de crecimiento falsos. Hubo poca relación entre la formación de anillos y las mediciones instrumentales del incremento corriente quincenal diamétrico (Figura 28T0, ver todos los individuos del tratamiento T0 en Anexo 8).

### ***Tratamiento 1***

El tratamiento uno (T1= Riego + estrés hídrico moderado) mostró un comportamiento similar al Testigo. Se observó una poca relación entre el incremento corriente quincenal del diámetro y los anillos de crecimiento (falsos) visualizados en este tratamiento (Figura 28T1, ver todos los individuos del tratamiento T1 en Anexo 8).

### ***Tratamiento 2***

En el tratamiento dos (T2= Riego + estrés hídrico severo) hubo una menor relación entre los anillos formados y el incremento corriente quincenal de diámetro. La sincronía fue menor a los tratamientos uno y dos (Figura 28T2, ver todos los individuos del tratamiento T2 en Anexo 8).

### ***Tratamiento 3***

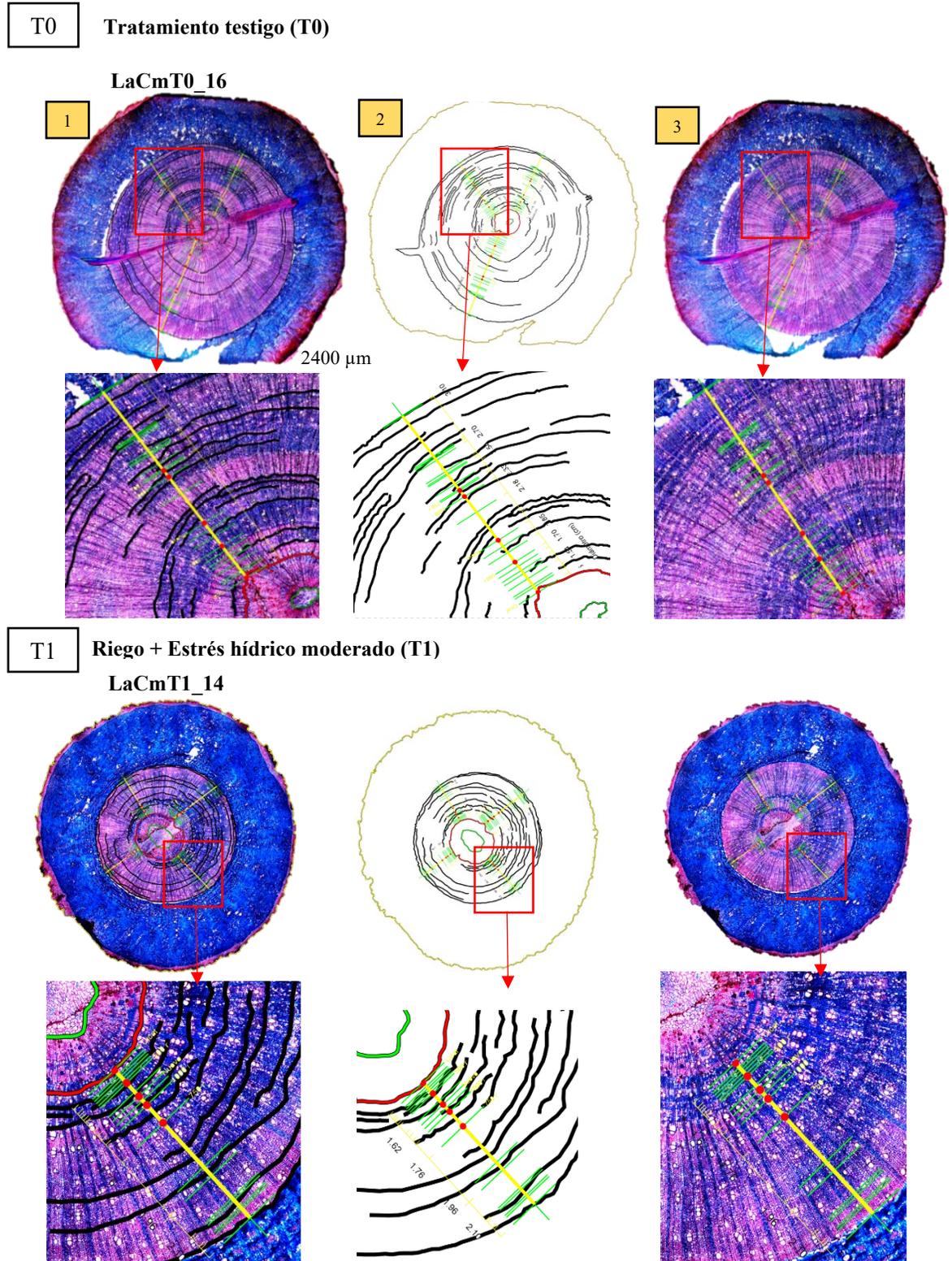
El tratamiento tres (T3= Riego + estrés hídrico moderado + fertilizante) mostró una mayor formación de anillos. Hubo una baja relación entre la formación de anillos de crecimiento y los periodos del estrés hídrico instaurado para este tratamiento (Figura 28T3, ver todos los individuos del tratamiento T3 en Anexo 8).

### ***Tratamiento 4***

El tratamiento cuatro (T4= Riego + estrés hídrico severo + fertilizante) mostró una conducta similar al Testigo y al tratamiento uno. No hubo una relación significativa entre el incremento corriente quincenal de diámetro y los anillos de crecimiento (Figura 28T4, ver todos los individuos del tratamiento T4 en Anexo 8).

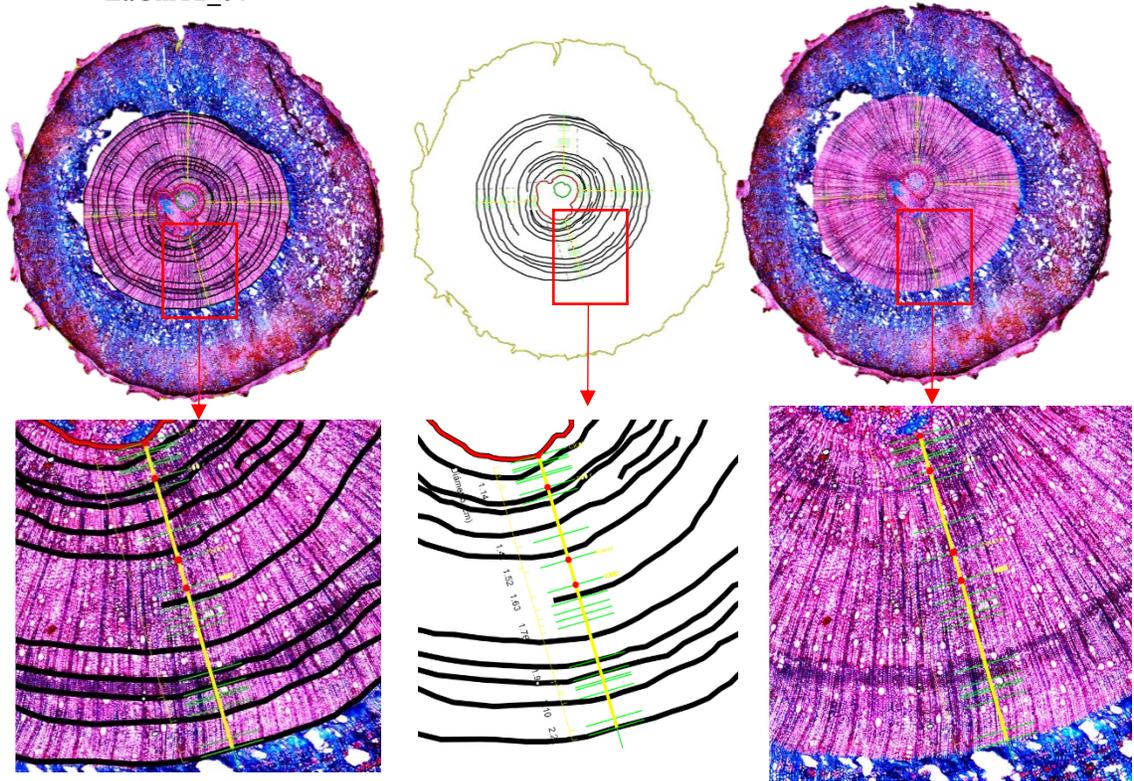
**Figura 28**

*Comparación entre el incremento corriente quincenal del diámetro y la formación de anillos de crecimiento en Cedrela montana Moritz ex Turcz*



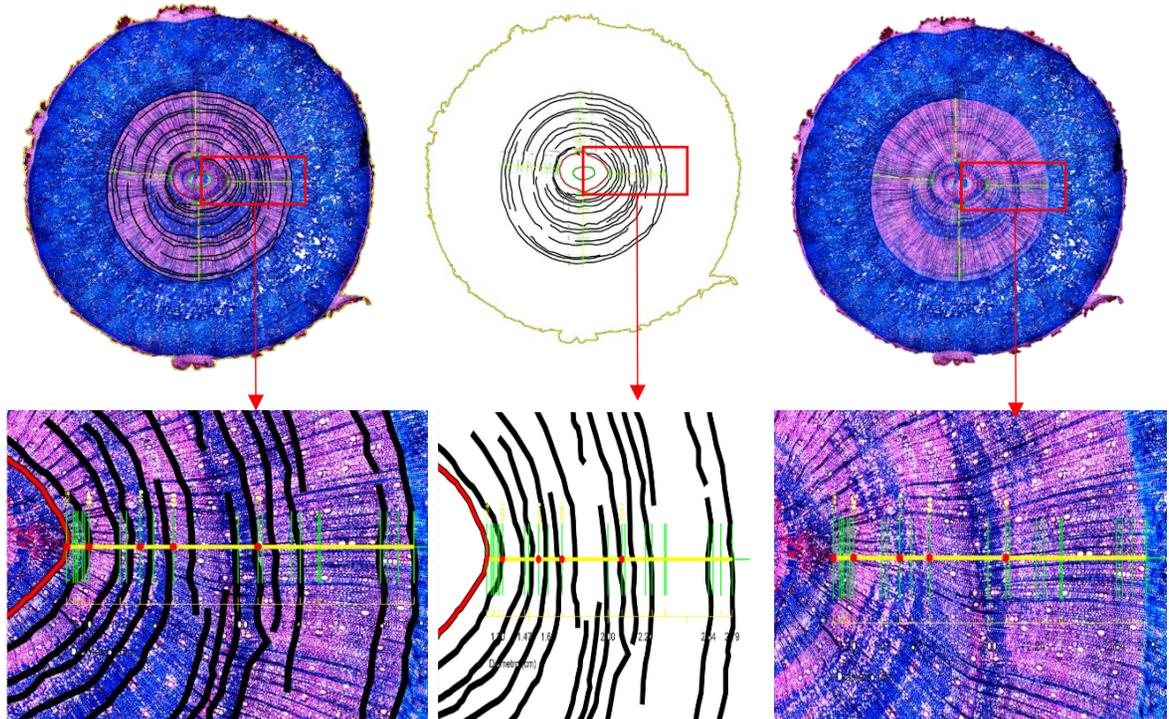
**T2** Riego + Estrés hídrico severo (T2)

LaCmT2\_04

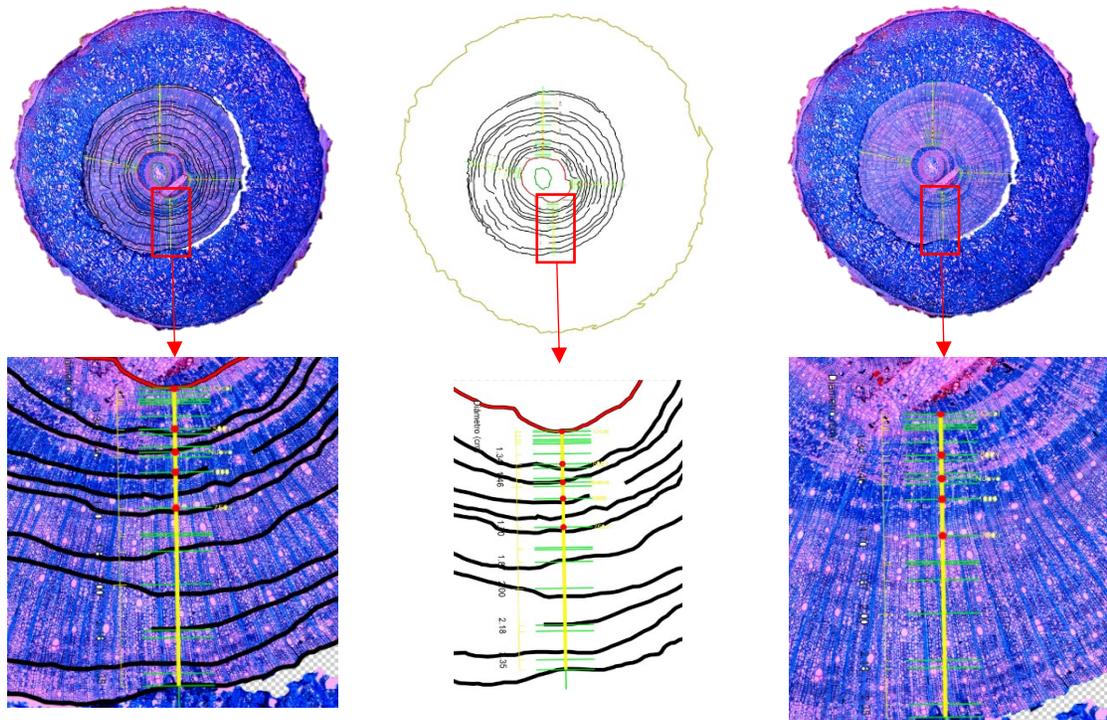


**T3** Riego + Estrés hídrico moderado + fertilizante (T3)

LaCmT3\_05



**T4** Riego + Estrés hídrico severo + fertilizante (T4)  
LaCmT4\_10



*Nota.* Cada tratamiento muestra en tres secciones las imágenes anatómicas y el esquema de anillos de crecimiento con su respectiva ampliación en la parte baja. En cada imagen se muestra el incremento quincenal diamétrico representado por una línea amarilla central y líneas verdes perpendiculares que indican las mediciones instrumentales del incremento de *Cedrela montana* cada 15 días, y los puntos rojos muestran el momento cuando se cambió la intensidad de riego. 1) Imagen anatómica transversal con diferenciación de tejidos en líneas de colores. 2) Esquema de los tejidos del corte transversal. 3) Imagen anatómica sin diferenciación de tejidos. Dentro de las imágenes y esquema se muestran los diferentes tejidos: anillos de crecimiento (líneas negras), límite de la incisión producida (línea roja), límite de la médula (línea verde), y borde de la corteza externa (línea amarilla).

### **6.2.2. Impacto del estrés hídrico en la formación de anillos de crecimiento a través de análisis anatómico de la madera *Handroanthus chrysanthus* (Jacq.) S.O.Grose**

El análisis de relación entre la formación de anillos de crecimiento y el estrés hídrico establecido para cada tratamiento de *Handroanthus chrysanthus* se realizó hasta principios de la etapa tres (septiembre 2020), debido a la mortalidad natural severa que presentó la especie, exceptuando al Testigo, que tuvo sobrevivencia hasta el final del proyecto.

#### ***Testigo***

El Testigo (T0= Riego constante) mostró una formación numerosa de anillos falsos. La relación entre la formación de anillos y el incremento corriente quincenal de diámetro no fue considerable (Figura 29T0, ver todos los individuos del tratamiento T0 en Anexo 8).

#### ***Tratamiento 1***

En el tratamiento uno (T1= Riego + estrés hídrico moderado) hubo una baja formación de anillos (falsos). La relación entre el incremento corriente de diámetro y los anillos formados fue considerable para este tratamiento (Figura 29T1, ver todos los individuos del tratamiento T1 en Anexo 8).

#### ***Tratamiento 2***

El tratamiento dos (T2= Riego + estrés hídrico severo) mostró un comportamiento similar al tratamiento uno. La relación entre el incremento corriente quincenal de diámetro y la formación de anillos de crecimiento fue representativa (Figura 29T2, ver todos los individuos del tratamiento T2 en Anexo 8).

### Tratamiento 3

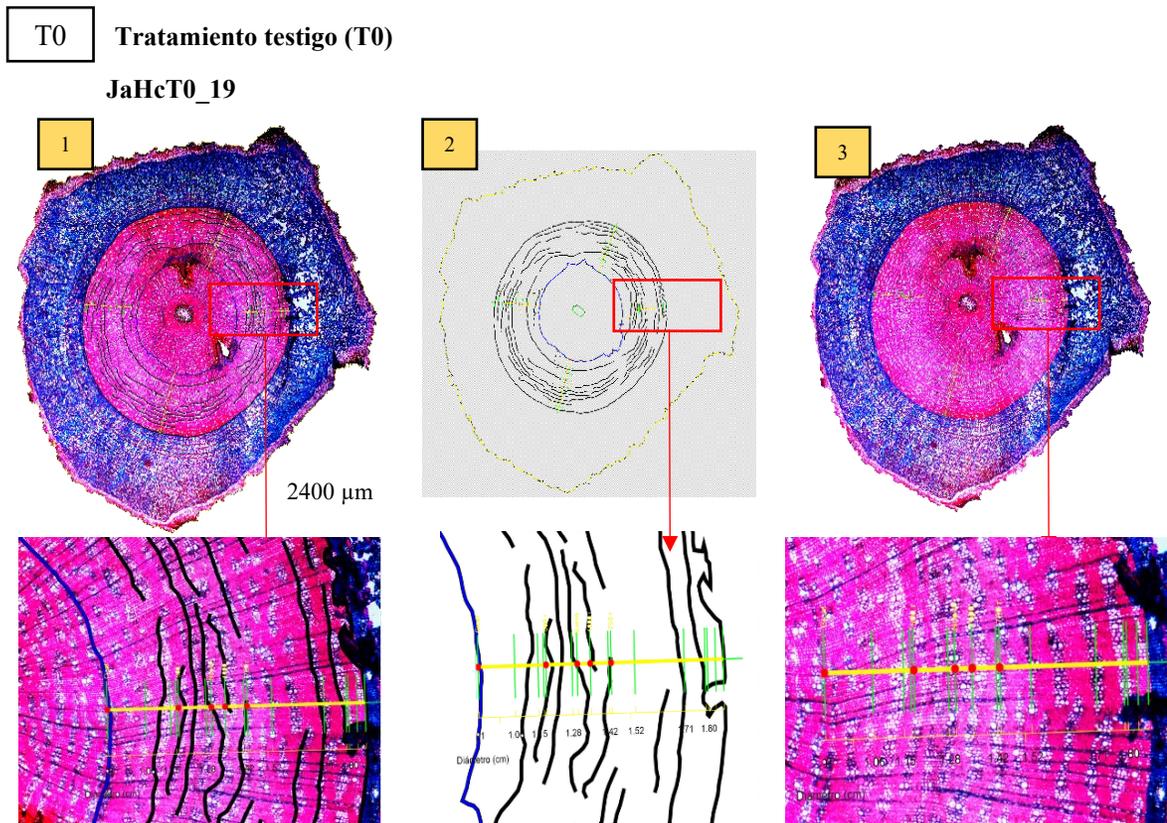
El tratamiento tres (T3= Riego + estrés hídrico moderado + fertilizante) mostró una numerosa formación de anillos de crecimiento (falsos). El incremento corriente quincenal de diámetro no tuvo una relación notable con los anillos de crecimiento (Figura 29T3, ver todos los individuos del tratamiento T3 en Anexo 8).

### Tratamiento 4

El tratamiento cuatro (T4= Riego + estrés hídrico severo + fertilizante) presentó un resultado similar a los tratamientos uno y dos. Hubo una relación considerable entre el incremento corriente quincenal de diámetro y los anillos de crecimiento (Figura 29T4, ver todos los individuos del tratamiento T4 en Anexo 8).

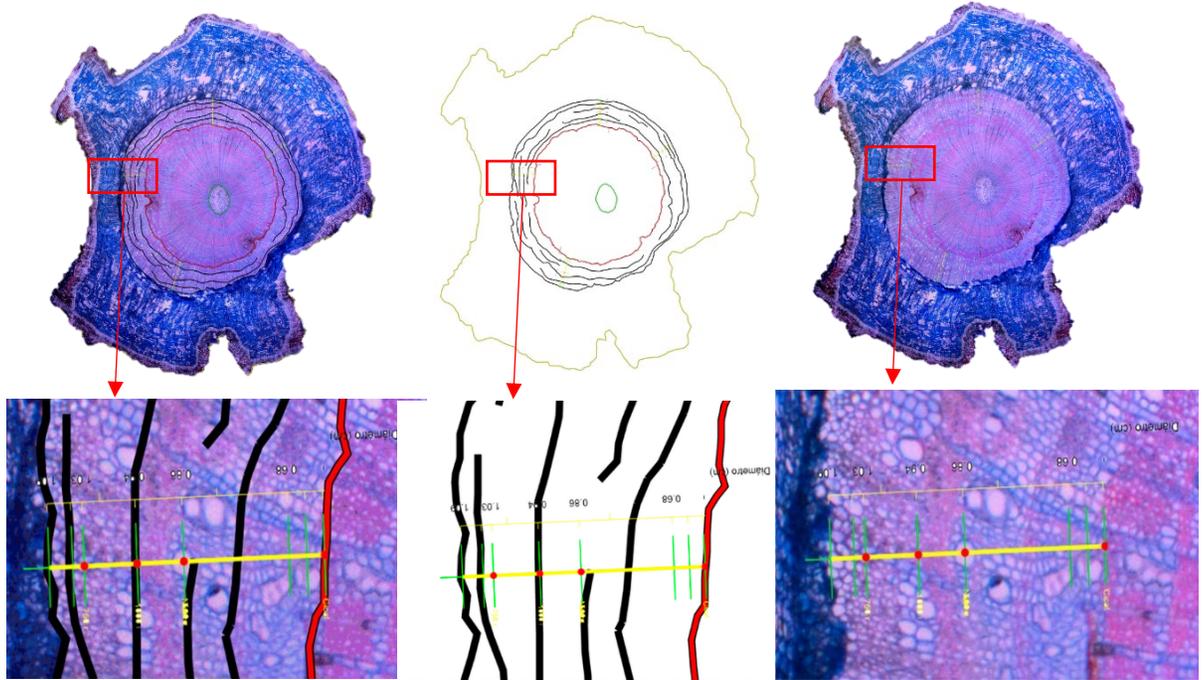
### Figura 29

*Comparación entre el incremento corriente quincenal del diámetro y la formación de anillos de crecimiento en Handroanthus chrysanthus (Jacq.) S.O.Grose*



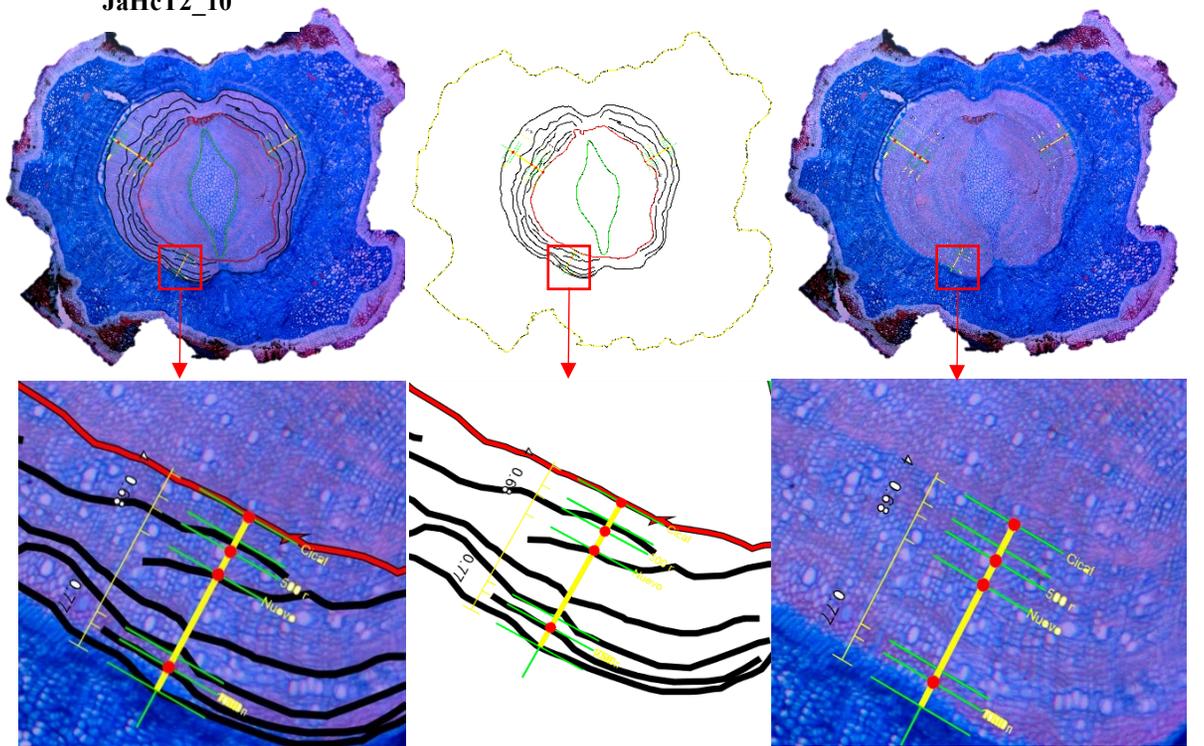
**T1** Riego + Estrés hídrico moderado (T1)

JaHcT1\_19

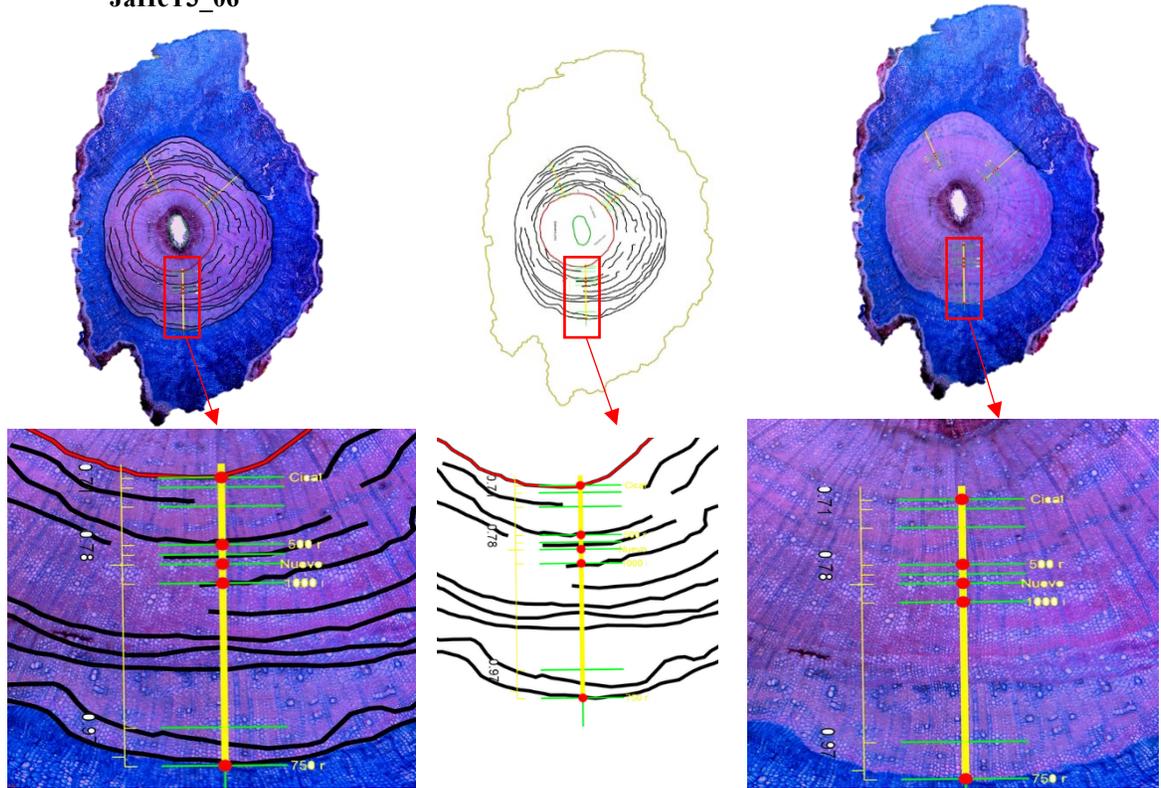


**T2** Riego + Estrés hídrico severo (T2)

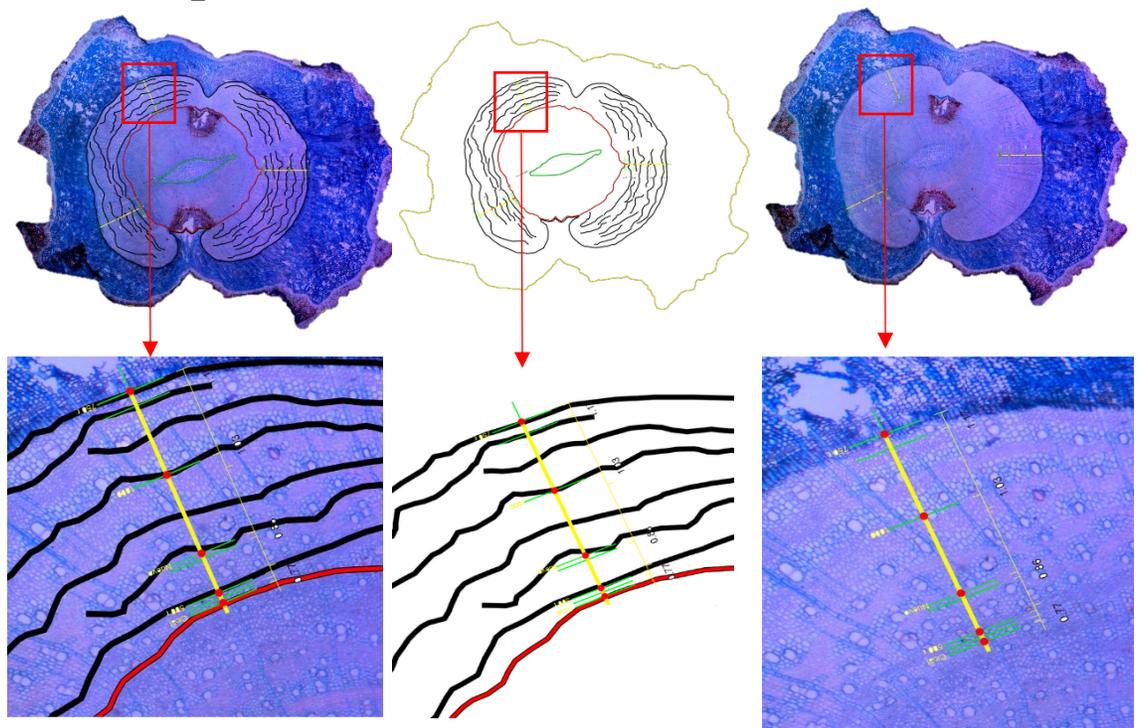
JaHcT2\_10



**T3** Riego + Estrés hídrico moderado + fertilizante (T3)  
**JaHcT3\_06**



**T4** Riego + Estrés hídrico severo + fertilizante (T4)  
**JaHcT4\_19**



*Nota.* Cada tratamiento muestra en tres secciones las imágenes anatómicas y el esquema de anillos de crecimiento con su respectiva ampliación en la parte baja. En cada imagen se muestra el incremento quincenal diamétrico representado por una línea amarilla central y líneas verdes perpendiculares que indican las mediciones instrumentales del incremento de *Handroanthus chrysanthus* cada 15 días, y los puntos rojos muestran el momento cuando se cambió la intensidad de riego. 1) Imagen anatómica transversal con diferenciación de tejidos en líneas de colores. 2) Esquema de los tejidos del corte transversal. 3) Imagen anatómica sin diferenciación de tejidos. Dentro de las imágenes y esquema se muestran los diferentes tejidos: anillos de crecimiento (líneas negras), límite de la incisión producida (línea roja), límite de la médula (línea verde), y borde de la corteza externa (línea amarilla).

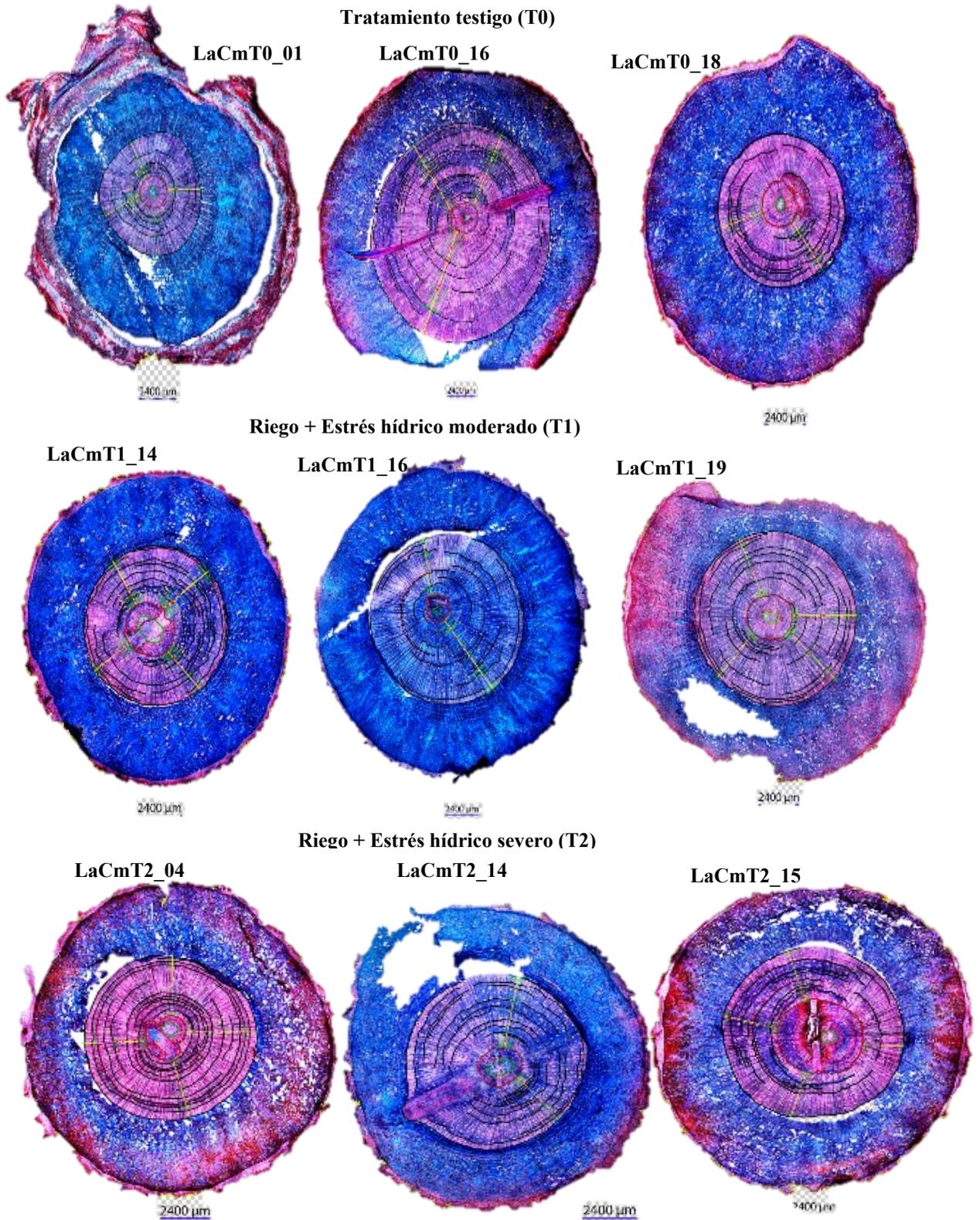
### ***6.2.3. Cambios anatómicos de la madera de Cedrela montana Moritz ex Turcz y Handroanthus chrysanthus (Jacq.) S.O.Grose***

*Cedrela montana* tuvo una regeneración rápida de tejidos frente a traumas ocasionados por la incisión del experimento. La regeneración del cambium vascular a partir del corte de la incisión permitió una recuperación casi total de los tejidos del xilema y floema en todos los tratamientos y el Testigo. Los tejidos del xilema afectados por las incisiones en dirección radial cerca a la médula se regeneraron rápidamente con células de parénquima axial (Figura 30).

*Handroanthus chrysanthus* presentó graves problemas para la recuperación de los tejidos del xilema y floema a causa de la incisión producida en el experimento. Únicamente el Testigo pudo recuperar casi de manera completa la forma del xilema y el floema o corteza. Nótese que la silueta de la corteza externa quedó totalmente deformada, así como el xilema de algunos individuos no pudo regenerarse completamente (Figura 31).

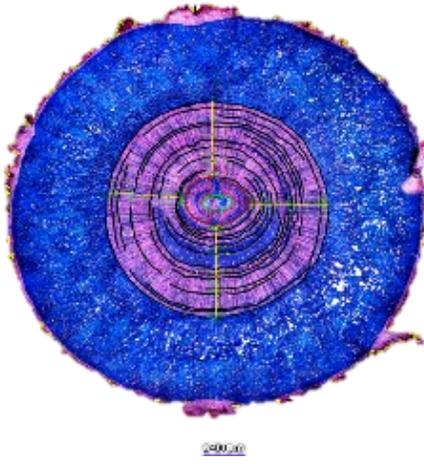
**Figura 30**

*Cortes anatómicos transversales de Cedrela montana Moritz ex Turcz*

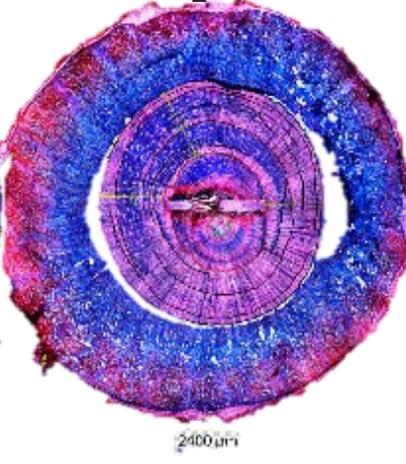


**Riego + Estrés hídrico moderado + fertilizante (T3)**

**LaCmT3\_05**



**LaCmT3\_16**

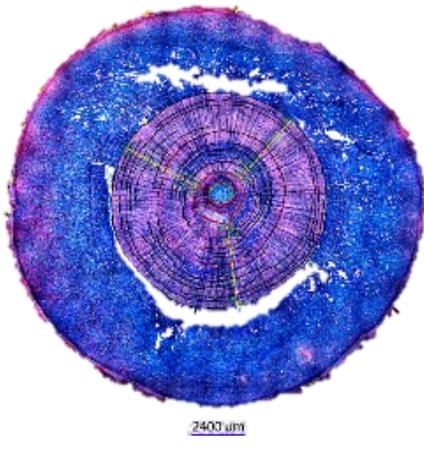


**LaCmT3\_20**

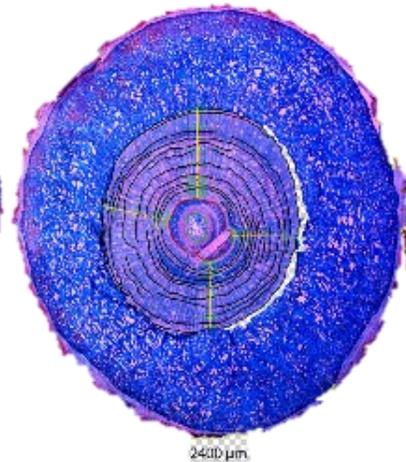


**Riego + Estrés hídrico severo + fertilizante (T4)**

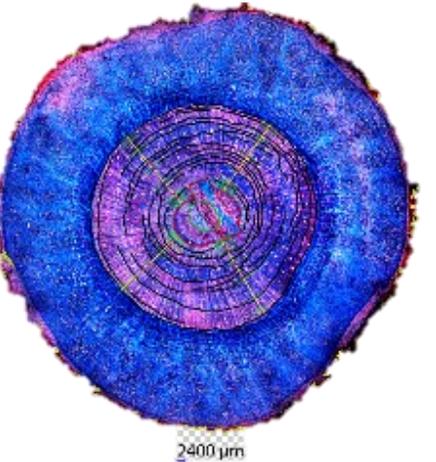
**LaCmT4\_06**



**LaCmT4\_10**



**LaCmT4\_12**

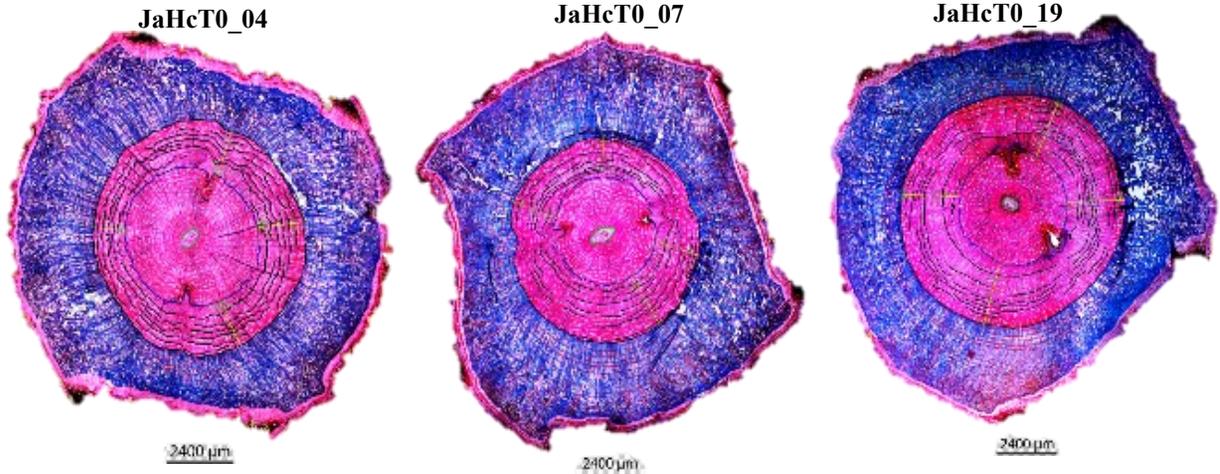


*Nota.* El área mostrada en color rojo representa la incisión realizada a los ocho meses de inicio del proyecto.

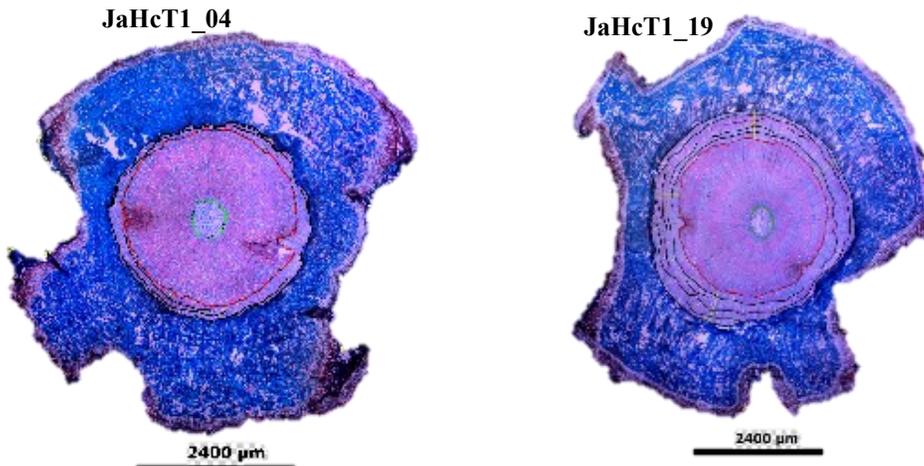
**Figura 31**

*Cortes anatómicos transversales de Handroanthus chrysanthus (Jacq.) S.O.Grose*

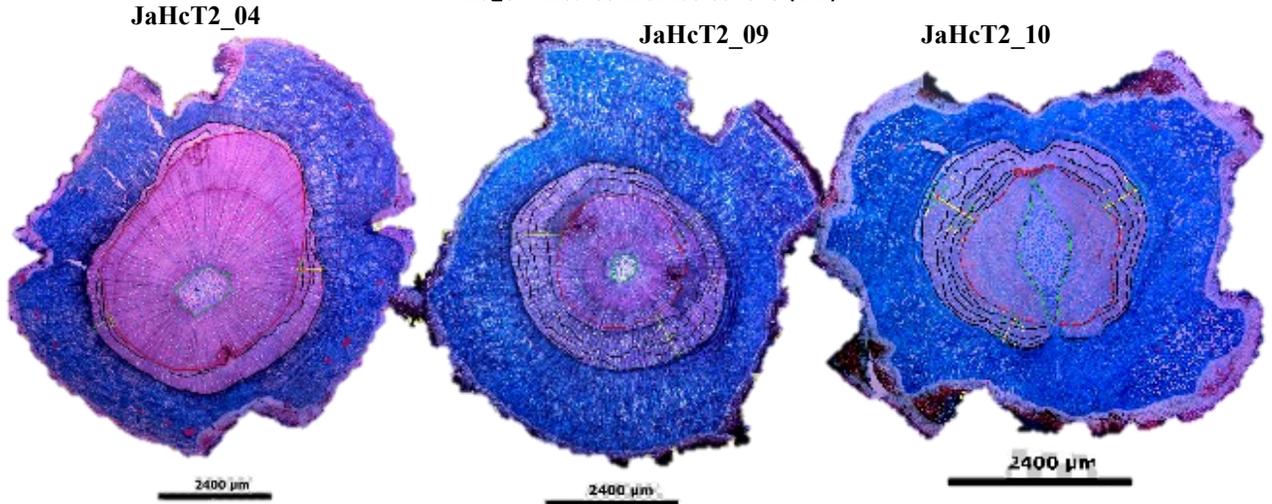
**Tratamiento testigo (T0)**



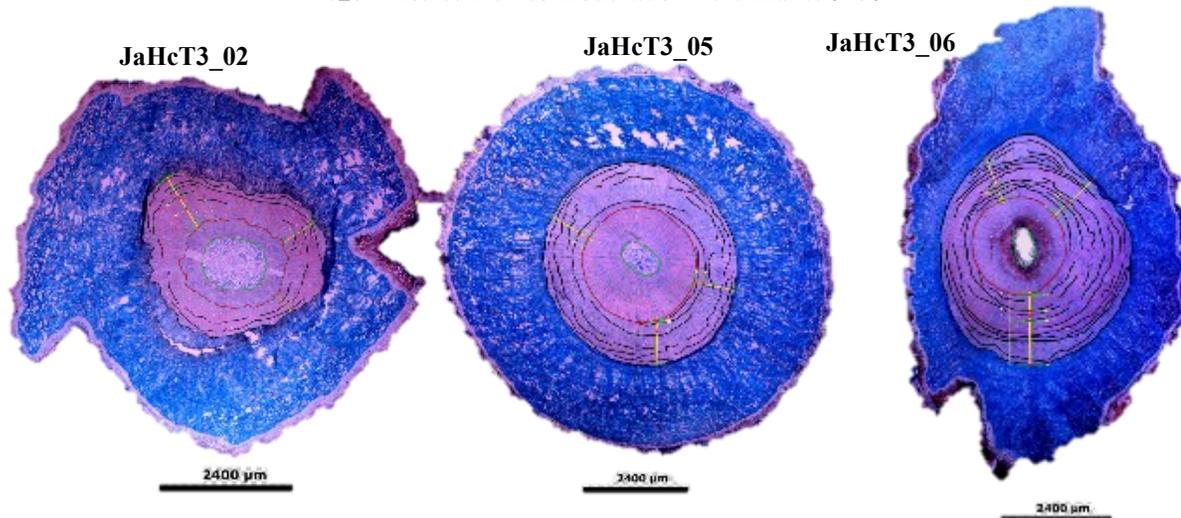
**Riego + Estrés hídrico moderado (T1)**



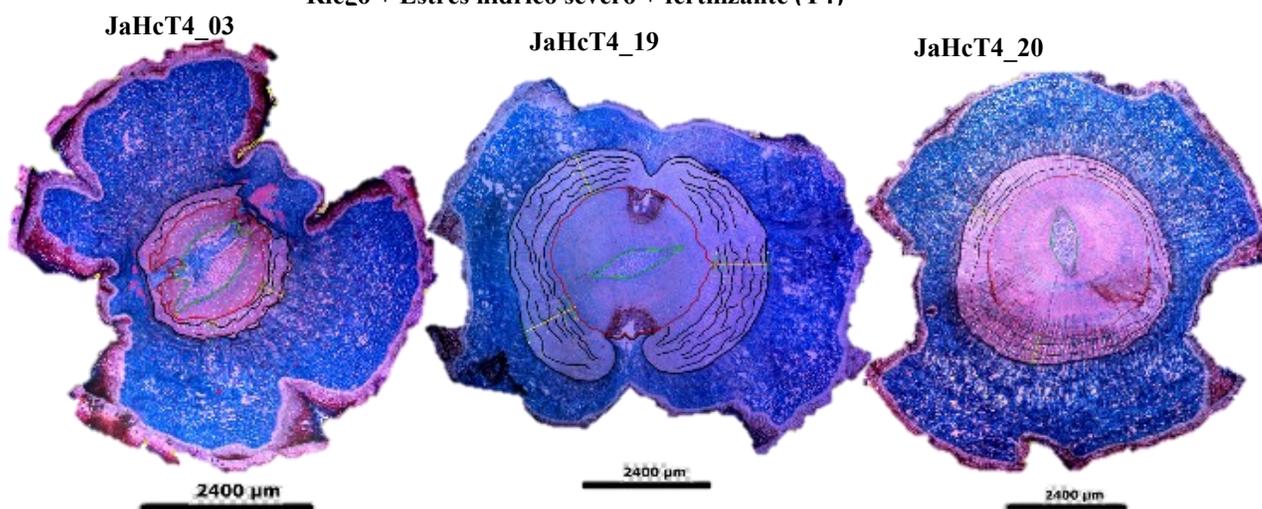
**Riego + Estrés hídrico severo (T2)**



**Riego + Estrés hídrico moderado + fertilizante (T3)**



**Riego + Estrés hídrico severo + fertilizante (T4)**



*Nota.* El área mostrada en color rojo representa la incisión realizada a los ocho meses de inicio del proyecto. A excepción del Testigo, que presenta un color azul.

## 7. DISCUSIÓN

### 7.1. Cambios morfológicos por estrés hídrico en *Cedrela montana* Moritz ex Turcz y *Handroanthus chrysanthus* (Jacq.) S.O.Grose

*Cedrela montana* y *Handroanthus chrysanthus* presentaron una gran diferencia en el comportamiento de variables morfológicas en el transcurso de los 24 meses del experimento. Al ser especies de procedencias y condiciones biogeográficas distintas se esperó que *Handroanthus chrysanthus* resistiera más que *Cedrela montana* al estrés hídrico, sin embargo, los resultados mostraron lo contrario. *Cedrela montana* presentó una mejor adaptabilidad a las condiciones de estrés, esta adaptabilidad se vió reflejada en el desarrollo emergente de diámetro y altura, mostrando un mayor desarrollo de las variables dasométricas, con un estado fitosanitario bueno y mortalidad natural casi nula en todos los tratamientos. En el caso de *Handroanthus chrysanthus* se observó una notable diferencia entre el desarrollo del Testigo respecto a los tratamientos con estrés hídrico. El testigo no mostró mortalidad, y los tratamientos con estrés hídrico tuvieron un menor desarrollo de las variables morfológicas.

El desarrollo de variables como diámetro, altura, estado fitosanitario o mortalidad en cualquier especie está directamente relacionado a variaciones de temperatura, presión atmosférica, régimen hídrico, salinidad o la combinación de los factores mencionados (Valverde y Arias, 2020). La fluctuación en las condiciones climáticas del ambiente afecta y limita el crecimiento y desarrollo de especies forestales si se llega a inducir a estrés hídrico (Arco, 2018; Pérez, 2021). Estudios realizados por Pucha et al., (2020a) sobre el impacto de las condiciones climáticas en el crecimiento diamétrico de especies forestales de alto valor comercial, muestran que *Cedrela montana* y *Handroanthus chrysanthus* son

susceptibles a sequías de cuatro a ocho semanas, con disminución en el incremento diamétrico de un 30 a un 60%. Estos datos corroboran el comportamiento que presentó *Handroanthus chrysanthus* durante todo el proyecto, ya que el desarrollo fue lento y no progresivo, pero difiere de los resultados obtenidos en esta investigación sobre *Cedrela montana*, que mostró un desarrollo creciente de todos los tratamientos establecidos para esta especie en los 24 meses de monitoreo.

### ***Cedrela montana* Moritz ex Turcz**

Los resultados de esta investigación mostraron que las especies forestales en estudio tienen comportamientos diferentes con relación al desarrollo de variables morfológicas bajo condiciones de estrés hídrico. La adaptabilidad que presentó *Cedrela montana* a lo largo del proyecto fue estable. La especie mostró tolerancia al estrés hídrico, a la incisión producida ocho meses después del inicio de la investigación y a los cambios de temperatura (reubicación de invernadero). El comportamiento de la especie concuerda con el estudio realizado por Oliveros et al., (2009), el cual menciona que *Cedrela montana* presenta una adaptación a tiempos prolongados de déficit hídrico, con recuperación después de la aplicación de riego. Según Oliveros et al., (2009), esto se puede aludir a la estructura de la planta, así como la disposición de los folíolos y hojas, permitiendo disminuir los efectos de pérdida de agua por transpiración, posibilitando el ahorro de energía para la planta y la regulación de procesos fisiológicos y metabólicos. *Cedrela montana* al pertenecer al grupo funcional de plantas adquisitivas, caracterizados por tener valores altos de área foliar (AF), valores intermedios de área foliar efectiva (AFE), altos contenidos de Fósforo y Nitrógeno foliar, baja densidad de madera; captura y usa eficientemente los recursos disponibles en el ambiente (Bermeo, 2010; Varela y El Souki,

2013), permitiendo una adaptabilidad acorde a condiciones ambientales desfavorables. Valladares y Aranda (2004) indican que esta especie tiene una estrategia conservadora que permite tener una sobrevivencia considerable a condiciones perjudiciales como sequía o temperaturas extremas. Sánchez et al., (2007) indica que *Cedrela montana* es una especie de vida larga, con un crecimiento rápido o regular que presenta desarrollo considerable de diámetro y altura. Estadísticamente no hubo diferencias significativas en cuanto a variables morfológicas entre el Testigo (T0) y los tratamientos condicionados a estrés hídrico (T1, T2, T3, T4). Estos resultados coinciden con el estudio realizado por Aponte (2021), pero difieren con los resultados mostrados por Barrera (2021), cabe recalcar que los autores antes mencionados forman parte del proyecto de investigación del cual procede esta tesis.

Barrera (2021), al principio de la investigación (seis meses) mostró diferencias significativas entre el Testigo y los tratamientos sujetos a estrés hídrico. Las variables morfológicas (diámetro, altura, número de hojas) se vieron directamente afectadas por las condiciones de estrés establecidas en los tratamientos uno, dos, tres y cuatro. Posteriormente, Aponte (2021) indica que después de esa etapa inicial (seis meses) los individuos de los tratamientos establecidos empiezan a presentar mejoras reflejadas en el desarrollo de diámetro y disminución de la defoliación, a tal grado de no presentar estadísticamente diferencias significativas entre el Testigo y los tratamientos sometidos a estrés hídrico. Durante la etapa final, a partir de los 15 meses de monitoreo, la especie tuvo el mismo comportamiento mostrado por Aponte (2021), en donde el diámetro, altura y número de hojas siguieron desarrollándose notablemente.

### ***Handroanthus chrysanthus* (Jacq.) S.O.Grose**

Por otra parte, la adaptabilidad de los tratamientos condicionados a estrés hídrico de *Handroanthus chrysanthus* fue frágil e inestable. Los períodos de déficit hídrico afectaron severamente el desarrollo morfológico de la especie (diámetro, altura, estado fitosanitario y mortalidad). La limitación del agua, así como cambios de temperatura (en menor medida) y la incisión del xilema con el bisturí provocó una respuesta negativa a los tratamientos de estrés hídrico en *Handroanthus chrysanthus*. Dadas las condiciones edafoclimáticas de la especie se suponía que esta tendría una resistencia favorable a condiciones adversas, pero no fue así, la especie no resistió condiciones extremas, a tal punto, que en el periodo septiembre 2020 ya no hubo individuos para el monitoreo correspondiente, a excepción del Testigo, que prosiguió con un desarrollo estable hasta el final del proyecto. Barrera (2021) y Aponte (2021), mostraron resultados similares con relación al comportamiento de esta especie, en donde muestran que el Testigo presentó resultados considerablemente mejores frente a los tratamientos con estrés hídrico. Estadísticamente existieron diferencias significativas entre el Testigo y los tratamientos con estrés hídrico, en todas las variables analizadas en este estudio (altura, diámetro, número de hojas, estado fitosanitario, mortalidad). Pucha et al., (2020a) manifiesta que existe una relación del 70% entre la intensidad de precipitación y crecimiento diamétrico en especies de bosque seco, estos datos reflejan y corroboran el comportamiento de *Handroanthus chrysanthus*, en donde, solo el Testigo (riego constante) tuvo sobrevivencia y desarrollo estable hasta la finalización del estudio. Villacis et al., (2015) indica que la ocurrencia e intensidad de las fases fenológicas de *Handroanthus chrysanthus* (foliación, floración, fructificación, defoliación) depende de la presencia e intensidad de

precipitaciones. De igual forma Jaramillo et al., (2011) confirma lo antes dicho, mencionando que el factor más crítico para las plantas de bosque seco tropical es su estacionalidad de lluvias. El agua determina la producción de hojas, la fotosíntesis, la descomposición de la materia orgánica, producción de raíces y la dinámica de nutrientes y microorganismos en el suelo. Aunque condiciones de estrés hídrico afectan considerablemente a *Handroanthus chrysanthus* es preciso señalar que existen otros factores como plagas, enfermedades, y la incisión realizada que tienen alta influencia en su desarrollo y vitalidad. La fuerte incisión tangencial causada ocho meses después de comenzar la investigación provocó en gran medida un estrés en el desarrollo de la especie, dando a entender que *Handroanthus chrysanthus* presenta sensibilidad significativa a traumas realizados en el xilema, esto, asociado a condiciones de déficit de agua provoca que la especie presente un desarrollo adverso con mayores problemas de plagas y enfermedades, lo que incrementa los índices de mortalidad natural.

El cambio de temperatura por motivos de reubicación de invernadero incidió en el desarrollo de *Cedrela montana* y *Handroanthus chrysanthus*, pero no de forma significativa, ya que desde mediados y finales de la etapa dos de monitoreo ambas especies continuaron con sus tendencias normales de desarrollo, e incluso un individuo del T0 de *Handroanthus chrysanthus* floreció.

## **7.2. Relación entre el estrés hídrico y la formación de anillos de crecimiento a través del análisis anatómico de la madera en las especies *Cedrela montana* Moritz ex Turcz y *Handroanthus chrysanthus* (Jacq.) S.O.Grose**

El impacto del estrés hídrico en *Cedrela montana* y *Handroanthus chrysanthus* en la formación de anillos de crecimiento es diferente entre ambas especies. El desarrollo que

presentó *Cedrela montana* fue estable y creciente, el incremento corriente quincenal del diámetro también fue significativo. *Cedrela montana* se desarrolló a un ritmo acelerado, independiente del tipo de estrés hídrico o riego al que fuera sometido. Anatómicamente, *Cedrela montana* tuvo mayor formación de anillos de crecimiento, pero no estuvo vinculada al incremento corriente quincenal diamétrico, y sus anillos se formaron independientemente de las variaciones de estrés hídrico y cambios de temperatura. El desarrollo morfológico de la especie, específicamente el incremento corriente quincenal diamétrico es diferente a la formación de anillos de crecimiento.

Por otro lado, *Handroanthus chrysanthus* muestra una mejor relación entre el impacto del estrés hídrico y la formación anatómica de anillos de crecimiento. Es importante mencionar que *Handroanthus chrysanthus* no estuvo condicionada a estacionalidades marcadas como en condiciones naturales, si no a etapas intermitentes de estrés hídrico por 24 meses, con periodos de sequía no mayores a 10 semanas. Cabe recalcar que en condiciones silvestres esta especie tiene periodos mucho más largos de sequías de hasta seis meses (24 semanas).

*Handroanthus chrysanthus* y *Cedrela montana* son especies representativas de la región sur de Ecuador, por ello, es importante mostrar su desarrollo anatómico frente a situaciones de estrés hídrico para verificar su respuesta ante posibles escenarios de cambio climático. La metodología utilizada en este estudio para analizar y obtener resultados sobre el comportamiento morfológico y anatómico de estas especies es nueva. Por tal razón, es necesario profundizar en más temas que relacionen la morfología y anatomía de la madera con mayor énfasis en la formación de anillos de crecimiento como indicadores de cambio climático.

## 8. CONCLUSIONES

- *Cedrela montana* tiene mayor resistencia a los periodos de estrés hídrico presentando un mejor desarrollo morfológico que *Handroanthus chrysanthus* ya que el estrés hídrico repercute significativamente en el desarrollo de variables morfológicas de esta especie.
- *Handroanthus chrysanthus* es una especie que requiere un riego prolongado en su etapa inicial para un desarrollo eficiente y estable, ya que al ser sometida a estrés hídrico se da un alto porcentaje de mortalidad natural (34,8%).
- Afectaciones al xilema de *Handroanthus chrysanthus* incrementa la presencia de plagas y enfermedades hasta el punto de causar mayor mortalidad natural.
- El uso de fertilizantes en *Cedrela montana* y *Handroanthus chrysanthus* (tratamientos tres y cuatro) no tuvo una repercusión significativa, debido a que las variables morfológicas, así como la anatomía de la madera no mostraron un desarrollo diferente. El crecimiento morfológico de las dos especies estudiadas tiene una tendencia similar para todos los tratamientos sometidos a estrés hídrico.
- El estrés hídrico incide en la formación de anillos de crecimiento en la especie *Handroanthus chrysanthus*. A diferencia de *Cedrela montana* que muestra un desarrollo que no está condicionado a etapas de déficit hídrico, en esta especie no existe una relación entre periodos de estrés hídrico y formación de anillos de crecimiento.
- *Cedrela montana* presenta una capacidad regenerativa más rápida y completa del cambium vascular por daños del xilema (incisión) que *Handroanthus chrysanthus*. Esta condición regenerativa puede estar más relacionada a la genética de cada especie.

## 9. RECOMENDACIONES

- El uso de herramientas para la medición de variables morfológicas (calibrador, flexómetro) y ecológicas (observación directa) debe ser muy precisa y con la misma metodología de persona a persona, con la finalidad de evitar errores de muestreo.
- La incisión producida con bisturí debe ser evidente en todos los individuos, de tal modo que, cuando se realice el análisis anatómico se pueda evidenciar claramente la marca en el área antes de la incisión y después de ella.
- Al momento de realizar los cortes anatómicos hay que asegurarse que el micrótopo este en buenas condiciones, y trabajar con cuchillas de buena calidad para que la muestra se encuentre en buenas condiciones para su análisis.
- Contrarrestar de manera inmediata la presencia de plagas y enfermedades.
- Realizar periodos de riego y estrés hídrico estandarizados para una mejor interpretación del comportamiento de las especies.
- Realizar estudios similares en condiciones climáticas diferentes, para determinar con más precisión el comportamiento morfológico y anatómico de *Cedrela montana* y *Handroanthus chrysanthus* en circunstancias distintas a las cuales fueron sometidas en estudio. Así mismo, monitorear los cambios de temperatura, para una mejor apreciación de la dinámica de desarrollo de las especies.
- Profundizar el análisis del impacto de estrés hídrico en la formación de anillos de crecimiento, con la finalidad de tener información más eficiente sobre el comportamiento frente a escenarios adversos que involucren cambios o variaciones hídricas.

- Emplear la metodología utilizada en este estudio para analizar la relación entre el estrés hídrico y la formación anatómica de anillos de crecimiento para investigaciones futuras, y evaluar la adaptación a condiciones adversas y mecanismos de respuestas en otras especies importantes para la región sur de Ecuador.
- Para futuros estudios los periodos de estrés hídrico deberían establecerse de acuerdo a la defoliación de las hojas. tomando como indicador los niveles de marchitez, esto, con la finalidad de evaluar variables más específicas que indiquen con exactitud el comportamiento de especies forestales frente a condiciones de déficit hídrico.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- Acero, L. (2005). Plantas útiles de la cuenca del Orinoco. Orinoco: BP Exploration Company limited, Ecopetrol y Corporinoquia.
- Alvarado, A., y Raigosa, J. (2012). Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 411p.
- Aguilar, S., Barajas, J., y Tejero, J. (2000). Anatomía de maderas de México: Especies de un bosque mesófilo de montaña. Universidad Autónoma de México: p. 11
- Aguirre, Z. (2012). Especies forestales de los bosques secos del Ecuador. Guía dendrológica para su identificación y caracterización. Proyecto Manejo Forestal Sustentable ante el cambio climático. MAE/FAO/Finlandia. Quito, Ecuador. 140 p.
- Aguirre, Z. (2018). Especies vegetales del bosque andino del Ecuador. Loja, Ecuador.
- Aguirre, N., Eguiguren, P., Maita, J., Coronel, V., Samaniego, N., Ojeda, T., y Aguirre, Z. (2015). Vulnerabilidad al cambio climático en la región sur del Ecuador: Potenciales impactos en los ecosistemas, producción de biomasa y producción hídrica. Universidad Nacional de Loja y Servicio Forestal de los Estados Unidos. Loja, Ecuador. 184 p.
- Amoroso, M., y Suárez, A. (2015). La aplicación del análisis de los anillos de crecimiento a interrogantes ecológicos: Un breve repaso de la Dendroecología en Hispanoamérica. *Ecosistemas* 24(2): 1-6. Doi.: 10.7818/ECOS.2015.24-2.01
- Anaya, C. (2013). Estructura microscópica de la madera. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/139089127/ESTRUCTURAMICROSCOPICA-DE-LA-MADERA>

- Aponte, L. (2021). Impacto de la sequía en la anatomía de la madera y morfología de *Cedrela montana* Moritz ex Turcz. y *Handroanthus chrysanthus* (Jacq.) S.O.Grose bajo condiciones controladas en el cantón Loja, Ecuador (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja, Loja. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/24322>
- Arco, G. (2018). Intensidad de la señal climática y eficiencia del uso del agua expresada por los anillos de crecimiento de *Araucaria araucana* en relación con la edad de los árboles en bosques mésicos del norte de Patagonia.
- Barrera, E. (2021). Impacto del estrés hídrico en la anatomía de la madera y la morfología de *Cedrela montana* Moritz ex Turcz. y *Handroanthus chrysanthus* (Jacq.) S.O.Grose. bajo condiciones de invernadero (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja, Loja. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/23735>
- Bernal, R., Gradstein, R., y Celis, M. (2015). Catálogo de plantas y líquenes de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. <http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co>
- Begum, S., Nakaba, S., Oribe, Y., Kubo, T., y Funada, R. (2007). Induction of cambial reactivation by localized heating in a deciduous hardwood hybrid poplar (*Populus sieboldii* × *P. grandidentata*). *Annals of Botany* 100: 439-44.
- Begum, S., Nakaba, S., Yamagishi, Y., Oribe, Y., y Funada, R. (2013). Regulation of cambial activity in relation to environmental conditions: understanding the role of temperature in wood formation of trees. *Physiologia Plantarum* 147: 46-54. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2012.01663.x>

- Begum, S., Nakaba, S., Bayramzadeh, V., Oribe, Y., Kubo, T., y Funada, R. (2008). Temperature responses of cambial reactivation and xylem differentiation in hybrid poplar (*Populus sieboldii* × *P. grandidentata*) under natural conditions. *Tree Physiology* 28: 1813-1819. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/28.12.1813>
- Bermeo, D. (2010). Determinación y caracterización de tipos funcionales de plantas (TFPs) en bosques secundarios dentro de un gradiente altitudinal y su relación con variables bioclimáticas. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
- Birchler, A., Royo, A., y Pardos, M. (1998). La planta ideal: revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica. *Forest Systems*, 7(1), 109-121.
- Blum, A. (2011). *Plant Breeding for Water-Limited Environments*. Amsterdam: Springer Science+Business Media. DOI: 10.1007/978-1-4419-7491-4\_2
- Brienen, W., Schöngart, J., y Zuidema, A. (2016). *Tree Rings in the Tropics: Insights into the Ecology and Climate Sensitivity of Tropical Trees*. *Tropical Tree Physiology*, 439–461. doi:10.1007/978-3-319-27422-5\_20
- Calle, G. (2016). Análisis morfológico y comportamiento germinativo de semillas de dos especies forestal de la región sur del Ecuador. Universidad Técnica Particular de Loja.
- Cancino, J. (2006). *Dendrometría básica*. Concepción: Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales. Departamento e manejo de Bosques y Medio Ambiente. *Santiago de Chile*.
- 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.

- Carlquist, S. (1988). Comparative Wood anatomy, systematic, ecological and evolutionary aspects of dicotyledonous wood. Springer-Verlag, Berlín, Alemania.
- Carrillo, I., Elissetche, J., Valenzuela, S., y Teixeira, R. (2013). Formación de elementos anatómicos en maderas duras: Una revisión desde una perspectiva genómica. *Maderas, ciencia y tecnología*. 15(1):93-104
- Castrillón, A., y Pinzón, L. (2017). Eco anatomía del xilema de 25 especies maderables de bosque húmedo tropical (BH-T) de Colombia.
- Cervantes, J., Taltempa, J., García, F., Ruiz, S., Yee Rendon, A., y Jalili, D. (2017). Análisis comparativo de las técnicas utilizadas en un sistema de reconocimiento de hojas de planta. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, 14(1), 104-114.
- Castillo, M., y Suzuarte, M. (2010). *Análisis y Diagnóstico Proyecto de Arquitectura y Paisajismo*. Informe Final. San Bernardo. Chile.
- Cuny, H., y Rathgeber, K. (2016). Xylogenesis: coniferous trees of temperate forests are listening to the climate tale during the growing season but only remember the last words! *Plant Physiology* 171: 306-317. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.16.00037>
- Cleary, D., y Greaves, R. (1977). Determining planting stock needs. En: Proc. Tree Planting in the Inland Northwest. Baumgartner D. M., Boyd R., eds. Washington State University Cooperative Extension Service.
- Chen, X., Zhao, P., Ouyang, L., Zhu, L., Ni, G., y Schäfer, R. (2020). Whole-plant water hydraulic integrity to predict drought-induced *Eucalyptus urophylla* mortality under drought stress. *Forest Ecology and Management*, 468. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118179>

- De Mico, V., Carrer, M., Rathgeber, K., Camarero, J., Voltas, J., Cherubini, S., y Battipaglia, G. (2019). From xylogenesis to tree rings: Wood traits to investigate tree response to environmental changes. *IAWA Journal* 40: 155-182. DOI: <https://doi.org/10.1163/22941932-40190246>
- Díaz, G. (2012). Procesos morfológicos in vitro de cedro (*Cedrela montana* Moritz ex Turcz.) inducidos, a partir de semillas, para propagación y conservación de germoplasma [Tesis de grado, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio Institucional UNL.
- Díaz, O. (2003). Anatomía de Maderas. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Diéguez, U., Barrio, M., Castedo, F., Ruíz, A., Álvarez, M., Álvarez, J., y Rojo, A. (2003). Dendrometría. Ediciones Mundi-Prensa.
- Duryea, L., y McClain, K. (1984). Altering seedling physiology to improve reforestation success. In Duryea ML, GN Brown eds. Seedling physiology and reforestation manual. Success I. Proceedings of the Physiology Working Group Technical Session. Oregon State University. Corvallis, Oregon. USA. p. 77-114.
- Engelbrecht, J. (2001). Drought resistane in seedlings of 28 tropical woody plant species. Euro-Workshop: Functional Groupings of Tropical Trees. Netherlands.
- Evert, F. (2006). Esau's Plant Anatomy: Meristems, Cells, and Tissues of the Plant Body: Their Structure, Function, and Development (3rd Edition). John Wiley & Sons, Inc., New Jersey. 642 pp.
- FAO y PNUMA. (2020). El estado de los bosques del mundo 2020. Los bosques, la biodiversidad y las personas. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca8642es>

- Feijoo, C., Ramón, D., y Pucha, D. (2018). Guía para cortes anatómicos de la madera. Loja, Ecuador: EdiLoja.
- Fritts, C. (1976). Tree rings and climate. Academic Press, London.
- Giménez, A., Moglia, J., Hernández, P., y Gerez, R. (2005). Anatomía de la madera, Universidad Nacional de Santiago del Estero Facultad de ciencias forestales, catedra de Dendrología. Recuperado de <http://fcf.unse.edu.ar/archivos/series-didacticas/sd-1-anatomia-de-madera.pdf>. Santiago del Estero – Argentina.
- Gonzaga, C. (2015). Aplicación de Índices de Vegetación Derivados de Imágenes Satelitales para análisis de Coberturas Vegetales en la Provincia de Loja, Ecuador.
- Gutiérrez, E. (2009). La dendrocronología: métodos y aplicaciones. En “Arqueología nautica mediterránea” X. Nieto i M.A. Cau (eds.). Monografies del CASC. Generalitat de Catalunya. pp. 309-322.
- Hernández, F. (2021). Funciones auxiliares. <https://fhernanb.github.io/Graficos-con-R/auxiliares.html>
- Hills, R. (2021). *Cedrela montana*. The IUCN Red List of Threatened Species 2021: e.T171987166A171989709. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2021-3.RLTS.T171987166A171989709.en>
- Hills, R. (2021). *Handroanthus chrysanthus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2021: e.T146784568A146784570. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2021-3.RLTS.T146784568A146784570.en>
- Hückelhoven, R. (2007). Cell Wall–Associated Mechanisms of Disease Resistance and Susceptibility. Annual Review Phytopathology, 45, 101-127.

- Jiménez, G. (2011). Dendrocronología en el trópico: aplicaciones actuales y potenciales. *Colombia forestal*, 14(1), 97-111.
- Imai, M., Ikari, K., y Suzuki, I. (2003). “High-performance hydrolysis of cellulose using mixed cellulose species and ultrasonication pretreatment”. *Biochem. Eng. J.* vol. 17, pp. 19-23.
- Kaya, C., Ashraf, M., Wijaya, L., y Ahmad, P. (2019). The putative role of endogenous nitric oxide in brassinosteroid-induced antioxidant defence system in pepper (*Capsicum annuum* L.) plants under water stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 143, 119–128. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.08.024>
- Kubo, S., y Kadla, F. (2005). *Journal of Polymers and the Environment*, 13(2), 97
- Klaus, V., Sánchez, S., y Álvarez, G. (2007). Estructura y crecimiento del bosque. *Göttingen, Alemania: Universidad de Göttingen*.
- Largo, R. (2017). Distribución Geográfica de Especies Nativas Arbóreas Basada en los Requerimientos Ecológicos en el Cantón Zapotillo [tesis de grado, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio Institucional UNL.
- León, W. (2014). Anatomía de maderas de 108 especies de Venezuela. *Pittierria*.
- Levitt, J. (1980). . Responses of plants to environmental stresses. *Academic Press*.
- Liang, E., Eckstein, D., y Shao, X. (2009). Seasonal cambial activity of relict Chinese pine at the northern of its natural distribution in North China, exploratory results. *IAWA Journal* 30: 371-378. DOI: <https://doi.org/10.1163/22941932-90000225>
- López, A., y Detlefsen, G. (2012). Agroforestería y la producción de madera. *Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica*, 1, 9-18.

- Luna, W., Estrada, H., Jiménez, M., y Pinzón, L. (2012). Efecto del estrés hídrico sobre el crecimiento y eficiencia del uso del agua en plántulas de tres especies arbóreas caducifolias. *Terra Latinoamericana*, 30(4), 343-353.
- Lüttge, E. (2007). *Physiological ecology of tropical plants*. Springer. Berlin.
- Manzanilla, U., Aguirre, A., Jiménez, J., y Villanueva, J. (2020). Sensibilidad climática en anchuras de anillos de crecimiento de *Pinus hartwegii*: una especie alpina mexicana con potencial dendroclimático. *Revista mexicana de biodiversidad*, 91.
- Megías, M., Molist, P., y Pombal, M. (2017). Atlas de histología animal y vegetal, tejidos vegetales, Conducción, Departamento de Biología Funcional y Ciencias de la Salud. Facultad de Biología. Universidad de Vigo. Recuperado de <https://mmegias.webs.uvigo.es/descargas/vconduccion.pdf>
- Mendivelso, A., Camarero, J., Gutiérrez, E., y Castaño, A. (2016). *Climatic influences on leaf phenology, xylogenesis and radial stem changes at hourly to monthly scales in two tropical dry forests*. *Agricultural and Forest Meteorology*, 216, 20–36. doi:10.1016/j.agrformet.2015.09.014
- Mexal, G., y Landis, D. (1990). Target seedling concepts: height and diameter. En: Rose, R. (Eds.). *Target seedling symposium: Proceedings, combined meeting of the western forest nursery associations*. Roseburg, OR. GTR: RM-200. USDA Forest Service, pp. 17-34
- Montoya, P. (2010). Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 27(2), 179-191. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/11131>

- Mosquera, Q., Ibargüen, R., y Palacios, R. (2009). Mortalidad y reclutamiento de árboles en un bosque pluvial tropical de Chocó (Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, 62(1), 4855-4868.
- Navarro, M., Villar, P., y Del Campo, A. (2006). Morfología y establecimiento de los plantones. Calidad de planta forestal para la restauración en ambientes mediterráneos degradados. Estado actual de conocimientos. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 67-88.
- Oliveros, M., Romero, M., y Melgarejo, M. (2009). Efecto del déficit hídrico en dos especies forestales, Aliso *Alnus acuminata* y Cedro de altura *Cedrela montana* bajo condiciones de vivero
- Ordóñez, L. (2017). *Vulnerability to drought and adaptive management of relict forests of Abies Pinsapo Boiss* (Doctoral dissertation, Universidad de Jaén).
- Ordoñez, Y., Andrade, H., Quirós, D., y Venegas, G. (2012). Dasometría y cubicación de la madera. *Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica. CATIE. Turrialba, Costa Rica*, 27-67.
- Pan, Y., Birdsey, R., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P., Kurz, W., y Phillips, O. (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 333(6045), 988–993.
- Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, IPCC. (2022). Cambio climático 2022: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Contribución del Grupo de Trabajo II al Sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

- Pérez, J. (2021). Diferencias en el crecimiento de árboles nativos y no nativos en áreas de clima contrastado.
- Pucha, A., Feijoo, E., Arévalo, Y., y Guamán, E. (2020b). Sensibilidad de *Cinchona officinalis* L. al estrés hídrico: cambios morfológicos y anatómicos de la madera. *Bosques Latitud Cero*, 10(2), 27-43.
- Pucha, D., Jumbo, N., Moncada, V., Burneo, M., Narvaez, L., Feijoo, C., y Bräuning, A. (2020a). Impacto de las condiciones climáticas en el crecimiento diamétrico de especies forestales de alto valor comercial. *Efectos del cambio climático en el hábitat de las especies y los ODS*, 20-22.
- Puertas, S., Guevara, C., y Espinoza, M. (2013). Manual de transformación de la madera. Lima.
- Presa, J. (2015). Estructura, composición y clasificación de la madera. *Cedria*. 1(1), 3-5
- Prinsen, P. (2010). Composición química de diversos materiales lignocelulósicos de interés industrial y análisis estructural de sus ligninas.
- Reyes, B., Acosta, C., González, M., y Pompa, M. (2020). Perspectivas de los anillos de crecimiento para estimación potencial de carbono en México. *Madera y bosques*, 26(3).
- Rojas, F., Gómez, A., Gutiérrez, G., G., Ángeles, P., Reyes, H., y De Jong, J. (2020). Aplicaciones de la dendroecología en el manejo forestal: una revisión. *Madera y Bosques*, 26(3), e2632116. doi: 10.21829/myb.2020.2632116
- Rossi, S., Deslauriers, A., Anfodillo, T., y Carraro, V. (2007). Evidence of threshold temperatures for xylogenesis in conifers at high altitudes. *Oecologia* 152: 1-12.

- R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Sadeghian, S. (2021). Nutrición de cafetales. En Centro Nacional de Investigaciones de Café, Guía más agronomía, más productividad, más calidad (3a ed., pp. 101–115). Cenicafé. [https://doi.org/10.38141/10791/0014\\_7](https://doi.org/10.38141/10791/0014_7)
- Salazar, B., y Salgado, T. (2000). Influencia climática sobre la variación radial de caracteres anatómicos de madera en *Abies religiosa*. *Madera y Bosques*, 6(1), 73-86.
- Sánchez, O., Hernández, M., y Islebe, G. (2007). Flora arbórea y caracterización de gremios ecológicos en distintos estados sucesionales de la selva mediana de Quintana Roo. *Foresta Veracruzana*, 9(2), 17–26. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49790203>
- Santamarina, M., y Rosello, J. (2018). Anatomía y morfología de las plantas superiores. *Colección Académica*.
- Taylor, M., Losch, M., Wenzel, M., y Schröter, J. (2013). On the Sensitivity of Field Reconstruction and Prediction Using Empirical Orthogonal Functions Derived from Gappy Data. *Journal of climate*. doi:10.1175/JCLI-D-13-00089.1
- Valverde, C., y Arias, D. (2020). Efectos del estrés hídrico en crecimiento y desarrollo fisiológico de *Gli-ricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp. *Colombia Forestal*, 23(1), 20-34.
- Varela, C., y El Souki, M. (2013). Phenetic relationships and taxonomic keys for species of *Cedrela* (Meliaceae) in Venezuela. *Caldasia*, 35(2), 281–292.

- Valladares, F., y Aranda, I. (2004). La luz como factor ecológico y evolutivo para las plantas y su interacción con el agua.
- Varone, L., Ribas, M., Cardona, C., Gallé, A., Medrano, H., Gratani, J. y Flexas, J. (2012). Stomatal and non-stomatal limitations to photosynthesis in seedlings and saplings of Mediterranean species pre-conditioned and aged in nurseries: Different re-sponse to water stress. *Environmental and Experimental Botany*, 75, 235-247.
- Vásquez, M., y Ramírez, M. (2011). Curso de anatomía e identificación de maderas. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.
- Villalba, R., Villagra, E., Boninsegna, A., Morales, S., y Moyano, V. (2000). Dendroecología y dendroclimatología con especies del género *Prosopis* en Argentina. *Multequina*, 9(2), 1-18.
- Villacis, G., Aguirre, Z., González, A., Benítez, E., Aguirre, N., y Paredes, D. (2015). Pasado, presente y futuro de los " guayacanes" *Handroanthus chrysanthus* (Jacq.) SO Grose y *Handroanthus billbergii* (Bureau & K. Schum.) SO Grose, de los Bosques secos de Loja, Ecuador. *Arnaldoa*, 22(1), 85-104.
- Zhang, L., Jiang, Y., Zhao, S., Jiao, L. y Wen, Y. (2018). Relationships between tree age and climate sensitivity of radial growth in different drought conditions of Qilian Mountains, Nortwestern China. *Forests*, 9, 1–19. <https://doi.org/10.3390/f9030135>
- Zepeda, C. (2017). Xilema Primario. Guía didáctica. Universidad Autónoma del Estado de México.

# 11. ANEXOS

## Anexo 1

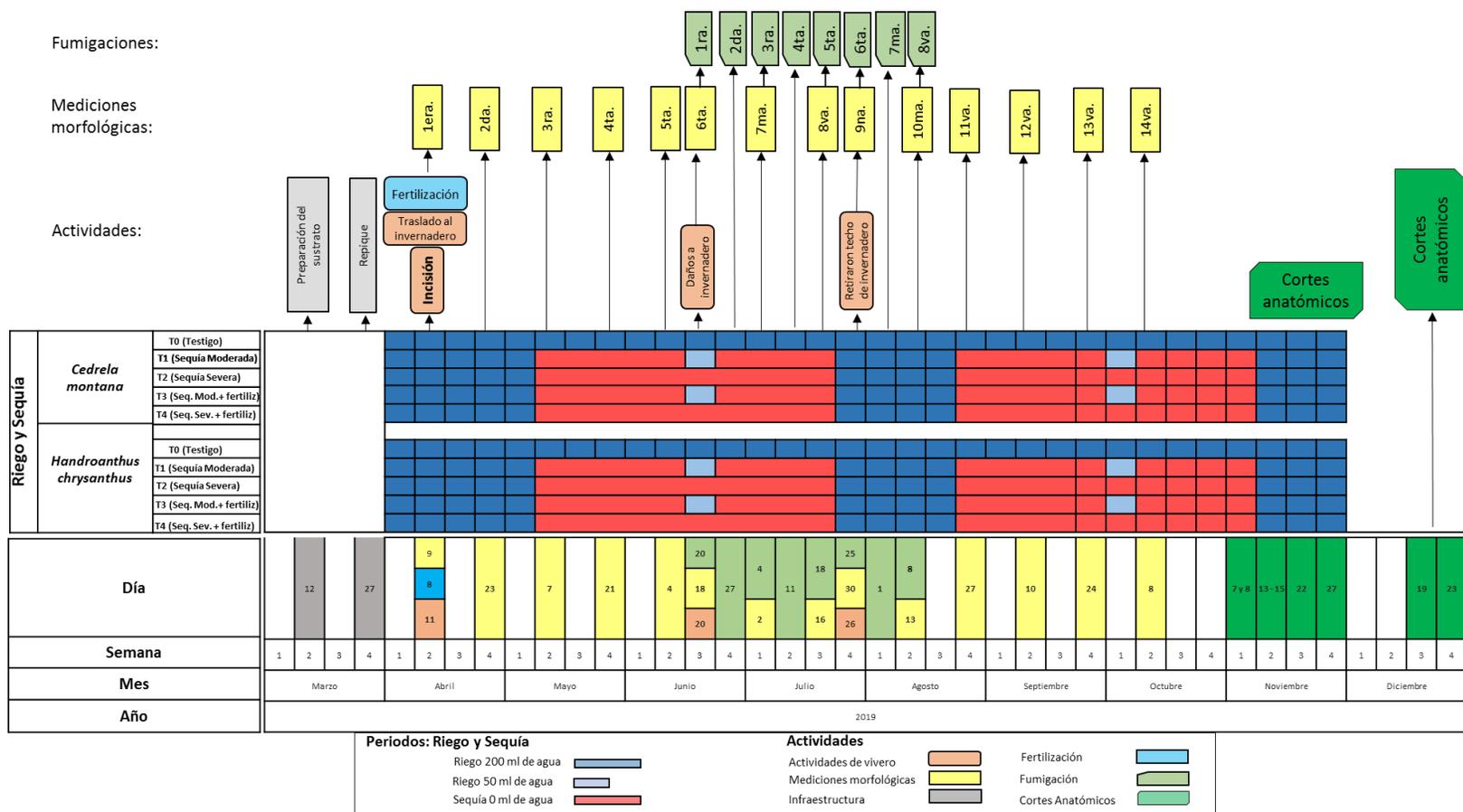
### Hoja de campo para recopilación de variables morfológicas

 <p style="font-size: small;">UNIVERSIDAD NACIONAL de Loja Laboratorio de Anatomía de Maderas Tropicales</p> <p style="text-align: center;"><b>Carrera de Ingeniería Forestal</b></p> <p>Proyecto de investigación: "Impacto de las variaciones climáticas en la fijación de carbono en ecosistemas forestales al sur de Ecuador"</p> <p style="text-align: center;"><b>FICHA DE MEDICIONES</b></p> <p>Para proyecto de tesis sobre cambios morfológicos y formación de anillos de crecimiento bajo condiciones controladas en plantas de <i>Cedrela montana</i> y <i>Handroanthus chrysanthus</i>.</p> <p>Especie: _____ Código: _____</p> <p>Responsable: _____</p> <p>Medición Nro: _____</p> <p>Fecha: _____</p> <p>Observaciones: _____</p>	<p><b>T0: TESTIGO</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Indiv.</th> <th rowspan="2">Altura (cm)</th> <th rowspan="2">Diámetro (cm)</th> <th colspan="3">N° de hojas</th> <th rowspan="2">Mortalidad</th> <th colspan="3">Estado fitosanitario</th> </tr> <tr> <th>C</th> <th>N</th> <th>T</th> <th>Bueno</th> <th>Regular</th> <th>Malo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>T0_01</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T0_02</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T0_03</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T0_04</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T0_05</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T0_06</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T0_07</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T0_08</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T0_09</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T0_10</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T0_11</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T0_12</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T0_13</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T0_14</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T0_15</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T0_16</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T0_17</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T0_18</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T0_19</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T0_20</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	Indiv.	Altura (cm)	Diámetro (cm)	N° de hojas			Mortalidad	Estado fitosanitario			C	N	T	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																																																																																																																																																																																																																																	
Indiv.	Altura (cm)				Diámetro (cm)	N° de hojas			Mortalidad	Estado fitosanitario																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
		C	N	T		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																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
<p><b>T1: SUSTRATO Y SEQUÍA MODERADA</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Indiv.</th> <th rowspan="2">Altura (cm)</th> <th rowspan="2">Diámetro (cm)</th> <th colspan="3">N° de hojas</th> <th rowspan="2">Mortalidad</th> <th colspan="3">Estado fitosanitario</th> </tr> <tr> <th>C</th> <th>N</th> <th>T</th> <th>Bueno</th> <th>Regular</th> <th>Malo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>T1_01</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T1_02</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T1_03</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T1_04</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T1_05</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T1_06</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T1_07</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T1_08</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T1_09</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T1_10</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T1_11</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T1_12</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T1_13</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T1_14</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T1_15</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T1_16</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T1_17</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T1_18</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T1_19</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T1_20</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	Indiv.	Altura (cm)	Diámetro (cm)	N° de hojas			Mortalidad	Estado fitosanitario			C	N	T	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										<p><b>T2: SUSTRATO Y SEQUÍA SEVERA</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Indiv.</th> <th rowspan="2">Altura (cm)</th> <th rowspan="2">Diámetro (cm)</th> <th colspan="3">N° de hojas</th> <th rowspan="2">Mortalidad</th> <th colspan="3">Estado fitosanitario</th> </tr> <tr> <th>C</th> <th>N</th> <th>T</th> <th>Bueno</th> <th>Regular</th> <th>Malo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>T2_01</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T2_02</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T2_03</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T2_04</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T2_05</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T2_06</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T2_07</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T2_08</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T2_09</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T2_10</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T2_11</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T2_12</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T2_13</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T2_14</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T2_15</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T2_16</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T2_17</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T2_18</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T2_19</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T2_20</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	Indiv.	Altura (cm)	Diámetro (cm)	N° de hojas			Mortalidad	Estado fitosanitario			C	N	T	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									
Indiv.				Altura (cm)	Diámetro (cm)	N° de hojas			Mortalidad	Estado fitosanitario																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
	C	N	T			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																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Indiv.	Altura (cm)	Diámetro (cm)	N° de hojas			Mortalidad	Estado fitosanitario																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
			C	N	T		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																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
<p><b>T3: SUSTRATO + FERTILIZANTE Y SEQUÍA MODERADA</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Indiv.</th> <th rowspan="2">Altura (cm)</th> <th rowspan="2">Diámetro (cm)</th> <th colspan="3">N° de hojas</th> <th rowspan="2">Mortalidad</th> <th colspan="3">Estado fitosanitario</th> </tr> <tr> <th>C</th> <th>N</th> <th>T</th> <th>Bueno</th> <th>Regular</th> <th>Malo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>T3_01</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T3_02</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T3_03</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T3_04</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T3_05</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T3_06</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T3_07</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T3_08</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T3_09</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T3_10</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T3_11</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T3_12</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T3_13</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T3_14</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T3_15</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T3_16</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T3_17</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T3_18</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T3_19</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T3_20</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	Indiv.	Altura (cm)	Diámetro (cm)	N° de hojas			Mortalidad	Estado fitosanitario			C	N	T	Bueno	Regular	Malo	T3_01										T3_02										T3_03										T3_04										T3_05										T3_06										T3_07										T3_08										T3_09										T3_10										T3_11										T3_12										T3_13										T3_14										T3_15										T3_16										T3_17										T3_18										T3_19										T3_20										<p><b>T4: SUSTRATO + FERTILIZANTE Y SEQUÍA MODERADA</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Indiv.</th> <th rowspan="2">Altura (cm)</th> <th rowspan="2">Diámetro (cm)</th> <th colspan="3">N° de hojas</th> <th rowspan="2">Mortalidad</th> <th colspan="3">Estado fitosanitario</th> </tr> <tr> <th>C</th> <th>N</th> <th>T</th> <th>Bueno</th> <th>Regular</th> <th>Malo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>T4_01</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T4_02</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T4_03</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T4_04</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T4_05</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T4_06</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T4_07</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T4_08</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T4_09</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T4_10</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T4_11</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T4_12</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T4_13</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T4_14</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T4_15</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T4_16</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T4_17</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T4_18</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T4_19</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>T4_20</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	Indiv.	Altura (cm)	Diámetro (cm)	N° de hojas			Mortalidad	Estado fitosanitario			C	N	T	Bueno	Regular	Malo	T4_01										T4_02										T4_03										T4_04										T4_05										T4_06										T4_07										T4_08										T4_09										T4_10										T4_11										T4_12										T4_13										T4_14										T4_15										T4_16										T4_17										T4_18										T4_19										T4_20									
Indiv.				Altura (cm)	Diámetro (cm)	N° de hojas			Mortalidad	Estado fitosanitario																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
	C	N	T			Bueno	Regular	Malo																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
T3_01																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
T3_02																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
T3_03																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
T3_04																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
T3_05																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
T3_06																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
T3_07																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
T3_08																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
T3_09																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
T3_10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
T3_11																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
T3_12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
T3_13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
T3_14																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
T3_15																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
T3_16																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
T3_17																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
T3_18																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
T3_19																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
T3_20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Indiv.	Altura (cm)	Diámetro (cm)	N° de hojas			Mortalidad	Estado fitosanitario																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
			C	N	T		Bueno	Regular	Malo																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
T4_01																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
T4_02																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
T4_03																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
T4_04																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
T4_05																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
T4_06																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
T4_07																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
T4_08																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
T4_09																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
T4_10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
T4_11																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
T4_12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
T4_13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
T4_14																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
T4_15																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
T4_16																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
T4_17																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
T4_18																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
T4_19																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
T4_20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	

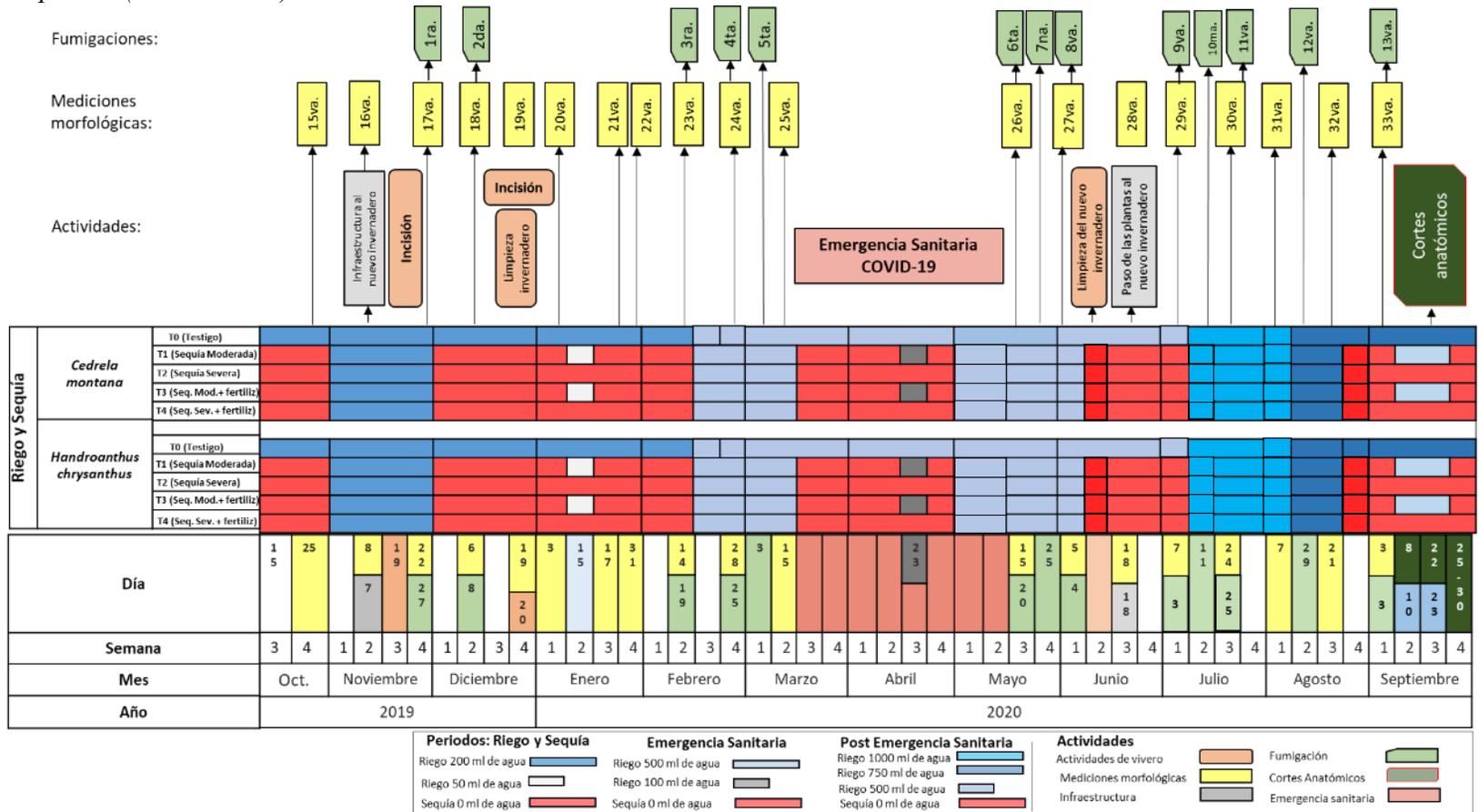
## Anexo 2

*Cronograma detallado de actividades realizadas en el proyecto: periodos de riego/estrés hídrico moderado y severo, mediciones de variables morfológicas, actividades varias realizadas en el invernadero y laboratorio de anatomía de maderas tropicales.*  
 a. *Etapa uno (0 – 6 meses)*

### Cronograma detallado de riego/sequía, fumigaciones, mediciones morfológicas, y actividades en plántulas bajo invernadero

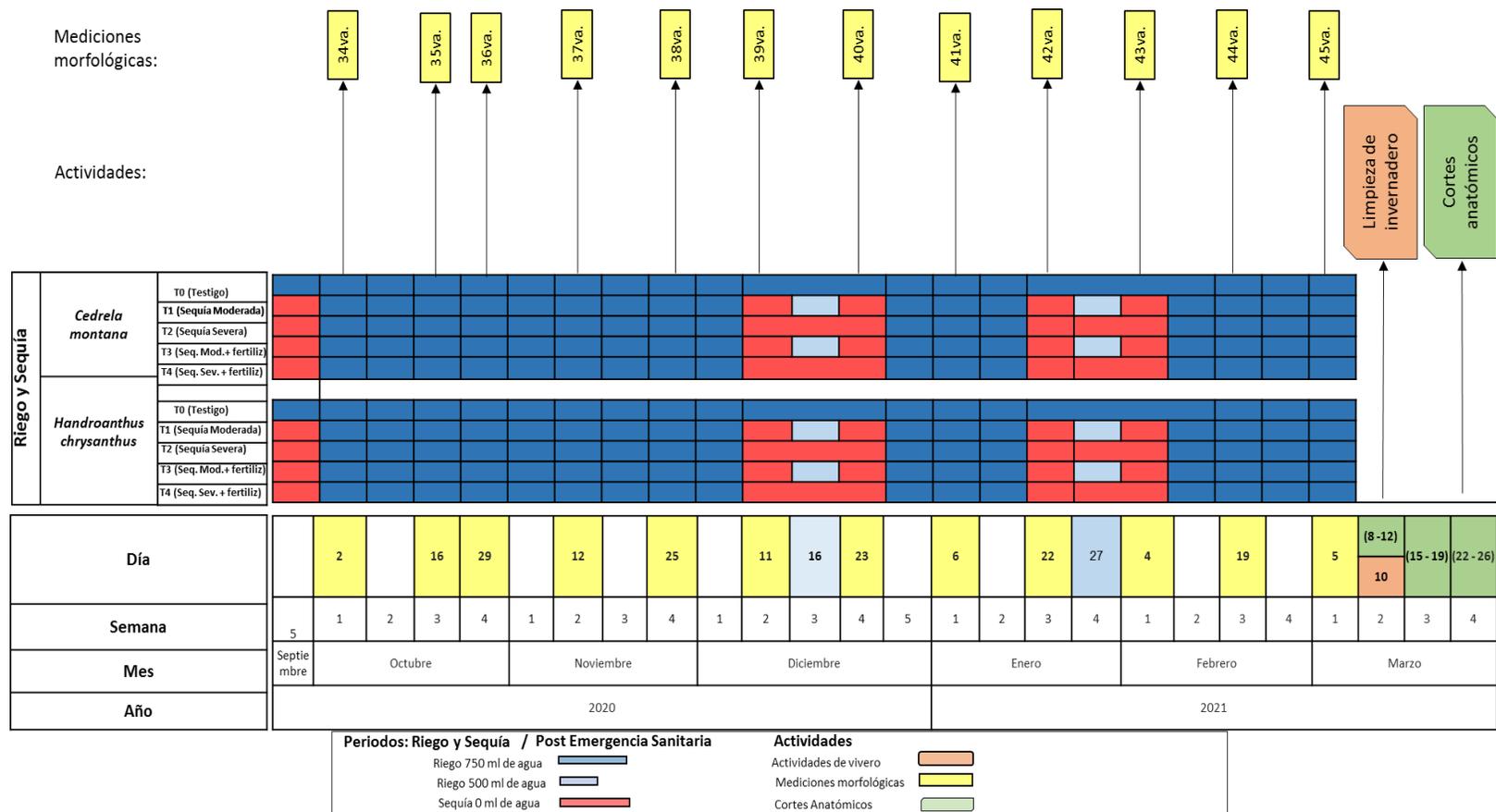


b. Etapa dos (6 – 17 meses)



c.

d. Etapa tres (17 – 24 meses)



## Anexo 3

### *Representación de gráficas de series temporales de variables morfológicas de las especies en estudio a través de la utilización del software estadístico Rstudio.*

```
## ---
#' Tesis: Cambios morfológicos y formación
de anillos de crecimiento por estrés hídrico
bajo condiciones controladas en planta de
Cedrela montana ex Turcz y Handroanthus
chrysanthus (JAQ.) S.O. GROSE en el cantón
Loja, Ecuador.
#' Title: PLOT DE RIEGO Y VARIABLES
MORFOLOGICAS
#' Subtitle: Análisis de datos de tesis
Guayacán
#' Author: Jefferson Quezada
#' Date: 20 de agosto de 2021
#' actualizado: 01sep2021
## ---
rm(list = ls()) # Resetear o limpiar todos
los objetos del área de trabajo
graphics.off() # Resetear o limpiar área
de gráficos
Ctrl + 1 # Limpiar la consola

# Fijar carpeta de trabajo
setwd("C:/Users/usuario/Documents/JeffeR/T
esis/R/CSV Handroanthus chrysanthus")

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

## 1.1. Abrir base de datos
datos.HC.T0 <- read.csv("T0_resumen.csv",
sep = ";", dec = ",")

## 1.2. Convertir columna a formato de fecha
datos.HC.T0$Fecha2_riego <-
as.POSIXct(datos.HC.T0$Fecha2_riego,
format = "%d.%m.%Y")
datos.HC.T0$Fecha_medicion <-
as.POSIXct(datos.HC.T0$Fecha_medicion,
format = "%d.%m.%Y")

## 1.3. Subtabla solo de variables para
analizar
datos.HC.T0_med <- datos.HC.T0[ , c(3, 5,
7:27)]

## 1.4. Funcion que deja solo columnas
completas
datos.HC.T0_med <-
datos.HC.T0_med[complete.cases(datos.HC.T0
_med) , 1]

## 1.5. Subtablas
library(reshape)

# 1.5.1. Diametro
datos.HC.T0_med.diam <- datos.HC.T0_med[,
c(2, 9:11)] #Seleccionar columnas
colnames(datos.HC.T0_med.diam) <-
c("Fecha", "T0_07", "T0_14", "T0_19") #
Cambiar nombres de columnas
datos.HC.T0_med.diam2 <-
melt(datos.HC.T0_med.diam, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.T0_med.diam2)[3] <-
"value.diam" # cambiar nombre a la
columna valores
# a. Diametro IC
datos.HC.T0_med.diamIC <- datos.HC.T0_med[,
c(2, 12:14)] #Seleccionar columnas
colnames(datos.HC.T0_med.diamIC) <-
c("Fecha", "T0_07", "T0_14", "T0_19") #
Cambiar nombres de columnas
datos.HC.T0_med.diamIC2 <-
melt(datos.HC.T0_med.diamIC, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.T0_med.diamIC2)[3] <-
"value.diamIC" # cambiar nombre a la
columna valores
# b. Diametro + Diametro IC
datos.HC.T0_med.diam3 <-
datos.HC.T0_med.diam2 # hacer una copia de
...diam2
datos.HC.T0_med.diam3$value.diamIC <-
datos.HC.T0_med.diamIC2$value.diamIC #
copiar solo la columna value.diamIC

# 1.5.2. Altura
datos.HC.T0_med.alt <- datos.HC.T0_med[,
c(2, 3:5)] #Seleccionar columnas
colnames(datos.HC.T0_med.alt) <- c("Fecha",
"T0_07", "T0_14", "T0_19") # Cambiar nombres
de columnas
datos.HC.T0_med.alt2 <-
melt(datos.HC.T0_med.alt, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.T0_med.alt2)[3] <-
"Acumulado" # cambiar nombre a la columna
valores
# a. Altura IC
datos.HC.T0_med.altIC <- datos.HC.T0_med[,
c(2, 6:8)] #Seleccionar columnas
colnames(datos.HC.T0_med.altIC) <-
c("Fecha", "T0_07", "T0_14", "T0_19") #
Cambiar nombres de columnas
datos.HC.T0_med.altIC2 <-
melt(datos.HC.T0_med.altIC, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.T0_med.altIC2)[3] <-
"Inc.Corriente" # cambiar nombre a la
columna valores
# b. Altura + Altura IC
datos.HC.T0_med.alt3 <-
datos.HC.T0_med.alt2 # hacer una copia de
...alt2
datos.HC.T0_med.alt3$`Inc.Corriente` <-
datos.HC.T0_med.altIC2$`Inc.Corriente` #
copiar solo la columna value.altIC
# c. Convertir a formato largo
datos.HC.T0_med.alt4 <-
melt(datos.HC.T0_med.alt3, id.vars =
c("Fecha", "variable"), variable_name =
"Clase" )
```

```

# 1.5.3. Hojas
datos.HC.T0_med.hoj <- datos.HC.T0_med[,
c(2, 15:17) ] #Seleccionar columnas
colnames(datos.HC.T0_med.hoj) <- c("Fecha",
"T0_07", "T0_14", "T0_19") # Cambiar nombres
de columnas
datos.HC.T0_med.hoj2 <-
melt(datos.HC.T0_med.hoj, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.T0_med.hoj2) [3] <-
"Acumulado" # cambiar nombre a la columna
valores
# a. Hojas IC
datos.HC.T0_med.hojIC <- datos.HC.T0_med[,
c(2, 18:20) ] #Seleccionar columnas
colnames(datos.HC.T0_med.hojIC) <-
c("Fecha", "T0_07", "T0_14", "T0_19") #
Cambiar nombres de columnas
datos.HC.T0_med.hojIC2 <-
melt(datos.HC.T0_med.hojIC, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.T0_med.hojIC2) [3] <-
"Inc.Corriente" # cambiar nombre a la
columna valores
# b. Hojas + Hojas IC
datos.HC.T0_med.hoj3 <-
datos.HC.T0_med.hoj2 # hacer una copia de
...alt2
datos.HC.T0_med.hoj3$`Inc.Corriente` <-
datos.HC.T0_med.hojIC2$`Inc.Corriente` #
copiar solo la columna value.altIC
# c. Convertir a formato largo
datos.HC.T0_med.hoj4 <-
melt(datos.HC.T0_med.hoj3, id.vars =
c("Fecha", "variable"), variable_name =
"Clase" )

# 1.5.4. Estado Fitosanitario
datos.HC.T0_med.fit <- datos.HC.T0_med[,
c(2, 21:23) ] #Seleccionar columnas
colnames(datos.HC.T0_med.fit) <- c("Fecha",
"T0_07", "T0_14", "T0_19") # Cambiar nombres
de columnas
datos.HC.T0_med.fit2 <-
melt(datos.HC.T0_med.fit, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.T0_med.fit2) [3] <-
"value.fit" # cambiar nombre a la columna
valores

#####
## 1.6. PLOTS
library(ggplot2)

# 1.6.1. DIAMETRO T0
diam.2doY <-
max(datos.HC.T0_med.diam3$value.diam)/
max(datos.HC.T0_med.diam3$value.diamIC*2.5
) # *2 para que la escala del 2do eje Y sea
el doble
HC.T0_diam <-
ggplot(datos.HC.T0_med.diam3, aes(x =
Fecha, color = variable)) +
geom_line(aes(y = value.diam)) +
geom_line(aes(y = value.diamIC), linetype
= "dashed", size = 0.7) +

```

```

scale_y_continuous(name = "
Acumulada (cm)", sec.axis = sec_axis(~./2,
name = "--- Inc.Corriente (cm)")) +
theme_minimal() +
theme(axis.title.x = element_blank(),
axis.text.x = element_blank(),

axis.title.y.left=element_text(color="black
k"),

axis.text.y.left=element_text(color="black
"),

axis.title.y.right=element_text(color="bla
ck"),

axis.text.y.right=element_text(color="blac
k")) +
geom_point(aes(y = value.diam), shape =
16) +
geom_point(aes(y = value.diamIC), shape =
17) +
annotate(geom = "text", x =
as.POSIXct("2020-04-05"), y = 1.9, label =
"Inicio de la \nPANDEMIA", color = "grey20")
+
annotate(geom = "text", x =
as.POSIXct("2019-05-01"), y = 0.9, label =
"Etapa 01", colour = "grey") +
annotate(geom = "text", x =
as.POSIXct("2020-01-01"), y = 0.9, label =
"Etapa 02", colour = "grey") +
annotate(geom = "text", x =
as.POSIXct("2020-11-01"), y = 0.9, label =
"Etapa 03", colour = "grey60") +
annotate(geom = "text", x =
as.POSIXct("2020-08-15"), y = 1.3, label =
"Nuevo invernadero", colour = "grey40") +

geom_rect(aes(xmin = as.POSIXct("2020-02-
29"), xmax = as.POSIXct("2020-05-11"), ymin
= -Inf, ymax = Inf),
colour = "grey90", fill="grey",
alpha = 0.01) +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2019-09-
25"), y = 0, # Inicio tesista 2
xend = as.POSIXct("2019-
09-25"),
yend = 2.0), linetype =
"dotted") +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-07-
08"), y = 0, # Inicio tesista 3
xend = as.POSIXct("2020-
07-08"),
yend = 2.0), linetype =
"dotted") +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-06-
15"), y = 0, # Cambio de \ninvernadero
xend = as.POSIXct("2020-
06-15"),
yend = 2.0), linetype =
"solid", colour = "grey") +
ggtitle("Diámetro")

# 1.6.2. Altura T0
max.alt <-
max(datos.HC.T0_med.alt4$value)*0.5
HC.T0_alt <-
ggplot(datos.HC.T0_med.alt4, aes(x =
Fecha, y = value, color = variable)) +
geom_line() +

```

```

facet_grid(Clase~., scale = "free_y") +
theme_minimal() + theme(axis.title.x =
element_blank(),
axis.text.x =
element_blank(),
axis.title.y.left=element_text(color="black"),
axis.text.y.left=element_text(color="black") +
geom_point(aes(y = value), shape = 16) +
geom_rect(aes(xmin = as.POSIXct("2020-02-29"), xmax = as.POSIXct("2020-05-11"), ymin = -Inf, ymax = Inf),
colour = "grey90", fill="grey",
alpha = 0.01) +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2019-09-25"), y = 0, # Inicio tesista 2
xend = as.POSIXct("2019-09-25"),
yend = max.alt),
linetype = "dotted") +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-07-08"), y = 0, # Inicio tesista 3
xend = as.POSIXct("2020-07-08"),
yend = max.alt ),
linetype = "dotted") +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-06-15"), y = 0, # Cambio de \ninvernadero
xend = as.POSIXct("2020-06-15"),
yend = max.alt),
linetype = "solid", colour = "grey") +
scale_y_continuous(name = "Altura (cm)") +
ggtitle("Altura")

# 1.6.3. NRO DE HOJAS
max.hoj <-
max(datos.HC.T0_med.hoj4[5]value)*0.9
HC.T0_hoj <-
ggplot(datos.HC.T0_med.hoj4, aes(x =
Fecha, y = value, color = variable)) +
geom_line() +
facet_grid(Clase~., scale = "free_y") +
theme_minimal() + theme(axis.title.x =
element_blank(),
axis.text.x =
element_blank(),
axis.title.y.left=element_text(color="black"),
axis.text.y.left=element_text(color="black") +
geom_point(aes(y = value), shape = 16) +
geom_rect(aes(xmin = as.POSIXct("2020-02-29"), xmax = as.POSIXct("2020-05-11"), ymin = -Inf, ymax = Inf),
colour = "grey90", fill="grey",
alpha = 0.01) +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2019-09-25"), y = 0, # Inicio tesista 2
xend = as.POSIXct("2019-09-25"),
yend = max.hoj),
linetype = "dotted") +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-07-08"), y = 0, # Inicio tesista 3

```

```

xend = as.POSIXct("2020-07-08"),
yend = max.hoj ),
linetype = "dotted") +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-06-15"), y = 0, # Cambio de \ninvernadero
xend = as.POSIXct("2020-06-15"),
yend = max.hoj),
linetype = "solid", colour = "grey") +
scale_y_continuous(name = "Nro. hojas") +
ggtitle("Número de hojas")

# 1.6.4. ESTADO FITOSANITARIO
max.fito <-
max(datos.HC.T0_med.fit2[5]value.fit*2)
HC.T0_FITO <-
ggplot(datos.HC.T0_med.fit2, aes(x =
Fecha, y = value.fit, color = variable)) +
geom_line(stat="identity") +
scale_y_continuous(name = "Estado
fitosanitario \n[3= muy bueno, 2 = medio,
\n1 = regular]") +
theme_minimal() + theme(axis.title.x =
element_blank(),
axis.text.x =
element_blank(),
axis.title.y.left=element_text(color="black"),
axis.text.y.left=element_text(color="black") +
geom_point(aes(y = value.fit), shape = 16) +
geom_rect(aes(xmin = as.POSIXct("2020-02-29"), xmax = as.POSIXct("2020-05-11"), ymin = -Inf, ymax = Inf),
colour = "grey90", fill="grey",
alpha = 0.01) +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2019-09-25"), y = 0, # Inicio tesista 2
xend = as.POSIXct("2019-09-25"),
yend = max.fito),
linetype = "dotted") +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-07-08"), y = 0, # Inicio tesista 3
xend = as.POSIXct("2020-07-08"),
yend = max.fito),
linetype = "dotted") +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-06-15"), y = 0, # Cambio de \ninvernadero
xend = as.POSIXct("2020-06-15"),
yend = max.fito),
linetype = "solid", colour = "grey") +
ggtitle("Estado Fitosanitario")

# 1.6.5. RIEGO
max.riego <- max(datos.HC.T0[5]Riego_mm_T0)
HC.T0_RIEGO <- ggplot(datos.HC.T0[2:93,],
aes(Fecha2_riego, Riego_mm_T0)) +
geom_bar(stat="identity", fill =
"steelblue") +
theme_minimal() +

```

```

    theme(axis.title.x = element_blank(),
axis.text.x = element_text(angle=90)) +
ylab("Riego (ml)") +
  geom_rect(aes(xmin = as.POSIXct("2020-02-29"), xmax = as.POSIXct("2020-05-11"), ymin = -Inf, ymax = Inf),
    colour = "grey90", fill="grey",
alpha = 0.01) +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2019-09-25"), y = 0, # Inicio tesista 2
    xend = as.POSIXct("2019-09-25"),
    yend = max.riego),
linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-07-08"), y = 0, # Inicio tesista 3
    xend = as.POSIXct("2020-07-08"),
    yend = max.riego),
linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-06-15"), y = 0, # Cambio de \ninvernadero
    xend = as.POSIXct("2020-06-15"),
    yend = max.riego),
linetype = "solid", colour = "grey") +
  scale_x_datetime(date_breaks = "1 month")

## 1.7. union de Plots con eje X alineado
#Basado en
https://gist.github.com/tomhopper/faa24797bb44addeba79
library(grid)
library(egg)

egg::ggarrange(HC.T0_diam, HC.T0_alt,
HC.T0_hoj, HC.T0_FITO, HC.T0_RIEGO,
ncol = 1, top = "Handroanthus chrysanthus T0")

# 1.7.1 Exportar como PDF
pdf("HC.T0_resumenPlot.pdf", onefile=TRUE,
paper="a4", pointsize = 18)

egg::ggarrange(HC.T0_diam, HC.T0_alt,
HC.T0_hoj, HC.T0_FITO, HC.T0_RIEGO,
ncol = 1, top = "Handroanthus chrysanthus T0")

dev.off()

# 1.7.2. Exportar como JPG
jpeg(filename="HC.T0_resumenPlot.jpg",
width = 210*1.2, height = 297*1.2, units =
"mm", res=600) # Exportar como JPG

egg::ggarrange(HC.T0_diam, HC.T0_alt,
HC.T0_hoj, HC.T0_FITO, HC.T0_RIEGO,
ncol = 1, top = "Handroanthus chrysanthus T0")

dev.off()

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

## 2.1. Abrir base de datos

datos.HC.T1 <- read.csv("T1_resumen.csv",
sep = ";", dec = ",")

## 2.2. Convertir columna a formato de fecha
datos.HC.T1$Fecha2_riego <-
as.POSIXct(datos.HC.T1$Fecha2_riego,
format = "%d.%m.%Y")
datos.HC.T1$Fecha_medicion <-
as.POSIXct(datos.HC.T1$Fecha_medicion,
format = "%d.%m.%Y")

## 2.3. Subtabla solo de variables para
analizar
datos.HC.T1_med <- datos.HC.T1[, c(3, 5,
7:27)]

## 2.4. Funcion que deja solo columnas
completas
datos.HC.T1_med <-
datos.HC.T1_med[complete.cases(datos.HC.T1
_med) , ]

## 2.4.1. Union de filas de T0 a T1
datos.HC.T1_med2 <- datos.HC.T1_med
datos.HC.T1_med2[35:44, 1:2] <-
datos.HC.T0_med[35:44, 1:2] # Unimos
ultimas filas del T0 [35:44,]

## 2.5. Subtablas
library(reshape)

# 2.5.1. Diametro
datos.HC.T1_med.diam <- datos.HC.T1_med2[,
c(2, 9:11)] #Seleccionar columnas
colnames(datos.HC.T1_med.diam) <-
c("Fecha", "T1_04", "T1_16", "T1_19") #
Cambiar nombres de columnas
datos.HC.T1_med.diam2 <-
melt(datos.HC.T1_med.diam, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.T1_med.diam2)[3] <-
"value.diam" # cambiar nombre a la columna
valores
# a. Diametro IC
datos.HC.T1_med.diamIC <-
datos.HC.T1_med2[, c(2, 12:14)]
#Seleccionar columnas
colnames(datos.HC.T1_med.diamIC) <-
c("Fecha", "T1_04", "T1_16", "T1_19") #
Cambiar nombres de columnas
datos.HC.T1_med.diamIC2 <-
melt(datos.HC.T1_med.diamIC, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.T1_med.diamIC2)[3] <-
"value.diamIC" # cambiar nombre a la
columna valores
# b. Diametro + Diametro IC
datos.HC.T1_med.diam3 <-
datos.HC.T1_med.diam2 # hacer una copia de
...diam2
datos.HC.T1_med.diam3$value.diamIC <-
datos.HC.T1_med.diamIC2$value.diamIC #
copiar solo la columna value.diamIC

# 2.5.2. Altura
datos.HC.T1_med.alt <- datos.HC.T1_med2[,
c(2, 3:5)] #Seleccionar columnas

```

```

colnames(datos.HC.T1_med.alt) <- c("Fecha",
"T1_04", "T1_16", "T1_19") # Cambiar nombres
de columnas
datos.HC.T1_med.alt2 <-
melt(datos.HC.T1_med.alt, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.T1_med.alt2)[3] <-
"Acumulado" # cambiar nombre a la columna
valores
# a. Altura IC
datos.HC.T1_med.altIC <- datos.HC.T1_med2[,
c(2, 6:8)] #Seleccionar columnas
colnames(datos.HC.T1_med.altIC) <-
c("Fecha", "T1_04", "T1_16", "T1_19") #
Cambiar nombres de columnas
datos.HC.T1_med.altIC2 <-
melt(datos.HC.T1_med.altIC, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.T1_med.altIC2)[3] <-
"Inc.Coriiente" # cambiar nombre a la
columna valores
# b. Altura + Altura IC
datos.HC.T1_med.alt3 <-
datos.HC.T1_med.alt2 # hacer una copia de
...alt2
datos.HC.T1_med.alt3$`Inc.Coriiente` <-
datos.HC.T1_med.altIC2$`Inc.Coriiente` #
copiar solo la columna value.altIC
# c. Convertir a formato largo
datos.HC.T1_med.alt4 <-
melt(datos.HC.T1_med.alt3, id.vars =
c("Fecha", "variable"), variable_name =
"Clase")

# 2.5.3. Hojas
datos.HC.T1_med.hoj <- datos.HC.T1_med2[,
c(2, 15:17)] #Seleccionar columnas
colnames(datos.HC.T1_med.hoj) <- c("Fecha",
"T1_04", "T1_16", "T1_19") # Cambiar nombres
de columnas
datos.HC.T1_med.hoj2 <-
melt(datos.HC.T1_med.hoj, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.T1_med.hoj2)[3] <-
"Acumulado" # cambiar nombre a la columna
valores
# a. Hojas IC
datos.HC.T1_med.hojIC <- datos.HC.T1_med2[,
c(2, 18:20)] #Seleccionar columnas
colnames(datos.HC.T1_med.hojIC) <-
c("Fecha", "T1_04", "T1_16", "T1_19") #
Cambiar nombres de columnas
datos.HC.T1_med.hojIC2 <-
melt(datos.HC.T1_med.hojIC, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.T1_med.hojIC2)[3] <-
"Inc.Coriiente" # cambiar nombre a la
columna valores
# b. Hojas + Hojas IC
datos.HC.T1_med.hoj3 <-
datos.HC.T1_med.hoj2 # hacer una copia de
...alt2
datos.HC.T1_med.hoj3$`Inc.Coriiente` <-
datos.HC.T1_med.hojIC2$`Inc.Coriiente` #
copiar solo la columna value.altIC
# c. Convertir a formato largo

```

```

datos.HC.T1_med.hoj4 <-
melt(datos.HC.T1_med.hoj3, id.vars =
c("Fecha", "variable"), variable_name =
"Clase")

# 2.5.4. Estado Fitosanitario
datos.HC.T1_med.fit <- datos.HC.T1_med2[,
c(2, 21:23)] #Seleccionar columnas
colnames(datos.HC.T1_med.fit) <- c("Fecha",
"T1_04", "T1_16", "T1_19") # Cambiar nombres
de columnas
datos.HC.T1_med.fit2 <-
melt(datos.HC.T1_med.fit, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.T1_med.fit2)[3] <-
"value.fit" # cambiar nombre a la columna
valores

#####
## 2.6. PLOTS
library(ggplot2)

# 2.6.1. DIAMETRO T1
diam.2doY <-
max(datos.HC.T1_med.diam3$value.diam) /
max(datos.HC.T1_med.diam3$value.diamIC*2.5
) # *2 para que la escala del 2do eje Y sea
el doble
HC.T1_diam <-
ggplot(datos.HC.T1_med.diam3, aes(x =
Fecha, color = variable)) +
geom_line(aes(y = value.diam)) +
geom_line(aes(y = value.diamIC), linetype
= "dashed", size = 0.7) +
scale_y_continuous(name = "
Acumulada (cm)", sec.axis = sec_axis(~./2,
name = "--- Inc.Coriiente (cm)")) +
theme_minimal() +
theme(axis.title.x = element_blank(),
axis.text.x = element_blank(),

axis.title.y.left=element_text(color="black"),

axis.text.y.left=element_text(color="black"),

axis.title.y.right=element_text(color="black"),

axis.text.y.right=element_text(color="black")) +
geom_point(aes(y = value.diam), shape =
16) +
geom_point(aes(y = value.diamIC), shape =
17) +
annotate(geom = "text", x =
as.POSIXct("2020-04-05"), y = 1.9, label =
"Inicio de la \nPANDEMIA", color = "grey20") +
annotate(geom = "text", x =
as.POSIXct("2019-05-01"), y = 0.9, label =
"Etapa 01", colour = "grey") +
annotate(geom = "text", x =
as.POSIXct("2020-01-01"), y = 0.9, label =
"Etapa 02", colour = "grey") +
annotate(geom = "text", x =
as.POSIXct("2020-11-01"), y = 0.9, label =
"Etapa 03", colour = "grey60") +

```

```

  annotate(geom = "text", x =
as.POSIXct("2020-08-15"), y = 1.3, label =
"Nuevo invernadero", colour = "grey40") +

  geom_rect(aes(xmin = as.POSIXct("2020-02-
29"), xmax = as.POSIXct("2020-05-11"), ymin
= -Inf, ymax = Inf),
  colour = "grey90", fill="grey",
alpha = 0.01) +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2019-09-
25"), y = 0, # Inicio tesista 2
  xend = as.POSIXct("2019-
09-25"),
  yend = 2.0), linetype =
"dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-07-
08"), y = 0, # Inicio tesista 3
  xend = as.POSIXct("2020-
07-08"),
  yend = 2.0), linetype =
"dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-06-
15"), y = 0, # Cambio de \ninvernadero
  xend = as.POSIXct("2020-
06-15"),
  yend = 2.0), linetype =
"solid", colour = "grey") +
  ggtitle("Diámetro")

# 2.6.2. Altura Tl
max.alt <-
max(datos.HC.Tl_med.alt4$value)*0.5
HC.Tl_alt <-
ggplot(datos.HC.Tl_med.alt4, aes(x =
Fecha, y = value, color = variable)) +
  geom_line() +
  facet_grid(Clase~., scale = "free_y") +
  theme_minimal() + theme(axis.title.x =
element_blank(),
axis.text.x =
element_blank(),
axis.title.y.left=element_text(color="black"),
axis.text.y.left=element_text(color="black")) +
  geom_point(aes(y = value), shape = 16) +
  geom_rect(aes(xmin = as.POSIXct("2020-02-
29"), xmax = as.POSIXct("2020-05-11"), ymin
= -Inf, ymax = Inf),
  colour = "grey90", fill="grey",
alpha = 0.01) +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2019-09-
25"), y = 0, # Inicio tesista 2
  xend = as.POSIXct("2019-
09-25"),
  yend = max.alt),
linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-07-
08"), y = 0, # Inicio tesista 3
  xend = as.POSIXct("2020-
07-08"),
  yend = max.alt ),
linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-06-
15"), y = 0, # Cambio de \ninvernadero
  xend = as.POSIXct("2020-
06-15"),
  yend = max.alt),
linetype = "solid", colour = "grey") +

```

```

  scale_y_continuous(name = "Altura (cm)")
+
  ggtitle("Altura")

# 2.6.3. NRO DE HOJAS
max.hoj <-
max(datos.HC.Tl_med.hoj4$value)*0.9
HC.Tl_hoj <-
ggplot(datos.HC.Tl_med.hoj4, aes(x =
Fecha, y = value, color = variable)) +
  geom_line() +
  facet_grid(Clase~., scale = "free_y") +
  theme_minimal() + theme(axis.title.x =
element_blank(),
axis.text.x =
element_blank(),
axis.title.y.left=element_text(color="black"),
axis.text.y.left=element_text(color="black")) +
  geom_point(aes(y = value), shape = 16) +
  geom_rect(aes(xmin = as.POSIXct("2020-02-
29"), xmax = as.POSIXct("2020-05-11"), ymin
= -Inf, ymax = Inf),
  colour = "grey90", fill="grey",
alpha = 0.01) +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2019-09-
25"), y = 0, # Inicio tesista 2
  xend = as.POSIXct("2019-
09-25"),
  yend = max.hoj),
linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-07-
08"), y = 0, # Inicio tesista 3
  xend = as.POSIXct("2020-
07-08"),
  yend = max.hoj ),
linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-06-
15"), y = 0, # Cambio de \ninvernadero
  xend = as.POSIXct("2020-
06-15"),
  yend = max.hoj),
linetype = "solid", colour = "grey") +
  scale_y_continuous(name = "Nro. hojas")
+
  ggtitle("Número de hojas")

# 2.6.4. ESTADO FITOSANITARIO
max.fito <-
max(datos.HC.Tl_med.fit2$value.fit*2)
HC.Tl_FITO <-
ggplot(datos.HC.Tl_med.fit2, aes(x =
Fecha, y = value.fit, color = variable)) +
  geom_line(stat="identity") +
  scale_y_continuous(name = "Estado
fitosanitario \n[3= muy bueno, 2 = medio,
\n1 = regular]") +
  theme_minimal() + theme(axis.title.x =
element_blank(),
axis.text.x =
element_blank(),
axis.title.y.left=element_text(color="black"),
axis.text.y.left=element_text(color="black")) +

```

```

geom_point(aes(y = value.fit), shape = 16)
+
  geom_rect(aes(xmin = as.POSIXct("2020-02-29"),
xmax = as.POSIXct("2020-05-11"), ymin = -Inf, ymax = Inf),
  colour = "grey90", fill="grey", alpha = 0.01) +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2019-09-25"), y = 0, # Inicio tesista 2
xend = as.POSIXct("2019-09-25"),
yend = max.fito),
linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-07-08"), y = 0, # Inicio tesista 3
xend = as.POSIXct("2020-07-08"),
yend = max.fito),
linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-06-15"), y = 0, # Cambio de \ninvernadero
xend = as.POSIXct("2020-06-15"),
yend = max.fito),
linetype = "solid", colour = "grey") +
  ggtitle("Estado Fitosanitario")

# 2.6.5. RIEGO
max.riego <- max(datos.HC.T1$Riego_mm_T1)
HC.T1_RIEGO <- ggplot(datos.HC.T1[2:93,],
aes(Fecha2_riego, Riego_mm_T1)) +
geom_bar(stat="identity", fill = "steelblue") +
  theme_minimal() +
  theme(axis.title.x = element_blank(),
axis.text.x = element_text(angle=90)) +
ylab("Riego (ml)") +
  geom_rect(aes(xmin = as.POSIXct("2020-02-29"),
xmax = as.POSIXct("2020-05-11"), ymin = -Inf, ymax = Inf),
  colour = "grey90", fill="grey", alpha = 0.01) +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2019-09-25"), y = 0, # Inicio tesista 2
xend = as.POSIXct("2019-09-25"),
yend = max.riego),
linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-07-08"), y = 0, # Inicio tesista 3
xend = as.POSIXct("2020-07-08"),
yend = max.riego),
linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-06-15"), y = 0, # Cambio de \ninvernadero
xend = as.POSIXct("2020-06-15"),
yend = max.riego),
linetype = "solid", colour = "grey") +
  scale_x_datetime(date_breaks = "1 month")

## 2.7. union de Plots con eje X alineado
#Basado en
https://gist.github.com/tomhopper/faa24797bb44addeba79
library(grid)
library(egg)

```

```

egg::ggarrange(HC.T1_diam, HC.T1_alt,
HC.T1_hoj, HC.T1_FITO, HC.T1_RIEGO,
ncol = 1, top = "Handroanthus chrysanthus T1")

# 2.7.1 Exportar como PDF
pdf("HC.T1_resumenPlot.pdf", onefile=TRUE,
paper="a4", pointsize = 18)

egg::ggarrange(HC.T1_diam, HC.T1_alt,
HC.T1_hoj, HC.T1_FITO, HC.T1_RIEGO,
ncol = 1, top = "Handroanthus chrysanthus T1")

dev.off()

# 2.7.2. Exportar como JPG
jpeg(filename="HC.T1_resumenPlot.jpg",
width = 210*1.2, height = 297*1.2, units = "mm", res=600) # Exportar como JPG

egg::ggarrange(HC.T1_diam, HC.T1_alt,
HC.T1_hoj, HC.T1_FITO, HC.T1_RIEGO,
ncol = 1, top = "Handroanthus chrysanthus T1")

dev.off()

#####
#####
##### 3. TRATAMIENTO 2 #####
#####

## 3.1. Abrir base de datos
datos.HC.T2 <- read.csv("T2_resumen.csv",
sep = ";", dec = ",")

## 3.2. Convertir columna a formato de fecha
datos.HC.T2$Fecha2_riego <-
as.POSIXct(datos.HC.T2$Fecha2_riego,
format = "%d.%m.%Y")
datos.HC.T2$Fecha_medicion <-
as.POSIXct(datos.HC.T2$Fecha_medicion,
format = "%d.%m.%Y")

## 3.3. Subtabla solo de variables para analizar
datos.HC.T2_med <- datos.HC.T2[, c(3, 5, 7:27)]

## 3.4. Funcion que deja solo columnas completas
datos.HC.T2_med <-
datos.HC.T2_med[complete.cases(datos.HC.T2_med), ]

## 3.4.1. Union de filas de T0 a T2
datos.HC.T2_med2 <- datos.HC.T2_med
datos.HC.T2_med2[34:44, 1:2] <-
datos.HC.T0_med[34:44, 1:2] # Unimos
ultimas filas del T0 [35:44,]

## 3.5. Subtablas
library(reshape)

# 3.5.1. Diametro
datos.HC.T2_med.diam <- datos.HC.T2_med2[,
c(2, 9:11)] #Seleccionar columnas

```

```

colnames(datos.HC.T2_med.diam) <-
c("Fecha", "T2_04", "T2_09", "T2_10") #
Cambiar nombres de columnas
datos.HC.T2_med.diam2 <-
melt(datos.HC.T2_med.diam, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.T2_med.diam2)[3] <-
"value.diam" # cambiar nombre a la columna
valores
# a. Diametro IC
datos.HC.T2_med.diamIC <-
datos.HC.T2_med2[, c(2, 12:14) ]
#Seleccionar columnas
colnames(datos.HC.T2_med.diamIC) <-
c("Fecha", "T2_04", "T2_09", "T2_10") #
Cambiar nombres de columnas
datos.HC.T2_med.diamIC2 <-
melt(datos.HC.T2_med.diamIC, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.T2_med.diamIC2)[3] <-
"value.diamIC" # cambiar nombre a la
columna valores
# b. Diametro + Diametro IC
datos.HC.T2_med.diam3 <-
datos.HC.T2_med.diam2 # hacer una copia de
...diam2
datos.HC.T2_med.diam3$value.diamIC <-
datos.HC.T2_med.diamIC2$value.diamIC #
copiar solo la columna value.diamIC

# 3.5.2. Altura
datos.HC.T2_med.alt <- datos.HC.T2_med2[,
c(2, 3:5) ] #Seleccionar columnas
colnames(datos.HC.T2_med.alt) <- c("Fecha",
"T2_04", "T2_09", "T2_10") # Cambiar nombres
de columnas
datos.HC.T2_med.alt2 <-
melt(datos.HC.T2_med.alt, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.T2_med.alt2)[3] <-
"Acumulado" # cambiar nombre a la columna
valores
# a. Altura IC
datos.HC.T2_med.altIC <- datos.HC.T2_med2[,
c(2, 6:8) ] #Seleccionar columnas
colnames(datos.HC.T2_med.altIC) <-
c("Fecha", "T2_04", "T2_09", "T2_10") #
Cambiar nombres de columnas
datos.HC.T2_med.altIC2 <-
melt(datos.HC.T2_med.altIC, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.T2_med.altIC2)[3] <-
"Inc.Corriente" # cambiar nombre a la
columna valores
# b. Altura + Altura IC
datos.HC.T2_med.alt3 <-
datos.HC.T2_med.alt2 # hacer una copia de
...alt2
datos.HC.T2_med.alt3$`Inc.Corriente` <-
datos.HC.T2_med.altIC2$`Inc.Corriente` #
copiar solo la columna value.altIC
# c. Convertir a formato largo
datos.HC.T2_med.alt4 <-
melt(datos.HC.T2_med.alt3, id.vars =
c("Fecha", "variable"), variable_name =
"Clase" )

# 3.5.3. Hojas
datos.HC.T2_med.hoj <- datos.HC.T2_med2[,
c(2, 15:17) ] #Seleccionar columnas
colnames(datos.HC.T2_med.hoj) <- c("Fecha",
"T2_04", "T2_09", "T2_10") # Cambiar nombres
de columnas
datos.HC.T2_med.hoj2 <-
melt(datos.HC.T2_med.hoj, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.T2_med.hoj2)[3] <-
"Acumulado" # cambiar nombre a la columna
valores
# a. Hojas IC
datos.HC.T2_med.hojIC <- datos.HC.T2_med2[,
c(2, 18:20) ] #Seleccionar columnas
colnames(datos.HC.T2_med.hojIC) <-
c("Fecha", "T2_04", "T2_09", "T2_10") #
Cambiar nombres de columnas
datos.HC.T2_med.hojIC2 <-
melt(datos.HC.T2_med.hojIC, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.T2_med.hojIC2)[3] <-
"Inc.Corriente" # cambiar nombre a la
columna valores
# b. Hojas + Hojas IC
datos.HC.T2_med.hoj3 <-
datos.HC.T2_med.hoj2 # hacer una copia
de...alt2
datos.HC.T2_med.hoj3$`Inc.Corriente` <-
datos.HC.T2_med.hojIC2$`Inc.Corriente` #
copiar solo la columna value.altIC
# c. Convertir a formato largo
datos.HC.T2_med.hoj4 <-
melt(datos.HC.T2_med.hoj3, id.vars =
c("Fecha", "variable"), variable_name =
"Clase" )

# 3.5.4. Estado Fitosanitario
datos.HC.T2_med.fit <- datos.HC.T2_med2[,
c(2, 21:23) ] #Seleccionar columnas
colnames(datos.HC.T2_med.fit) <- c("Fecha",
"T2_04", "T2_09", "T2_10") # Cambiar nombres
de columnas
datos.HC.T2_med.fit2 <-
melt(datos.HC.T2_med.fit, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.T2_med.fit2)[3] <-
"value.fit" # cambiar nombre a la columna
valores

#####
## 3.6. PLOTS
library(ggplot2)

# 3.6.1. DIAMETRO T2
diam.2doY <-
max(datos.HC.T2_med.diam3$value.diam) /
max(datos.HC.T2_med.diam3$value.diamIC*2.5
) # *2 para que la escala del 2do eje Y sea
el doble
HC.T2_diam <-
ggplot(datos.HC.T2_med.diam3, aes(x =
Fecha, color = variable)) +
geom_line(aes(y = value.diam)) +
geom_line(aes(y = value.diamIC), linetype
= "dashed", size = 0.7) +

```

```

scale_y_continuous(name = "Acumulada (cm)", sec.axis = sec_axis(~./2,
name = "--- Inc.Corriente (cm)") +
  theme_minimal() +
  theme(axis.title.x = element_blank(),
axis.text.x = element_blank()),

axis.title.y.left=element_text(color="black"),

axis.text.y.left=element_text(color="black"),

axis.title.y.right=element_text(color="black"),

axis.text.y.right=element_text(color="black") +
  geom_point(aes(y = value.diam), shape = 16) +
  geom_point(aes(y = value.diamIC), shape = 17) +
  annotate(geom = "text", x = as.POSIXct("2020-04-05"), y = 1.9, label = "Inicio de la \nPANDEMIA", color = "grey20") +
  annotate(geom = "text", x = as.POSIXct("2019-05-01"), y = 0.9, label = "Etapa 01", colour = "grey") +
  annotate(geom = "text", x = as.POSIXct("2020-01-01"), y = 0.9, label = "Etapa 02", colour = "grey") +
  annotate(geom = "text", x = as.POSIXct("2020-11-01"), y = 0.9, label = "Etapa 03", colour = "grey60") +
  annotate(geom = "text", x = as.POSIXct("2020-08-15"), y = 1.3, label = "Nuevo invernadero", colour = "grey40") +

  geom_rect(aes(xmin = as.POSIXct("2020-02-29"), xmax = as.POSIXct("2020-05-11"), ymin = -Inf, ymax = Inf),
  colour = "grey90", fill="grey",
alpha = 0.01) +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2019-09-25"), y = 0, # Inicio tesista 2
  xend = as.POSIXct("2019-09-25"),
  yend = 2.0), linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-07-08"), y = 0, # Inicio tesista 3
  xend = as.POSIXct("2020-07-08"),
  yend = 2.0), linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-06-15"), y = 0, # Cambio de \ninvernadero
  xend = as.POSIXct("2020-06-15"),
  yend = 2.0), linetype = "solid", colour = "grey") +
  ggtitle("Diámetro")

# 3.6.2. Altura T2
max.alt <-
max(datos.HC.T2_med.alt4$[value])*0.5
HC.T2_alt <-
ggplot(datos.HC.T2_med.alt4, aes(x = Fecha, y = value, color = variable)) +
  geom_line() +

  facet_grid(Clase~., scale = "free_y") +
  theme_minimal() + theme(axis.title.x = element_blank(),
  axis.text.x = element_blank(),

axis.title.y.left=element_text(color="black"),

axis.text.y.left=element_text(color="black") +
  geom_point(aes(y = value), shape = 16) +
  geom_rect(aes(xmin = as.POSIXct("2020-02-29"), xmax = as.POSIXct("2020-05-11"), ymin = -Inf, ymax = Inf),
  colour = "grey90", fill="grey",
alpha = 0.01) +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2019-09-25"), y = 0, # Inicio tesista 2
  xend = as.POSIXct("2019-09-25"),
  yend = max.alt),
  linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-07-08"), y = 0, # Inicio tesista 3
  xend = as.POSIXct("2020-07-08"),
  yend = max.alt),
  linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-06-15"), y = 0, # Cambio de \ninvernadero
  xend = as.POSIXct("2020-06-15"),
  yend = max.alt),
  linetype = "solid", colour = "grey") +
  scale_y_continuous(name = "Altura (cm)") +
  ggtitle("Altura")

# 3.6.3. NRO DE HOJAS
max.hoj <-
max(datos.HC.T2_med.hoj4$[value])*0.9
HC.T2_hoj <-
ggplot(datos.HC.T2_med.hoj4, aes(x = Fecha, y = value, color = variable)) +
  geom_line() +
  facet_grid(Clase~., scale = "free_y") +
  theme_minimal() + theme(axis.title.x = element_blank(),
  axis.text.x = element_blank(),

axis.title.y.left=element_text(color="black"),

axis.text.y.left=element_text(color="black") +
  geom_point(aes(y = value), shape = 16) +
  geom_rect(aes(xmin = as.POSIXct("2020-02-29"), xmax = as.POSIXct("2020-05-11"), ymin = -Inf, ymax = Inf),
  colour = "grey90", fill="grey",
alpha = 0.01) +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2019-09-25"), y = 0, # Inicio tesista 2
  xend = as.POSIXct("2019-09-25"),
  yend = max.hoj),
  linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-07-08"), y = 0, # Inicio tesista 3
  xend = as.POSIXct("2020-07-08"),
  yend = max.hoj),
  linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-06-15"), y = 0, # Cambio de \ninvernadero
  xend = as.POSIXct("2020-06-15"),
  yend = max.hoj),
  linetype = "solid", colour = "grey") +
  scale_y_continuous(name = "Nro de Hojas") +
  ggtitle("Nro de Hojas")

```

```

xend = as.POSIXct("2020-07-08"),
yend = max.hoj ),
linetype = "dotted") +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-06-15"), y = 0, # Cambio de \ninvernadero
xend = as.POSIXct("2020-06-15"),
yend = max.hoj),
linetype = "solid", colour = "grey") +
scale_y_continuous(name = "Nro. hojas")
+
ggtitle("Número de hojas")

# 3.6.4. ESTADO FITOSANITARIO
max.fito <-
max(datos.HC.T2_med.fit2$[value.fit*2]
HC.T2_FITO <-
ggplot(datos.HC.T2_med.fit2, aes(x =
Fecha, y = value.fit, color = variable)) +
geom_line(stat="identity") +
scale_y_continuous(name = "Estado
fitosanitario \n[3= muy bueno, 2 = medio,
\n1 = regular]") +
theme_minimal() + theme(axis.title.x =
element_blank(), axis.text.x =
element_blank(),

axis.title.y.left=element_text(color="black"),

axis.text.y.left=element_text(color="black")) +
geom_point(aes(y = value.fit), shape = 16)
+

geom_rect(aes(xmin = as.POSIXct("2020-02-29"), xmax = as.POSIXct("2020-05-11"), ymin = -Inf, ymax = Inf),
colour = "grey90", fill="grey",
alpha = 0.01) +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2019-09-25"), y = 0, # Inicio tesista 2
xend = as.POSIXct("2019-09-25"),
yend = max.fito),
linetype = "dotted") +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-07-08"), y = 0, # Inicio tesista 3
xend = as.POSIXct("2020-07-08"),
yend = max.fito),
linetype = "dotted") +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-06-15"), y = 0, # Cambio de \ninvernadero
xend = as.POSIXct("2020-06-15"),
yend = max.fito),
linetype = "solid", colour = "grey") +
ggtitle("Estado Fitosanitario")

# 3.6.5. RIEGO
max.riego <- max(datos.HC.T2$[Riego_mm_T2]
HC.T2_RIEGO <- ggplot(datos.HC.T2[2:93,],
aes(Fecha2_riego, Riego_mm_T2)) +
geom_bar(stat="identity", fill =
"steelblue") +
theme_minimal() +

```

```

theme(axis.title.x = element_blank(),
axis.text.x = element_text(angle=90)) +
ylab("Riego (ml)") +
geom_rect(aes(xmin = as.POSIXct("2020-02-29"), xmax = as.POSIXct("2020-05-11"), ymin = -Inf, ymax = Inf),
colour = "grey90", fill="grey",
alpha = 0.01) +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2019-09-25"), y = 0, # Inicio tesista 2
xend = as.POSIXct("2019-09-25"),
yend = max.riego),
linetype = "dotted") +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-07-08"), y = 0, # Inicio tesista 3
xend = as.POSIXct("2020-07-08"),
yend = max.riego),
linetype = "dotted") +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-06-15"), y = 0, # Cambio de \ninvernadero
xend = as.POSIXct("2020-06-15"),
yend = max.riego),
linetype = "solid", colour = "grey") +
scale_x_datetime(date_breaks = "1 month")

## 3.7. unión de Plots con eje X alineado
#Basado en
https://gist.github.com/tomhopper/faa24797bb44addeba79
library(grid)
library(egg)

egg::ggarrange(HC.T2_diam, HC.T2_alt,
HC.T2_hoj, HC.T2_FITO, HC.T2_RIEGO,
ncol = 1, top = "Handroanthus
chrysanthus T2")

# 3.7.1 Exportar como PDF
pdf("HC.T2_resumenPlot.pdf", onefile=TRUE,
paper="a4", pointsize = 18)

egg::ggarrange(HC.T2_diam, HC.T2_alt,
HC.T2_hoj, HC.T2_FITO, HC.T2_RIEGO,
ncol = 1, top = "Handroanthus
chrysanthus T2")

dev.off()

# 3.7.2. Exportar como JPG
jpeg(filename="HC.T2_resumenPlot.jpg",
width = 210*1.2, height = 297*1.2, units =
"mm", res=600) # Exportar como JPG

egg::ggarrange(HC.T2_diam, HC.T2_alt,
HC.T2_hoj, HC.T2_FITO, HC.T2_RIEGO,
ncol = 1, top = "Handroanthus
chrysanthus T2")

dev.off()

#####
#####
##### 4. TRATAMIENTO 3 #####
#####

## 4.1. Abrir base de datos

```

```

datos.HC.T3 <- read.csv("T3_resumen.csv",
sep = ";", dec = ",")

## 4.2. Convertir columna a formato de fecha
datos.HC.T3$Fecha2_riego <-
as.POSIXct(datos.HC.T3$Fecha2_riego,
format = "%d.%m.%Y")
datos.HC.T3$Fecha_medicion <-
as.POSIXct(datos.HC.T3$Fecha_medicion,
format = "%d.%m.%Y")

## 4.3. Subtabla solo de variables para
analizar
datos.HC.T3_med <- datos.HC.T3[ , c(3, 5,
7:27)]

## 4.4. Funcion que deja solo columnas
completas
datos.HC.T3_med <-
datos.HC.T3_med[complete.cases(datos.HC.T3
_med) , ]

## 4.4.1. Union de filas de T0 a T3
datos.HC.T3_med2 <- datos.HC.T3_med
datos.HC.T3_med2[35:44, 1:2] <-
datos.HC.T0_med[35:44, 1:2] # Unimos
ultimas filas del T0 [35:44,]

## 4.5. Subtablas
library(reshape)
# 4.5.1. Diametro
datos.HC.T3_med.diam <- datos.HC.T3_med2[,
c(2, 9:11) ] #Seleccionar columnas
colnames(datos.HC.T3_med.diam) <-
c("Fecha", "T3_02", "T3_05", "T3_06") #
Cambiar nombres de columnas
datos.HC.T3_med.diam2 <-
melt(datos.HC.T3_med.diam, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.T3_med.diam2)[3] <-
"value.diam" # cambiar nombre a la columna
valores
# a. Diametro IC
datos.HC.T3_med.diamIC <-
datos.HC.T3_med2[, c(2, 12:14) ]
#Seleccionar columnas
colnames(datos.HC.T3_med.diamIC) <-
c("Fecha", "T3_02", "T3_05", "T3_06") #
Cambiar nombres de columnas
datos.HC.T3_med.diamIC2 <-
melt(datos.HC.T3_med.diamIC, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.T3_med.diamIC2)[3] <-
"value.diamIC" # cambiar nombre a la
columna valores
# b. Diametro + Diametro IC
datos.HC.T3_med.diam3 <-
datos.HC.T3_med.diam2 # hacer una copia de
...diam2
datos.HC.T3_med.diam3$value.diamIC <-
datos.HC.T3_med.diamIC2$value.diamIC #
copiar solo la columna value.diamIC

# 4.5.2. Altura
datos.HC.T3_med.alt <- datos.HC.T3_med2[,
c(2, 3:5) ] #Seleccionar columnas
colnames(datos.HC.T3_med.alt) <- c("Fecha",
"T3_02", "T3_05", "T3_06") # Cambiar nombres
de columnas
datos.HC.T3_med.alt2 <-
melt(datos.HC.T3_med.alt, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.T3_med.alt2)[3] <-
"Acumulado" # cambiar nombre a la columna
valores
# a. Altura IC
datos.HC.T3_med.altIC <- datos.HC.T3_med2[,
c(2, 6:8) ] #Seleccionar columnas
colnames(datos.HC.T3_med.altIC) <-
c("Fecha", "T3_02", "T3_05", "T3_06") #
Cambiar nombres de columnas
datos.HC.T3_med.altIC2 <-
melt(datos.HC.T3_med.altIC, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.T3_med.altIC2)[3] <-
"Inc.Corriente" # cambiar nombre a la
columna valores
# b. Altura + Altura IC
datos.HC.T3_med.alt3 <-
datos.HC.T3_med.alt2 # hacer una copia de
...alt2
datos.HC.T3_med.alt3$`Inc.Corriente` <-
datos.HC.T3_med.altIC2$`Inc.Corriente` #
copiar solo la columna value.altIC
# c. Convertir a formato largo
datos.HC.T3_med.alt4 <-
melt(datos.HC.T3_med.alt3, id.vars =
c("Fecha", "variable"), variable_name =
"Clase" )

# 4.5.3. Hojas
datos.HC.T3_med.hoj <- datos.HC.T3_med2[,
c(2, 15:17) ] #Seleccionar columnas
colnames(datos.HC.T3_med.hoj) <- c("Fecha",
"T3_02", "T3_05", "T3_06") # Cambiar nombres
de columnas
datos.HC.T3_med.hoj2 <-
melt(datos.HC.T3_med.hoj, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.T3_med.hoj2)[3] <-
"Acumulado" # cambiar nombre a la columna
valores
# a. Hojas IC
datos.HC.T3_med.hojIC <- datos.HC.T3_med2[,
c(2, 18:20) ] #Seleccionar columnas
colnames(datos.HC.T3_med.hojIC) <-
c("Fecha", "T3_02", "T3_05", "T3_06") #
Cambiar nombres de columnas
datos.HC.T3_med.hojIC2 <-
melt(datos.HC.T3_med.hojIC, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.T3_med.hojIC2)[3] <-
"Inc.Corriente" # cambiar nombre a la
columna valores
# b. Hojas + Hojas IC
datos.HC.T3_med.hoj3 <-
datos.HC.T3_med.hoj2 # hacer una copia de
...alt2
datos.HC.T3_med.hoj3$`Inc.Corriente` <-
datos.HC.T3_med.hojIC2$`Inc.Corriente` #
copiar solo la columna value.altIC
# c. Convertir a formato largo

```

```

datos.HC.T3_med.hoj4 <-
melt(datos.HC.T3_med.hoj3, id.vars =
c("Fecha", "variable"), variable_name =
"Clase" )

# 4.5.4. Estado Fitosanitario
datos.HC.T3_med.fit <- datos.HC.T3_med2[,
c(2, 21:23) ] #Seleccionar columnas
colnames(datos.HC.T3_med.fit) <- c("Fecha",
"T3_02", "T3_05", "T3_06") # Cambiar nombres
de columnas
datos.HC.T3_med.fit2 <-
melt(datos.HC.T3_med.fit, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.T3_med.fit2)[3] <-
"value.fit" # cambiar nombre a la columna
valores

#####
## 4.6. PLOTS

library(ggplot2)

# 4.6.1. DIAMETRO T3
diam.2doY <-
max(datos.HC.T3_med.diam3$value.diam) /
max(datos.HC.T3_med.diam3$value.diamIC*2.5
) # *2 para que la escala del 2do eje Y sea
el doble
HC.T3_diam <-
ggplot(datos.HC.T3_med.diam3, aes(x =
Fecha, color = variable)) +
geom_line(aes(y = value.diam)) +
geom_line(aes(y = value.diamIC), linetype
= "dashed", size = 0.7) +
scale_y_continuous(name = "
Acumulada (cm)", sec.axis = sec_axis(~./2,
name = "--- Inc.Corriente (cm)")) +
theme_minimal() +
theme(axis.title.x = element_blank(),
axis.text.x = element_blank(),

axis.title.y.left=element_text(color="black"),

axis.text.y.left=element_text(color="black"),

axis.title.y.right=element_text(color="black"),

axis.text.y.right=element_text(color="black")
) +
geom_point(aes(y = value.diam), shape =
16) +
geom_point(aes(y = value.diamIC), shape =
17) +
annotate(geom = "text", x =
as.POSIXct("2020-04-05"), y = 1.9, label =
"Inicio de la \nPANDEMIA", color = "grey20")
+
annotate(geom = "text", x =
as.POSIXct("2019-05-01"), y = 0.9, label =
"Etapa 01", colour = "grey") +
annotate(geom = "text", x =
as.POSIXct("2020-01-01"), y = 0.9, label =
"Etapa 02", colour = "grey") +

annotate(geom = "text", x =
as.POSIXct("2020-11-01"), y = 0.9, label =
"Etapa 03", colour = "grey60") +
annotate(geom = "text", x =
as.POSIXct("2020-08-15"), y = 1.3, label =
"Nuevo invernadero", colour = "grey40") +

geom_rect(aes(xmin = as.POSIXct("2020-02-
29"), xmax = as.POSIXct("2020-05-11"), ymin
= -Inf, ymax = Inf),
colour = "grey90", fill="grey",
alpha = 0.01) +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2019-09-
25"), y = 0, # Inicio tesista 2
xend = as.POSIXct("2019-
09-25"),
yend = 2.0), linetype =
"dotted") +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-07-
08"), y = 0, # Inicio tesista 3
xend = as.POSIXct("2020-
07-08"),
yend = 2.0), linetype =
"dotted") +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-06-
15"), y = 0, # Cambio de \ninvernadero
xend = as.POSIXct("2020-
06-15"),
yend = 2.0), linetype =
"solid", colour = "grey") +
ggtitle("Diámetro")

# 4.6.2. Altura T3
max.alt <-
max(datos.HC.T3_med.alt4$value)*0.5
HC.T3_alt <-
ggplot(datos.HC.T3_med.alt4, aes(x =
Fecha, y = value, color = variable)) +
geom_line() +
facet_grid(Clase~., scale = "free_y") +
theme_minimal() + theme(axis.title.x =
element_blank(),

axis.text.x =
element_blank(),

axis.title.y.left=element_text(color="black"),

axis.text.y.left=element_text(color="black")
) +
geom_point(aes(y = value), shape = 16) +
geom_rect(aes(xmin = as.POSIXct("2020-02-
29"), xmax = as.POSIXct("2020-05-11"), ymin
= -Inf, ymax = Inf),
colour = "grey90", fill="grey",
alpha = 0.01) +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2019-09-
25"), y = 0, # Inicio tesista 2
xend = as.POSIXct("2019-
09-25"),
yend = max.alt),
linetype = "dotted") +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-07-
08"), y = 0, # Inicio tesista 3
xend = as.POSIXct("2020-
07-08"),
yend = max.alt ),
linetype = "dotted") +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-06-
15"), y = 0, # Cambio de \ninvernadero

```

```

xend = as.POSIXct("2020-
06-15"),
yend = max.alt),
linetype = "solid", colour = "grey") +
  scale_y_continuous(name = "Altura (cm)")
+
ggtitle("Altura")

# 4.6.3. NRO DE HOJAS
max.hoj <-
max(datos.HC.T3_med.hoj4$value)*0.9
HC.T3_hoj <-
ggplot(datos.HC.T3_med.hoj4, aes(x =
Fecha, y = value, color = variable)) +
  geom_line() +
  facet_grid(Class~., scale = "free_y") +
  theme_minimal() + theme(axis.title.x =
element_blank(),
axis.text.x =
element_blank(),
axis.title.y.left=element_text(color="black"),
axis.text.y.left=element_text(color="black")) +
  geom_point(aes(y = value), shape = 16) +
  geom_rect(aes(xmin = as.POSIXct("2020-02-29"),
xmax = as.POSIXct("2020-05-11"), ymin = -Inf,
ymax = Inf),
colour = "grey90", fill="grey",
alpha = 0.01) +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2019-09-25"),
y = 0, # Inicio tesista 2
xend = as.POSIXct("2019-09-25"),
yend = max.hoj),
linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-07-08"),
y = 0, # Inicio tesista 3
xend = as.POSIXct("2020-07-08"),
yend = max.hoj),
linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-06-15"),
y = 0, # Cambio de \ninvernadero
xend = as.POSIXct("2020-06-15"),
yend = max.hoj),
linetype = "solid", colour = "grey") +
  scale_y_continuous(name = "Nro. hojas")
+
ggtitle("Número de hojas")

# 4.6.4. ESTADO FITOSANITARIO
max.fito <-
max(datos.HC.T3_med.fit2$value.fit*2)
HC.T3_FITO <-
ggplot(datos.HC.T3_med.fit2, aes(x =
Fecha, y = value.fit, color = variable)) +
  geom_line(stat="identity") +
  scale_y_continuous(name = "Estado
fitosanitario \n[3= muy bueno, 2 = medio,
\n1 = regular]") +
  theme_minimal() + theme(axis.title.x =
element_blank(),
axis.text.x =
element_blank(),
axis.title.y.left=element_text(color="black"),

```

```

axis.text.y.left=element_text(color="black")) +
  geom_point(aes(y = value.fit), shape = 16)
+
  geom_rect(aes(xmin = as.POSIXct("2020-02-29"),
xmax = as.POSIXct("2020-05-11"), ymin = -Inf,
ymax = Inf),
colour = "grey90", fill="grey",
alpha = 0.01) +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2019-09-25"),
y = 0, # Inicio tesista 2
xend = as.POSIXct("2019-09-25"),
yend = max.fito),
linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-07-08"),
y = 0, # Inicio tesista 3
xend = as.POSIXct("2020-07-08"),
yend = max.fito),
linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-06-15"),
y = 0, # Cambio de \ninvernadero
xend = as.POSIXct("2020-06-15"),
yend = max.fito),
linetype = "solid", colour = "grey") +
ggtitle("Estado Fitosanitario")

# 4.6.5. RIEGO
max.riego <- max(datos.HC.T3$Riego_mm_T3)
HC.T3_RIEGO <- ggplot(datos.HC.T3[2:93,],
aes(Fecha2_riego, Riego_mm_T3)) +
  geom_bar(stat="identity", fill = "steelblue") +
  theme_minimal() +
  theme(axis.title.x = element_blank(),
axis.text.x = element_text(angle=90)) +
  ylab("Riego (ml)") +
  geom_rect(aes(xmin = as.POSIXct("2020-02-29"),
xmax = as.POSIXct("2020-05-11"), ymin = -Inf,
ymax = Inf),
colour = "grey90", fill="grey",
alpha = 0.01) +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2019-09-25"),
y = 0, # Inicio tesista 2
xend = as.POSIXct("2019-09-25"),
yend = max.riego),
linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-07-08"),
y = 0, # Inicio tesista 3
xend = as.POSIXct("2020-07-08"),
yend = max.riego),
linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-06-15"),
y = 0, # Cambio de \ninvernadero
xend = as.POSIXct("2020-06-15"),
yend = max.riego),
linetype = "solid", colour = "grey") +
  scale_x_datetime(date_breaks = "1 month")

## 4.7. unión de Plots con eje X alineado
#Basado en
https://gist.github.com/tomhopper/faa24797bb44addeba79
library(grid)

```

```

library(egg)

egg::ggarrange(HC.T3_diam,      HC.T3_alt,
HC.T3_hoj, HC.T3_FITO, HC.T3_RIEGO,
              ncol = 1, top = "Handroanthus
chrysanthus T3")

# 4.7.1 Exportar como PDF

pdf("HC.T3_resumenPlot.pdf", onefile=TRUE,
paper="a4", pointsize = 18)

egg::ggarrange(HC.T3_diam,      HC.T3_alt,
HC.T3_hoj, HC.T3_FITO, HC.T3_RIEGO,
              ncol = 1, top = "Handroanthus
chrysanthus T3")

dev.off()

# 4.7.2. Exportar como JPG
jpeg(filename="HC.T3_resumenPlot.jpg",
width = 210*1.2, height = 297*1.2, units =
"mm", res=600) # Exportar como JPG

egg::ggarrange(HC.T3_diam,      HC.T3_alt,
HC.T3_hoj, HC.T3_FITO, HC.T3_RIEGO,
              ncol = 1, top = "Handroanthus
chrysanthus T3")

dev.off()

#####
#####
##### 5. TRATAMIENTO 4 #####
#####

## 5.1. Abrir base de datos
datos.HC.T4 <- read.csv("T4_resumen.csv",
sep = ";", dec = ",")

## 5.2. Convertir columna a formato de fecha
datos.HC.T4$Fecha2_riego <-
as.POSIXct(datos.HC.T4$Fecha2_riego,
format = "%d.%m.%Y")
datos.HC.T4$Fecha_medicion <-
as.POSIXct(datos.HC.T4$Fecha_medicion,
format = "%d.%m.%Y")

## 5.3. Subtabla solo de variables para
analizar
datos.HC.T4_med <- datos.HC.T4[ , c(3, 5,
7:27)]

## 5.4. Funcion que deja solo columnas
completas
datos.HC.T4_med <-
datos.HC.T4_med[complete.cases(datos.HC.T4
_med) , ]

## 5.4.1. Union de filas de T0 a T4
datos.HC.T4_med2 <- datos.HC.T4_med
datos.HC.T4_med2[34:44, 1:2] <-
datos.HC.T0_med[34:44, 1:2] # Unimos
ultimas filas del T0 [35:44,]

## 5.5. Subtablas
library(reshape)

# 5.5.1. Diámetro
datos.HC.T4_med.diam <- datos.HC.T4_med2[,
c(2, 9:11) ] #Seleccionar columnas
colnames(datos.HC.T4_med.diam) <-
c("Fecha", "T4_03", "T4_19", "T4_20") #
Cambiar nombres de columnas
datos.HC.T4_med.diam2 <-
melt(datos.HC.T4_med.diam, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.T4_med.diam2)[3] <-
"value.diam" # cambiar nombre a la columna
valores
# a. Diámetro IC
datos.HC.T4_med.diamIC <-
datos.HC.T4_med2[, c(2, 12:14) ]
#Seleccionar columnas
colnames(datos.HC.T4_med.diamIC) <-
c("Fecha", "T4_03", "T4_19", "T4_20") #
Cambiar nombres de columnas
datos.HC.T4_med.diamIC2 <-
melt(datos.HC.T4_med.diamIC, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.T4_med.diamIC2)[3] <-
"value.diamIC" # cambiar nombre a la
columna valores
# b. Diámetro + Diámetro IC
datos.HC.T4_med.diam3 <-
datos.HC.T4_med.diam2 # hacer una copia de
...diam2
datos.HC.T4_med.diam3$value.diamIC <-
datos.HC.T4_med.diamIC2$value.diamIC #
copiar solo la columna value.diamIC

# 5.5.2. Altura
datos.HC.T4_med.alt <- datos.HC.T4_med2[,
c(2, 3:5) ] #Seleccionar columnas
colnames(datos.HC.T4_med.alt) <- c("Fecha",
"T4_03", "T4_19", "T4_20") # Cambiar nombres
de columnas
datos.HC.T4_med.alt2 <-
melt(datos.HC.T4_med.alt, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.T4_med.alt2)[3] <-
"Acumulado" # cambiar nombre a la columna
valores
# a. Altura IC
datos.HC.T4_med.altIC <- datos.HC.T4_med2[,
c(2, 6:8) ] #Seleccionar columnas
colnames(datos.HC.T4_med.altIC) <-
c("Fecha", "T4_03", "T4_19", "T4_20") #
Cambiar nombres de columnas
datos.HC.T4_med.altIC2 <-
melt(datos.HC.T4_med.altIC, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.T4_med.altIC2)[3] <-
"Inc.Corriente" # cambiar nombre a la
columna valores
# b. Altura + Altura IC
datos.HC.T4_med.alt3 <-
datos.HC.T4_med.alt2 # hacer una copia de
...alt2
datos.HC.T4_med.alt3$Inc.Corriente <-
datos.HC.T4_med.altIC2$Inc.Corriente #
copiar solo la columna value.altIC
# c. Convertir a formato largo
datos.HC.T4_med.alt4 <-
melt(datos.HC.T4_med.alt3, id.vars =

```

```

c("Fecha", "variable"), variable_name =
"Clase" )

# 5.5.3. Hojas
datos.HC.T4_med.hoj <- datos.HC.T4_med2[,
c(2, 15:17) ] #Seleccionar columnas
colnames(datos.HC.T4_med.hoj) <- c("Fecha",
"T4_03", "T4_19", "T4_20") # Cambiar nombres
de columnas
datos.HC.T4_med.hoj2 <-
melt(datos.HC.T4_med.hoj, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.T4_med.hoj2)[3] <-
"Acumulado" # cambiar nombre a la columna
valores
# a. Hojas IC
datos.HC.T4_med.hojIC <- datos.HC.T4_med2[,
c(2, 18:20) ] #Seleccionar columnas
colnames(datos.HC.T4_med.hojIC) <-
c("Fecha", "T4_03", "T4_19", "T4_20") #
Cambiar nombres de columnas
datos.HC.T4_med.hojIC2 <-
melt(datos.HC.T4_med.hojIC, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.T4_med.hojIC2)[3] <-
"Inc.Corriente" # cambiar nombre a la
columna valores
# b. Hojas + Hojas IC
datos.HC.T4_med.hoj3 <-
datos.HC.T4_med.hoj2 # hacer una copia de
...alt2
datos.HC.T4_med.hoj3$`Inc.Corriente` <-
datos.HC.T4_med.hojIC2$`Inc.Corriente` #
copiar solo la columna value.altIC
# c. Convertir a formato largo
datos.HC.T4_med.hoj4 <-
melt(datos.HC.T4_med.hoj3, id.vars =
c("Fecha", "variable"), variable_name =
"Clase" )

# 5.5.4. Estado Fitosanitario
datos.HC.T4_med.fit <- datos.HC.T4_med2[,
c(2, 21:23) ] #Seleccionar columnas
colnames(datos.HC.T4_med.fit) <- c("Fecha",
"T4_03", "T4_19", "T4_20") # Cambiar nombres
de columnas
datos.HC.T4_med.fit2 <-
melt(datos.HC.T4_med.fit, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.T4_med.fit2)[3] <-
"value.fit" # cambiar nombre a la columna
valores

#####
## 5.6. PLOTS
library(ggplot2)

# 5.6.1. DIAMETRO T4
HC.T4_diam <-
ggplot(datos.HC.T4_med.diam3, aes(x =
Fecha, color = variable)) +
geom_line(aes(y = value.diam)) +
geom_line(aes(y = value.diamIC), linetype
= "dashed", size = 0.7) +
scale_y_continuous(name = "
Acumulada (cm)", sec.axis =

sec_axis(~./3.5, name = "--- Inc.Corriente
(cm)") +
theme_minimal() +
theme(axis.title.x = element_blank(),
axis.text.x = element_blank(),

axis.title.y.left=element_text(color="blac
k"),

axis.text.y.left=element_text(color="black
"),

axis.title.y.right=element_text(color="bla
ck"),

axis.text.y.right=element_text(color="blac
k")) +
geom_point(aes(y = value.diam), shape =
16) +
geom_point(aes(y = value.diamIC), shape =
17) +
annotate(geom = "text", x =
as.POSIXct("2020-04-05"), y = 1.9, label =
"Inicio de la \nPANDEMIA", color = "grey20")
+
annotate(geom = "text", x =
as.POSIXct("2019-05-01"), y = 0.9, label =
"Etapa 01", colour = "grey") +
annotate(geom = "text", x =
as.POSIXct("2020-01-01"), y = 0.9, label =
"Etapa 02", colour = "grey") +
annotate(geom = "text", x =
as.POSIXct("2020-11-01"), y = 0.9, label =
"Etapa 03", colour = "grey60") +
annotate(geom = "text", x =
as.POSIXct("2020-08-15"), y = 1.3, label =
"Nuevo invernadero", colour = "grey40") +
geom_rect(aes(xmin = as.POSIXct("2020-02-
29"), xmax = as.POSIXct("2020-05-11"), ymin
= -Inf, ymax = Inf),
colour = "grey90", fill="grey",
alpha = 0.01) +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2019-09-
25"), y = 0, # Inicio tesista 2
xend = as.POSIXct("2019-
09-25"),
yend = 2.0), linetype =
"dotted") +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-07-
08"), y = 0, # Inicio tesista 3
xend = as.POSIXct("2020-
07-08"),
yend = 2.0), linetype =
"dotted") +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-06-
15"), y = 0, # Cambio de \ninvernadero
xend = as.POSIXct("2020-
06-15"),
yend = 2.0), linetype =
"solid", colour = "grey") +
ggtitle("Diámetro")

# 5.6.2. Altura T4
max.alt <-
max(datos.HC.T4_med.alt4$value)*0.5
HC.T4_alt <-
ggplot(datos.HC.T4_med.alt4, aes(x =
Fecha, y = value, color = variable)) +
geom_line() +
facet_grid(Clase~., scale = "free_y") +

```

```

  theme_minimal() + theme(axis.title.x =
element_blank(),
                           axis.text.x =
element_blank(),
axis.title.y.left=element_text(color="black"),
axis.text.y.left=element_text(color="black")
)) +
  geom_point(aes(y = value), shape = 16) +
  geom_rect(aes(xmin = as.POSIXct("2020-02-29"),
xmax = as.POSIXct("2020-05-11"),
ymin = -Inf, ymax = Inf),
            colour = "grey90", fill="grey",
alpha = 0.01) +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2019-09-25"),
y = 0, # Inicio tesista 2
                  xend = as.POSIXct("2019-09-25"),
                  yend = max.alt),
linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-07-08"),
y = 0, # Inicio tesista 3
                  xend = as.POSIXct("2020-07-08"),
                  yend = max.alt ),
linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-06-15"),
y = 0, # Cambio de \ninvernadero
                  xend = as.POSIXct("2020-06-15"),
                  yend = max.alt),
linetype = "solid", colour = "grey") +
  scale_y_continuous(name = "Altura (cm)")
+
  ggtitle("Altura")

# 5.6.3. NRO DE HOJAS
max.hoj <-
max(datos.HC.T4_med.hoj4$value)*0.9
HC.T4_hoj <-
ggplot(datos.HC.T4_med.hoj4, aes(x =
Fecha, y = value, color = variable)) +
  geom_line() +
  facet_grid(Clase~., scale = "free_y") +
  theme_minimal() + theme(axis.title.x =
element_blank(),
                           axis.text.x =
element_blank(),
axis.title.y.left=element_text(color="black"),
axis.text.y.left=element_text(color="black")
)) +
  geom_point(aes(y = value), shape = 16) +
  geom_rect(aes(xmin = as.POSIXct("2020-02-29"),
xmax = as.POSIXct("2020-05-11"),
ymin = -Inf, ymax = Inf),
            colour = "grey90", fill="grey",
alpha = 0.01) +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2019-09-25"),
y = 0, # Inicio tesista 2
                  xend = as.POSIXct("2019-09-25"),
                  yend = max.hoj),
linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-07-08"),
y = 0, # Inicio tesista 3

```

```

                  xend = as.POSIXct("2020-07-08"),
                  yend = max.hoj ),
linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-06-15"),
y = 0, # Cambio de \ninvernadero
                  xend = as.POSIXct("2020-06-15"),
                  yend = max.hoj),
linetype = "solid", colour = "grey") +
  scale_y_continuous(name = "Nro. hojas")
+
  ggtitle("Número de hojas")

# 5.6.4. ESTADO FITOSANITARIO
max.fito <-
max(datos.HC.T4_med.fit2$value.fit*2)
HC.T4_FITO <-
ggplot(datos.HC.T4_med.fit2, aes(x =
Fecha, y = value.fit, color = variable)) +
  geom_line(stat="identity") +
  scale_y_continuous(name = "Estado
fitosanitario \n[3= muy bueno, 2 = medio,
\n1 = regular]") +
  theme_minimal() + theme(axis.title.x =
element_blank(),
                           axis.text.x =
element_blank(),
axis.title.y.left=element_text(color="black"),
axis.text.y.left=element_text(color="black")
)) +
  geom_point(aes(y = value.fit), shape = 16)
+
  geom_rect(aes(xmin = as.POSIXct("2020-02-29"),
xmax = as.POSIXct("2020-05-11"),
ymin = -Inf, ymax = Inf),
            colour = "grey90", fill="grey",
alpha = 0.01) +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2019-09-25"),
y = 0, # Inicio tesista 2
                  xend = as.POSIXct("2019-09-25"),
                  yend = max.fito),
linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-07-08"),
y = 0, # Inicio tesista 3
                  xend = as.POSIXct("2020-07-08"),
                  yend = max.fito),
linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-06-15"),
y = 0, # Cambio de \ninvernadero
                  xend = as.POSIXct("2020-06-15"),
                  yend = max.fito),
linetype = "solid", colour = "grey") +
  ggtitle("Estado Fitosanitario")

# 5.6.5. RIEGO
max.riego <- max(datos.HC.T4$Riego_mm_T4)
HC.T4_RIEGO <- ggplot(datos.HC.T4[2:93,],
aes(Fecha2_riego, Riego_mm_T4))
+
  geom_bar(stat="identity", fill =
"steelblue") +
  theme_minimal() +

```

```

  theme(axis.title.x = element_blank(),
axis.text.x = element_text(angle=90)) +
  ylab("Riego (ml)") +
  geom_rect(aes(xmin = as.POSIXct("2020-02-29"),
xmax = as.POSIXct("2020-05-11"),
ymin = -Inf, ymax = Inf),
  colour = "grey90", fill="grey",
alpha = 0.01) +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2019-09-25"),
y = 0, # Inicio tesista 2
  xend = as.POSIXct("2019-09-25"),
  yend = max.riego),
  linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-07-08"),
y = 0, # Inicio tesista 3
  xend = as.POSIXct("2020-07-08"),
  yend = max.riego),
  linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-06-15"),
y = 0, # Cambio de \ninvernadero
  xend = as.POSIXct("2020-06-15"),
  yend = max.riego),
  linetype = "solid", colour = "grey") +
  scale_x_datetime(date_breaks = "1 month")

## 5.7. unión de Plots con eje X alineado
#Basado en
https://gist.github.com/tomhopper/faa24797bb44addeba79
library(grid)
library(egg)

egg::ggarrange(HC.T4_diam, HC.T4_alt,
HC.T4_hoj, HC.T4_FITO, HC.T4_RIEGO,
  ncol = 1, top = "Handroanthus chrysanthus T4")

# 5.7.1 Exportar como PDF
pdf("HC.T4_resumenPlot.pdf", onefile=TRUE,
paper="a4", pointsize = 18)

egg::ggarrange(HC.T4_diam, HC.T4_alt,
HC.T4_hoj, HC.T4_FITO, HC.T4_RIEGO,
  ncol = 1, top = "Handroanthus chrysanthus T4")

dev.off()

# 5.7.2. Exportar como JPG
jpeg(filename="HC.T4_resumenPlot.jpg",
width = 210*1.2, height = 297*1.2, units = "mm",
res=600) # Exportar como JPG

egg::ggarrange(HC.T4_diam, HC.T4_alt,
HC.T4_hoj, HC.T4_FITO, HC.T4_RIEGO,
  ncol = 1, top = "Handroanthus chrysanthus T4")

dev.off()

#####
## 6. PLOTS ADICIONALES

# 6.1. DIAMETROS
# 6.1.1. Solo diametros
jpeg(filename="Diametros_HC.jpg", width =
210*1.2, height = 297*1.2, units = "mm",
res=600) # Exportar como JPG

```

```

egg::ggarrange(HC.T0_diam, HC.T1_diam,
HC.T2_diam, HC.T3_diam, HC.T4_diam,
  ncol = 1, top = "Diametros",
labels = c("T0", "T1", "T2", "T3", "T4"))
dev.off()

# 6.1.2. Solo diametros + Riego
jpeg(filename="Diametros y riego_HC.jpg",
width = 210*1.2, height = 297*1.2, units =
"mm", res=600) # Exportar como JPG

egg::ggarrange(HC.T0_diam, HC.T0_RIEGO,
HC.T1_diam, HC.T1_RIEGO,
HC.T2_diam, HC.T2_RIEGO,
HC.T3_diam, HC.T3_RIEGO,
HC.T4_diam, HC.T4_RIEGO,
  ncol = 1, top = "Diametro +
Riego",
  labels = c("T0",
"T0", "T1", "T1", "T2", "T2", "T3", "T3", "T4",
"T4"),
  heights = c(50,10, 50,10,
50,10, 50,10, 50,10))
dev.off()

#####
#####
# 6.2. Variables promedio
# 6.2.1. Alt promedio
datos.HC.T0_med2$Alt0prom <-
rowMeans(datos.HC.T0_med[ ,c(3:5)], na.rm =
TRUE)
datos.HC.T1_med2$Alt1prom <-
rowMeans(datos.HC.T1_med2[ ,c(3:5)], na.rm =
TRUE)
datos.HC.T2_med2$Alt2prom <-
rowMeans(datos.HC.T2_med2[ ,c(3:5)], na.rm =
TRUE)
datos.HC.T3_med2$Alt3prom <-
rowMeans(datos.HC.T3_med2[ ,c(3:5)], na.rm =
TRUE)
datos.HC.T4_med2$Alt4prom <-
rowMeans(datos.HC.T4_med2[ ,c(3:5)], na.rm =
TRUE)

# 6.2.1.1. Alt promedio de todos los
tratamientos
datos.HC.Altprom_Trat <- datos.HC.T0_med[,
c(2, 24) ]
colnames(datos.HC.Altprom_Trat) <-
c("Fecha", "T0")

datos.HC.Altprom_Trat$T1 <-
datos.HC.T1_med2$Alt1prom
datos.HC.Altprom_Trat$T2 <-
datos.HC.T2_med2$Alt2prom
datos.HC.Altprom_Trat$T3 <-
datos.HC.T3_med2$Alt3prom
datos.HC.Altprom_Trat$T4 <-
datos.HC.T4_med2$Alt4prom

datos.HC.Altprom_Trat2
<-
melt(datos.HC.Altprom_Trat, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo

```

```

colnames(datos.HC.Altprom_Trat2)[3] <-
"value.Altprom" # cambiar nombre a la
columna valores

# 6.2.2. Diam promedio
datos.HC.T0_med2$Diam0prom <-
rowMeans(datos.HC.T0_med[,c(9:11)], na.rm
= TRUE)
datos.HC.T1_med2$Diam1prom <-
rowMeans(datos.HC.T1_med2[,c(9:11)], na.rm
= TRUE)
datos.HC.T2_med2$Diam2prom <-
rowMeans(datos.HC.T2_med2[,c(9:11)], na.rm
= TRUE)
datos.HC.T3_med2$Diam3prom <-
rowMeans(datos.HC.T3_med2[,c(9:11)], na.rm
= TRUE)
datos.HC.T4_med2$Diam4prom <-
rowMeans(datos.HC.T4_med2[,c(9:11)], na.rm
= TRUE)

# 6.2.2.1. Diam promedio de todos los
tratamientos
datos.HC.Diamprom_Trat <- datos.HC.T0_med[,
c(2, 25) ]
colnames(datos.HC.Diamprom_Trat) <-
c("Fecha", "T0")

datos.HC.Diamprom_Trat$T1 <-
datos.HC.T1_med2$Diam1prom
datos.HC.Diamprom_Trat$T2 <-
datos.HC.T2_med2$Diam2prom
datos.HC.Diamprom_Trat$T3 <-
datos.HC.T3_med2$Diam3prom
datos.HC.Diamprom_Trat$T4 <-
datos.HC.T4_med2$Diam4prom

datos.HC.Diamprom_Trat2
melt(datos.HC.Diamprom_Trat, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.Diamprom_Trat2)[3] <-
"value.Diamprom" # cambiar nombre a la
columna valores

# 6.2.3. Hoj promedio
datos.HC.T0_med$Hoj0prom <-
rowMeans(datos.HC.T0_med[,c(15:17)], na.rm
= TRUE)
datos.HC.T1_med2$Hoj1prom <-
rowMeans(datos.HC.T1_med2[,c(15:17)],
na.rm = TRUE)
datos.HC.T2_med2$Hoj2prom <-
rowMeans(datos.HC.T2_med2[,c(15:17)],
na.rm = TRUE)
datos.HC.T3_med2$Hoj3prom <-
rowMeans(datos.HC.T3_med2[,c(15:17)],
na.rm = TRUE)
datos.HC.T4_med2$Hoj4prom <-
rowMeans(datos.HC.T4_med2[,c(15:17)],
na.rm = TRUE)

# 6.2.3.1. Hoj promedio de todos los
tratamientos
datos.HC.Hojprom_Trat <- datos.HC.T0_med[,
c(2, 26) ]

```

```

colnames(datos.HC.Hojprom_Trat) <-
c("Fecha", "T0")

datos.HC.Hojprom_Trat$T1 <-
datos.HC.T1_med2$Hoj1prom
datos.HC.Hojprom_Trat$T2 <-
datos.HC.T2_med2$Hoj2prom
datos.HC.Hojprom_Trat$T3 <-
datos.HC.T3_med2$Hoj3prom
datos.HC.Hojprom_Trat$T4 <-
datos.HC.T4_med2$Hoj4prom

datos.HC.Hojprom_Trat2
melt(datos.HC.Hojprom_Trat, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.Hojprom_Trat2)[3] <-
"value.Hojprom" # cambiar nombre a la
columna valores

# 6.2.4. EFitto promedio
datos.HC.T0_med$EFitto0prom <-
rowMeans(datos.HC.T0_med[,c(21:23)], na.rm
= TRUE)
datos.HC.T1_med2$EFitto1prom <-
rowMeans(datos.HC.T1_med2[,c(21:23)],
na.rm = TRUE)
datos.HC.T2_med2$EFitto2prom <-
rowMeans(datos.HC.T2_med2[,c(21:23)],
na.rm = TRUE)
datos.HC.T3_med2$EFitto3prom <-
rowMeans(datos.HC.T3_med2[,c(21:23)],
na.rm = TRUE)
datos.HC.T4_med2$EFitto4prom <-
rowMeans(datos.HC.T4_med2[,c(21:23)],
na.rm = TRUE)

# 6.2.3.1. EFitto promedio de todos los
tratamientos
datos.HC.EFitoprom_Trat
datos.HC.T0_med[,c(2, 27) ]
colnames(datos.HC.EFitoprom_Trat) <-
c("Fecha", "T0")

datos.HC.EFitoprom_Trat$T1 <-
datos.HC.T1_med2$EFitto1prom
datos.HC.EFitoprom_Trat$T2 <-
datos.HC.T2_med2$EFitto2prom
datos.HC.EFitoprom_Trat$T3 <-
datos.HC.T3_med2$EFitto3prom
datos.HC.EFitoprom_Trat$T4 <-
datos.HC.T4_med2$EFitto4prom

datos.HC.EFitoprom_Trat2
melt(datos.HC.EFitoprom_Trat, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.EFitoprom_Trat2)[3] <-
"value.EFitoprom" # cambiar nombre a la
columna valores

# 6.3. IC promedio
# 6.3.1. Alt_IC promedio
datos.HC.T0_med$IC_Altprom <-
rowMeans(datos.HC.T0_med[,c(6:8)], na.rm =
TRUE)

```

```

datos.HC.T1_med2[ $\S$ ]IC_Altprom <-
rowMeans(datos.HC.T1_med2[ ,c(6:8)], na.rm
= TRUE)
datos.HC.T2_med2[ $\S$ ]IC_Altprom <-
rowMeans(datos.HC.T2_med2[ ,c(6:8)], na.rm
= TRUE)
datos.HC.T3_med2[ $\S$ ]IC_Altprom <-
rowMeans(datos.HC.T3_med2[ ,c(6:8)], na.rm
= TRUE)
datos.HC.T4_med2[ $\S$ ]IC_Altprom <-
rowMeans(datos.HC.T4_med2[ ,c(6:8)], na.rm
= TRUE)

# 6.3.1.1. Alt IC promedio de todos los
tratamientos
datos.HC.ICAltprom_Trat <-
datos.HC.T0_med[, c(2, 28) ]
colnames(datos.HC.ICAltprom_Trat) <-
c("Fecha", "T0")

datos.HC.ICAltprom_Trat[ $\S$ ]T1 <-
datos.HC.T1_med2[ $\S$ ]IC_Altprom
datos.HC.ICAltprom_Trat[ $\S$ ]T2 <-
datos.HC.T2_med2[ $\S$ ]IC_Altprom
datos.HC.ICAltprom_Trat[ $\S$ ]T3 <-
datos.HC.T3_med2[ $\S$ ]IC_Altprom
datos.HC.ICAltprom_Trat[ $\S$ ]T4 <-
datos.HC.T4_med2[ $\S$ ]IC_Altprom

datos.HC.ICAltprom_Trat2 <-
melt(datos.HC.ICAltprom_Trat, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.ICAltprom_Trat2)[3] <-
"value.ICAltprom" # cambiar nombre a la
columna valores

# b. Alt + Alt IC
datos.HC.Alt_Trat3 <-
datos.HC.Altprom_Trat2 # hacer una copia de
...alt2
colnames(datos.HC.Alt_Trat3)[3] <-
"Acumulado (cm)"
datos.HC.Alt_Trat3[ $\S$ ]`Inc.Coriiente (cm)` <-
datos.HC.ICAltprom_Trat2[ $\S$ ]value.ICAltprom #
copiar solo la columna value.altIC
# c. Convertir a formato largo
datos.HC.Alt_Trat4 <-
melt(datos.HC.Alt_Trat3, id.vars =
c("Fecha", "variable"), variable_name =
"Clase" )

# 6.3.2. Diam_IC promedio
datos.HC.T0_med[ $\S$ ]IC_Diamprom <-
rowMeans(datos.HC.T0_med[ ,c(12:14)], na.rm
= TRUE)
datos.HC.T1_med2[ $\S$ ]IC_Diamprom <-
rowMeans(datos.HC.T1_med2[ ,c(12:14)],
na.rm = TRUE)
datos.HC.T2_med2[ $\S$ ]IC_Diamprom <-
rowMeans(datos.HC.T2_med2[ ,c(12:14)],
na.rm = TRUE)
datos.HC.T3_med2[ $\S$ ]IC_Diamprom <-
rowMeans(datos.HC.T3_med2[ ,c(12:14)],
na.rm = TRUE)

datos.HC.T4_med2[ $\S$ ]IC_Diamprom <-
rowMeans(datos.HC.T4_med2[ ,c(12:14)],
na.rm = TRUE)

# 6.3.2.1. Diam IC promedio de todos los
tratamientos
datos.HC.ICDiamprom_Trat <-
datos.HC.T0_med[, c(2, 29) ]
colnames(datos.HC.ICDiamprom_Trat) <-
c("Fecha", "T0")

datos.HC.ICDiamprom_Trat[ $\S$ ]T1 <-
datos.HC.T1_med2[ $\S$ ]IC_Diamprom
datos.HC.ICDiamprom_Trat[ $\S$ ]T2 <-
datos.HC.T2_med2[ $\S$ ]IC_Diamprom
datos.HC.ICDiamprom_Trat[ $\S$ ]T3 <-
datos.HC.T3_med2[ $\S$ ]IC_Diamprom
datos.HC.ICDiamprom_Trat[ $\S$ ]T4 <-
datos.HC.T4_med2[ $\S$ ]IC_Diamprom

datos.HC.ICDiamprom_Trat2 <-
melt(datos.HC.ICDiamprom_Trat, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.ICDiamprom_Trat2)[3] <-
"value.ICDiamprom" # cambiar nombre a la
columna valores

# b. Diam + Diam IC
datos.HC.Diam_Trat3 <-
datos.HC.Diamprom_Trat2 # hacer una copia
de ...alt2
datos.HC.Diam_Trat3[ $\S$ ]value.ICDiamprom <-
datos.HC.ICDiamprom_Trat2[ $\S$ ]value.ICDiamprom
# copiar solo la columna value.altIC
# c. Convertir a formato largo
datos.HC.Diam_Trat4 <-
melt(datos.HC.Diam_Trat3, id.vars =
c("Fecha", "variable"), variable_name =
"Clase" )

# 6.3.3. Hoj_IC promedio
datos.HC.T0_med[ $\S$ ]IC_Hojprom <-
rowMeans(datos.HC.T0_med[ ,c(18:20)], na.rm
= TRUE)
datos.HC.T1_med2[ $\S$ ]IC_Hojprom <-
rowMeans(datos.HC.T1_med2[ ,c(18:20)],
na.rm = TRUE)
datos.HC.T2_med2[ $\S$ ]IC_Hojprom <-
rowMeans(datos.HC.T2_med2[ ,c(18:20)],
na.rm = TRUE)
datos.HC.T3_med2[ $\S$ ]IC_Hojprom <-
rowMeans(datos.HC.T3_med2[ ,c(18:20)],
na.rm = TRUE)
datos.HC.T4_med2[ $\S$ ]IC_Hojprom <-
rowMeans(datos.HC.T4_med2[ ,c(18:20)],
na.rm = TRUE)

# 6.3.3.1. Hoj IC promedio de todos los
tratamientos
datos.HC.ICHojprom_Trat <-
datos.HC.T0_med[, c(2, 30) ]
colnames(datos.HC.ICHojprom_Trat) <-
c("Fecha", "T0")

datos.HC.ICHojprom_Trat[ $\S$ ]T1 <-
datos.HC.T1_med2[ $\S$ ]IC_Hojprom

```

```

datos.HC.IChojprom_Trat2[5]T2 <-
datos.HC.T2_med2[5]IC_Hojprom
datos.HC.IChojprom_Trat2[5]T3 <-
datos.HC.T3_med2[5]IC_Hojprom
datos.HC.IChojprom_Trat2[5]T4 <-
datos.HC.T4_med2[5]IC_Hojprom

datos.HC.IChojprom_Trat2 <-
melt(datos.HC.IChojprom_Trat, id.vars =
"Fecha") # Cambiar formato de tabla a
formato largo
colnames(datos.HC.IChojprom_Trat2)[3] <-
"value.IChojprom" # cambiar nombre a la
columna valores

# b. Hojas + Hojas IC
datos.HC.Hoja_Trat3 <-
datos.HC.Hojprom_Trat2 # hacer una copia de
...alt2
colnames(datos.HC.Hoja_Trat3)[3] <-
"Acumulado"
datos.HC.Hoja_Trat3[5] Inc.Corriente` <-
datos.HC.IChojprom_Trat2[5]value.IChojprom #
copiar solo la columna value.altIC
# c. Convertir a formato largo
datos.HC.Hoja_Trat4 <-
melt(datos.HC.Hoja_Trat3, id.vars =
c("Fecha", "variable"), variable_name =
"Clase" )

#####PLOTS#####
#####
#6.4. Plots IC promedio
# 6.4.1. Alt IC promedio
max.AltICprom <-
max(datos.HC.ICAltpr_Trat2[5]value.ICAltpr
om*1.15)
HC.ICAltpr_T <-
ggplot(datos.HC.ICAltpr_Trat2, aes(x =
Fecha, y = value.ICAltpr, color =
variable)) +
geom_line(stat="identity") +
scale_y_continuous(name = "Incremento
corriente (cm)") +
theme_minimal() + theme(axis.title.x =
element_blank(), axis.text.x =
element_blank(),

axis.title.y.left=element_text(color="blac
k"),

axis.text.y.left=element_text(color="black
") +
geom_point(aes(y = value.ICAltpr),
shape = 16) +

geom_rect(aes(xmin = as.POSIXct("2020-02-
29"), xmax = as.POSIXct("2020-05-11"), ymin
= -Inf, ymax = Inf),
colour = "grey90", fill="grey",
alpha = 0.01) +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2019-09-
25"), y = 0, # Inicio tesista 2
xend = as.POSIXct("2019-
09-25"),
yend = max.AltICprom),
linetype = "dotted") +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-07-
08"), y = 0, # Inicio tesista 3
xend = as.POSIXct("2020-
07-08"),
yend = max.AltICprom),
linetype = "dotted") +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-06-
15"), y = 0, # Cambio de \nivernadero
xend = as.POSIXct("2020-
07-08"),
yend = max.AltICprom),
linetype = "dotted") +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-06-
15"), y = 0, # Cambio de \nivernadero
xend = as.POSIXct("2020-
06-15"),
yend = max.AltICprom),
linetype = "solid", colour = "grey") +
ggtitle("Altura")

# 6.4.2. Diam IC promedio
max.ICDiamprom <-
max(datos.HC.ICDiampr_Trat2[5]value.ICDiam
prom*1.75)
HC.ICDiampr_T <-
ggplot(datos.HC.ICDiampr_Trat2, aes(x =
Fecha, y = value.ICDiampr, color =
variable)) +
geom_line(stat="identity") +
scale_y_continuous(name = "Incremento
Corriente (cm)") +
theme_minimal() + theme(axis.title.x =
element_blank(), axis.text.x =
element_blank(),

axis.title.y.left=element_text(color="blac
k"),

axis.text.y.left=element_text(color="black
") +
geom_point(aes(y = value.ICDiampr),
shape = 16) +
annotate(geom = "text", x =
as.POSIXct("2020-04-05"), y = 0.33, label =
"Inicio de la \nPANDEMIA", color = "grey20")
+
annotate(geom = "text", x =
as.POSIXct("2019-05-01"), y = 0.27, label =
"Etapa 01", colour = "grey") +
annotate(geom = "text", x =
as.POSIXct("2020-01-01"), y = 0.27, label =
"Etapa 02", colour = "grey") +
annotate(geom = "text", x =
as.POSIXct("2020-11-01"), y = 0.27, label =
"Etapa 03", colour = "grey60") +
annotate(geom = "text", x =
as.POSIXct("2020-07-15"), y = 0.21, label =
"Nuevo invernadero", colour = "grey40") +

geom_rect(aes(xmin = as.POSIXct("2020-02-
29"), xmax = as.POSIXct("2020-05-11"), ymin
= -Inf, ymax = Inf),
colour = "grey90", fill="grey",
alpha = 0.01) +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2019-09-
25"), y = 0, # Inicio tesista 2
xend = as.POSIXct("2019-
09-25"),
yend = max.ICDiampr),
linetype = "dotted") +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-07-
08"), y = 0, # Inicio tesista 3
xend = as.POSIXct("2020-
07-08"),
yend = max.ICDiampr),
linetype = "dotted") +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-06-
15"), y = 0, # Cambio de \nivernadero
xend = as.POSIXct("2020-
06-15"),
yend = max.ICDiampr),
linetype = "dotted") +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-06-
15"), y = 0, # Cambio de \nivernadero
xend = as.POSIXct("2020-
06-15"),
yend = max.ICDiampr),
linetype = "solid", colour = "grey") +
ggtitle("Altura")

```

```

                                xend = as.POSIXct("2020-
06-15"),
                                yend = max.ICDiamprom),
linetype = "solid", colour = "grey") +
  ggtitle("Diámetro")

# 6.4.3. Hoj IC promedio
max.IChojprom <-
max(datos.HC.IChojprom_Trat2$yvalue.IChojpr
om)
HC.IChojpromT <-
ggplot(datos.HC.IChojprom_Trat2, aes(x =
Fecha, y = value.IChojprom, color =
variable)) +
  geom_line(stat="identity") +
  scale_y_continuous(name = "Incremento
corriente de Número de hojas") +
  theme_minimal() + theme(axis.title.x =
element_blank(), axis.text.x =
element_blank(),

axis.title.y.left=element_text(color="blac
k"),

axis.text.y.left=element_text(color="black
") +
  geom_point(aes(y = value.IChojprom),
shape = 16) +

  geom_rect(aes(xmin = as.POSIXct("2020-02-
29"), xmax = as.POSIXct("2020-05-11"), ymin
= -Inf, ymax = Inf),
            colour = "grey90", fill="grey",
alpha = 0.01) +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2019-09-
25"), y = 0, # Inicio tesista 2
                  xend = as.POSIXct("2019-
09-25"),
                  yend = max.IChojprom),
linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-07-
08"), y = 0, # Inicio tesista 3
                  xend = as.POSIXct("2020-
07-08"),
                  yend = max.IChojprom),
linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-06-
15"), y = 0, # Cambio de \ninvernadero
                  xend = as.POSIXct("2020-
06-15"),
                  yend = max.IChojprom),
linetype = "solid", colour = "grey") +
  ggtitle("Número de hojas")

# 6.4.4. Union de plots y exportar como jpg
jpeg(filename="HC.ICTratprom.jpg", width =
210*1.2, height = 297*1.2, units = "mm",
res=600) # Exportar como JPG

egg:ggarrange(HC.ICDiampromT,
HC.IAltpromT, HC.IChojpromT,
              ncol = 1, top = "Handronathus
chrysanthus")

dev.off()

# 6.5. PLOTS Variables promedio
# 6.5.1. Alt promedio

```

```

max.Altprom <-
max(datos.HC.Altprom_Trat2$value.Altprom)
HC.AltpromT <-
ggplot(datos.HC.Altprom_Trat2, aes(x =
Fecha, y = value.Altprom, color = variable))
+
  geom_line(stat="identity") +
  scale_y_continuous(name = "Altura
promedio (cm)") +
  theme_minimal() + theme(axis.title.x =
element_blank(), axis.text.x =
element_blank(),

axis.title.y.left=element_text(color="blac
k"),

axis.text.y.left=element_text(color="black
") +
  geom_point(aes(y = value.Altprom), shape
= 16) +

  geom_rect(aes(xmin = as.POSIXct("2020-02-
29"), xmax = as.POSIXct("2020-05-11"), ymin
= -Inf, ymax = Inf),
            colour = "grey90", fill="grey",
alpha = 0.01) +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2019-09-
25"), y = 0, # Inicio tesista 2
                  xend = as.POSIXct("2019-
09-25"),
                  yend = max.Altprom),
linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-07-
08"), y = 0, # Inicio tesista 3
                  xend = as.POSIXct("2020-
07-08"),
                  yend = max.Altprom),
linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-06-
15"), y = 0, # Cambio de \ninvernadero
                  xend = as.POSIXct("2020-
06-15"),
                  yend = max.Altprom),
linetype = "solid", colour = "grey") +
  ggtitle("Altura")

# 6.5.2. Diam promedio
max.Diamprom <-
max(datos.HC.Diamprom_Trat2$value.Diamprom
*1.15)
HC.DiampromT <-
ggplot(datos.HC.Diamprom_Trat2, aes(x =
Fecha, y = value.Diamprom, color =
variable)) +
  geom_line(stat="identity") +
  scale_y_continuous(name = "Diámetro
promedio (cm)") +
  theme_minimal() + theme(axis.title.x =
element_blank(), axis.text.x =
element_blank(),

axis.title.y.left=element_text(color="blac
k"),

axis.text.y.left=element_text(color="black
") +
  geom_point(aes(y = value.Diamprom), shape
= 16) +
  annotate(geom = "text", x =
as.POSIXct("2020-04-05"), y = 3, label =

```

```

"Inicio de la \nPANDEMIA", color = "grey20")
+
  annotate(geom = "text", x =
as.POSIXct("2019-05-01"), y = 2.6, label =
"Etapa 01", colour = "grey") +
  annotate(geom = "text", x =
as.POSIXct("2020-01-01"), y = 2.6, label =
"Etapa 02", colour = "grey") +
  annotate(geom = "text", x =
as.POSIXct("2020-11-01"), y = 2.6, label =
"Etapa 03", colour = "grey60") +
  annotate(geom = "text", x =
as.POSIXct("2020-07-15"), y = 2.3, label =
"Nuevo invernadero", colour = "grey40") +

  geom_rect(aes(xmin = as.POSIXct("2020-02-
29"), xmax = as.POSIXct("2020-05-11"), ymin
= -Inf, ymax = Inf),
  colour = "grey90", fill="grey",
alpha = 0.01) +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2019-09-
25"), y = 0, # Inicio tesista 2
  xend = as.POSIXct("2019-
09-25"),
  yend = max.Diamprom),
linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-07-
08"), y = 0, # Inicio tesista 3
  xend = as.POSIXct("2020-
07-08"),
  yend = max.Diamprom),
linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-06-
15"), y = 0, # Cambio de \ninvernadero
  xend = as.POSIXct("2020-
06-15"),
  yend = max.Diamprom),
linetype = "solid", colour = "grey") +
  ggtitle("Diámetro")

# 6.5.3. Hoj promedio
max.Hojprom <-
max(datos.HC.Hojprom_Trat2$value.Hojprom)
HC.HojpromT <-
ggplot(datos.HC.Hojprom_Trat2, aes(x =
Fecha, y = value.Hojprom, color = variable))
+
  geom_line(stat="identity") +
  scale_y_continuous(name = "Número de
hojas") +
  theme_minimal() + theme(axis.title.x =
element_blank(), axis.text.x =
element_blank(),

axis.title.y.left=element_text(color="black
k"),

axis.text.y.left=element_text(color="black
")) +
  geom_point(aes(y = value.Hojprom), shape
= 16) +

  geom_rect(aes(xmin = as.POSIXct("2020-02-
29"), xmax = as.POSIXct("2020-05-11"), ymin
= -Inf, ymax = Inf),
  colour = "grey90", fill="grey",
alpha = 0.01) +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2019-09-
25"), y = 0, # Inicio tesista 2
  xend = as.POSIXct("2019-
09-25"),

```

```

  yend = max.Hojprom),
linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-07-
08"), y = 0, # Inicio tesista 3
  xend = as.POSIXct("2020-
07-08"),
  yend = max.Hojprom),
linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-06-
15"), y = 0, # Cambio de \ninvernadero
  xend = as.POSIXct("2020-
06-15"),
  yend = max.Hojprom),
linetype = "solid", colour = "grey") +
  ggtitle("Número de hojas")

# 6.5.4. EFitto promedio
max.EFitoprom <-
max(datos.HC.EFitoprom_Trat2$value.EFitopr
om)
HC.EFitopromT <-
ggplot(datos.HC.EFitoprom_Trat2, aes(x =
Fecha, y = value.EFitoprom, color =
variable)) +
  geom_line(stat="identity") +
  scale_y_continuous(name = "Estado
fitosanitario \n[3= muy bueno, 2 = medio,
\n1 = regular]") +
  theme_minimal() +
  theme(axis.title.x = element_blank(),
axis.text.x = element_text(angle=90)) +
  scale_x_datetime(date_breaks = "1 month")
+

  geom_point(aes(y = value.EFitoprom),
shape = 16) +

  geom_rect(aes(xmin = as.POSIXct("2020-02-
29"), xmax = as.POSIXct("2020-05-11"), ymin
= -Inf, ymax = Inf),
  colour = "grey90", fill="grey",
alpha = 0.01) +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2019-09-
25"), y = 0, # Inicio tesista 2
  xend = as.POSIXct("2019-
09-25"),
  yend = max.EFitoprom),
linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-07-
08"), y = 0, # Inicio tesista 3
  xend = as.POSIXct("2020-
07-08"),
  yend = max.EFitoprom),
linetype = "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-06-
15"), y = 0, # Cambio de \ninvernadero
  xend = as.POSIXct("2020-
06-15"),
  yend = max.EFitoprom),
linetype = "solid", colour = "grey") +
  ggtitle("Estado Fitosanitario")

# 6.5.5. Union de plots y exportar como jpg
jpeg(filename="HC.Tratprom.jpg", width =
210*1.2, height = 297*1.2, units = "mm",
res=600) # Exportar como JPG

egg:ggarrange(HC.DiampromT, HC.AltpromT,
HC.HojpromT, HC.EFitopromT,

```

```

ncol = 1, top = "Handronathus
chrysanthus")
dev.off()

# 6.6. PLOTS Variables (promedio + IC)
# 6.6.1. Diam + Diam IC
HC.DIAMT <-
ggplot(datos.HC.Diam_Trat3, aes(x = Fecha,
color = variable)) +
  geom_line(aes(y = value.Diamprom)) +
  geom_line(aes(y = value.ICDiamprom),
linetype = "dashed", size = 0.7) +
  scale_y_continuous(name = "
Acumulada (cm)", sec.axis = sec_axis(~./2,
name = "--- Inc.Corriente (cm)")) +
  theme_minimal() +
  theme(axis.title.x = element_blank(),
axis.text.x = element_blank(),

axis.title.y.left=element_text(color="black
k"),

axis.text.y.left=element_text(color="black
"),

axis.title.y.right=element_text(color="bla
ck"),

axis.text.y.right=element_text(color="blac
k")) +
  geom_point(aes(y = value.Diamprom), shape
= 16) +
  geom_point(aes(y = value.ICDiamprom),
shape = 17) +
  annotate(geom = "text", x =
as.POSIXct("2020-04-05"), y = 1.9, label =
"Inicio de la \nPANDEMIA", color = "grey20")
+
  annotate(geom = "text", x =
as.POSIXct("2019-05-01"), y = 0.9, label =
"Etapa 01", colour = "grey") +
  annotate(geom = "text", x =
as.POSIXct("2020-01-01"), y = 0.9, label =
"Etapa 02", colour = "grey") +
  annotate(geom = "text", x =
as.POSIXct("2020-11-01"), y = 0.9, label =
"Etapa 03", colour = "grey60") +
  annotate(geom = "text", x =
as.POSIXct("2020-08-15"), y = 1.3, label =
"Nuevo invernadero", colour = "grey40") +

  geom_rect(aes(xmin = as.POSIXct("2020-02-
29"), xmax = as.POSIXct("2020-05-11"), ymin
= -Inf, ymax = Inf),
  colour = "grey90", fill="grey",
alpha = 0.01) +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2019-09-
25"), y = 0, # Inicio tesista 2
xend = as.POSIXct("2019-
09-25"),
yend = 2.0), linetype =
"dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-07-
08"), y = 0, # Inicio tesista 3
xend = as.POSIXct("2020-
07-08"),
yend = 2.0), linetype =
"dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-06-
15"), y = 0, # Cambio de \ninvernadero

```

```

xend = as.POSIXct("2020-
06-15"),
yend = 2.0), linetype =
"solid", colour = "grey") +
  ggtitle("Diámetro")

# 6.6.2. ALT + Alt IC
altT <- max(datos.HC.Alt_Trat4$[value])*0.5

HC.ALTT <-
ggplot(datos.HC.Alt_Trat4, aes(x = Fecha,
y = value, color = variable)) +
  geom_line() +
  facet_grid(Clase~., scale = "free_y") +
  theme_minimal() + theme(axis.title.x =
element_blank(),
axis.text.x =
element_blank(),

axis.title.y.left=element_text(color="blac
k"),

axis.text.y.left=element_text(color="black
") +
  geom_point(aes(y = value), shape = 16) +
  geom_rect(aes(xmin = as.POSIXct("2020-02-
29"), xmax = as.POSIXct("2020-05-11"), ymin
= -Inf, ymax = Inf),
  colour = "grey90", fill="grey",
alpha = 0.01) +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2019-09-
25"), y = 0, # Inicio tesista 2
xend = as.POSIXct("2019-
09-25"),
yend = altT), linetype =
"dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-07-
08"), y = 0, # Inicio tesista 3
xend = as.POSIXct("2020-
07-08"),
yend = altT ), linetype
= "dotted") +
  geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-06-
15"), y = 0, # Cambio de \ninvernadero
xend = as.POSIXct("2020-
06-15"),
yend = altT), linetype =
"solid", colour = "grey") +
  scale_y_continuous(name = "Altura (cm)")
+
  ggtitle("Altura")

#6.6.3.Hojas + HOJAS IC
max.hojT <- max(datos.HC.Hoja_Trat4$[value])

HC.HOJT <-
ggplot(datos.HC.Hoja_Trat4, aes(x =
Fecha, y = value, color = variable)) +
  geom_line() +
  facet_grid(Clase~., scale = "free_y") +
  theme_minimal() + theme(axis.title.x =
element_blank(),
axis.text.x =
element_blank(),

axis.title.y.left=element_text(color="blac
k"),

axis.text.y.left=element_text(color="black
") +

```

```

geom_point(aes(y = value), shape = 16) +
geom_rect(aes(xmin = as.POSIXct("2020-02-
29"), xmax = as.POSIXct("2020-05-11"), ymin
= -Inf, ymax = Inf),
          colour = "grey90", fill="grey",
alpha = 0.01) +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2019-09-
25"), y = 0, # Inicio tesista 2
                xend = as.POSIXct("2019-
09-25"),
                yend = max.hojT),
linetype = "dotted") +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-07-
08"), y = 0, # Inicio tesista 3
                xend = as.POSIXct("2020-
07-08"),
                yend = max.hojT ),
linetype = "dotted") +
geom_segment(aes(x = as.POSIXct("2020-06-
15"), y = 0, # Cambio de \ninvernadero

```

```

                xend = as.POSIXct("2020-
06-15"),
                yend = max.hojT),
linetype = "solid", colour = "grey") +
scale_y_continuous(name = "Nro. hojas")
+
ggtitle("Número de hojas")

# 6.6.4. Union de plots y exportar como jpg
jpeg(filename="HC.Trat.jpg", width =
210*1.2, height = 297*1.2, units = "mm",
res=600) # Exportar como JPG

egg:ggarrange(HC.DIAMT, HC.ALTT, HC.HOJT,
HC.EFitopromT,
              ncol = 1, top = "Handronathus
chrysanthus")

dev.off()

```

## Anexo 4

### Script detallado para la elaboración de diagramas de caja y gráfica de vértices

```

#' ---
#' title: "Construccion de Boxplot con
Kruskal-Wallis Test + Grafico de interaccion
de vertices (igraph)"
#' subtitle: Cambios morfologicos y
formacion de anillos de crecimiento por
estres hidrico bajo condiciones controladas
en planta de Cedrela montana ex Turcz y
Handroanthus chrysanthus (JAQ.) S.O. GROSE
en el canton Loja, Ecuador.
#' author: "Jefferson Quezada"
#' date: "01.nov.2021"
#' Director: Darwin Pucha
#' codificado por Darwin PC

#####
# CEDRO(Cedrela montana) #####
#####

rm(list=ls()) # limpiar area de trabajo
graphics.off() # limpiar area de graficos

# I. Fijar carpeta de trabajo
#setwd("C:/Users/usuario/Documents/FERNAND
A/TESIS_DOCUMENTOS/Bases de Datos_tesis")
#setwd("D:/Users/DARWIN/OneDrive/Trabajo/U
NL/Tesis forestal/13 Lady Aponte/R
(10ago2021)")
setwd("C:/Users/usuario/Documents/JeffeR/T
esis/R/CSV Cedrela montana")

# II. importar datos
data <- read.csv("kw_vertices.csv", sep =
";", dec = ",")

#remover columnas 100 % vacias
data <- data[rowSums(is.na(data))
!=ncol(data), colSums(is.na(data))
!=nrow(data)]

#####
#### ALTURA #####
#####
## 1. SELECCION Y LIMPIEZA DE DATOS

```

```

data.alt <- data[data$Variable=="Altura",
c(4:5, 6:50)] # Todas las alturas, colum:
trat, codigo, ml:m33

# 1.1. Subtablas por tratamiento
data.alt.T0 <-
data.alt[data.alt$tratamiento=="T0", 3:47]
data.alt.T1 <-
data.alt[data.alt$tratamiento=="T1", 3:47]
data.alt.T2 <-
data.alt[data.alt$tratamiento=="T2", 3:47]
data.alt.T3 <-
data.alt[data.alt$tratamiento=="T3", 3:47]
data.alt.T4 <-
data.alt[data.alt$tratamiento=="T4", 3:47]

# 1.2. Visualizacion de cada tratamiento
matplot(t(data.alt.T0), type = "l", main =
"T0")
matplot(t(data.alt.T1), type = "l", main =
"T1")
matplot(t(data.alt.T2), type = "l", main =
"T2")
matplot(t(data.alt.T3), type = "l", main =
"T3")
matplot(t(data.alt.T4), type = "l", main =
"T4")

#####
## 2. RECONSTRUCCION DE DATOS

# Relleno de datos vacios a traves de
funciones ortogonales basadas en:
# Taylor, M.H., Losch, M., Wenzel, M.,
Schröter, J., 2013. On the Sensitivity of
Field Reconstruction and Prediction Using
Empirical Orthogonal Functions Derived from
Gappy Data. J. Climate, 26, 9194-9205. doi:
http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-13-
00089.1 [pdf]
#
https://journals.ametsoc.org/downloadpdf/j
ournals/clim/26/22/jcli-d-13-00089.1.pdf

```

```

# Instalar paquete sinkr
library(sinkr)

#2.1. Analisis de datos vacios con la
funcion eof() EOF (Empirical Orthogonal
Functions analysis)

data.alt.T0.eof <- eof(data.alt.T0,
recursive = T, centered = F)
data.alt.T1.eof <- eof(data.alt.T1,
recursive = T, centered = F)
data.alt.T2.eof <- eof(data.alt.T2,
recursive = T, centered = F)
data.alt.T3.eof <- eof(data.alt.T3,
recursive = T, centered = F)
data.alt.T4.eof <- eof(data.alt.T4,
recursive = T, centered = F)

#2.2 Reconstruccion con la funcion eofRecon()
RSEOF - "Recursively Subtracted Empirical
Orthogonal Functions"
data.alt.T0.eof.rcn <-
eofRecon(data.alt.T0.eof)
data.alt.T1.eof.rcn <-
eofRecon(data.alt.T1.eof)
data.alt.T2.eof.rcn <-
eofRecon(data.alt.T2.eof)
data.alt.T3.eof.rcn <-
eofRecon(data.alt.T3.eof)
data.alt.T4.eof.rcn <-
eofRecon(data.alt.T4.eof)

# 2.2.1. Cambiar nombres de columnas y filas
colnames(data.alt.T0.eof.rcn) <-
colnames(data.alt[, 3:47])
colnames(data.alt.T1.eof.rcn) <-
colnames(data.alt[, 3:47])
colnames(data.alt.T2.eof.rcn) <-
colnames(data.alt[, 3:47])
colnames(data.alt.T3.eof.rcn) <-
colnames(data.alt[, 3:47])
colnames(data.alt.T4.eof.rcn) <-
colnames(data.alt[, 3:47])

rownames(data.alt.T0.eof.rcn) <-
data.alt[data.alt$tratamiento=="T0", 2 ]
rownames(data.alt.T1.eof.rcn) <-
data.alt[data.alt$tratamiento=="T1", 2 ]
rownames(data.alt.T2.eof.rcn) <-
data.alt[data.alt$tratamiento=="T2", 2 ]
rownames(data.alt.T3.eof.rcn) <-
data.alt[data.alt$tratamiento=="T3", 2 ]
rownames(data.alt.T4.eof.rcn) <-
data.alt[data.alt$tratamiento=="T4", 2 ]

# 2.2.2. Grafico comparativo con y sin
reconstruccion
matplot(t(data.alt.T0), type = "l", main =
"Altura_T0 original")
matplot(t(data.alt.T0.eof.rcn), type = "l",
main = "Altura_T0_Reconstruido")

matplot(t(data.alt.T1), type = "l", main =
"Altura_T1 original", ylim = c(0, 100))
matplot(t(data.alt.T1.eof.rcn), type = "l",
main = "Altura_T1_Reconstruido", ylim = c(0,
100))

matplot(t(data.alt.T2), type = "l", main =
"Altura_T2 original", ylim = c(0, 110))
matplot(t(data.alt.T2.eof.rcn), type = "l",
main = "Altura_T2_Reconstruido", ylim = c(0,
110))

matplot(t(data.alt.T3), type = "l", main =
"Altura_T3 original", ylim = c(0, 110))
matplot(t(data.alt.T3.eof.rcn), type = "l",
main = "Altura_T3_Reconstruido", ylim = c(0,
110))

matplot(t(data.alt.T4), type = "l", main =
"Altura_T4 original", ylim = c(0, 110))
matplot(t(data.alt.T4.eof.rcn), type = "l",
main = "Altura_T4_Reconstruido", ylim = c(0,
110))

# 2.2.3. Reunificacion de tablas y computo
data.alt.rcn <- rbind(data.alt.T0.eof.rcn,
data.alt.T1.eof.rcn,
data.alt.T2.eof.rcn,
data.alt.T3.eof.rcn,
data.alt.T4.eof.rcn)

data.alt.rcn <- as.data.frame(data.alt.rcn)
# Convertir matrix a tabla tipo data.frame

# 2.2.4. Agregar nueva columna con el nombre
de los tratamientos
data.alt.rcn$tratamiento <-
data.alt$tratamiento

# 2.2.5. # Calcular crecimiento neto (la
diferencia de crecimiento entre la ultima y
primera medicion)
data.alt.rcn$dif <- data.alt.rcn$m33 -
data.alt.rcn$m1

## 3. BOXPLOTS
library(tidyverse)
library(ggpubr)
library(rstatix)

# 3.1. Calculo del Kruskal - Wallis test
data.alt.kw <- data.alt.rcn %>%
kruskal_test(dif ~ tratamiento)
data.alt.kw

# 3.2. Ver el efecto de tamaño
#The interpretation values commonly in
published literature are: 0.01- < 0.06
(small effect),
# 0.06 - < 0.14 (moderate effect) and >=
0.14 (large effect).

data.alt.rcn %>% kruskal_effsize(dif ~
tratamiento)

# 3.3. Tabla comparativa de tratamientos
pareados con el metodo WILCOX - Pairwise
comparisons WILCOX'S test
data.alt.wilcox <- data.alt.rcn %>%
wilcox_test(dif ~ tratamiento,
p.adjust.method = "bonferroni")

data.alt.wilcox

# 3.4. Grafico de diagrama de caja (Boxplot)
incluyendo analisis estadistico
# 3.4.1. Calculo de la posicion X y Y de
los valores p sobre el grafico

```

```

data.alt.wilcox.graph <- data.alt.wilcox
%>% add_xy_position(x = "group")

# 3.4.2. Boxplot
jpeg(filename="Alt.Bxp.KW.Cedro.jpg", width
= 180, height = 110, units = "mm", res=600)
# Exportar como JPG

ggboxplot(data.alt.rcn, x =
"tratamiento", y = "dif", fill =
terrain.colors(5), bxp.errorbar = TRUE,
xlab = "Tratamiento", ylab =
"Crecimiento [cm]", title = "ALTURA") +
geom_jitter(shape=16,
position=position_jitter(0.2), alpha=.3,
colour="black")+

stat_pvalue_manual(data.alt.wilcox.graph,
hide.ns = TRUE) +
labs(
  subtitle = get_test_label(data.alt.kw ,
detailed = TRUE),
  caption =
get_pwc_label(data.alt.wilcox.graph))

dev.off()

## 4. VERTICES
## Basado en URL:
https://menugget.blogspot.com/2014/05/au
mated-determination-of-distribution.html
library(igraph)

# 4.1. Wilcox test pareado para ver todas
las correlaciones entre tratamientos
wt.alt <-
pairwise.wilcox.test(data.alt.rcn$dif,
data.alt.rcn$tratamiento)
#wt.alt <-
pairwise.wilcox.test(jitter(data.alt.rcn$d
if), data.alt.rcn$tratamiento) # use la
función jitter() en caso de errores por
igualdad de datos

# 4.2. Crear una matriz mostrando los grupos
de tratamientos
g.alt <- as.matrix(wt.alt$p.value > 0.05)
# identificar el valor de significancia
mayor a 0.05
g.alt <- cbind(rbind(NA, g.alt), NA) #
hacer una matriz cuadrada
g.alt <- replace(g.alt, is.na(g.alt),
FALSE) # reemplazo de los NA con Falso
g.alt <- g.alt + t(g.alt) # hacer la matriz
simetrica
diag(g.alt) <- 1 # poner 1 diagonalmente
en la matriz

# 4.3. Cambiar nombre de columnas y filas
labels <- c("T0", "T1", "T2", "T3", "T4")
rownames(g.alt) <- labels # cambiar nombre
de filas
colnames(g.alt) <- labels # cambiar nombre
de columnas

g.alt # mostrar matriz

# 4.4. Reorganizacion de datos en una lista
de vertices "edge list" para utilizarlos con

```

```

igraph (para saber que grupos de
tratamientos estan conectados)
pos.alt <- which(g.alt==1) # identificar la
posicion de los grupos relacionados
n <- 5 # numero de tratamientos (T0-T4)
g.alt2 <- data.frame(N1 = ((pos.alt-1) %% n)
+ 1, N2 = ((pos.alt-1) %% n) + 1)
#data.frame con los residuos de division
g.alt2 <- g.alt2[order((g.alt2[[1]])), ] #
reorganiza las filas por pares
g.alt3 <- simplify(graph.data.frame(g.alt2,
directed = FALSE)) # crear objeto para
igraph
get.data.frame(g.alt3) # ver conexiones
entre tratamientos

# 4.5. Plot igraph
# Personalizacion del grafico
V(g.alt3)$color <- terrain.colors(5)
V(g.alt3)$label.color <- "black"
V(g.alt3)$size <- 30
V(g.alt3)$label.cex <- 1.5
V(g.alt3)$label <- labels

# plot de conexion por nodos
jpeg(filename="Alt.nodos.Cedro.jpg", width
= 160, height = 180, units = "mm", res=600)
# Exportar como JPG

vertice.alt <- plot(g.alt3)+ box() +
mtext("Los tratamientos conectados no son
significativamente \ndiferentes (Wilcoxon-
Mann-Whitney test, p-value < 0.05 )",
side=1, line=2, cex = 1.2)

dev.off()

#####
### DIAMETRO ###
#####
## 1. SELECCION Y LIMPIEZA DE DATOS
data.diam <-
data[data$Variable=="Diámetro", c(4:5,
6:50)] # Todas las alturas, colum: trat,
codigo, ml:m33

# 1.1. Subtablas por tratamiento
data.diam.T0 <-
data.diam[data.diam$tratamiento=="T0",
3:47]
data.diam.T1 <-
data.diam[data.diam$tratamiento=="T1",
3:47]
data.diam.T2 <-
data.diam[data.diam$tratamiento=="T2",
3:47]
data.diam.T3 <-
data.diam[data.diam$tratamiento=="T3",
3:47]
data.diam.T4 <-
data.diam[data.diam$tratamiento=="T4",
3:47]

# 1.2. Visualizacion de cada tratamiento
matplot(t(data.diam.T0), type = "l", main =
"T0")
matplot(t(data.diam.T1), type = "l", main =
"T1")

```

```

matplot(t(data.diam.T2), type = "l", main =
"T2")
matplot(t(data.diam.T3), type = "l", main =
"T3")
matplot(t(data.diam.T4), type = "l", main =
"T4")

#####
## 2. RECONSTRUCCION DE DATOS

# Relleno de datos vacios a traves de
funciones ortogonales basadas en:
# Taylor, M.H., Losch, M., Wenzel, M.,
Schröter, J., 2013. On the Sensitivity of
Field Reconstruction and Prediction Using
Empirical Orthogonal Functions Derived from
Gappy Data. J. Climate, 26, 9194-9205. doi:
http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-13-
00089.1 [pdf]
#
https://journals.ametsoc.org/downloadpdf/j
ournals/clim/26/22/jcli-d-13-00089.1.pdf

# Instalar paquete sinkr
library(sinkr)

#2.1. Analisis de datos vacios con la
funcion eof() EOF (Empirical Orthogonal
Functions analysis)
data.diam.T0.eof <- eof(data.diam.T0,
recursive = T, centered = F)
data.diam.T1.eof <- eof(data.diam.T1,
recursive = T, centered = F)
data.diam.T2.eof <- eof(data.diam.T2,
recursive = T, centered = F)
data.diam.T3.eof <- eof(data.diam.T3,
recursive = T, centered = T)
data.diam.T4.eof <- eof(data.diam.T4,
recursive = T, centered = T)

#2.2 Reconstrucion con la funcion eofRecon()
RSEOF - "Recursively Subtracted Empirical
Orthogonal Functions"
data.diam.T0.eof.rcn <-
eofRecon(data.diam.T0.eof)
data.diam.T1.eof.rcn <-
eofRecon(data.diam.T1.eof)
data.diam.T2.eof.rcn <-
eofRecon(data.diam.T2.eof)
data.diam.T3.eof.rcn <-
eofRecon(data.diam.T3.eof)
data.diam.T4.eof.rcn <-
eofRecon(data.diam.T4.eof)

# 2.2.1. Cambiar nombres de columnas y filas
colnames(data.diam.T0.eof.rcn) <-
colnames(data.diam[, 3:47])
colnames(data.diam.T1.eof.rcn) <-
colnames(data.diam[, 3:47])
colnames(data.diam.T2.eof.rcn) <-
colnames(data.diam[, 3:47])
colnames(data.diam.T3.eof.rcn) <-
colnames(data.diam[, 3:47])
colnames(data.diam.T4.eof.rcn) <-
colnames(data.diam[, 3:47])

rownames(data.diam.T0.eof.rcn) <-
data.diam[data.diam$tratamiento=="T0", 2 ]
rownames(data.diam.T1.eof.rcn) <-
data.diam[data.diam$tratamiento=="T1", 2 ]

rownames(data.diam.T2.eof.rcn) <-
data.diam[data.diam$tratamiento=="T2", 2 ]
rownames(data.diam.T3.eof.rcn) <-
data.diam[data.diam$tratamiento=="T3", 2 ]
rownames(data.diam.T4.eof.rcn) <-
data.diam[data.diam$tratamiento=="T4", 2 ]

# Borrar valores negativos
#data.diam.T2.eof.rcn[,37:45] <- NA

# 2.2.2. Grafico comparativo con y sin
reconstruccion
matplot(t(data.diam.T0), type = "l", main =
"Diametro_T0 original")
matplot(t(data.diam.T0.eof.rcn), type =
"l", main = "Diametro_T0_Reconstruido")

matplot(t(data.diam.T1), type = "l", main =
"Diametro_T1 original", ylim = c(0, 3))
matplot(t(data.diam.T1.eof.rcn), type =
"l", main = "Diametro_T1_Reconstruido",
ylim = c(0, 3))

matplot(t(data.diam.T2), type = "l", main =
"Diametro_T2 original", ylim = c(0, 3))
matplot(t(data.diam.T2.eof.rcn), type =
"l", main = "Diametro_T2_Reconstruido",
ylim = c(0, 3))

matplot(t(data.diam.T3), type = "l", main =
"Diametro_T3 original", ylim = c(0, 3))
matplot(t(data.diam.T3.eof.rcn), type =
"l", main = "Diametro_T3_Reconstruido",
ylim = c(0, 3))

matplot(t(data.diam.T4), type = "l", main =
"Diametro_T4 original", ylim = c(0, 3))
matplot(t(data.diam.T4.eof.rcn), type =
"l", main = "Diametro_T4_Reconstruido",
ylim = c(0, 3))

# 2.2.3. Reunificacion de tablas y computo
data.diam.rcn <-
rbind(data.diam.T0.eof.rcn,
data.diam.T1.eof.rcn,
data.diam.T2.eof.rcn,
data.diam.T3.eof.rcn,
data.diam.T4.eof.rcn)

data.diam.rcn <-
as.data.frame(data.diam.rcn) # Convertir
matrix a tabla tipo data.frame

# 2.2.4. Agregar nueva columna con el nombre
de los tratamientos
data.diam.rcn$tratamiento <-
data.diam$tratamiento

# 2.2.5. # Calcular crecimiento neto (la
diferencia de crecimiento entre la ultima y
primera medicion)
data.diam.rcn$dif <- data.diam.rcn$m33 -
data.diam.rcn$m1

```

```

## 3. BOXPLOTS
library(tidyverse)
library(ggpubr)
library(rstatix)

# 3.1. Calculo del Kruskal - Wallis test
data.diam.kw <- data.diam.rcn %>%
  kruskal_test(dif ~ tratamiento)
data.diam.kw

# 3.2. Ver el efecto de tamaño
#The interpretation values commonly in
published literature are: 0.01- < 0.06
(small effect),
# 0.06 - < 0.14 (moderate effect) and >=
0.14 (large effect).

data.diam.rcn %>% kruskal_effsize(dif ~
tratamiento)

# 3.3. Tabla comparativa de tratamientos
pareados con el metodo WILCOX - Pairwise
comparisons WILCOX'S test

data.diam.wilcox <- data.diam.rcn %>%
  wilcox_test(dif ~ tratamiento,
p.adjust.method = "bonferroni")

data.diam.wilcox

# 3.4. Grafico de diagrama de caja (Boxplot)
incluyendo analisis estadistico
# 3.4.1. Calculo de la posicion X y Y de
los valores p sobre el grafico
data.diam.wilcox.graph <- data.diam.wilcox
%>% add_xy_position(x = "group")

# 3.4.2. Boxplot
jpeg(filename="Diam.Bxp.KW.Cedro.jpg",
width = 180, height = 110, units = "mm",
res=600) # Exportar como JPG

boxplot.diam <-
ggboxplot(data.diam.rcn, x = "tratamiento",
y = "dif", fill = terrain.colors(5),
bxp.errorbar = TRUE,
xlab = "Tratamiento", ylab =
"Crecimiento [cm]", title = "DIAMETRO") +
ylim(0, 2) +
geom_jitter(shape=16,
position=position_jitter(0.2), alpha=.3,
colour="black")+

stat_pvalue_manual(data.diam.wilcox.graph,
hide.ns = TRUE) +
labs(
  subtitle = get_test_label(data.diam.kw
, detailed = TRUE),
  caption =
get_pwc_label(data.diam.wilcox.graph))

dev.off()

## 4. VERTICES
## Basado en URL:
https://menugget.blogspot.com/2014/05/auto
mated-determination-of-distribution.html

library(igraph)

# 4.1. Wilcox test pareado para ver todas
las correlaciones entre tratamientos
wt.diam <-
pairwise.wilcox.test(data.diam.rcn$dif,
data.diam.rcn$tratamiento)
#wt.diam <-
pairwise.wilcox.test(jitter(data.diam.rcn$dif), data.diam.rcn$tratamiento) # use
la función jitter() en caso de errores por
igualdad de datos

# 4.2. Crear una matriz mostrando los grupos
de tratamientos
g.diam <- as.matrix(wt.diam$p.value > 0.05)
# identificar el valor de significancia
mayor a 0.05
g.diam <- cbind(rbind(NA, g.diam), NA) #
hacer una matriz cuadrada
g.diam <- replace(g.diam, is.na(g.diam),
FALSE) # reemplazo de los NA con Falso
g.diam <- g.diam + t(g.diam) # hacer la
matriz simetrica
diag(g.diam) <- 1 # poner 1 diagonalmente
en la matriz

# 4.3. Cambiar nombre de columnas y filas
labels <- c("T0", "T1", "T2", "T3", "T4")
rownames(g.diam) <- labels # cambiar nombre
de filas
colnames(g.diam) <- labels # cambiar nombre
de columnas

g.diam # mostrar matriz

# 4.4. Reorganizacion de datos en una lista
de vertices "edge list" para utilizarlos con
igraph (para saber que grupos de
tratamientos estan conectados)
pos.diam <- which(g.diam==1) # identificar
la posicion de los grupos relacionados
n <- 5 # numero de tratamientos (T0-T4)
g.diam2 <- data.frame(N1 = ((pos.diam-1) %/%
n) + 1, N2 = ((pos.diam-1) %/% n) + 1)
#data.frame con los residuos de division
g.diam2 <- g.diam2[order((g.diam2[[1]])), ]
# reorganiza las filas por pares
g.diam3 <-
simplify(graph.data.frame(g.diam2, directed
= FALSE)) # crear objeto para igraph
get.data.frame(g.diam3) # ver conexiones
entre tratamientos

# 4.5. Plot igraph
# Personalizacion del grafico
V(g.diam3)$color <- terrain.colors(5)
V(g.diam3)$label.color <- "black"
V(g.diam3)$size <- 30
V(g.diam3)$label.cex <- 1.5
V(g.diam3)$label <- labels

# plot de conexion por nodos

jpeg(filename="Diam.nodos.Cedro.jpg", width
= 160, height = 180, units = "mm", res=600)
# Exportar como JPG

plot(g.diam3)
box()

```

```

mtext("Los tratamientos conectados no son
significativamente \ndiferentes (Wilcoxon o
Mann-Whitney test)",
      side=1, line=2, cex = 1.2)

dev.off()

#####
### NUMERO DE HOJAS ###
#####
## 1. SELECCION Y LIMPIEZA DE DATOS
data.hoj <-
data[data$Variable=="Nro_hojas", c(4:5,
6:50)] # Todas las hojuras, colum: trat,
codigo, ml:m33

# 1.1. Subtablas por tratamiento
data.hoj.T0 <-
data.hoj[data.hoj$tratamiento=="T0", 3:47]
data.hoj.T1 <-
data.hoj[data.hoj$tratamiento=="T1", 3:47]
data.hoj.T2 <-
data.hoj[data.hoj$tratamiento=="T2", 3:47]
data.hoj.T3 <-
data.hoj[data.hoj$tratamiento=="T3", 3:47]
data.hoj.T4 <-
data.hoj[data.hoj$tratamiento=="T4", 3:47]

# 1.2. Visualizacion de cada tratamiento
matplot(t(data.hoj.T0), type = "l", main =
"T0")
matplot(t(data.hoj.T1), type = "l", main =
"T1")
matplot(t(data.hoj.T2), type = "l", main =
"T2")
matplot(t(data.hoj.T3), type = "l", main =
"T3")
matplot(t(data.hoj.T4), type = "l", main =
"T4")

#####
## 2. RECONSTRUCCION DE DATOS

# Relleno de datos vacios a traves de
funciones ortogonales basadas en:
# Taylor, M.H., Losch, M., Wenzel, M.,
Schröter, J., 2013. On the Sensitivity of
Field Reconstruction and Prediction Using
Empirical Orthogonal Functions Derived from
Gappy Data. J. Climate, 26, 9194-9205. doi:
http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-13-
00089.1 [pdf]
#
https://journals.ametsoc.org/downloadpdf/j
ournals/clim/26/22/jcli-d-13-00089.1.pdf

# Instalar paquete sinkr
library(sinkr)

#2.1. Analisis de datos vacios con la
funcion eof() EOF (Empirical Orthogonal
Functions analysis)
data.hoj.T0.eof <- eof(data.hoj.T0,
recursive = T, centered = F)
data.hoj.T1.eof <- eof(data.hoj.T1,
recursive = T, centered = F)
data.hoj.T2.eof <- eof(data.hoj.T2,
recursive = T, centered = F)
data.hoj.T3.eof <- eof(data.hoj.T3,
recursive = T, centered = F)

data.hoj.T4.eof <- eof(data.hoj.T4,
recursive = T, centered = F)

#2.2 Reconstrucion con la funcion eofRecon()
RSEOF - "Recursively Subtracted Empirical
Orthogonal Functions"
data.hoj.T0.eof.rcn <-
eofRecon(data.hoj.T0.eof)
data.hoj.T1.eof.rcn <-
eofRecon(data.hoj.T1.eof)
data.hoj.T2.eof.rcn <-
eofRecon(data.hoj.T2.eof)
data.hoj.T3.eof.rcn <-
eofRecon(data.hoj.T3.eof)
data.hoj.T4.eof.rcn <-
eofRecon(data.hoj.T4.eof)

# 2.2.1. Cambiar nombres de columnas y filas
colnames(data.hoj.T0.eof.rcn) <-
colnames(data.hoj[, 3:47])
colnames(data.hoj.T1.eof.rcn) <-
colnames(data.hoj[, 3:47])
colnames(data.hoj.T2.eof.rcn) <-
colnames(data.hoj[, 3:47])
colnames(data.hoj.T3.eof.rcn) <-
colnames(data.hoj[, 3:47])
colnames(data.hoj.T4.eof.rcn) <-
colnames(data.hoj[, 3:47])

rownames(data.hoj.T0.eof.rcn) <-
data.hoj[data.hoj$tratamiento=="T0", 2 ]
rownames(data.hoj.T1.eof.rcn) <-
data.hoj[data.hoj$tratamiento=="T1", 2 ]
rownames(data.hoj.T2.eof.rcn) <-
data.hoj[data.hoj$tratamiento=="T2", 2 ]
rownames(data.hoj.T3.eof.rcn) <-
data.hoj[data.hoj$tratamiento=="T3", 2 ]
rownames(data.hoj.T4.eof.rcn) <-
data.hoj[data.hoj$tratamiento=="T4", 2 ]

# 2.2.2. Grafico comparativo con y sin
reconstruccion
matplot(t(data.hoj.T0), type = "l", main =
"Nro_hojas_T0 original")
matplot(t(data.hoj.T0.eof.rcn), type = "l",
main = "Nro_hojas_T0_Reconstruido")

matplot(t(data.hoj.T1), type = "l", main =
"Nro_hojas_T1 original", ylim = c(0, 20))
matplot(t(data.hoj.T1.eof.rcn), type = "l",
main = "Nro_hojas_T1_Reconstruido", ylim =
c(0, 20))

matplot(t(data.hoj.T2), type = "l", main =
"Nro_hojas_T2 original", ylim = c(0, 20))
matplot(t(data.hoj.T2.eof.rcn), type = "l",
main = "Nro_hojas_T2_Reconstruido", ylim =
c(0, 20))

matplot(t(data.hoj.T3), type = "l", main =
"Nro_hojas_T3 original", ylim = c(0, 20))
matplot(t(data.hoj.T3.eof.rcn), type = "l",
main = "Nro_hojas_T3_Reconstruido", ylim =
c(0, 20))

matplot(t(data.hoj.T4), type = "l", main =
"Nro_hojas_T4 original", ylim = c(0, 20))

```

```

matplot(t(data.hoj.T4.eof.rcn), type = "l",
main = "Nro_hojas_T4_Reconstruido", ylim =
c(0, 20))

# 2.2.3. Reunificacion de tablas y computo

data.hoj.rcn <- rbind(data.hoj.T0.eof.rcn,
data.hoj.T1.eof.rcn,
data.hoj.T2.eof.rcn,
data.hoj.T3.eof.rcn,
data.hoj.T4.eof.rcn)

data.hoj.rcn <- as.data.frame(data.hoj.rcn)
# Convertir matrix a tabla tipo data.frame

# 2.2.4. Agregar nueva columna con el nombre
de los tratamientos
data.hoj.rcn$tratamiento <-
data.hoj$tratamiento

# 2.2.5. # Calcular crecimiento neto (la
diferencia de crecimiento entre la ultima y
primera medicion)
data.hoj.rcn$dif <- data.hoj.rcn$m33 -
data.hoj.rcn$m1

## 3. BOXPLOTS
library(tidyverse)
library(ggpubr)
library(rstatix)

# 3.1. Calculo del Kruskal - Wallis test
data.hoj.kw <- data.hoj.rcn %>%
kruskal_test(dif ~ tratamiento)
data.hoj.kw

# 3.2. Ver el efecto de tamaño
#The interpretation values commonly in
published literature are: 0.01- < 0.06
(small effect),
# 0.06 - < 0.14 (moderate effect) and >=
0.14 (large effect).

data.hoj.rcn %>% kruskal_effsize(dif ~
tratamiento)

# 3.3. Tabla comparativa de tratamientos
pareados con el metodo WILCOX - Pairwise
comparisons WILCOX'S test

data.hoj.wilcox <- data.hoj.rcn %>%
wilcox_test(dif ~ tratamiento,
p.adjust.method = "bonferroni")

data.hoj.wilcox

# 3.4. Grafico de diagrama de caja (Boxplot)
incluyendo analisis estadistico
# 3.4.1. Calculo de la posicion X y Y de
los valores p sobre el grafico
data.hoj.wilcox.graph <- data.hoj.wilcox
%>% add_xy_position(x = "group")

# 3.4.2. Boxplot
jpeg(filename="Hojas.Bxp.KW.Cedro.jpg",
width = 180, height = 110, units = "mm",
res=600) # Exportar como JPG

boxplot.hoj <-

```

```

ggboxplot(data.hoj.rcn, x = "tratamiento",
y = "dif", fill = terrain.colors(5),
bxp.errorbar = TRUE,
xlab = "Tratamiento", ylab =
"Número de Hojas", title = "NRO_HOJAS") +
ylim(0, 17) +
geom_jitter(shape=16,
position=position_jitter(0.2), alpha=.3,
colour="black")+

stat_pvalue_manual(data.hoj.wilcox.graph,
hide.ns = TRUE) +
labs(
subtitle = get_test_label(data.hoj.kw ,
detailed = TRUE),
caption =
get_pwc_label(data.hoj.wilcox.graph))

dev.off()

#####
## 4. VERTICES
## Basado en URL:
https://menugget.blogspot.com/2014/05/auto
mated-determination-of-distribution.html

library(igraph)

# 4.1. Wilcox test pareado para ver todas
las correlaciones entre tratamientos
wt.hoj <-
pairwise.wilcox.test(data.hoj.rcn$dif,
data.hoj.rcn$tratamiento)
#wt.hoj <-
pairwise.wilcox.test(jitter(data.hoj.rcn$d
if), data.hoj.rcn$tratamiento) # use la
función jitter() en caso de errores por
igualdad de datos

# 4.2. Crear una matriz mostrando los grupos
de tratamientos
g.hoj <- as.matrix(wt.hoj$P.value > 0.05)
# identificar el valor de significancia
mayor a 0.05
g.hoj <- cbind(rbind(NA, g.hoj), NA) #
hacer una matriz cuadrada
g.hoj <- replace(g.hoj, is.na(g.hoj),
FALSE) # reemplazo de los NA con Falso
g.hoj <- g.hoj + t(g.hoj) # hacer la matriz
simetrica
diag(g.hoj) <- 1 # poner 1 diagonalmente
en la matriz

# 4.3. Cambiar nombre de columnas y filas
labels <- c("T0", "T1", "T2", "T3", "T4")
rownames(g.hoj) <- labels # cambiar nombre
de filas
colnames(g.hoj) <- labels # cambiar nombre
de columnas

g.hoj # mostrar matriz

# 4.4. Reorganizacion de datos en una lista
de vertices "edge list" para utilizarlos con
igraph (para saber que grupos de
tratamientos estan conectados)
pos.hoj <- which(g.hoj==1) # identificar la
posicion de los grupos relacionados
n <- 5 # numero de tratamientos (T0-T4)

```

```

g.hoj2 <- data.frame(N1 = ((pos.hoj-1) %% n)
+ 1, N2 = ((pos.hoj-1) %/% n) + 1)
#data.frame con los residuos de division
g.hoj2 <- g.hoj2[order((g.hoj2[[1]])), 1] #
reorganiza las filas por pares
g.hoj3 <- simplify(graph.data.frame(g.hoj2,
directed = FALSE)) # crear objeto para
igraph
get.data.frame(g.hoj3) # ver conexiones
entre tratamientos

# 4.5. Plot igraph
# Personalizacion del grafico
V(g.hoj3)$color <- terrain.colors(5)
V(g.hoj3)$label.color <- "black"
V(g.hoj3)$size <- 30

```

```

V(g.hoj3)$label.cex <- 1.5
V(g.hoj3)$label <- labels

# plot de conexion por nodos

jpeg(filename="Hojas.nodos.Cedro.jpg",
width = 160, height = 180, units = "mm",
res=600) # Exportar como JPG

plot(g.hoj3)
box()
mtext("Los tratamientos conectados no son
significativamente \ndiferentes (Wilcoxon o
Mann-Whitney test)",
side=1, line=2, cex = 1.2)

dev.off()

```

## Anexo 5

### Código R utilizado para la representación gráfica del incremento corriente quincenal del diámetro

```

#' ---
#' title: PLOT DE SEGMENTOS DE CRECIMIENTO
DIAMETRICO
#' subtitle: Cambios morfologicos y
formacion de anillos de crecimiento por
estres hidrico bajo condiciones controladas
en planta de Cedrela montana ex Turcz y
Handroanthus chrysanthus (JAQ.) S.O. GROSE
en el canton Loja, Ecuador.
#' author: Jefferson Quezada
#' date: 23 de septiembre de 2021
#' Director: Darwin Pucha
#' codificado por Darwin PC

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

# Fijar carpeta de trabajo
setwd("C:/Users/usuario/Documents/Jeffe/T
esis/R/CSV Cedrela montana")

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

#####T0_01#####
## 1.1. Abrir base de datos
datos.CM.T0 <- read.csv("T0_resumen2.csv",
sep = ",", dec = ".")

## 1.2. Seleccionar primer arbol: T0_01
datos.CM.T0_01 <- datos.CM.T0[, c(2:6, 13,
16)]

## 1.3. Funcion que deja solo columnas
completas
datos.CM.T0_01 <-
datos.CM.T0_01[complete.cases(datos.CM.T0_
01$T0_01_Diam_IC), ]
row.names(datos.CM.T0_01) <-
1:nrow(datos.CM.T0_01)

```

```

# 1.4. Agregar fechas importantes
datos.CM.T0_01$comentarios <- NA
datos.CM.T0_01[1, 8] <- "200 mm"
datos.CM.T0_01[17, 8] <- "Cicatriz"
datos.CM.T0_01[24, 8] <- "500 mm"
datos.CM.T0_01[27, 8] <- "Nuevo inv."
datos.CM.T0_01[29, 8] <- "1000 mm"
datos.CM.T0_01[31, 8] <- "750 mm"

# Plot segmentos
jpeg(filename="CM_DiamT0_01_segment.jpg",
width = 1500*0.2, height = 450*0.2, units =
"mm", res=300) # Exportar como JPG

plot(c(0,max(datos.CM.T0_01$T0_01_Diam)),c
(1,3),type = "n",axes = FALSE,
xlab = "Diámetro (cm)",ylab = "")
points(x=datos.CM.T0_01$T0_01_Diam, y =
rep(2,44), pch=3, cex = 10, col = "green",
lwd = 2)
segments(x0 =
datos.CM.T0_01$T0_01_Diam[1:43],
x1 =
datos.CM.T0_01$T0_01_Diam[2:44],
y0 = 2, y1 = 2,
col = "yellow",
lwd = 6, lend = 1)
points(x=datos.CM.T0_01[c(1, 17, 24, 27,
29, 31), 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.CM.T0_01[c(1, 17, 24, 27,
29, 31), 6], y = rep(3, 6), col = "yellow",
labels =
datos.CM.T0_01$comentarios[c(1, 17, 24, 27,
29, 31)], srt = 90, cex = 0.75)
text(x=0.5, y = 2, labels = "Cedro T0_01",
cex = 1.5)

axis(1, at = c(0, 0.5,
datos.CM.T0_01$T0_01_Hoj),labels = T ,tcl =
0.5, col = "yellow")

```

```

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

dev.off()

#####T0_16#####
## 1.5. Abrir base de datos
datos.CM.T0_16 <- read.csv("T0_resumen2.csv",
sep = ",", dec = ".")

## 1.6. Seleccionar primer arbol: T0_16
datos.CM.T0_16 <- datos.CM.T0[, c(2:6, 14,
17)]

## 1.7. Funcion que deja solo columnas
completas
datos.CM.T0_16 <-
datos.CM.T0_16[complete.cases(datos.CM.T0_
16$T0_16_Diam_IC) , ]
row.names(datos.CM.T0_16) <-
1:nrow(datos.CM.T0_16)

# 1.8. Agregar fechas importantes
datos.CM.T0_16$comentarios <- NA
datos.CM.T0_16[1, 8] <- "200 mm"
datos.CM.T0_16[17, 8] <- "Cicatriz"
datos.CM.T0_16[24, 8] <- "500 mm"
datos.CM.T0_16[27, 8] <- "Nuevo inv."
datos.CM.T0_16[29, 8] <- "1000 mm"
datos.CM.T0_16[31, 8] <- "750 mm"

# Plot segmentos
jpeg(filename="CM_diamT0_16_segment.jpg",
width = 1500*0.2, height = 450*0.2, units =
"mm", res=300) # Exportar como JPG

plot(c(0,max(datos.CM.T0_16$T0_16_Diam)),c
(1,3),type = "n",axes = FALSE,
xlab = "Diámetro (cm)",ylab = "")
points(x=datos.CM.T0_16$T0_16_Diam, y =
rep(2,44), pch=3, cex = 10, col = "green",
lwd = 2)
segments(x0 =
datos.CM.T0_16$T0_16_Diam[1:43],
x1 =
datos.CM.T0_16$T0_16_Diam[2:44],
y0 = 2, y1 = 2,
col = "yellow",
lwd = 6, lend = 1)
points(x=datos.CM.T0_16[c(1, 17, 24, 27,
29, 31), 6], y = c(2,2,2,2,2,2), pch = 19,
col = "red", cex = 1.5)
points(x=0, y=2, pch = 19, col = "red", cex
= 1.5)
text(x=datos.CM.T0_16[c(1, 17, 24, 27, 29,
31), 6], y = rep(3, 6), col = "yellow",
labels =
datos.CM.T0_16$comentarios[c(1, 17, 24, 27,
29, 31)], srt = 90, cex = 0.75)
text(x=0.5, y = 2, labels = "Cedro T0_16",
cex = 1.5)

axis(1, at = c(0, 0.5),
datos.CM.T0_16$T0_16_Diam),labels = T ,tcl
= 0.5, col = "yellow")
axis(1, labels = F, col = "yellow")

dev.off()

#####T0_18#####
## 1.9. Abrir base de datos
datos.CM.T0_18 <- read.csv("T0_resumen2.csv",
sep = ",", dec = ".")

## 1.10. Seleccionar primer arbol: T0_18
datos.CM.T0_18 <- datos.CM.T0[, c(2:6, 15,
18)]

## 1.11. Funcion que deja solo columnas
completas
datos.CM.T0_18 <-
datos.CM.T0_18[complete.cases(datos.CM.T0_
18$T0_18_Diam_IC) , ]
row.names(datos.CM.T0_18) <-
1:nrow(datos.CM.T0_18)

# 1.12. Agregar fechas importantes
datos.CM.T0_18$comentarios <- NA
datos.CM.T0_18[1, 8] <- "200 mm"
datos.CM.T0_18[17, 8] <- "Cicatriz"
datos.CM.T0_18[24, 8] <- "500 mm"
datos.CM.T0_18[27, 8] <- "Nuevo inv."
datos.CM.T0_18[29, 8] <- "1000 mm"
datos.CM.T0_18[31, 8] <- "750 mm"

# Plot segmentos
jpeg(filename="CM_diamT0_18_segment.jpg",
width = 1500*0.2, height = 450*0.2, units =
"mm", res=300) # Exportar como JPG

plot(c(0,max(datos.CM.T0_18$T0_18_Diam)),c
(1,3),type = "n",axes = FALSE,
xlab = "Diámetro (cm)",ylab = "")
points(x=datos.CM.T0_18$T0_18_Diam, y =
rep(2,44), pch=3, cex = 10, col = "green",
lwd = 2)
segments(x0 =
datos.CM.T0_18$T0_18_Diam[1:43],
x1 =
datos.CM.T0_18$T0_18_Diam[2:44],
y0 = 2, y1 = 2,
col = "yellow",
lwd = 6, lend = 1)
points(x=datos.CM.T0_18[c(1, 17, 24, 27,
29, 31), 6], y = c(2,2,2,2,2,2), pch = 19,
col = "red", cex = 1.5)
points(x=0, y=2, pch = 19, col = "red", cex
= 1.5)
text(x=datos.CM.T0_18[c(1, 17, 24, 27, 29,
31), 6], y = rep(3, 6), col = "yellow",
labels =
datos.CM.T0_18$comentarios[c(1, 17, 24, 27,
29, 31)], srt = 90, cex = 0.75)
text(x=0.5, y = 2, labels = "Cedro T0_18",
cex = 1.5)

axis(1, at = c(0, 0.5),
datos.CM.T0_18$T0_18_Diam),labels = T ,tcl
= 0.5, col = "yellow")
axis(1, labels = F, col = "yellow")

dev.off()

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

#####T1_14#####
## 2.1. Abrir base de datos

```

```

datos.CM.T1 <- read.csv("T1_resumen.csv",
sep = ";", dec = ",")

## 2.2. Seleccionar primer arbol: T1_14
datos.CM.T1_14 <- datos.CM.T1[, c(2:6, 13,
16)]

## 2.3. Funcion que deja solo columnas
completas
datos.CM.T1_14 <-
datos.CM.T1_14[complete.cases(datos.CM.T1_
14$T1_14_Diam_IC) , ]
row.names(datos.CM.T1_14) <-
1:nrow(datos.CM.T1_14)

# 2.4. Agregar fechas importantes
datos.CM.T1_14$comentarios <- NA
datos.CM.T1_14[1, 8] <- "200 mm"
datos.CM.T1_14[17, 8] <- "Cicatriz"
datos.CM.T1_14[24, 8] <- "500 mm"
datos.CM.T1_14[27, 8] <- "Nuevo inv."
datos.CM.T1_14[29, 8] <- "1000 mm"
datos.CM.T1_14[31, 8] <- "750 mm"

# Plot segmentos
jpeg(filename="CM_diamT1_14_segment.jpg",
width = 1500*0.2, height = 450*0.2, units =
"mm", res=300) # Exportar como JPG

plot(c(0,max(datos.CM.T1_14$T1_14_Diam)),c
(1,3),type = "n",axes = FALSE,
xlab = "Diámetro (cm)",ylab = "")
points(x=datos.CM.T1_14$T1_14_Diam, y =
rep(2,44), pch=3, cex = 10, col = "green",
lwd = 2)
segments(x0 =
datos.CM.T1_14$T1_14_Diam[1:43],
x1 =
datos.CM.T1_14$T1_14_Diam[2:44],
y0 = 2, y1 = 2,
col = "yellow",
lwd = 6, lend = 1)
points(x=datos.CM.T1_14[c(1, 17, 24, 27,
29, 31), 6], y = c(2,2,2,2,2,2), pch = 19,
col = "red", cex = 1.5)
points(x=0, y =2, pch = 19, col = "red", cex
= 1.5)
text(x=datos.CM.T1_14[c(1, 17, 24, 27, 29,
31), 6], y = rep(3, 6), col = "yellow",
labels =
datos.CM.T1_14$comentarios[c(1, 17, 24, 27,
29, 31)], srt = 90, cex = 0.75)
text(x=0.5, y = 2, labels = "Cedro T1_14",
cex = 1.5)

axis(1, at = c(0, 0.5,
datos.CM.T1_14$T1_14_Diam),labels = T ,tcl
= 0.5, col = "yellow")
axis(1, labels = F, col = "yellow")

dev.off()

#####T1_16#####
## 2.5. Abrir base de datos
datos.CM.T1 <- read.csv("T1_resumen.csv",
sep = ";", dec = ",")

## 2.6. Seleccionar primer arbol: T1_16

```

```

datos.CM.T1_16 <- datos.CM.T1[, c(2:6, 14,
17)]

## 2.7. Funcion que deja solo columnas
completas
datos.CM.T1_16 <-
datos.CM.T1_16[complete.cases(datos.CM.T1_
16$T1_16_Diam_IC) , ]
row.names(datos.CM.T1_16) <-
1:nrow(datos.CM.T1_16)

# 2.8. Agregar fechas importantes
datos.CM.T1_16$comentarios <- NA
datos.CM.T1_16[1, 8] <- "200 mm"
datos.CM.T1_16[17, 8] <- "Cicatriz"
datos.CM.T1_16[24, 8] <- "500 mm"
datos.CM.T1_16[27, 8] <- "Nuevo inv."
datos.CM.T1_16[29, 8] <- "1000 mm"
datos.CM.T1_16[31, 8] <- "750 mm"

# Plot segmentos
jpeg(filename="CM_diamT1_16_segment.jpg",
width = 1500*0.2, height = 450*0.2, units =
"mm", res=300) # Exportar como JPG

plot(c(0,max(datos.CM.T1_16$T1_16_Diam)),c
(1,3),type = "n",axes = FALSE,
xlab = "Diámetro (cm)",ylab = "")
points(x=datos.CM.T1_16$T1_16_Diam, y =
rep(2,44), pch=3, cex = 10, col = "green",
lwd = 2)
segments(x0 =
datos.CM.T1_16$T1_16_Diam[1:43],
x1 =
datos.CM.T1_16$T1_16_Diam[2:44],
y0 = 2, y1 = 2,
col = "yellow",
lwd = 6, lend = 1)
points(x=datos.CM.T1_16[c(1, 17, 24, 27,
29, 31), 6], y = c(2,2,2,2,2,2), pch = 19,
col = "red", cex = 1.5)
points(x=0, y =2, pch = 19, col = "red", cex
= 1.5)
text(x=datos.CM.T1_16[c(1, 17, 24, 27, 29,
31), 6], y = rep(3, 6), col = "yellow",
labels =
datos.CM.T1_16$comentarios[c(1, 17, 24, 27,
29, 31)], srt = 90, cex = 0.75)
text(x=0.5, y = 2, labels = "Cedro T1_16",
cex = 1.5)

axis(1, at = c(0, 0.5,
datos.CM.T1_16$T1_16_Diam),labels = T ,tcl
= 0.5, col = "yellow")
axis(1, labels = F, col = "yellow")

dev.off()

#####T1_19#####
## 2.9. Abrir base de datos
datos.CM.T1 <- read.csv("T1_resumen.csv",
sep = ";", dec = ",")

## 2.10. Seleccionar primer arbol: T1_19
datos.CM.T1_19 <- datos.CM.T1[, c(2:6, 15,
18)]

## 2.11. Funcion que deja solo columnas
completas

```

```

datos.CM.T1_19 <-
datos.CM.T1_19[complete.cases(datos.CM.T1_
19$T1_19_Diam_IC) , ]
row.names(datos.CM.T1_19) <-
1:nrow(datos.CM.T1_19)

```

```
# 2.12. Agregar fechas importantes
```

```

datos.CM.T1_19$comentarios <- NA
datos.CM.T1_19[1, 8] <- "200 mm"
datos.CM.T1_19[17, 8] <- "Cicatriz"
datos.CM.T1_19[24, 8] <- "500 mm"
datos.CM.T1_19[27, 8] <- "Nuevo inv."
datos.CM.T1_19[29, 8] <- "1000 mm"
datos.CM.T1_19[31, 8] <- "750 mm"

```

```
# Plot segmentos
```

```

jpeg(filename="CM_diamT1_19_segment.jpg",
width = 1500*0.2, height = 450*0.2, units =
"mm", res=300) # Exportar como JPG

```

```

plot(c(0,max(datos.CM.T1_19$T1_19_Diam)),c
(1,3),type = "n",axes = FALSE,
xlab = "Diámetro (cm)",ylab = "")
points(x=datos.CM.T1_19$T1_19_Diam, y =
rep(2,44), pch=3, cex = 10, col = "green",
lwd = 2)
segments(x0 =
datos.CM.T1_19$T1_19_Diam[1:43],
x1 =
datos.CM.T1_19$T1_19_Diam[2:44],
y0 = 2, y1 = 2,
col = "yellow",
lwd = 6, lend = 1)
points(x=datos.CM.T1_19[c(1, 17, 24, 27,
29, 31), 6], y = c(2,2,2,2,2,2), pch = 19,
col = "red", cex = 1.5)
points(x=0, y=2, pch = 19, col = "red", cex
= 1.5)
text(x=datos.CM.T1_19[c(1, 17, 24, 27, 29,
31), 6], y = rep(3, 6), col = "yellow",
labels =
datos.CM.T1_19$comentarios[c(1, 17, 24, 27,
29, 31)], srt = 90, cex = 0.75)
text(x=0.5, y = 2, labels = "Cedro T1_19",
cex = 1.5)

```

```

axis(1, at = c(0, 0.5),
datos.CM.T1_19$T1_19_Diam),labels = T ,tcl
= 0.5, col = "yellow")
axis(1, labels = F, col = "yellow")

```

```
dev.off()
```

```

#####
##### 3. TRATAMIENTO 2 #####
#####

```

```
#####T2_04#####
```

```

## 3.1. Abrir base de datos
datos.CM.T2 <- read.csv("T2_resumen.csv",
sep = ";", dec = ",")

```

```
## 3.2. Seleccionar primer arbol: T2_04
```

```

datos.CM.T2_04 <- datos.CM.T2[, c(2:6, 13,
16)]

```

```
## 3.3. Funcion que deja solo columnas
completas
```

```

datos.CM.T2_04 <-
datos.CM.T2_04[complete.cases(datos.CM.T2_
04$T2_04_Diam_IC) , ]
row.names(datos.CM.T2_04) <-
1:nrow(datos.CM.T2_04)

```

```
# 3.4. Agregar fechas importantes
```

```

datos.CM.T2_04$comentarios <- NA
datos.CM.T2_04[1, 8] <- "200 mm"
datos.CM.T2_04[17, 8] <- "Cicatriz"
datos.CM.T2_04[24, 8] <- "500 mm"
datos.CM.T2_04[27, 8] <- "Nuevo inv."
datos.CM.T2_04[29, 8] <- "1000 mm"
datos.CM.T2_04[31, 8] <- "750 mm"

```

```
# Plot segmentos
```

```

jpeg(filename="CM_diamT2_04_segment.jpg",
width = 1500*0.2, height = 450*0.2, units =
"mm", res=300) # Exportar como JPG

```

```

plot(c(0,max(datos.CM.T2_04$T2_04_Diam)),c
(1,3),type = "n",axes = FALSE,
xlab = "Diámetro (cm)",ylab = "")
points(x=datos.CM.T2_04$T2_04_Diam, y =
rep(2,44), pch=3, cex = 10, col = "green",
lwd = 2)
segments(x0 =
datos.CM.T2_04$T2_04_Diam[1:43],
x1 =
datos.CM.T2_04$T2_04_Diam[2:44],
y0 = 2, y1 = 2,
col = "yellow",
lwd = 6, lend = 1)
points(x=datos.CM.T2_04[c(1, 17, 24, 27,
29, 31), 6], y = c(2,2,2,2,2,2), pch = 19,
col = "red", cex = 1.5)
points(x=0, y=2, pch = 19, col = "red", cex
= 1.5)
text(x=datos.CM.T2_04[c(1, 17, 24, 27, 29,
31), 6], y = rep(3, 6), col = "yellow",
labels =
datos.CM.T2_04$comentarios[c(1, 17, 24, 27,
29, 31)], srt = 90, cex = 0.75)
text(x=0.5, y = 2, labels = "Cedro T2_04",
cex = 1.5)

```

```

axis(1, at = c(0, 0.5),
datos.CM.T2_04$T2_04_Diam),labels = T ,tcl
= 0.5, col = "yellow")
axis(1, labels = F, col = "yellow")

```

```
dev.off()
```

```
#####T2_14#####
```

```

## 3.5. Abrir base de datos
datos.CM.T2 <- read.csv("T2_resumen.csv",
sep = ";", dec = ",")

```

```
## 3.6. Seleccionar primer arbol: T2_14
```

```

datos.CM.T2_14 <- datos.CM.T2[, c(2:6, 14,
17)]

```

```
## 3.7. Funcion que deja solo columnas
completas
```

```

datos.CM.T2_14 <-
datos.CM.T2_14[complete.cases(datos.CM.T2_
14$T2_14_Diam_IC) , ]
row.names(datos.CM.T2_14) <-
1:nrow(datos.CM.T2_14)

```

```

# 3.8. Agregar fechas importantes
datos.CM.T2_14[5]comentarios <- NA
datos.CM.T2_14[1, 8] <- "200 mm"
datos.CM.T2_14[17, 8] <- "Cicatriz"
datos.CM.T2_14[24, 8] <- "500 mm"
datos.CM.T2_14[27, 8] <- "Nuevo inv."
datos.CM.T2_14[29, 8] <- "1000 mm"
datos.CM.T2_14[31, 8] <- "750 mm"

# Plot segmentos
jpeg(filename="CM_diamT2_14_segment.jpg",
width = 1500*0.2, height = 450*0.2, units =
"mm", res=300) # Exportar como JPG

plot(c(0,max(datos.CM.T2_14[5]T2_14_Diam)),c
(1,3),type = "n",axes = FALSE,
xlab = "Diámetro (cm)",ylab = "")
points(x=datos.CM.T2_14[5]T2_14_Diam, y =
rep(2,44), pch=3, cex = 10, col = "green",
lwd = 2)
segments(x0 =
datos.CM.T2_14[5]T2_14_Diam[1:43],
x1 =
datos.CM.T2_14[5]T2_14_Diam[2:44],
y0 = 2, y1 = 2,
col = "yellow",
lwd = 6, lend = 1)
points(x=datos.CM.T2_14[c(1, 17, 24, 27,
29, 31), 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.CM.T2_14[c(1, 17, 24, 27, 29,
31), 6], y = rep(3, 6), col = "yellow",
labels =
datos.CM.T2_14[5]comentarios[c(1, 17, 24, 27,
29, 31)], srt = 90, cex = 0.75)
text(x=0.5, y = 2, labels = "Cedro T2_14",
cex = 1.5)

axis(1, at = c(0, 0.5),
datos.CM.T2_14[5]T2_14_Diam),labels = T ,tcl
= 0.5, col = "yellow")
axis(1, labels = F, col = "yellow")

dev.off()

#####T2_15#####
## 3.9. Abrir base de datos
datos.CM.T2 <- read.csv("T2_resumen.csv",
sep = ";", dec = ",")

## 3.10. Seleccionar primer arbol: T2_15
datos.CM.T2_15 <- datos.CM.T2[, c(2:6, 15,
18)]

## 3.11. Funcion que deja solo columnas
completas
datos.CM.T2_15 <-
datos.CM.T2_15[complete.cases(datos.CM.T2_
15[5]T2_15_Diam_IC) , ]
row.names(datos.CM.T2_15) <-
1:nrow(datos.CM.T2_15)

# 3.12. Agregar fechas importantes
datos.CM.T2_15[5]comentarios <- NA
datos.CM.T2_15[1, 8] <- "200 mm"
datos.CM.T2_15[17, 8] <- "Cicatriz"

```

```

datos.CM.T2_15[24, 8] <- "500 mm"
datos.CM.T2_15[27, 8] <- "Nuevo inv."
datos.CM.T2_15[29, 8] <- "1000 mm"
datos.CM.T2_15[31, 8] <- "750 mm"

# Plot segmentos
jpeg(filename="CM_diamT2_15_segment.jpg",
width = 1500*0.2, height = 450*0.2, units =
"mm", res=300) # Exportar como JPG

plot(c(0,max(datos.CM.T2_15[5]T2_15_Diam)),c
(1,3),type = "n",axes = FALSE,
xlab = "Diámetro (cm)",ylab = "")
points(x=datos.CM.T2_15[5]T2_15_Diam, y =
rep(2,44), pch=3, cex = 10, col = "green",
lwd = 2)
segments(x0 =
datos.CM.T2_15[5]T2_15_Diam[1:43],
x1 =
datos.CM.T2_15[5]T2_15_Diam[2:44],
y0 = 2, y1 = 2,
col = "yellow",
lwd = 6, lend = 1)
points(x=datos.CM.T2_15[c(1, 17, 24, 27,
29, 31), 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.CM.T2_15[c(1, 17, 24, 27, 29,
31), 6], y = rep(3, 6), col = "yellow",
labels =
datos.CM.T2_15[5]comentarios[c(1, 17, 24, 27,
29, 31)], srt = 90, cex = 0.75)
text(x=0.5, y = 2, labels = "Cedro T2_15",
cex = 1.5)

axis(1, at = c(0, 0.5),
datos.CM.T2_15[5]T2_15_Diam),labels = T ,tcl
= 0.5, col = "yellow")
axis(1, labels = F, col = "yellow")

dev.off()

#####
##### 4. TRATAMIENTO 3 #####
#####

#####T3_05#####
## 4.1. Abrir base de datos
datos.CM.T3 <- read.csv("T3_resumen.csv",
sep = ";", dec = ",")

## 4.2. Seleccionar primer arbol: T3_05
datos.CM.T3_05 <- datos.CM.T3[, c(2:6, 13,
16)]

## 4.3. Funcion que deja solo columnas
completas
datos.CM.T3_05 <-
datos.CM.T3_05[complete.cases(datos.CM.T3_
05[5]T3_05_Diam_IC) , ]
row.names(datos.CM.T3_05) <-
1:nrow(datos.CM.T3_05)

# 4.4. Agregar fechas importantes
datos.CM.T3_05[5]comentarios <- NA
datos.CM.T3_05[1, 8] <- "200 mm"
datos.CM.T3_05[17, 8] <- "Cicatriz"

```

```

datos.CM.T3_05[24, 8] <- "500 mm"
datos.CM.T3_05[27, 8] <- "Nuevo inv."
datos.CM.T3_05[29, 8] <- "1000 mm"
datos.CM.T3_05[31, 8] <- "750 mm"

# Plot segmentos
jpeg(filename="CM_diamT3_05_segment.jpg",
width = 1500*0.2, height = 450*0.2, units =
"mm", res=300) # Exportar como JPG

plot(c(0,max(datos.CM.T3_05$T3_05_Diam)),c
(1,3),type = "n",axes = FALSE,
xlab = "Diámetro (cm)",ylab = "")
points(x=datos.CM.T3_05$T3_05_Diam, y =
rep(2,44), pch=3, cex = 10, col = "green",
lwd = 2)
segments(x0 =
datos.CM.T3_05$T3_05_Diam[1:43],
x1 =
datos.CM.T3_05$T3_05_Diam[2:44],
y0 = 2, y1 = 2,
col = "yellow",
lwd = 6, lend = 1)
points(x=datos.CM.T3_05[c(1, 17, 24, 27,
29, 31), 6], y = c(2,2,2,2,2,2), pch = 19,
col = "red", cex = 1.5)
points(x=0, y=2, pch = 19, col = "red", cex
= 1.5)
text(x=datos.CM.T3_05[c(1, 17, 24, 27, 29,
31), 6], y = rep(3, 6), col = "yellow",
labels =
datos.CM.T3_05$comentarios[c(1, 17, 24, 27,
29, 31)], srt = 90, cex = 0.75)
text(x=0.5, y = 2, labels = "Cedro T3_05",
cex = 1.5)

axis(1, at = c(0, 0.5),
datos.CM.T3_05$T3_05_Diam),labels = T ,tcl
= 0.5, col = "yellow")
axis(1, labels = F, col = "yellow")

dev.off()

#####T3_16#####
## 4.5. Abrir base de datos
datos.CM.T3 <- read.csv("T3_resumen.csv",
sep = ";", dec = ",")

## 4.6. Seleccionar primer arbol: T3_16
datos.CM.T3_16 <- datos.CM.T3[, c(2:6, 14,
17)]

## 4.7. Funcion que deja solo columnas
completas
datos.CM.T3_16 <-
datos.CM.T3_16[complete.cases(datos.CM.T3_
16$T3_16_Diam_IC) , ]
row.names(datos.CM.T3_16) <-
1:nrow(datos.CM.T3_16)

# 4.8. Agregar fechas importantes
datos.CM.T3_16$comentarios <- NA
datos.CM.T3_16[1, 8] <- "200 mm"
datos.CM.T3_16[17, 8] <- "Cicatriz"
datos.CM.T3_16[24, 8] <- "500 mm"
datos.CM.T3_16[27, 8] <- "Nuevo inv."
datos.CM.T3_16[29, 8] <- "1000 mm"
datos.CM.T3_16[31, 8] <- "750 mm"

# Plot segmentos
jpeg(filename="CM_diamT3_16_segment.jpg",
width = 1500*0.2, height = 450*0.2, units =
"mm", res=300) # Exportar como JPG

plot(c(0,max(datos.CM.T3_16$T3_16_Diam)),c
(1,3),type = "n",axes = FALSE,
xlab = "Diámetro (cm)",ylab = "")
points(x=datos.CM.T3_16$T3_16_Diam, y =
rep(2,44), pch=3, cex = 10, col = "green",
lwd = 2)
segments(x0 =
datos.CM.T3_16$T3_16_Diam[1:43],
x1 =
datos.CM.T3_16$T3_16_Diam[2:44],
y0 = 2, y1 = 2,
col = "yellow",
lwd = 6, lend = 1)
points(x=datos.CM.T3_16[c(1, 17, 24, 27,
29, 31), 6], y = c(2,2,2,2,2,2), pch = 19,
col = "red", cex = 1.5)
points(x=0, y=2, pch = 19, col = "red", cex
= 1.5)
text(x=datos.CM.T3_16[c(1, 17, 24, 27, 29,
31), 6], y = rep(3, 6), col = "yellow",
labels =
datos.CM.T3_16$comentarios[c(1, 17, 24, 27,
29, 31)], srt = 90, cex = 0.75)
text(x=0.5, y = 2, labels = "Cedro T3_16",
cex = 1.5)

axis(1, at = c(0, 0.5),
datos.CM.T3_16$T3_16_Diam),labels = T ,tcl
= 0.5, col = "yellow")
axis(1, labels = F, col = "yellow")

dev.off()

#####T3_20#####
## 4.9. Abrir base de datos
datos.CM.T3 <- read.csv("T3_resumen.csv",
sep = ";", dec = ",")

## 4.10. Seleccionar primer arbol: T3_20
datos.CM.T3_20 <- datos.CM.T3[, c(2:6, 15,
18)]

## 4.11. Funcion que deja solo columnas
completas
datos.CM.T3_20 <-
datos.CM.T3_20[complete.cases(datos.CM.T3_
20$T3_20_Diam_IC) , ]
row.names(datos.CM.T3_20) <-
1:nrow(datos.CM.T3_20)

# 4.12. Agregar fechas importantes
datos.CM.T3_20$comentarios <- NA
datos.CM.T3_20[1, 8] <- "200 mm"
datos.CM.T3_20[17, 8] <- "Cicatriz"
datos.CM.T3_20[24, 8] <- "500 mm"
datos.CM.T3_20[27, 8] <- "Nuevo inv."
datos.CM.T3_20[29, 8] <- "1000 mm"
datos.CM.T3_20[31, 8] <- "750 mm"

# Plot segmentos
jpeg(filename="CM_diamT3_20_segment.jpg",
width = 1500*0.2, height = 450*0.2, units =
"mm", res=300) # Exportar como JPG

```

```

plot(c(0,max(datos.CM.T3_20$T3_20_Diam)),c
(1,3),type = "n",axes = FALSE,
      xlab = "Diámetro (cm)",ylab = "")
points(x=datos.CM.T3_20$T3_20_Diam, y =
rep(2,44), pch=3, cex = 10, col = "green",
lwd = 2)
segments(x0
datos.CM.T3_20$T3_20_Diam[1:43],
        x1
datos.CM.T3_20$T3_20_Diam[2:44],
        y0 = 2, y1 = 2,
        col = "yellow",
        lwd = 6, lend = 1)
points(x=datos.CM.T3_20[c(1, 17, 24, 27,
29, 31), 6], y = c(2,2,2,2,2,2), pch = 19,
col = "red", cex = 1.5)
points(x=0, y =2, pch = 19, col = "red", cex
= 1.5)
text(x=datos.CM.T3_20[c(1, 17, 24, 27, 29,
31), 6], y = rep(3, 6), col = "yellow",
      labels
datos.CM.T3_20$comentarios[c(1, 17, 24, 27,
29, 31)], srt = 90, cex = 0.75)
text(x=0.5, y = 2, labels = "Cedro T3_20",
cex = 1.5)

axis(1, at = c(0, 0.5,
datos.CM.T3_20$T3_20_Diam),labels = T ,tcl
= 0.5, col = "yellow")
axis(1, labels = F, col = "yellow")

dev.off()

#####
##### 5. TRATAMIENTO 4 #####
#####

#####T4_06#####
## 5.1. Abrir base de datos
datos.CM.T4 <- read.csv("T4_resumen.csv",
sep = ";", dec = ",")

## 5.2. Seleccionar primer arbol: T4_06
datos.CM.T4_06 <- datos.CM.T4[, c(2:6, 13,
16)]

## 5.3. Funcion que deja solo columnas
completas
datos.CM.T4_06 <-
datos.CM.T4_06[complete.cases(datos.CM.T4_
06$T4_06_Diam_IC) , ]
row.names(datos.CM.T4_06) <-
1:nrow(datos.CM.T4_06)

# 5.4. Agregar fechas importantes
datos.CM.T4_06$comentarios <- NA
datos.CM.T4_06[1, 8] <- "200 mm"
datos.CM.T4_06[17, 8] <- "Cicatriz"
datos.CM.T4_06[24, 8] <- "500 mm"
datos.CM.T4_06[27, 8] <- "Nuevo inv."
datos.CM.T4_06[29, 8] <- "1000 mm"
datos.CM.T4_06[31, 8] <- "750 mm"

# Plot segmentos
jpeg(filename="CM_diamT4_06_segment.jpg",
width = 1500*0.2, height = 450*0.2, units =
"mm", res=300) # Exportar como JPG

```

```

plot(c(0,max(datos.CM.T4_06$T4_06_Diam)),c
(1,3),type = "n",axes = FALSE,
      xlab = "Diámetro (cm)",ylab = "")
points(x=datos.CM.T4_06$T4_06_Diam, y =
rep(2,44), pch=3, cex = 10, col = "green",
lwd = 2)
segments(x0
datos.CM.T4_06$T4_06_Diam[1:43],
        x1
datos.CM.T4_06$T4_06_Diam[2:44],
        y0 = 2, y1 = 2,
        col = "yellow",
        lwd = 6, lend = 1)
points(x=datos.CM.T4_06[c(1, 17, 24, 27,
29, 31), 6], y = c(2,2,2,2,2,2), pch = 19,
col = "red", cex = 1.5)
points(x=0, y =2, pch = 19, col = "red", cex
= 1.5)
text(x=datos.CM.T4_06[c(1, 17, 24, 27, 29,
31), 6], y = rep(3, 6), col = "yellow",
      labels
datos.CM.T4_06$comentarios[c(1, 17, 24, 27,
29, 31)], srt = 90, cex = 0.75)
text(x=0.5, y = 2, labels = "Cedro T4_06",
cex = 1.5)

axis(1, at = c(0, 0.5,
datos.CM.T4_06$T4_06_Diam),labels = T ,tcl
= 0.5, col = "yellow")
axis(1, labels = F, col = "yellow")

dev.off()

#####T4_10#####
## 5.5. Abrir base de datos
datos.CM.T4 <- read.csv("T4_resumen.csv",
sep = ";", dec = ",")

## 5.6. Seleccionar primer arbol: T4_10
datos.CM.T4_10 <- datos.CM.T4[, c(2:6, 14,
17)]

## 5.7. Funcion que deja solo columnas
completas
datos.CM.T4_10 <-
datos.CM.T4_10[complete.cases(datos.CM.T4_
10$T4_10_Diam_IC) , ]
row.names(datos.CM.T4_10) <-
1:nrow(datos.CM.T4_10)

# 5.8. Agregar fechas importantes
datos.CM.T4_10$comentarios <- NA
datos.CM.T4_10[1, 8] <- "200 mm"
datos.CM.T4_10[17, 8] <- "Cicatriz"
datos.CM.T4_10[24, 8] <- "500 mm"
datos.CM.T4_10[27, 8] <- "Nuevo inv."
datos.CM.T4_10[29, 8] <- "1000 mm"
datos.CM.T4_10[31, 8] <- "750 mm"

# Plot segmentos
jpeg(filename="CM_diamT4_10_segment.jpg",
width = 1500*0.2, height = 450*0.2, units =
"mm", res=300) # Exportar como JPG

plot(c(0,max(datos.CM.T4_10$T4_10_Diam)),c
(1,3),type = "n",axes = FALSE,
      xlab = "Diámetro (cm)",ylab = "")

```

```

points(x=datos.CM.T4_10$T4_10_Diam, y =
rep(2,44), pch=3, cex = 10, col = "green",
lwd = 2)
segments(x0 =
datos.CM.T4_10$T4_10_Diam[1:43],
x1 =
datos.CM.T4_10$T4_10_Diam[2:44],
y0 = 2, y1 = 2,
col = "yellow",
lwd = 6, lend = 1)
points(x=datos.CM.T4_10[c(1, 17, 24, 27,
29, 31), 6], y = c(2,2,2,2,2), pch = 19,
col = "red", cex = 1.5)
points(x=0, y=2, pch = 19, col = "red", cex
= 1.5)
text(x=datos.CM.T4_10[c(1, 17, 24, 27, 29,
31), 6], y = rep(3, 6), col = "yellow",
labels =
datos.CM.T4_10$comentarios[c(1, 17, 24, 27,
29, 31)], srt = 90, cex = 0.75)
text(x=0.5, y = 2, labels = "Cedro T4_10",
cex = 1.5)

axis(1, at = c(0, 0.5),
datos.CM.T4_10$T4_10_Diam), labels = T ,tcl
= 0.5, col = "yellow")
axis(1, labels = F, col = "yellow")

dev.off()

#####T4_12#####
## 5.9. Abrir base de datos
datos.CM.T4 <- read.csv("T4_resumen.csv",
sep = ";", dec = ",")

## 5.10. Seleccionar primer arbol: T4_12
datos.CM.T4_12 <- datos.CM.T4[, c(2:6, 15,
18)]

## 5.11. Funcion que deja solo columnas
completas
datos.CM.T4_12 <-
datos.CM.T4_12[complete.cases(datos.CM.T4_
12$T4_12_Diam_IC) , ]
row.names(datos.CM.T4_12) <-
1:nrow(datos.CM.T4_12)

# 5.12. Agregar fechas importantes
datos.CM.T4_12$comentarios <- NA
datos.CM.T4_12[1, 8] <- "200 mm"
datos.CM.T4_12[17, 8] <- "Cicatriz"
datos.CM.T4_12[24, 8] <- "500 mm"
datos.CM.T4_12[27, 8] <- "Nuevo inv."
datos.CM.T4_12[29, 8] <- "1000 mm"
datos.CM.T4_12[31, 8] <- "750 mm"

# Plot segmentos
jpeg(filename="CM_diamT4_12_segment.jpg",
width = 1500*0.2, height = 450*0.2, units =
"mm", res=300) # Exportar como JPG

plot(c(0,max(datos.CM.T4_12$T4_12_Diam)),c
(1,3),type = "n",axes = FALSE,
xlab = "Diámetro (cm)",ylab = "")
points(x=datos.CM.T4_12$T4_12_Diam, y =
rep(2,44), pch=3, cex = 10, col = "green",
lwd = 2)
segments(x0 =
datos.CM.T4_12$T4_12_Diam[1:43],
x1 =
datos.CM.T4_12$T4_12_Diam[2:44],
y0 = 2, y1 = 2,
col = "yellow",
lwd = 6, lend = 1)
points(x=datos.CM.T4_12[c(1, 17, 24, 27, 29,
31), 6], y = rep(3, 6), col = "yellow",
labels =
datos.CM.T4_12$comentarios[c(1, 17, 24, 27,
29, 31)], srt = 90, cex = 0.75)
text(x=0.5, y = 2, labels = "Cedro T4_12",
cex = 1.5)

axis(1, at = c(0, 0.5),
datos.CM.T4_12$T4_12_Diam), labels = T ,tcl
= 0.5, col = "yellow")
axis(1, labels = F, col = "yellow")

dev.off()

```

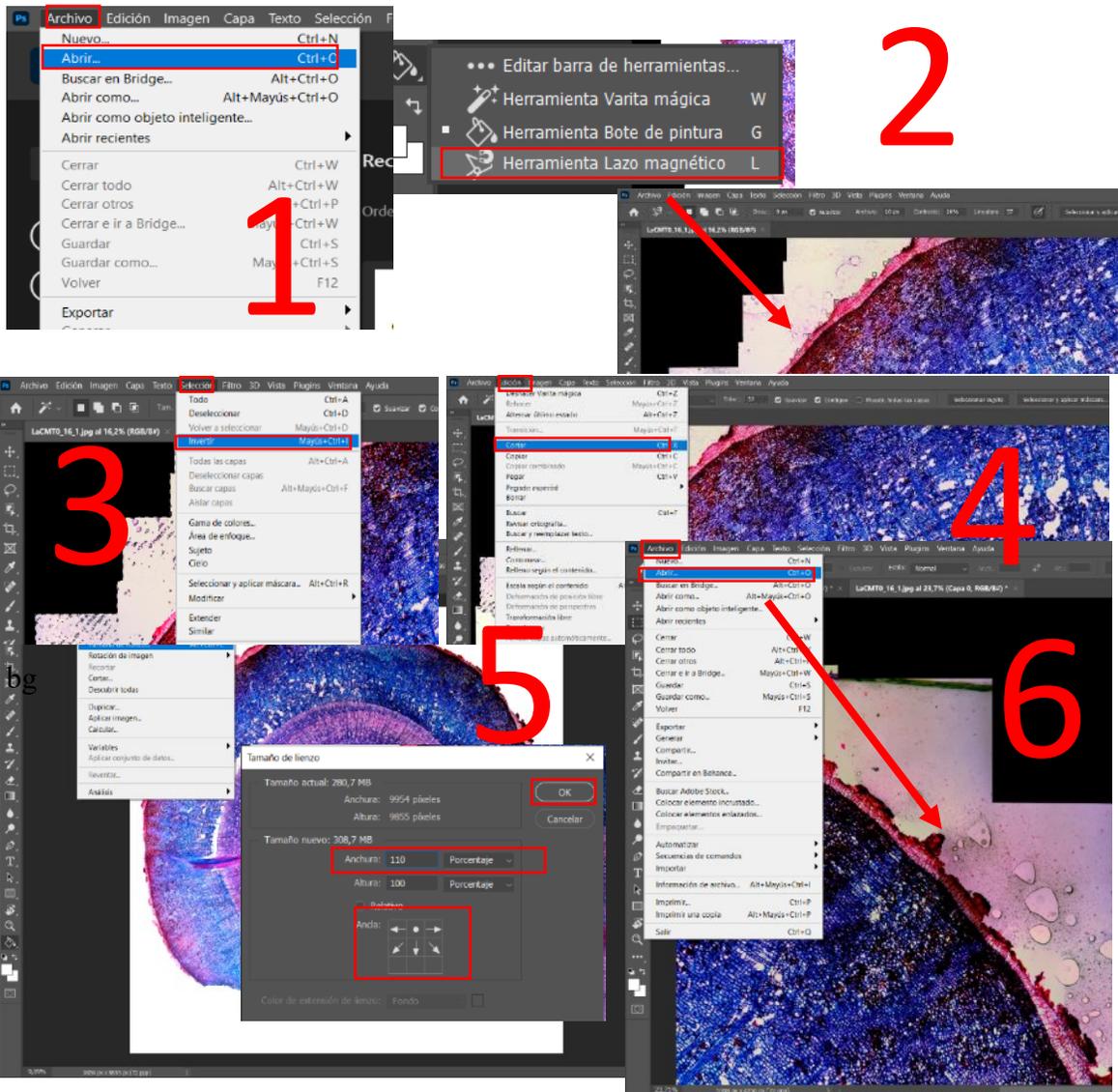
## Anexo 6

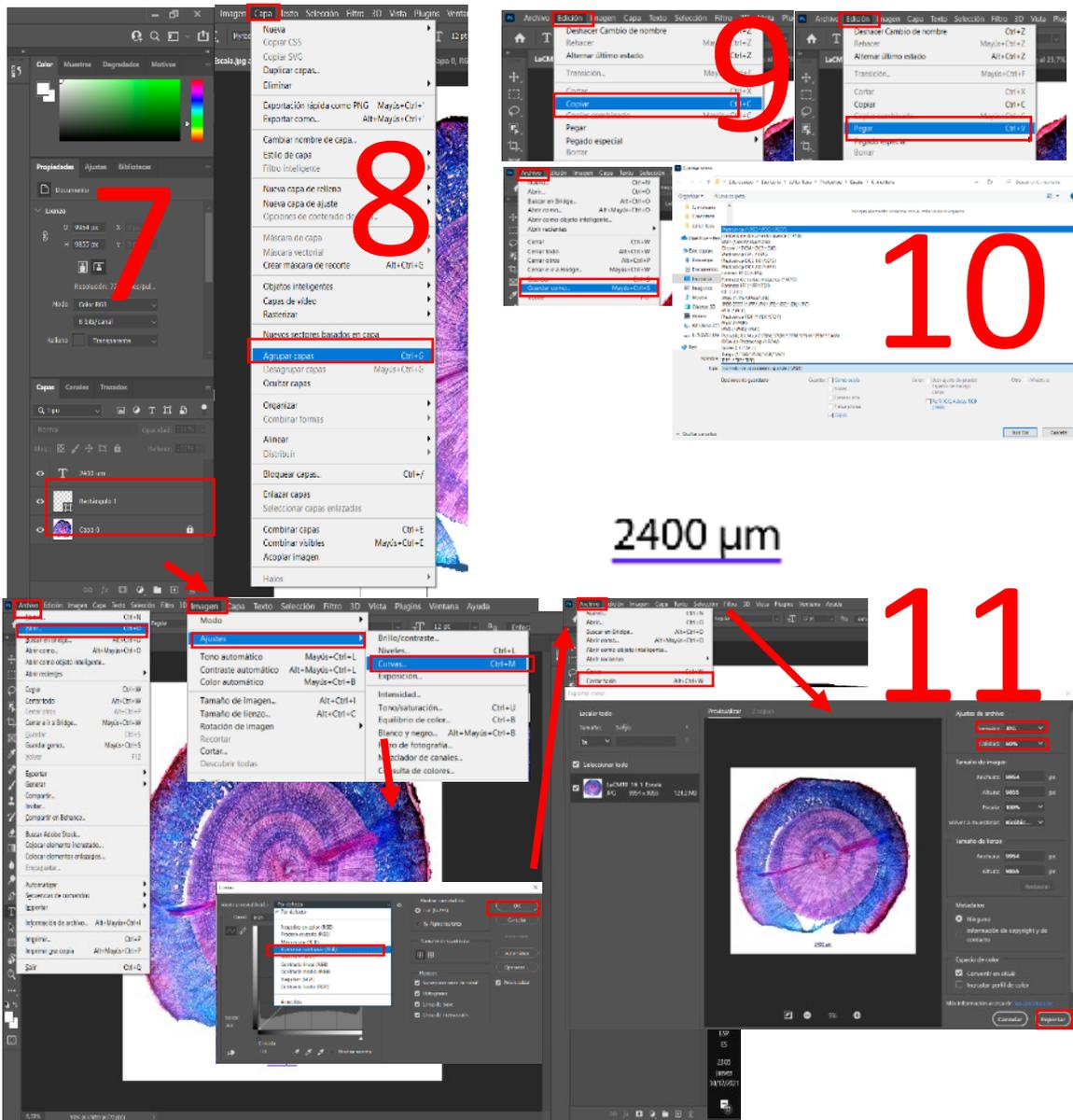
### *Procesamiento de imágenes en programa Photoshop*

1. Abrir el programa Photoshop y seleccionar la opción **Abrir** para escoger la imagen a procesar
2. Seleccionar la herramienta lazo magnético  y trazar todo el perfil del corte anatómico seleccionado
3. Utilizar herramienta **Invertir**, que se encuentra en la pestaña **Selección**
4. Seleccionar la herramienta **Cortar**, ubicada en la pestaña **Edición**
5. Para incrementar el tamaño del lienzo en imagen editada: seleccionar → la pestaña **Imagen** → **Tamaño de lienzo** → Altura (porcentaje 110%) → flechas deslizadas hacia abajo → OK
6. Para crear la escala de referencia abrir imagen individual y sobreponer la imagen al corte anatómico ya editado en el programa
7. Seleccionar la herramienta rectángulo
8.  para manejar como referencia de regla a lo ancho de la imagen individual sobrepuesta. Utilizar la herramienta texto  para colocar la escala de referencia (2400 um)
9. Agrupar el trazo realizado con la herramienta rectángulo y el texto creado con la herramienta **Capa** → **Agrupar capa** (nombre: **escala**)
10. Seleccionar la capa agrupada con la herramienta seleccionar , utilizar **Edición** – **Copiar**
11. Utilizar **Edición** → **Pegar**, llevar la la capa agrupada hasta el final de la imagen anatómica. Guardar la capa agrupada a través de la pestaña **Archivo** → **Guardar**

como (Escala-formato Photoshop PSD, PDD). Esta capa agrupada (escala) servirá para ubicar la escala de referencia a otros cortes anatómicos

12. Para reducir el tamaño de la imagen: abrir la imagen con la escala ya puesta (corte anatómico editado). Seleccionar **Imagen** → **Ajustes** → **Curvas** → **Ajuste preestablecido** → **JPEG Alta** → **porcentaje 60%** → **Guardar**





## Anexo 7

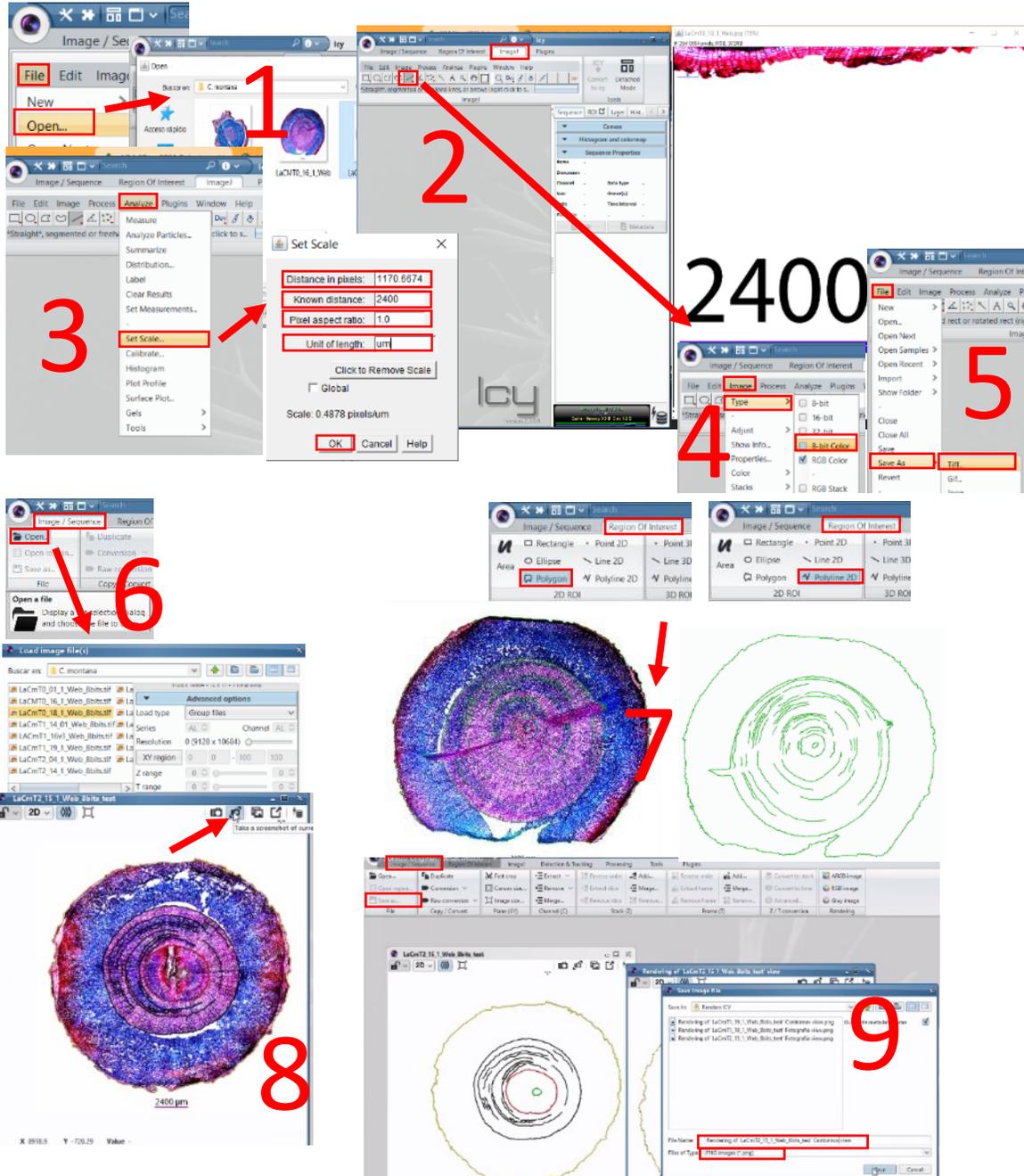
*Procesamiento de cortes anatómicos y diferenciación de anillos de crecimiento en software para bio – imágenes ICY y Photoshop*

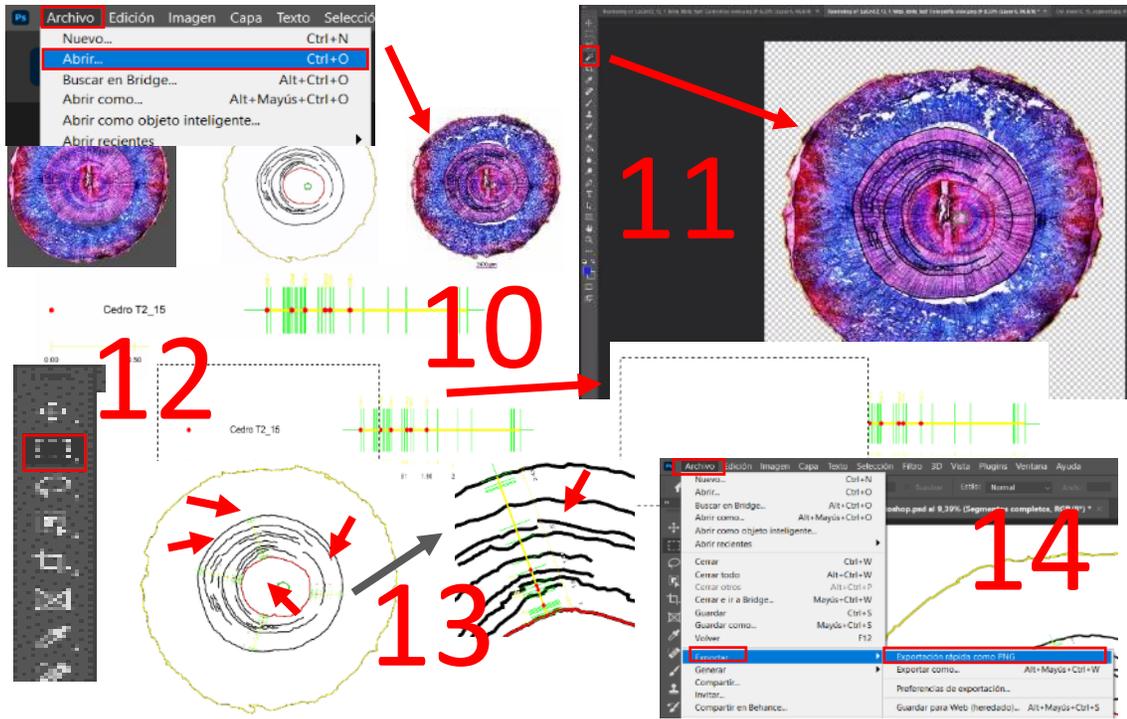
1. Abrir programa ICY y seleccionar la imagen preprocesada en Photoshop: **File - Open**
2. Seleccionar **ImageJ** → **\*Straight\***
3.  trazar una línea de referencia en la escala de la imagen

4. Seleccionar **ImageJ** → **Analyze** → **Set scale**, en el cuadro abierto colocar: Distance in pixeles (predeterminado), Known distance (2400), Pixel aspect ratio (1.0), Unit of length ( $\mu\text{m}$ ) → **OK**
5. Seleccionar **ImageJ** → **Type** → **8 – bit Color**.
6. Seleccionar **ImageJ** → **File** → **Save as** → **Tiff**
7. Abrir imagen tipo Tiff a través de **Image/Sequence** → **Open**
8. Utilizar **Region Of Interest** → **Polygon**  Polygon (para delimitar e identificar médula, xilema, incisión, corteza) y **Polyline 2D**  Polyline 2D (para delimitar formación de anillos de crecimiento)
9. Realizar una captura de imagen de tamaño original de los cortes anatómicos procesados  (identificación de médula, incisión, xilema, corteza, formación de anillos de crecimiento e imagen original junto a lo mencionado anteriormente)
10. Seleccionar **Image/Sequence** → **Save as** (formato PNG) → **Save**, guardar las imágenes formadas
11. Abrir el programa Photoshop y seleccionar los archivos generados en el programa ICY, anexo a esto, la imagen de segmento de incremento corriente quincenal y la fotografía creada anteriormente en el mismo programa.
12. Seleccionar la herramienta varita mágica  para quitar el fondo de cada imagen seleccionada.
13. Utilizar la herramienta seleccionar  en el segmento de incremento corriente quincenal y elegir la parte concerniente a antes de la etiqueta cicatriz. Utilizar la tecla suprimir del teclado (Supr) y cortar el área seleccionada.

14. Crear cuatro copias del segmento ya editado a través de la herramienta **Edición - Copiar y Edición Pegar**, ubicar los segmentos en diferentes direcciones del corte anatómico para análisis

15. Guardar las imágenes generadas a través de **Archivo -> Exportar -> Exportación rápida como PNG**





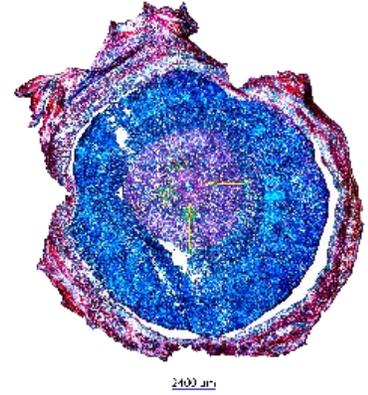
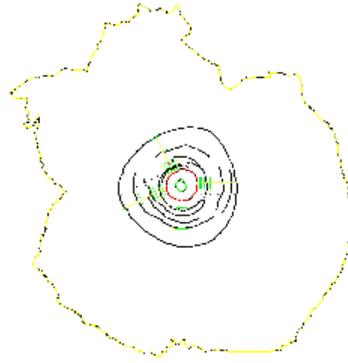
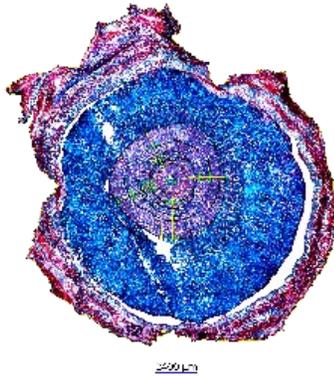
## Anexo 8

*Relación entre el incremento corriente quincenal y formación de anillos de crecimiento en cortes anatómicos de Cedrela montana y Handroanthus chrysanthus*

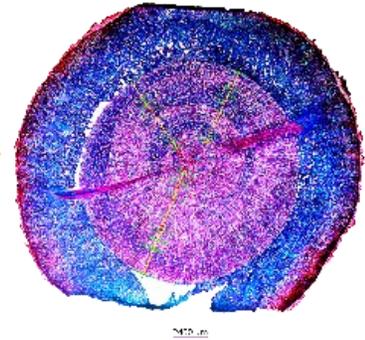
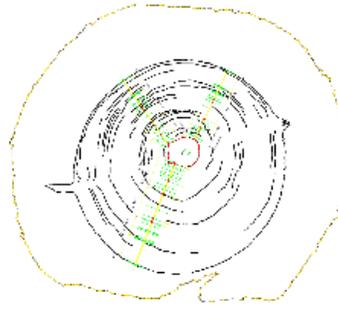
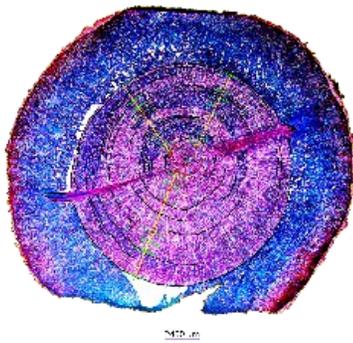
- *Cedrela montana* Moritz ex Turcz y *Handroanthus chrysanthus* (Jacq.) S.O.Grose

### Testigo (T0)

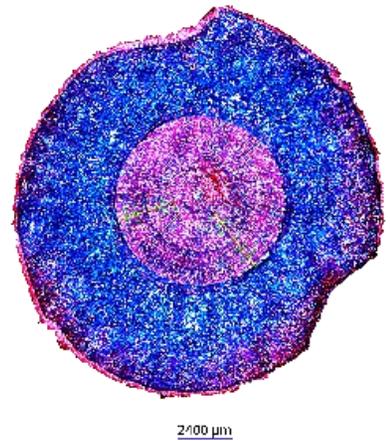
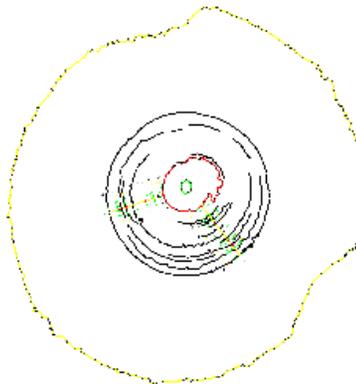
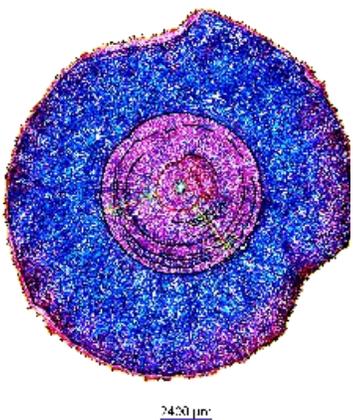
LaCmT0\_01



LaCmT0\_16

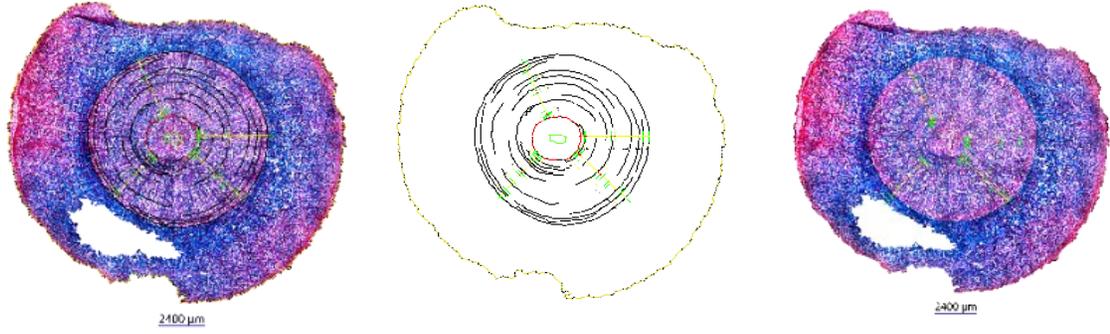


LaCmT0\_18

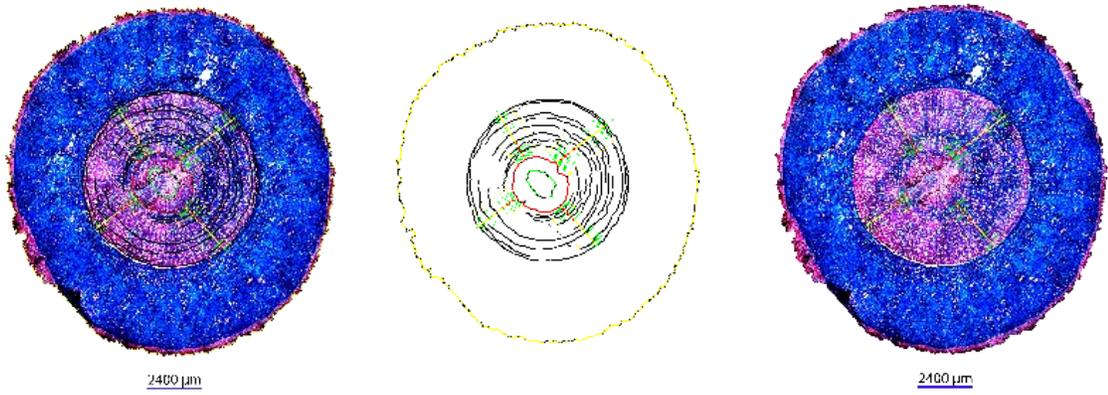


**Estrés hídrico moderado (T1)**

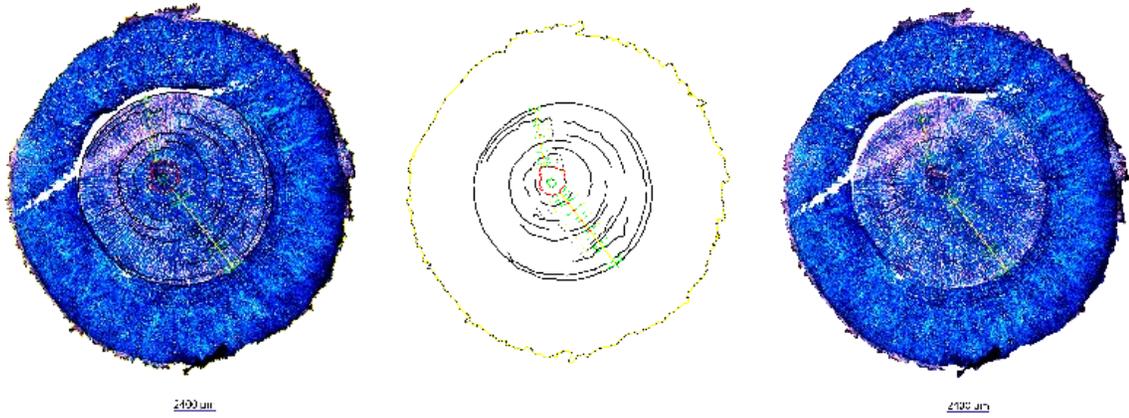
LaCmT1\_19



LaCmT1\_14

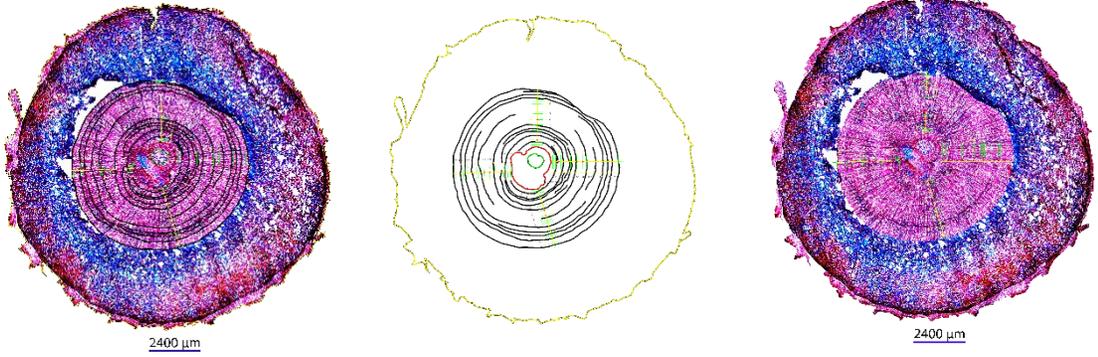


LaCmT1\_16

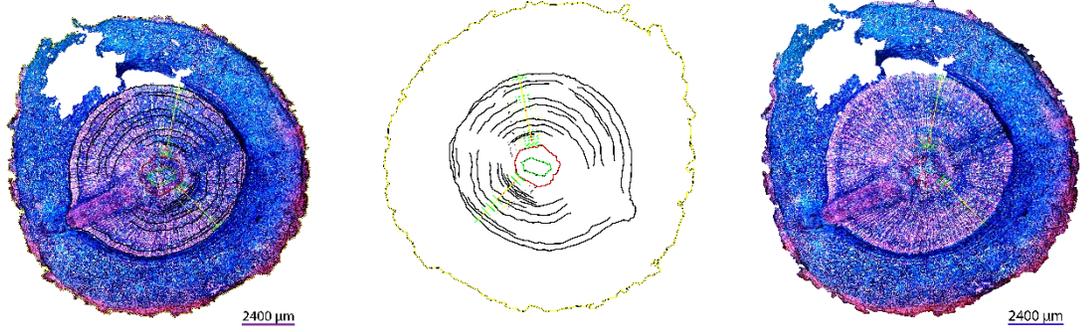


**Estrés hídrico severo (T2)**

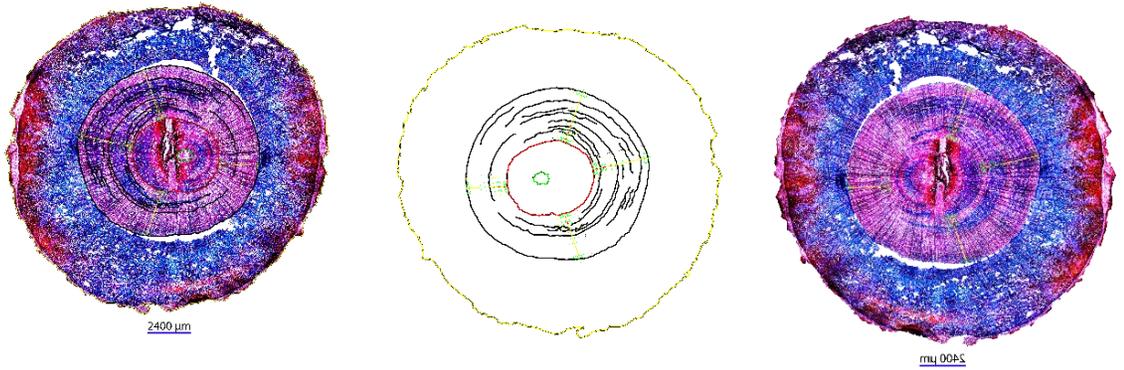
LaCmT2\_04



LaCmT2\_14

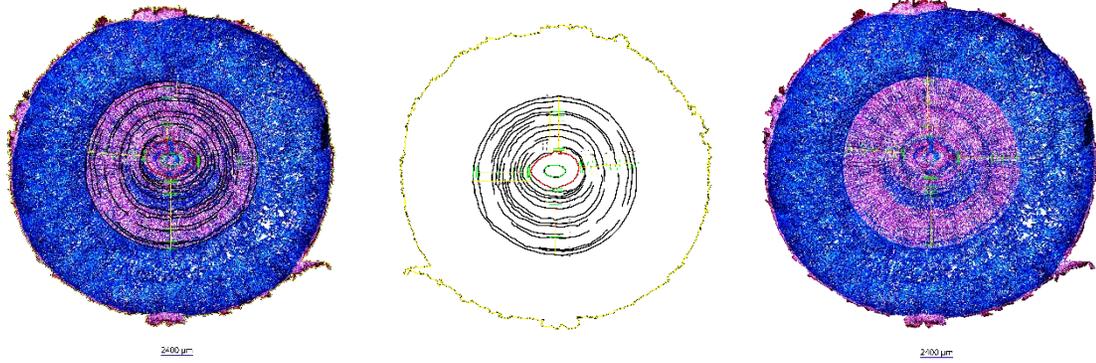


LaCmT2\_15

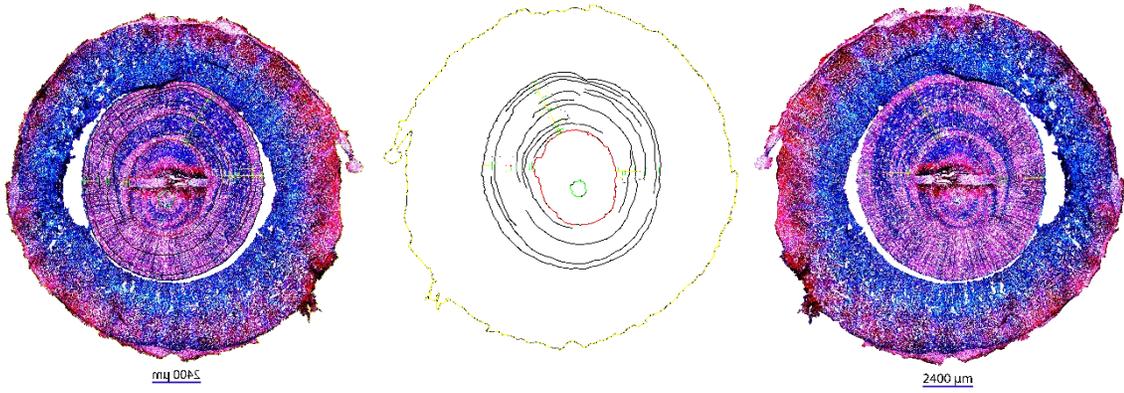


**Estrés hídrico moderado + fertilizante (T3)**

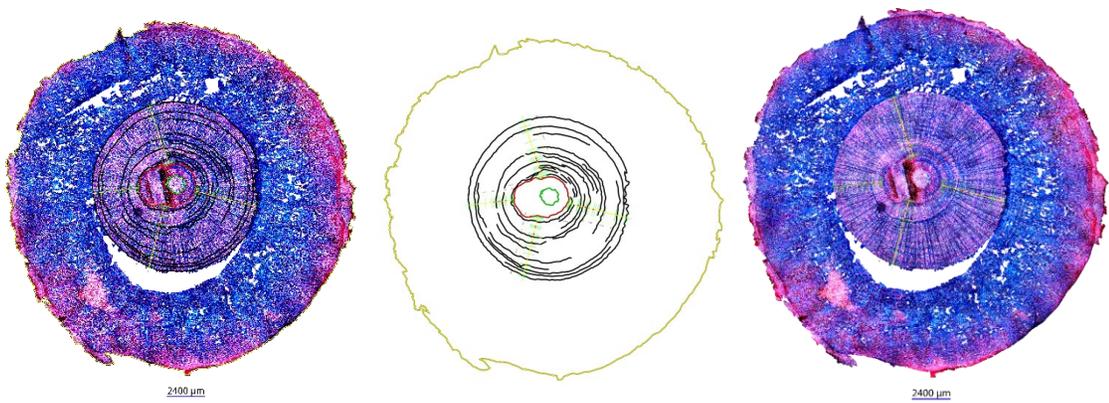
LaCmT3\_05



LaCmT3\_16

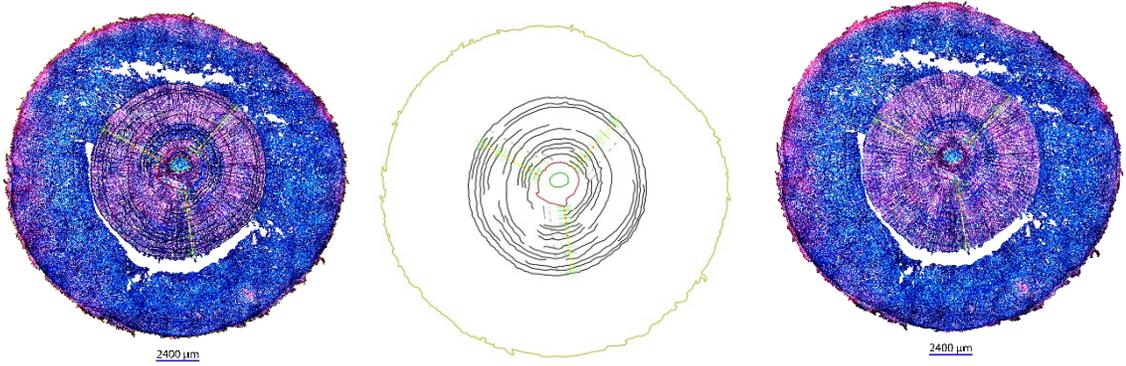


LaCmT3\_20

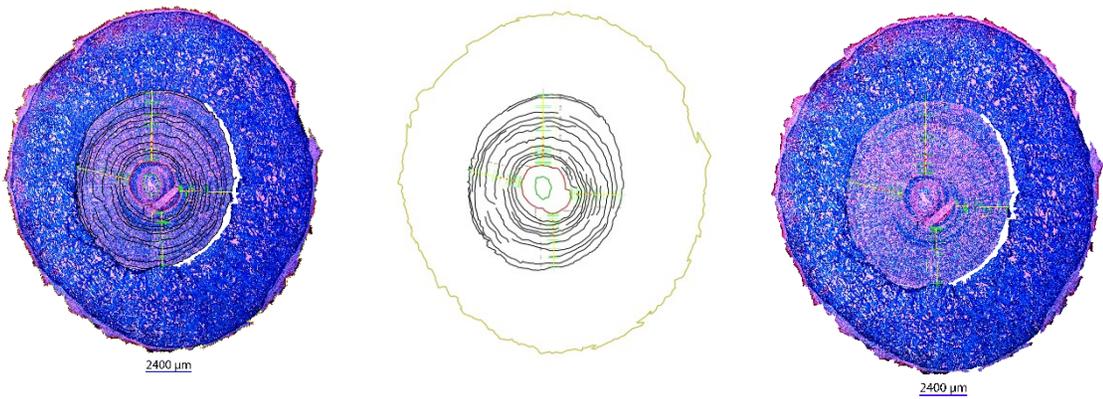


**Estrés hídrico severo + fertilizante (T4)**

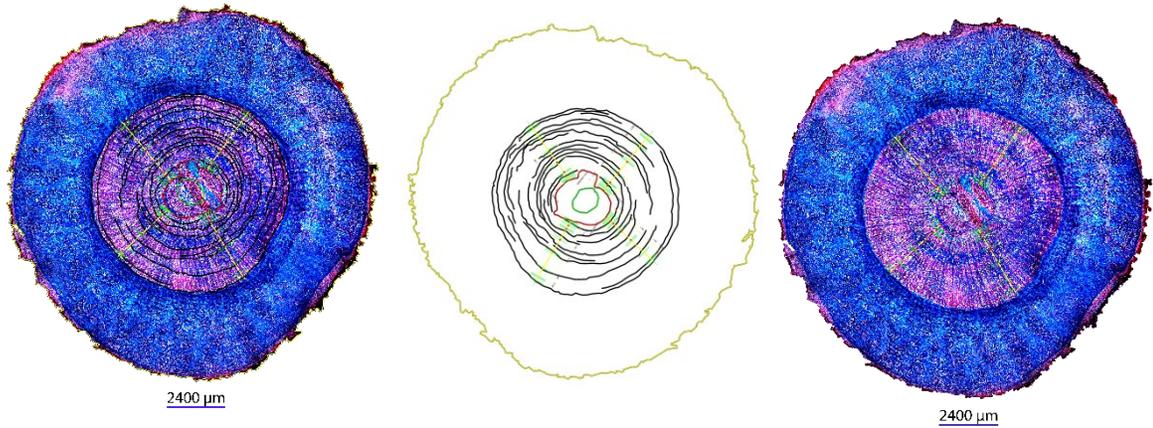
LaCmT4\_06



LaCmT4\_10



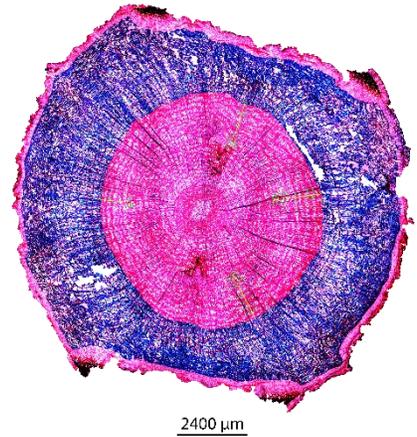
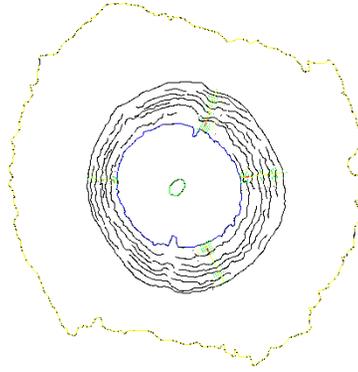
LaCmT4\_12



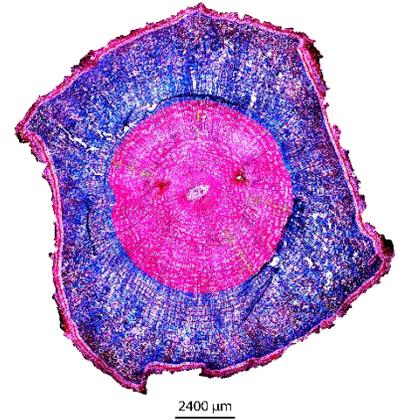
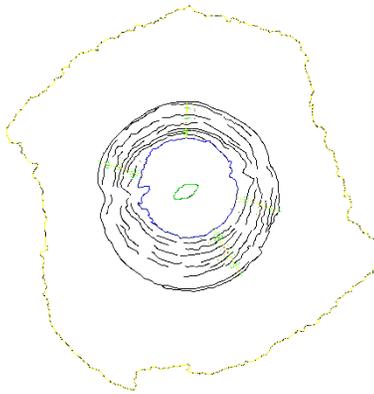
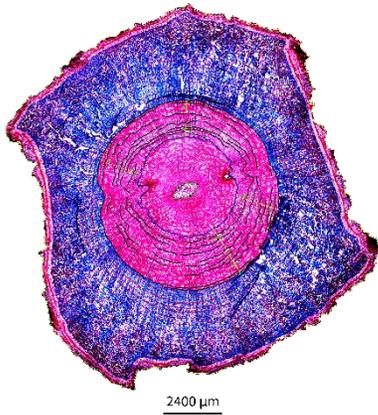
- *Handroanthus chrysanthus* (Jacq.) S.O.Grose

**Testigo (T0)**

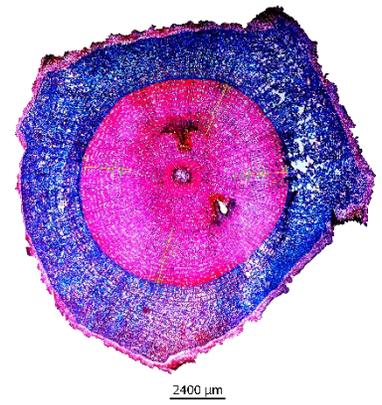
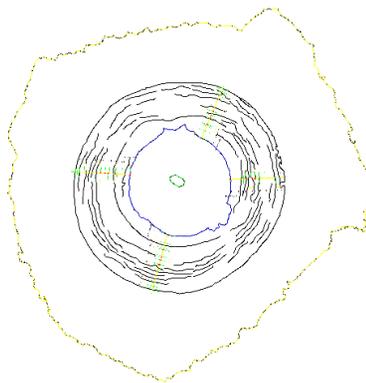
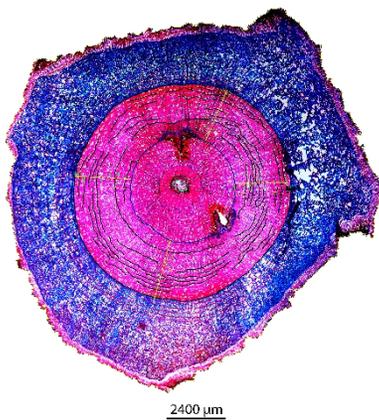
JaHcT0\_04



JaHcT0\_07

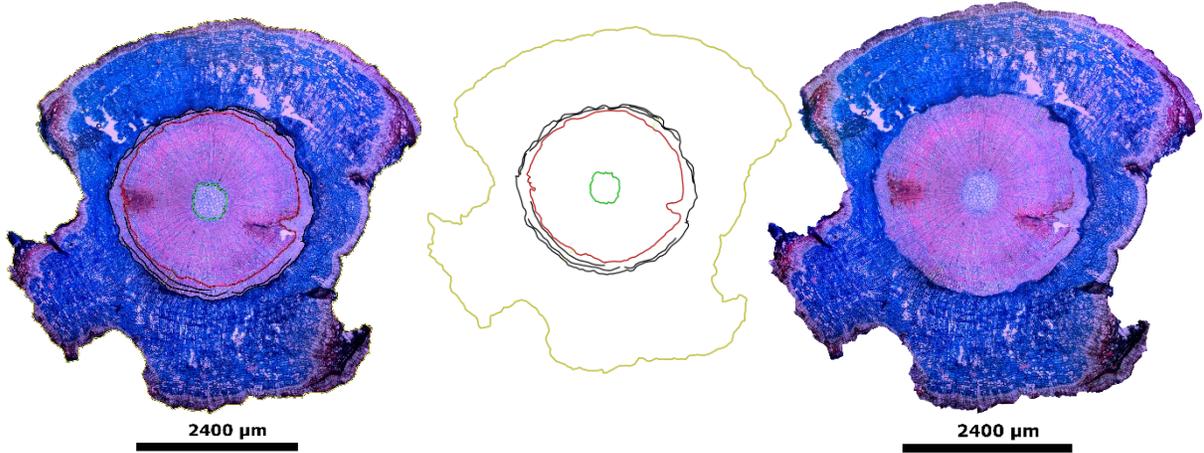


JaHcT0\_19

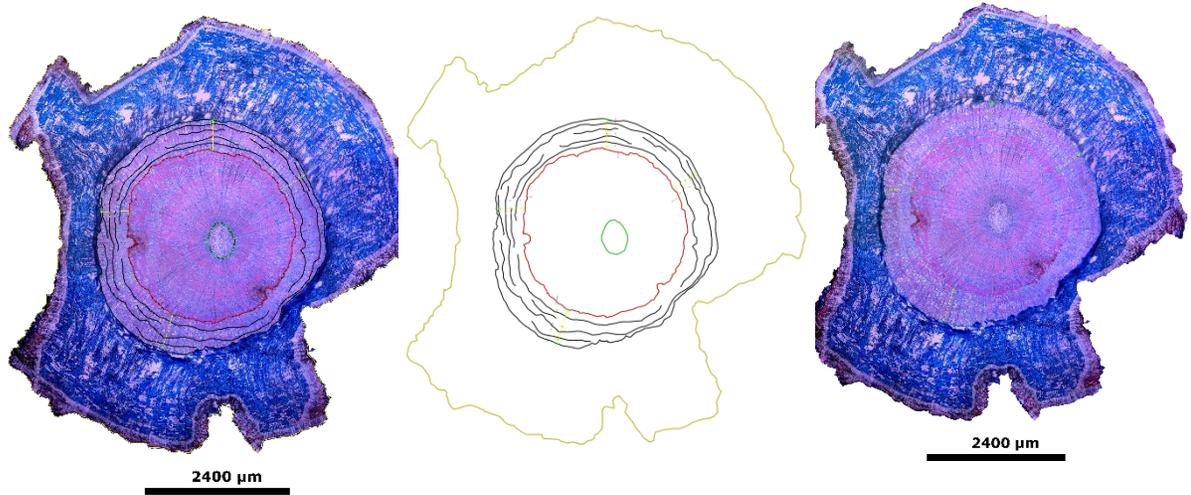


**Estrés hídrico moderado (T1)**

JaHcT1\_16

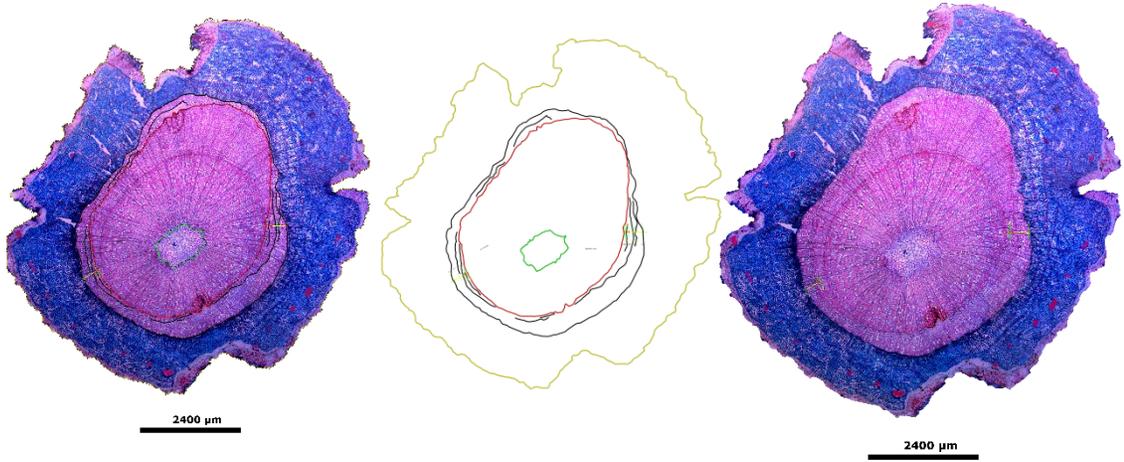


JaHcT1\_19

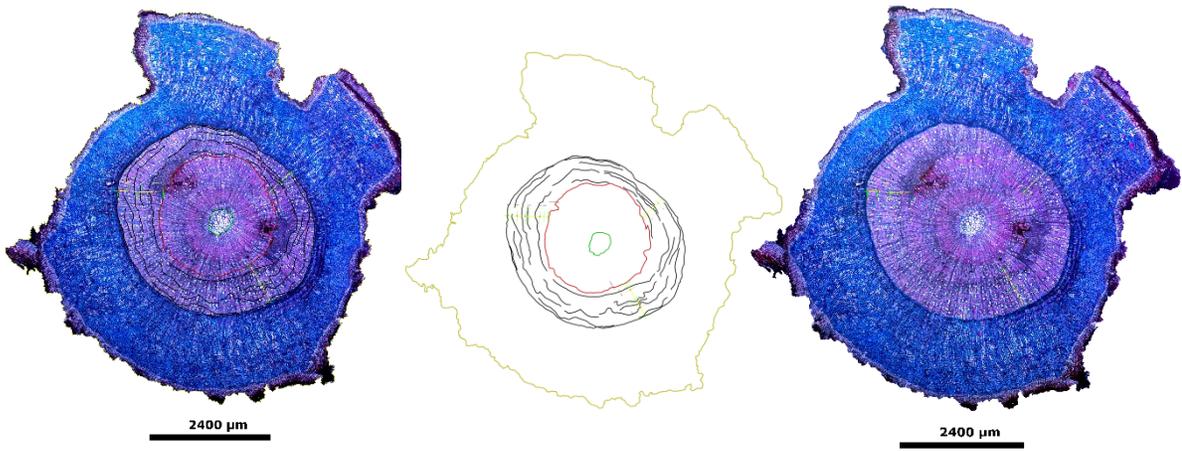


**Estrés hídrico severo (T2)**

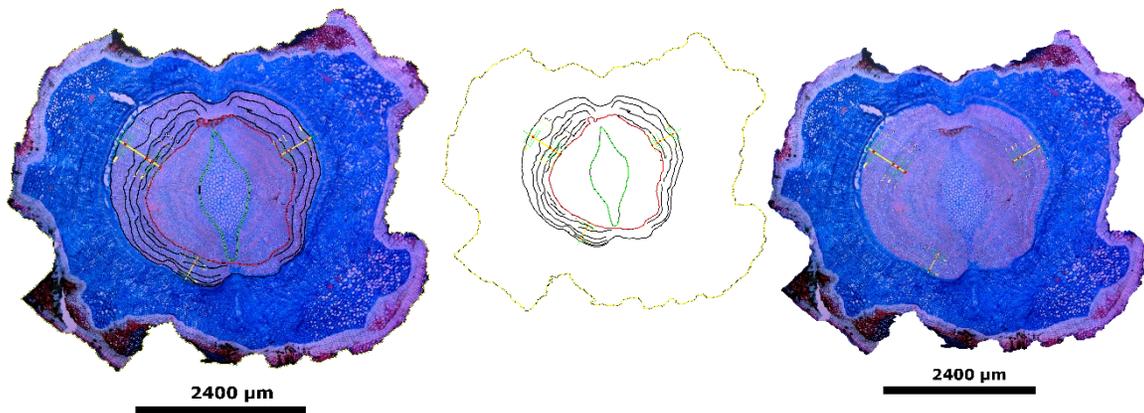
JaHcT2\_04



JaHcT2\_09

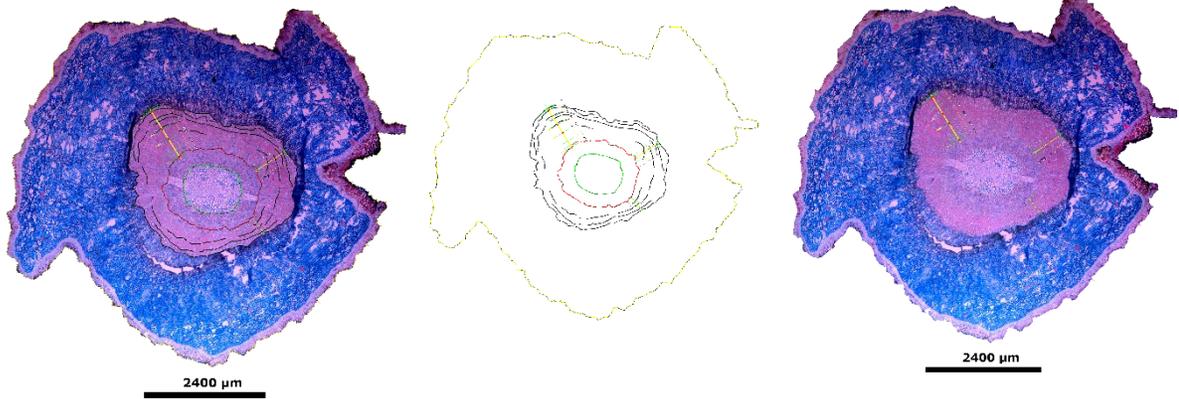


JaHcT2\_10

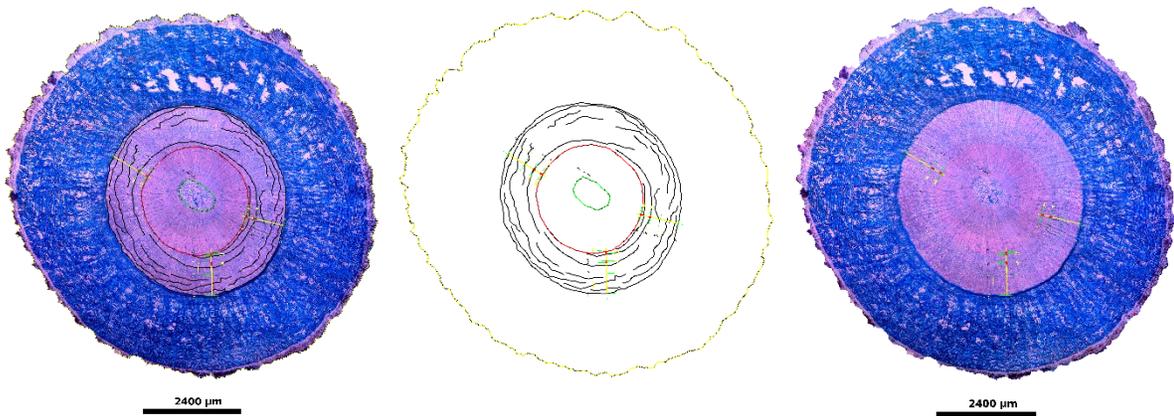


**Estrés hídrico moderado + fertilizante (T3)**

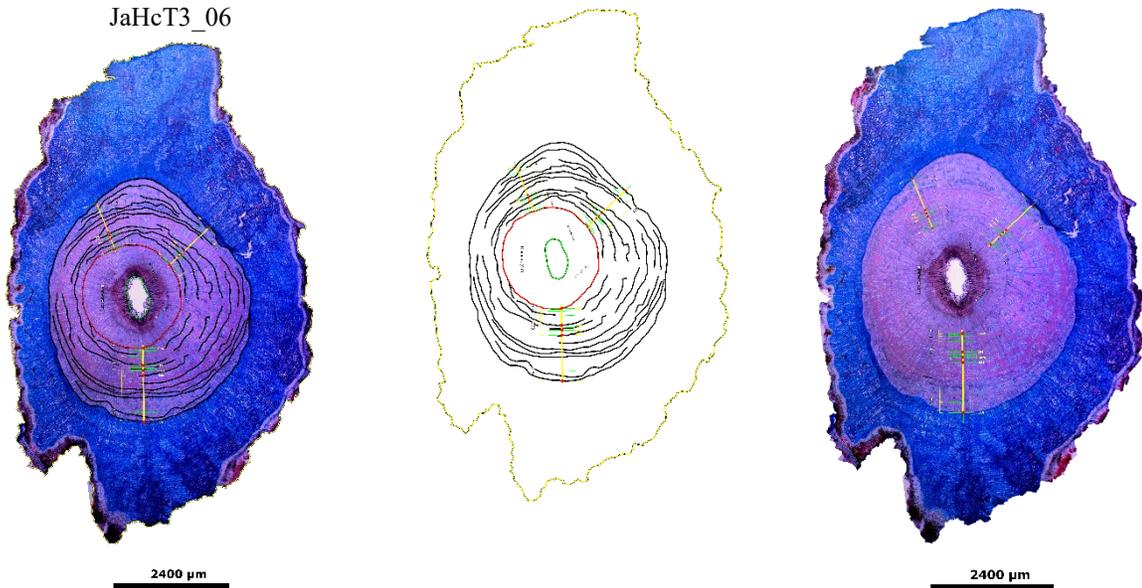
JaHcT3\_02



JaHcT3\_05

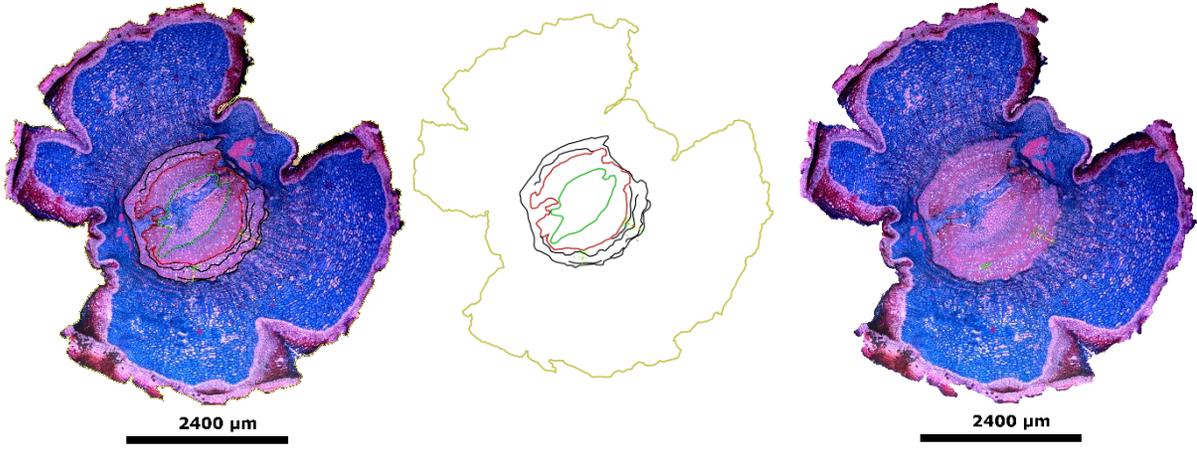


JaHcT3\_06

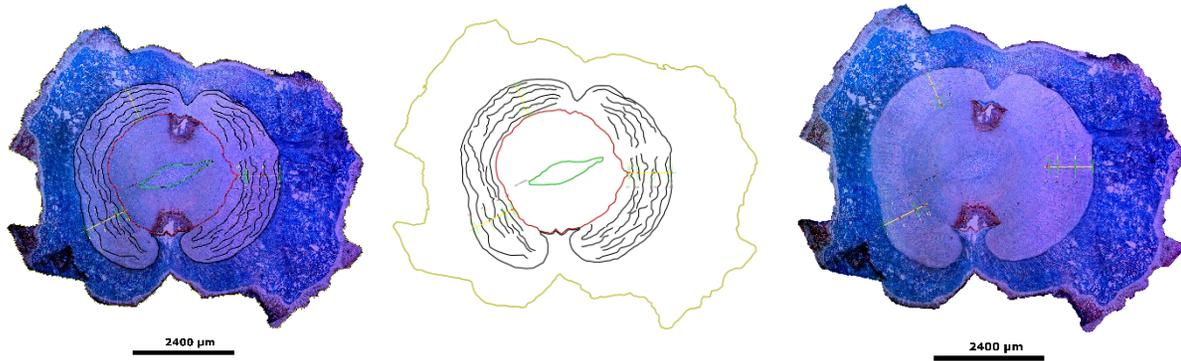


Estrés hídrico severo + fertilizante (T4)

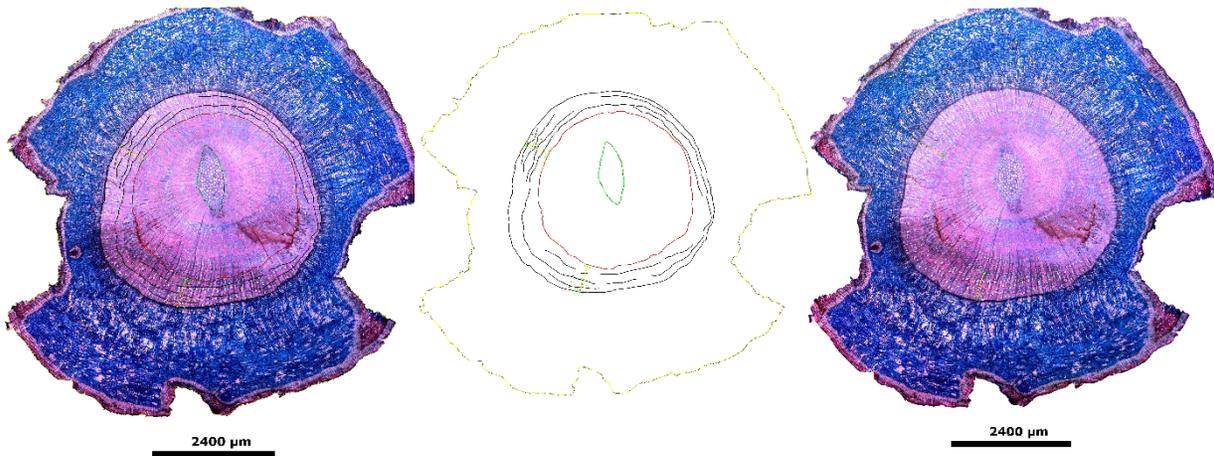
JaHcT4\_03



JaHcT4\_19



JaHcT4\_20



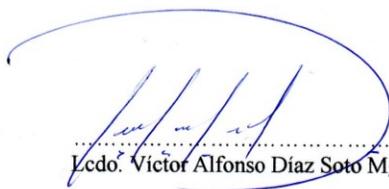
## Anexo 9

### *Certificado de traducción*

Martes, 31 de mayo de 2022

#### **CERTIFICADO**

Yo, Víctor Alfonso Díaz Soto Licenciado en Educación mención Ingles, docente del Instituto Fine-Tuned English y de la Unidad Educativa Fiscomisional “Daniel Álvarez Burneo”, certifico que el resumen de la tesis titulada **“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”** de la autoría del Sr. Jefferson Iván Quezada Armijos con número de cedula 1150176350, fue traducido por mi persona y apruebo el uso del mismo para los fines legales correspondientes.



.....  
Lcdo. Víctor Alfonso Díaz Soto Mg. Sc.