

**Uso de hidrogel en plántulas de *Cariniana pyriformis* sometidas a  
diferentes regímenes hídricos**

**Ingrid Vanessa Rios Anaya**

**Trabajo de Grado para optar el título de  
Bióloga**

**Director**

**Andrés Iván Prato Sarmiento**

**M. Sc en Fitotecnia**

**Universidad Industrial de Santander**

**Facultad de Ciencias**

**Escuela de Biología**

**Bucaramanga**

**2019**

**Dedicatoria**

*Por amor a Dios y a la Ciencia.*

### **Agradecimientos**

A la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia) adscrita al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural por el financiamiento y a los funcionarios del Centro de Investigación La Suiza por el apoyo durante la conducción del experimento. Este trabajo de investigación hizo parte del proyecto “Estrategias de planificación y manejo forestal en Colombia”, perteneciente a Red de Innovación de Cultivos Permanentes de Agrosavia.

A Dios, principal fuente de vida.

Me gustaría reconocer a mis formadores. A mi profe y amiga Rita Parra, por transmitirme su pasión por aprender y transmitir el conocimiento al mundo. A mis maestros, quienes con sus enseñanzas, debates y consejos, me forjaron como profesional, en especial a Daniel Miranda, por introducirme al mundo de la ciencia; a Victor Hugo Serrano por su incondicional ayuda y entusiasmo; a Francisco Martínez por sus consejos.

A mi director de tesis por su voto de confianza, apoyo, consejos y apreciaciones a lo largo de este proyecto, pues sin su ayuda esto no habría sido posible.

Estoy en deuda con mis amigos quienes me animaron cuando creía que no iba a terminar, a Julián Ramírez por colaboración y muy especialmente a Cristina Acuña y Lissette Liñán por tanto cariño.

Finalmente, me gustaría dedicar este esfuerzo a mis padres y hermanos: Crisanto Rios, Gladys Anaya, Paola, Sara y Nicolás Rios, quienes me han hecho ser quien soy, les debo mi vida entera. A mi pareja Miguel Durán, mi arteria coronaria, por caminar a mi lado sin importar los obstáculos.

**Tabla de Contenido**

	Pág.
Introducción .....	15
1. Objetivos .....	18
1.1 Objetivo general.....	18
1.2 Objetivos específicos .....	18
2. Marco teórico .....	19
2.1 Sector forestal en Colombia.....	19
2.2 <i>Cariniana pyriformis</i> Miers: especie forestal nativa de Colombia.....	20
2.3 Uso de hidrogel en la agricultura .....	23
2.4 Respuestas generales de las plantas ante el estrés hídrico .....	25
3. Materiales y métodos .....	26
3.1 Sitio experimental .....	26
3.2 Producción de plántulas .....	26
3.3 Establecimiento del experimento, caracterización del suelo y aplicación del hidrogel.	27
3.4 Diseño experimental y variables evaluadas .....	31
3.5 Procesamiento y análisis estadístico de los datos .....	34
4. Resultados .....	34
4.1 Primera época de evaluación (39 días después del trasplante) .....	34

4.2 Segunda época de evaluación (81 días después del trasplante) .....	35
4.3 Tercera época de evaluación (123 días después del trasplante).....	37
4.4 Cuarta época de evaluación (142 días después del trasplante) .....	39
4.5 Masa seca de parte aérea y masa seca de raíz e índice de calidad de Dickson .....	40
4.6 Síntomas de estrés hídrico a través de una escala visual .....	41
5. Discusión.....	44
5.1 Contenido relativo de agua de las hojas y contenido volumétrico de agua del suelo ....	44
5.2 Altura de planta y diámetro de cuello .....	46
5.3 Masa seca de parte aérea, masa seca de raíz e índice de calidad de Dickson .....	47
5.4 Supervivencia y síntomas de estrés hídrico a través de una escala visual .....	49
6. Conclusiones .....	51
7. Recomendaciones .....	51
Referencias bibliográficas.....	52
Apéndices.....	57

### Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Propiedades físicas y curva de retención de humedad del suelo empleado en el experimento. C.I. La Suiza – Agrosavia.</i> .....	28
Tabla 2. <i>Propiedades químicas y concentración de nutrientes del suelo empleado en el experimento. C.I. La Suiza – Agrosavia.</i> .....	29
Tabla 3. <i>Características del producto Hidrokeeper. Adaptado de: Zuchem. (2019). Ficha técnica hidrokeeper. Recuperado de <a href="http://www.hidrokeeper.com/images/descargas/FichaTecnicaHidrokeeperInal.pdf">http://www.hidrokeeper.com/images/descargas/FichaTecnicaHidrokeeperInal.pdf</a>.</i> .....	29
Tabla 4. <i>Síntomas de estrés hídrico a través de una escala visual usada para plántulas de C. pyriformis. Adaptada de: Engelbrecht, B. M. J., y Kursar, T. A. (2003). Comparative drought-resistance of seedlings of 28 species of co-occurring tropical woody plants. Oecologia, 136(3), 383-393.</i> .....	33
Tabla 5. <i>Medias <math>\pm</math> desviación estándar para el diámetro de cuello (DC), altura de planta (AP), contenido relativo de agua (CRA), contenido volumétrico de agua del suelo (CVS), escala visual de estrés hídrico y sobrevivencia (S) en plántulas de C. pyriformis de acuerdo a los regímenes hídricos, transcurridos 39 días después del trasplante. C.I. La Suiza – Agrosavia.</i> .....	35
Tabla 6. <i>Medias <math>\pm</math> desviación estándar para el diámetro de cuello (DC), altura de planta (AP), contenido relativo de agua (CRA), contenido volumétrico de agua del suelo (CVS), escala visual de estrés hídrico y sobrevivencia (S) en plántulas de C. pyriformis, de acuerdo a los regímenes hídricos, transcurridos 81 días después del trasplante. C.I. La Suiza – Agrosavia.</i> .....	36

- Tabla 7. *Medias  $\pm$  desviación estándar para el diámetro de cuello (DC), altura de planta (AP), contenido volumétrico de agua del suelo (CVS) y escala visual de estrés hídrico en plántulas de C. pyriformis, de acuerdo a la aplicación de dosis de hidrogel, transcurridos 123 días después del trasplante. C.I. La Suiza – Agrosavia. .... 37*
- Tabla 8. *Medias  $\pm$  desviación estándar para el diámetro de cuello (DC), altura de planta (AP), contenido volumétrico de agua del suelo (CVS) y escala visual de estrés hídrico en plántulas de C. pyriformis, de acuerdo a los regímenes hídricos, transcurridos 123 días después del trasplante. C.I. La Suiza – Agrosavia. .... 38*
- Tabla 9. *Medias para la sobrevivencia (%) de plántulas de C. pyriformis según interacción entre regímenes hídricos y dosis de hidrogel, transcurridos 123 días después del trasplante. C.I La Suiza – Agrosavia. .... 38*
- Tabla 10. *Medias  $\pm$  desviación estándar para el diámetro de cuello (DC), altura de planta (AP), contenido relativo de agua (CRA), escala visual de estrés hídrico y sobrevivencia (S) en plántulas de C. pyriformis de acuerdo a los regímenes hídricos, transcurridos 142 días después del trasplante. C.I. La Suiza – Agrosavia. .... 39*
- Tabla 11. *Medias  $\pm$  desviación estándar de la masa seca de raíz (MSR), masa seca de parte aérea (MSA) e índice de calidad de Dickson (ICD) en plántulas de C. pyriformis, de acuerdo a regímenes hídricos, transcurridos 142 días después del trasplante. C.I. La Suiza – Agrosavia. .... 40*

### Lista de Figuras

- Figura 1.* Mapa de distribución del abarco en Colombia. Adaptado de: Pachón Calderón, M. E. (2016). Elementos para el manejo y conservación de la especie forestal abarco (*Cariniana pyriformis* Miers). Universidad de los Llanos- Instituto de ciencias ambientales de la Orinoquía Colombiana..... 21
- Figura 2.* Plántulas de *C. pyriformis* al momento del trasplante en bolsas plásticas (A) y vivero agrícola con riego por goteo empleado para la evaluación del experimento (B). ..... 27
- Figura 3.* Medias horarias de A) humedad relativa máxima (HRmax), mínima (HRmin) y media (HRmed), y B) temperatura máxima (Tmax), mínima (Tmin) y media (Tmed) registradas dentro del vivero durante la evaluación del experimento. C.I. La Suiza – Agrosavia..... 28
- Figura 4.* Esquema del diseño experimental ejecutado en el presente estudio. .... 32
- Figura 5.* Plántulas de *C. pyriformis* clasificadas según escala visual de estrés hídrico. 0= normal (A, B, C); 1= ligeramente marchita (D, E, F); 2= marchita (G, H, I); 3= severamente marchita (J, K, L); 4= casi muerta (M, N, O); 5= muerta (P, Q, R). Barra de escala: 10 cm..... 41
- Figura 6.* Síntomas de estrés hídrico a través de una escala visual en plántulas de *C. pyriformis*. 0= normal (A); 1= ligeramente marchita (B); 2= marchita (C); 3= severamente marchita (D); 4= casi muerta (E) y 5= muerta (F)..... 42
- Figura 7.* Síntomas de estrés hídrico a través de una escala visual de estrés hídrico en plántulas de *C. pyriformis* según las dosis de hidrogel, evaluadas desde el trasplante hasta 142 días después..... 43

*Figura 8.* Síntomas de estrés hídrico a través de una escala visual de estrés hídrico en plántulas de *C. pyriformis* según los regímenes hídricos, evaluados desde el trasplante hasta 142 días después.

\* R1= ausencia de riego luego de 8 días con 100% a CC; R2= ausencia de riego luego de 40 días con 100% a CC; R3= 60% a CC y R4= 100% a CC. .... 44

**Lista de Apéndices**

<i>Apéndice A. Cuadro de costo estimado (\$ COP hectárea<sup>-1</sup>) para establecer (año cero) una plantación de <i>C. pyriformis</i>, densidad de 3 m x 3 m, con y sin el uso de hidrogel. ....</i>	<i>57</i>
<i>Apéndice B. Registro fotográfico de las plántulas usadas al momento del trasplante (A y B), proceso de hidratación del hidrogel por 72 horas (C y D) y aplicación del hidrogel en las bolsas plásticas (E y F).....</i>	<i>58</i>
<i>Apéndice C. Registro fotográfico del experimento al momento del trasplante (A); 60 días después del trasplante (B), 80 días después del trasplante (C); 120 días después del trasplante (D, E y F) y 142 días después del trasplante (G y H). R1 ausencia de riego luego de 8 días con 100% a CC; R2 ausencia de riego luego de 40 días con 100% a CC; R3 60% a CC y R4 100% a CC.....</i>	<i>59</i>

## Resumen

**Título:** Uso de hidrogel en plántulas de *Cariniana pyriformis* sometidas a diferentes regímenes hídricos\*

**Autor:** Ingrid Vanessa Rios Anaya\*\*

**Palabras clave:** hidrotenedor, abarco, estrés hídrico, sobrevivencia.

**Descripción:** Uno de los principales factores abióticos de estrés en las plantas es la deficiencia de agua, lo que puede provocar reducción del crecimiento e incluso la muerte. El hidrogel podría ser una solución ante la problemática mencionada. Plántulas de abarco (*Cariniana pyriformis*) con cinco meses de edad fueron trasplantadas a bolsas plásticas e irrigadas por goteo en un vivero agrícola. Se implementó un diseño de bloques completos al azar en arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones de cinco plántulas. La parcela principal correspondió a cuatro regímenes hídricos, según láminas de riego a capacidad de campo (CC) (R1= únicamente 8 días con 100% CC y posteriormente sin riego; R2= únicamente 40 días con 100% CC y luego sin riego; R3= 60% CC y R4= 100% CC a lo largo de todo el experimento) y la subparcela a cuatro dosis de hidrogel en su forma hidratada (0, 3, 6 y 9 g plántula<sup>-1</sup>). Periódicamente y hasta los 142 días desde el trasplante, se caracterizaron los síntomas de estrés hídrico a través de una escala visual y se registraron variables de crecimiento vegetativo y estado hídrico de las plántulas y el suelo. Transcurridos cuatro meses, la dosis de 9 g plántula<sup>-1</sup> demostró efecto en la sobrevivencia para el régimen hídrico R1 alcanzando un 93%. Cuando no se aplicó ese valor fue de 53%. Al final del experimento, se evidenció mayor altura en las plántulas mantenidas con el régimen hídrico R4 frente al R3, sin diferencia para el diámetro de cuello y biomasa. Posiblemente, el abarco es una especie tolerante al estrés hídrico y su crecimiento vegetativo y biomasa no se afectan cuando son mantenidas con una humedad del suelo al 60% de CC, por lo que no requiere el uso de hidrogel. En ausencia de riego se recomienda una dosis de 9 g plántula<sup>-1</sup> ó incluso 6 g plántula<sup>-1</sup>.

---

\*Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ciencias. Escuela de biología. Director Andrés Iván Prato Sarmiento.

### Abstract

**Title:** Use of hydrogel in *Cariniana pyriformis* seedlings under different water regimes\*

**Author:** Ingrid Vanessa Rios Anaya\*\*

**Keywords:** hydro-retainer, colombian mahogany, water stress, survival.

**Description:** One of the main abiotic stress factors in plants is water deficiency, which can lead to reduced growth and even death. The use of hydrogel could be a solution to the problem mentioned above. Five-month-old abarco (*Cariniana pyriformis*) seedlings were transplanted in plastic bags with drip irrigation in an agricultural nursery. A completely randomized block design was implemented in a split-plot arrangement with three repetitions of five seedlings. The main plot corresponded to four water regimes, according to irrigation sheets at field capacity (FC) (R1 = only 8 days with 100% FC and subsequently without irrigation; R2 = only 40 days with 100% FC and then without irrigation; R3 = 60% of FC and R4 = 100% FC throughout the entire experiment), and the subplot with four doses of hydrogel in its hydrated form (0, 3, 6 and 9 g seedling<sup>-1</sup>). Periodically and up to 142 days from transplant, water stress symptoms were characterized through a visual scale, and vegetative growth and water status variables of the seedlings and the soil were recorded. After 4 months, the dose of 9 g seedling<sup>-1</sup> showed an effect on survival, reaching 93% for the R1 water regime. When that dose was not applied, only 53% was obtained. At the end of the experiment, greater height was observed in the seedlings maintained with the R4 water regime compared to R3, with no difference for neck diameter and biomass. Possibly, abarco is tolerant to water stress, and its vegetative growth and biomass are not affected when soil moisture is maintained at 60% of FC without using hydrogel. In the absence of irrigation, a dose of 9 g seedling<sup>-1</sup> or even 6 g seedling<sup>-1</sup> is recommended.

---

\*BSc. thesis

\*\* Facultad de Ciencias. Escuela de biología. Director Andrés Iván Prato Sarmiento.

## Introducción

El bosque es base fundamental del medio ambiente como uno de los principales productores de oxígeno, captadores de CO<sub>2</sub> y protectores del suelo, funciones que dan el carácter de imprescindible a la tarea de administrar este recurso de manera sostenible y eficiente (UNFCCC, 2008). Actualmente, las políticas y normativas que rigen las actividades involucradas con el uso de la madera en Colombia han sido insuficientes para contrarrestar la ilegalidad, el uso indiscriminado y en general la poca organización en la comercialización de especies forestales ocasionando, entre otras problemáticas socioambientales, la pérdida de hábitat y la disminución de las poblaciones de las especies forestales nativas (ONF Andina, 2018).

Tal es el caso del abarco o colombiano mahogany (*Cariniana pyriformis* Miers), especie nativa de Colombia con elevados atributos ecológicos y maderables. De acuerdo con la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN), el abarco se encuentra vulnerable a la extinción y según el libro rojo de plantas de Colombia está en peligro crítico (Cárdenas-López y Salinas, 2007). Al respecto, en los últimos años la especie ha sido incorporada en los sistemas agroforestales (SAFs) con café (*Coffea arabica* L.) y cacao (*Theobroma cacao* L.), a través de entidades públicas y privadas del orden nacional como la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia); que promueve su uso como una estrategia de conservación de especies amenazadas y reforestación comercial, además de los múltiples beneficios de interés económico y ecológico que podría representar para el productor (Farfán Valencia, 2012; Morales Mora, 2018).

A pesar de algunos avances recientes, son pocos los estudios publicados acerca de la biología del abarco y aún más a los aspectos concernientes de su manejo silvicultural dentro de un territorio

de tan alta diversidad agroecológica como lo es Colombia. Un estudio realizado por Moreno y del Valle (2014) fue pionero en la evaluación de la tasa de crecimiento de los anillos de abarco localizados en las selvas del Chocó frente a la influencia del clima; los autores encontraron que hubo mayor impacto durante los ciclos del fenómeno El Niño comparado con el fenómeno de La Niña y durante el cual los árboles desarrollaron anillos más anchos.

El presente trabajo aporta al conocimiento de la silvicultura del abarco a través de la implementación de nuevas tecnologías, como son los hidrogeles, que además de contribuir con un mejor crecimiento y sobrevivencia de la planta en campo, podrían contrarrestar los efectos de cambio climático relacionados con el aumento de la intensidad y frecuencia de las sequías que afectan negativamente el establecimiento de las plantaciones forestales (Moreno y del Valle, 2014; IDEAM-UNAL, 2018). Se planteó que el uso de los hidrogeles por su capacidad de retención y liberación de agua controlada a las plantas es una tecnología que no genera sobrecostos significativos para el productor durante el establecimiento de la plantación.

Resultados favorables han sido reportados en otras especies forestales de interés comercial, caso de *Eucalyptus dunnii* Maiden (Navroski, Araujo, y Fior, 2015), *Eucalyptus benthamii* Maiden y Cambage (Felippe et al., 2016) y *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. y Cham (Mudhanganyi, Ndagurwa, Maravanyika, y Mwase, 2018). Con lo anterior, el objetivo general de este estudio fue evaluar el uso del hidrogel en plántulas de *C. pyrifomis* sometidas a diferentes regímenes hídricos a través de evaluaciones del crecimiento vegetativo, caracterización de síntomas de estrés hídrico mediante una escala visual y sobrevivencia, para responder la siguiente pregunta de investigación: ¿es el hidrogel una tecnología que mejora el vigor y sobrevivencia inicial en plántulas de abarco ante el estrés hídrico y cuál es la dosis óptima?

Los resultados fueron organizados dentro del presente documento en cuatro capítulos que corresponden a cuatro épocas de evaluación (39, 81, 134 y 142 días después del trasplante).

## 1. Objetivos

### 1.1 Objetivo general

Evaluar la eficiencia del uso de hidrogel para mejorar el vigor y sobrevivencia inicial de plántulas de *Cariniana pyriformis* sometidas a distintos regímenes hídricos.

### 1.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar los síntomas visuales de estrés hídrico y respuestas morfológicas en plántulas de *Cariniana pyriformis* sometidas a distintos regímenes hídricos.
2. Establecer el efecto y la dosis óptima de hidrogel para mejorar la eficiencia del riego y sobrevivencia en plántulas de *Cariniana pyriformis* sometidas a distintos regímenes hídricos.

## 2. Marco teórico

### 2.1 Sector forestal en Colombia

Los bosques nativos de Colombia se encuentran en una situación preocupante debido al incremento de la deforestación, por ejemplo, para el año 2018 el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) reportó seis núcleos tempranos de detección de deforestación de los cuales cinco de ellos se presentaron en la Amazonía, cuna de biodiversidad (IDEAM, 2019). Así mismo, la Office National des Forêts (ONF, 2018) Andina en su estudio sobre economía forestal indica las principales amenazas en el sector forestal colombiano: subestimación de la importancia económica del sector, desconocimiento del volumen de madera procesada, baja tecnificación del aprovechamiento, falta de información sobre el estado de los bosques nativos, altos niveles de informalidad e ilegalidad, falta de infraestructura vial y fluvial para el acceso al recurso, complejidad de los procesos administrativos y el uso de menos de 20 especies maderables comercializadas, la mayoría de ellas introducidas. Se estima que existen 24.8 millones de hectáreas aprovechables para las plantaciones forestales, es decir una cuarta parte del territorio nacional y de las cuales a diciembre de 2015, sólo cerca de 2% ó 450.000 ha se estaban utilizando para tal fin (Ministerio de agricultura, 2017).

En ese mismo sentido, el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) con cifras del año 2016 revela que de las pocas especies maderables comercializadas en el país, la mayoría correspondían a especies introducidas, algunas de ellas de los géneros: *Pinus*, *Eucalyptus*, *Ceiba* y *Cupressus*; lo cual es contraproducente, ya que si bien, se permite el desarrollo del sector forestal, no se prioriza el uso de flora nativa como medida de conservación.

Desde el punto de vista de la normativa en Colombia, el uso de especies nativas en estado de amenaza se ha reforzado recientemente con los nuevos planes de manejo (Morales Mora, 2018). No obstante, el tiempo transcurrido entre estos esfuerzos y los primeros es extenso; desde 1959 el manejo del abarco en Colombia se ha regido con el establecimiento de zonas de reserva forestal, seguido de políticas con estímulo a la reforestación comercial, lineamientos para la conservación de la flora nativa, entre muchas otras estrategias en las que ha sido incluido. Si bien este marco normativo es amplio deja grandes vacíos y limitaciones al momento de su implementación (Ministerio del Medio Ambiente, 1996; ONF Andina, 2018).

## **2.2 *Cariniana pyriformis* Miers: especie forestal nativa de Colombia**

*Cariniana pyriformis* Miers de acuerdo al sistema de clasificación APG pertenece al orden Ericales, familia Lecythidaceae y subfamilia Lecythidoideae, hace parte de las 16 especies del género *Cariniana* (Huang, Mori, y Prance, 2008; The Linnean Society of London, 2009; Mori et al., 2016). En Colombia es comúnmente denominado abarco, coco-abarco, piloncillo, chibugá, caobano y falso caoba; bacú en Venezuela y colombian mahogany en Estados Unidos.

*C. pyriformis* se encuentra en Colombia, Venezuela y Panamá por debajo de los 1000 m de altura, desde el Chocó hasta el Catatumbo formando el llamado “arco del abarco” (Mahecha, Rodríguez, y Acero, 1984), como se muestra en la Figura 1. Se distribuye en zonas poco lluviosas a húmedas (hasta 2500 mm anuales); por un lado, en la Serranía de San Lucas y Serranía de los Motilones con un régimen de precipitaciones bimodal (dos periodos de lluvias y dos de sequía) y por otro lado, en la cuenca Sinú - Atrato de la región Caribe con un régimen cuasimonomodal o cuasibimodal (periodo con uno de los dos picos de lluvias mayor que otro). También, en regiones muy húmedas (3000 – 6000 mm anuales) y con régimen de precipitaciones bimodal como los

valles interandinos del Magdalena - Cauca, selvas del Chocó – Urabá y Catatumbo (Cárdenas Camacho, 2016; IDEAM-UNAL, 2018). En otras palabras, aparentemente presenta gran adaptabilidad y plasticidad fenotípica a diferentes escenarios de restricción hídrica.

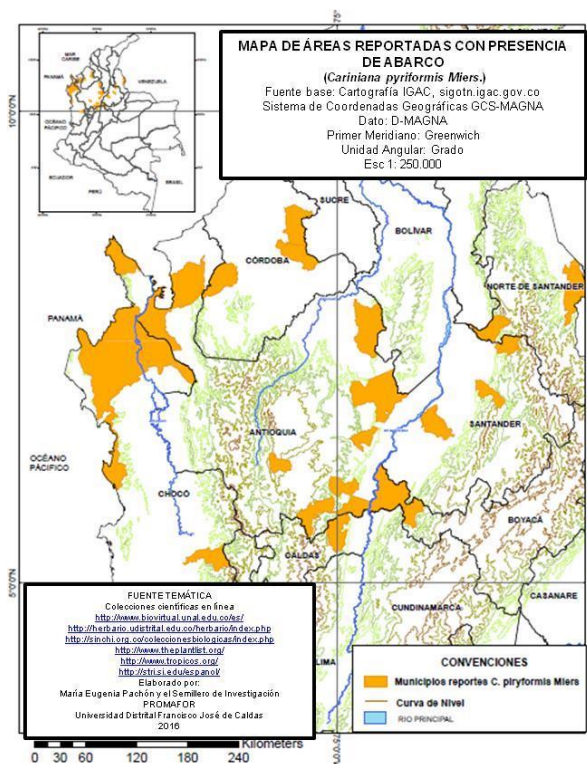


Figura 1. Mapa de distribución del abarco en Colombia. Adaptado de: Pachón Calderón, M. E. (2016). Elementos para el manejo y conservación de la especie forestal abarco (*Cariniana pyriformis* Miers). Universidad de los Llanos- Instituto de ciencias ambientales de la Orinoquía Colombiana.

El abarco es un árbol que alcanza los 50 m de altura y 2 m de diámetro a la altura del pecho, y explotado principalmente para su uso en carpintería, ebanistería y construcción en general debido a la alta calidad de su madera, puesto que es resistente a la humedad, los hongos y las termitas. Además, su corteza externa es usada por las comunidades campesinas en calzado tradicional o “abarca” y sus frutos como juguete “coca” (Cárdenas López, Castaño Arboleda, Sua Tunjano, y Quintero Barrera, 2015). En los últimos años se ha incorporado en los SAFs, siendo promovido por Agrosavia – C.I. La Suiza pues las plantaciones de cacao han mostrado mayor productividad

debido a un mejor sombrero comparativamente a otras especies forestales, tanto en épocas secas como húmedas para la región del Magdalena Medio de Santander (Agudelo-Castañeda, Cadena-Torres, Almanza-Merchán, y Pinzón-Sandoval, 2018). Contrariamente, para la Amazonia colombiana su efecto fue negativo debido a la alta nubosidad imperante en la región, lo que disminuyó las tasas fotosintéticas del cacao frente aquellas plantaciones puras (Suárez Salazar et al., 2018). Lo anterior demuestra la importancia de continuar con las investigaciones de esta especie. Otras entidades de importancia nacional como la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC) han implementado su uso con café (*C. arabica*) (Farfán Valencia, 2012).

Desde el punto de vista de la ecología, es una especie semi-caducifolia, semiheliófila, perteneciente al bosque primario y secundario tardío (Céspedes, Medina Arroyo, y Torres, 2016), su floración coincide con el final del periodo de sequía y su fructificación ocurre a inicios del periodo de mayor precipitación (Restrepo, Murillo, y Cardona, 2013; Zuluaga, Prato, Zapata, y Zarate, 2018). Estos ciclos de sequía y lluvia, se han intensificado en los últimos años y las tendencias para los venideros no son muy alentadoras, de acuerdo al reporte de variabilidad climática y cambio climático en Colombia del IDEAM-UNAL (2018). Adicionalmente, según los diferentes escenarios reconstruidos, la mayoría con datos de finales del siglo XX, la temperatura del aire incrementará en promedio 1° a 4°C hacia las próximas tres décadas y las precipitaciones que oscilarán en un rango mayor, aumentarán o disminuirán 15% a 35% del volumen anual dependiendo la zona del territorio nacional (Alarcón Hincapié y Caicedo Pabón, 2013). Dichos cambios extremos e impredecibles a mediano y largo plazo en el clima del país podrían afectar negativamente el establecimiento y la sobrevivencia de las especies forestales, si no se proponen medidas preventivas o de manejo silvicultural diferenciadas.

### 2.3 Uso de hidrogel en la agricultura

El primer intento por comercializar los polímeros superabsorbentes, polímeros hidroretenedores o hidrogeles ocurrió en 1938, desde entonces se han desarrollado diferentes productos que han sido utilizados en una amplia variedad de campos desde la higiene personal hasta la agricultura, la óptica, la farmacéutica, la medicina, los textiles y la construcción; convirtiéndose en una tecnología revolucionaria para dichas industrias (Zohuriaan-Mehr, Omidian, Doroudiani, y Kabiri, 2010). Los hidrogeles se han implementado en la agricultura desde hace aproximadamente dos décadas, solucionando problemas de disponibilidad de agua y acondicionamiento de suelos que influyen directamente en el desarrollo óptimo de las plantas; también se ha usado en el mantenimiento de semillas y plántulas (aumentando su sobrevivencia) y como retenedor de fertilizantes en el suelo (Zohuriaan-Mehr et al., 2010). Los sectores que más han aprovechado los hidrogeles a nivel mundial son la horticultura (oleicultura y fruticultura) y la silvicultura (Lopes Monteiro et al., 2017).

Los hidrogeles son clasificados como polímeros súper absorbentes compuestos de redes hidrofílicas tridimensionales de cadenas de polímeros, con capacidad de absorción de agua de hasta 100 veces su peso, aumentando su volumen un 300% para su posterior liberación controlada a las plántulas (Kazanskii y Dubrovskii, 1992; Abobatta, 2018). Dicha propiedad permite el manejo eficiente del agua y aumenta las probabilidades de sobrevivencia ante escenarios de déficit hídrico cuando se carece de sistemas de riego (Felippe et al., 2016). Los hidrogeles se han empleado en especies forestales y otras de interés comercial, como: *Passiflora edulis* Sims. (Pereira de Carvalho, Cruz, y Martins, 2013), *E. dunnii* (Navroski, Araujo, y Fior, 2015), *C. arabica* (Souza, Guimarães, Dominghetti, Scalco, y Rezende, 2016), *E. benthamii* (Felippe et al., 2016) y *P. patula* (Mudhanganyi, Ndagurwa, Maravanyika, y Mwase, 2018).

Basado en la unidad monomérica de sus compuestos existen tres tipos de hidrogeles, siendo los más usados en la agricultura: poliacrilamida, acrilato de potasio y copolímeros de injerto de almidón (Abobatta, 2018). Si bien es cierto que el monómero acrilamida tiene potencial tóxico y carcinogénico, no representa riesgo alguno en los productos hidrogeles que al terminar su vida media (7 años aproximadamente), se descompone en dióxido de carbono, agua, amonio, y en iones de potasio o sodio (Crous, 2016; Abobatta, 2018).

De acuerdo con Crous (2016), las dosis de hidroretenedor más usadas en los diferentes ensayos varían de 1 a 12 g plántula<sup>-1</sup>. En su revisión de 42 ensayos, el autor encontró que aquellos establecidos en vivero presentaron resultados positivos en la sobrevivencia (14 de 17 estudios) con mayor evidencia que aquellos en campo (15 de 25 estudios). En muy pocos ensayos encontró efectos negativos (3 de 25 estudios). Otra apreciación importante según el autor, se relaciona en que la aplicación de hidrogeles en suelos de tipo arenosos y arcillosos fue más beneficiosa que en suelos francos. En una comparación entre dos de estos estudios; el primero con *Pinus patula*, donde aplicaron 4 g plántula<sup>-1</sup> de hidrogel (Stokosorb) en forma hidratada y el segundo con *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden en el que también usaron la misma marca comercial del hidrogel pero a una dosis de 12 g plántula<sup>-1</sup>, se encontraron resultados similares, la sobrevivencia aumentó con respecto a tratamientos sin hidrogel (16%) y de igual manera el crecimiento en altura de las plantas con hidrogel mejoró (50%).

Existen tres maneras diferentes de aplicación del hidrogel. La primera consiste en incorporar el hidrogel en el sustrato seguido de la adición de agua, la segunda es la aplicación directa del polímero en forma ya hidratada al sustrato y la tercera se realiza por inmersión del sistema radicular en el hidrogel hidratado, de tal manera que las partículas quedan adheridas a la raíz. El tipo de aplicación más usado ha sido la forma hidratada porque permite un mejor balance iónico

con el suelo y la interacción acelerada entre raíz-suelo-hidrogel minimizando el efecto de mortalidad causado por la adaptación lenta de la plántula a un nuevo medio (trasplante). Contrariamente, la aplicación de gránulos secos de hidrogel algunas veces puede causar la muerte de la planta al darse la hidratación de las partículas que se hinchan y dejan espacios entre las raíces, o también porque el aumento de volumen del hidrogel podría expulsar o exponer parcialmente la plántula a la superficie (Starkey, Enebak, South, y Cross, 2012).

#### **2.4 Respuestas generales de las plantas ante el estrés hídrico**

El agua es un elemento fundamental en el desarrollo de las plantas, siendo protagonista de sus funciones básicas de tal manera que limita cualquier actividad de crecimiento en su ausencia. Las respuestas de las plantas en condiciones de déficit hídrico que hacen posible la aclimatación ante escenarios de baja disponibilidad de agua son muy variadas y se presentan desde diferentes niveles: anatómico, morfológico, celular, bioquímico y molecular.

Dentro de las respuestas morfológicas de las plantas se podría mencionar: altura de la planta, y diámetro de cuello como medidas de crecimiento. Masa seca de parte aérea, masa seca de raíz y masa seca total que están directamente relacionadas con la reducción del área foliar y la elongación radicular a causa de la pérdida de turgencia provocada por el estrés hídrico (Taiz, Zeiger, Moller, y Murphy, 2009). La relación entre la parte aérea y raíz también es evidencia del estrés hídrico, pues permite analizar la distribución de la biomasa inducida por dicho estrés.

Desde una perspectiva fisiológica que involucra un nivel de acción celular y bioquímico de la planta, las respuestas características del déficit hídrico de acuerdo con Hsiao (1973) en orden de sensibilidad (de menor a mayor, 0-20 bars), son: crecimiento celular, síntesis de la pared celular, síntesis de proteínas, síntesis de clorofila, acumulación de ácido abscísico (ABA), abertura de

estomas, asimilación de CO<sub>2</sub>, respiración, acumulación de prolina y acumulación de azúcares. La sensibilidad en la abertura de estomas y la asimilación de CO<sub>2</sub> puede ser mayor o menor dependiendo de la especie y corresponden a los procesos con un rango de estrés más amplio.

Por otro lado, las respuestas de las plantas a la desecación inicialmente se pueden reconocer por observación detallada de los síntomas de estrés hídrico para diagnosticar rápidamente y de manera económica la variabilidad del estado de hidratación en el que se encuentra una plantación o la disponibilidad agua del suelo. De esta manera, se clasifica la sobrevivencia de las plantas al conocer un porcentaje de marchitamiento (Engelbrecht, Tyree, y Kursar, 2007).

### **3. Materiales y métodos**

#### **3.1 Sitio experimental**

El estudio se realizó en las instalaciones del Centro de Investigación La Suiza de Agrosavia, localizado en el municipio de Rionegro, Santander (7° 22' 17.3" N, 73° 10' 55.1" W; 550 m de altitud); durante el periodo abril a agosto de 2019. De acuerdo a la clasificación de Holdrige, la región se encuentra en la categoría de bosque húmedo tropical (bh-T) y está caracterizado por un régimen de precipitación bimodal (media anual de 1982 mm y 27.1 °C), es decir, dos periodos de lluvias, de marzo a mayo y septiembre a noviembre.

#### **3.2 Producción de plántulas**

En noviembre de 2018, semillas de *C. pyriformis* fueron adquiridas a la empresa Semicol de un lote cosechado en Antioquia, siendo inbibidas en agua por 12 horas, posteriormente, se sembraron

en una cama de germinación cuyo sustrato fue 100% arena. Las plántulas se trasplantaron un mes después a bandejas plásticas que contenían tubetes cónicos (8 cm diámetro x 25 cm altura) y se mantuvieron en un vivero agrícola con riego por aspersión y polisombra negra del 65%. Se empleó como sustrato una mezcla de suelo, arena de río y compost comercial a base de gallinaza, en la proporción volumétrica 60:20:20.

### 3.3 Establecimiento del experimento, caracterización del suelo y aplicación del hidrogel

Transcurridos cinco meses, las plántulas (altura y diámetro de cuello promedio de 60 cm y 5.2 mm, respectivamente) se trasplantaron el 1 de abril de 2019 a bolsas plásticas de 5 kg de capacidad (15 cm diámetro x 30 cm altura) en un vivero agrícola con cobertura plástica Agrofrío X (50% de intercepción luminosa) y sistema de riego por goteo (véase Figura 2). La densidad en que fueron dispuestas fue de 12 plántulas m<sup>-2</sup>.



Figura 2. Plántulas de *C. pyriformis* al momento del trasplante en bolsas plásticas (A) y vivero agrícola con riego por goteo empleado para la evaluación del experimento (B).

Fue instalado un datalogger (CEM, DT - 172) en el interior del vivero para registrar la temperatura y humedad relativa cada 10 min. En la Figura 3 se visualiza las medias, mínimas y máximas horarias de cada variable durante el periodo de evaluación.

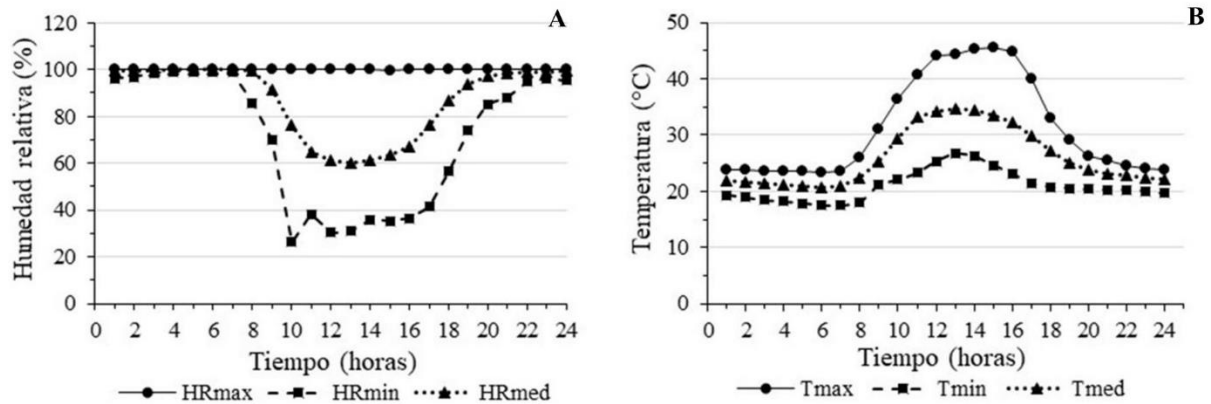


Figura 3. Medias horarias de A) humedad relativa máxima (HRmax), mínima (HRmin) y media (HRmed), y B) temperatura máxima (Tmax), mínima (Tmin) y media (Tmed) registradas dentro del vivero durante la evaluación del experimento. C.I. La Suiza – Agrosavia.

El suelo empleado fue colectado a 40 cm de profundidad de un área cultivada previamente con cacao y café cercana al C.I. La Suiza, su textura correspondió a franco arenosa (véase Tabla 1).

Tabla 1. *Propiedades físicas y curva de retención de humedad del suelo empleado en el experimento. C.I. La Suiza – Agrosavia.*

Textura del suelo: franco arenosa <sup>(1)</sup>			Curva de retención de humedad (tensión kPa)				Densidad aparente	Densidad real
arena	limo	arcilla	0	-10 <sup>(2)</sup>	-33	-1500 <sup>(3)</sup>	g cm <sup>-3</sup>	
	%			%				
67.4	14.2	18.4	42.5	18.0	13.8	6.5	1.2	2.6

Nota: <sup>(1)</sup> Bouyoucos; <sup>(2)</sup> capacidad de campo a -10 kPa, de acuerdo a la mayor proporción de arcillas que fue determinado en el suelo y <sup>(3)</sup> punto de marchitez permanente.

También, una muestra de suelo sin disturbar fue colectada del sitio con un anillo de aluminio (altura= 2.3 cm y diámetro= 5.3 cm) para la determinación de la densidad aparente y la curva de retención de humedad, a través de la mesa de tensión y extractor de Richards, a las tensiones de

0, -10, -33 y 1500 kPa (véase Tabla 1). La selección de los puntos de tensión fue basada en los conceptos de tamaño de poros para determinar la capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente. Para la caracterización química del suelo fue colectada una muestra compuesta disturbada de 500 g (véase Tabla 2). Las muestras se analizaron en el Laboratorio Nacional de Suelos del Instituto Colombiano Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Bogotá D.C.

Tabla 2. *Propiedades químicas y concentración de nutrientes del suelo empleado en el experimento. C.I. La Suiza – Agrosavia.*

pH <sup>(1)</sup>	C.E <sup>(1)</sup>	M.O <sup>(2)</sup>	N <sup>(3)</sup>	P <sup>(4)</sup>	S <sup>(5)</sup>	Ca <sup>+2(6)</sup>	Mg <sup>+2(6)</sup>	K <sup>+(6)</sup>	Na <sup>(6)</sup>
	dS m <sup>-1</sup>	g 100 g <sup>-1</sup>	%	mg kg <sup>-1</sup>			cmol <sup>(+)</sup> kg <sup>-1</sup>		
6.7	0.2	0.72	0.11	9.6	3.6	5.1	0.7	0.1	0.64

Nota: <sup>(1)</sup> pH y C.E (relación 1:5), <sup>(2)</sup> Walkey y Black, <sup>(3)</sup> Kjeldahl por colorimetría, <sup>(4)</sup> fosfato de calcio monobásico, <sup>(5)</sup> Olsen modificado, <sup>(6)</sup> 1 N acetato de amonio pH= 7.

Se usó hidrogel de la marca comercial Hidrokeeper® y según el comercializador es un copolímero de acrilamida y acrilato de potasio, molécula neutra (véase Tabla 3).

Tabla 3. *Características del producto Hidrokeeper. Adaptado de: Zuchem. (2019). Ficha técnica hidrokeeper. Recuperado de <http://www.hidrokeeper.com/images/descargas/FichaTecnicaHidrokeeperInal.pdf>.*

Parámetro	Valor
Apariencia	Granular
Tamaño de partícula (mm)	0.2 – 5
Densidad aproximada a granel (g cm <sup>-3</sup> )	0.8
Rango de pH ideal	5 – 9
Solubilidad en agua	Insoluble
Absorción teórica (g g <sup>-1</sup> )	500
Absorción práctica (g g <sup>-1</sup> )	350
Estabilidad promedio del producto hidratado en el suelo (años)	5
Tiempo para alcanzar 60% capacidad absorción (min)	10

Con el propósito de soportar mejor la discusión de los resultados, los costos directos estimados para el establecimiento (año cero) de una plantación de abarco en monocultivo, con y sin el uso del hidrogel se indican en el apéndice A, de acuerdo a las condiciones edafoclimáticas del C.I. La Suiza - Agrosavia.

La aplicación del hidrogel siguió el siguiente procedimiento: luego de tamizar el suelo con una malla zaranda de 5 mm, se adicionó el fertilizante de liberación lenta Basacote Plus - 6 M (16-8-12-5 / N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O-S) a razón de 2 gramos litro<sup>-1</sup> de suelo, posteriormente, todas las bolsas plásticas se llenaron hasta el 70% de su capacidad. El hidrogel se hidrató previamente por 72 horas en baldes de 12 litros a razón de 100 mL de agua por gramo (véase Apéndice B). De acuerdo a las dosis de hidrogel evaluadas en el experimento (0, 3, 6 y 9 g planta<sup>-1</sup>), se determinó en un recipiente plástico el volumen que representó cada dosis hidratada y se aplicó en cada plántula, la mitad del volumen en la base de la bolsa plástica y la otra mitad alrededor de la plántula, mezclándose con el suelo. El ahoyado en la bolsa se realizó con la ayuda del mismo tubete plástico (véase Apéndice B).

Antes de iniciar los tratamientos de regímenes hídricos se realizó una prueba de uniformidad en el sistema de riego por goteo, la cual arrojó 90% con un caudal de 1.2 L h<sup>-1</sup> a una presión de trabajo de 15 psi. Inicialmente, para garantizar una buena aclimatación de las plántulas, luego del trasplante y durante 40 días los tratamientos se mantuvieron a CC. Los regímenes hídricos, según láminas de riego a CC, fueron: R2= ausencia de riego, R3= 60% a CC y R4= 100% a CC. El tratamiento R1 correspondió a la ausencia de riego después de sólo una semana de aclimatación.

Para calcular la lámina de riego del respectivo régimen hídrico, se usó el valor de la CC del suelo que se determinó en el análisis del laboratorio (18%), profundidad de la bolsa plástica (20

cm), densidad aparente del suelo ( $1.2 \text{ g cm}^{-3}$ ), área de la bolsa plástica ( $[\pi * [7.5 \text{ cm}]^2] * 20 \text{ cm}$ ) y eficiencia del riego por goteo (0.9), de acuerdo a la siguiente formula:

$$Lr = CC * Pr * Da * A * Er$$

Donde, Lr: lámina de riego (mm), CC: capacidad de campo (% de humedad en peso), Pr: profundidad de la bolsa plástica (cm), Da: densidad aparente del suelo ( $\text{g cm}^{-3}$ ), A: área de la bolsa plástica, Er: eficiencia del sistema de riego por goteo (%).

El seguimiento y control de la pérdida de humedad del suelo se hizo semanalmente mediante la medición del contenido hídrico del suelo. Se pesaron dos plántulas por tratamiento con una balanza de precisión (0.01 kg) para determinar la lámina de riego requerida y de esta manera mantener los distintos niveles de CC. Esta fue aplicada dos veces a la semana (martes y sábado) en tres turnos por día (8:00, 11:00 y 16:00 h), mediante un controlador de riego automatizado.

### **3.4 Diseño experimental y variables evaluadas**

Se adoptó un diseño de bloques completos al azar en arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones de cinco plántulas, siendo la parcela principal correspondiente a los cuatro regímenes de riego y la subparcela a las cuatro dosis de hidrogel, como se representa en el siguiente esquema (véase Figura 4).

Se evaluaron características morfológicas de las plántulas, estado hídrico de las plántulas y suelo y síntomas de estrés hídrico a través de una escala visual desde el inicio del experimento hasta los 142 días después de trasplante (DDT), conforme lo siguiente:



El contenido volumétrico de agua del suelo (CVS) se midió con una sonda de humedad GS3 (Meter group) acoplada a un lector portátil (Procheck) en los primeros 10 cm de profundidad, para ello se seleccionaron tres plántulas al azar por bloque de cada tratamiento. Los síntomas de estrés hídrico se caracterizaron a través de una escala visual (véase Tabla 4). El porcentaje de sobrevivencia se registró como 1 para planta viva y como 0 para planta muerta; equivalente a un rango de 0 – 100 %.

Tabla 4. *Síntomas de estrés hídrico a través de una escala visual usada para plántulas de C. pyriformis*. Adaptada de: Engelbrecht, B. M. J., y Kursar, T. A. (2003). Comparative drought-resistance of seedlings of 28 species of co-occurring tropical woody plants. *Oecologia*, 136(3), 383-393.

Categoría		Descripción
0	Normal	Sin signos de estrés hídrico. Todas las hojas verdes y totalmente túrgidas.
1	Ligeramente marchita	Cambios leves en el ángulo de la hoja con respecto a la horizontal. Algunas hojas pierden turgidez, pero sin estar enrolladas o plegadas.
2	Marchita	Hojas comienzan a colgarse y han perdido turgidez. Áreas con necrosis muy limitadas. Angulo de la hoja cercano al 45° con respecto a la horizontal.
3	Severamente marchita	Hojas están colgadas. Inicio de la necrosis generalizada (áreas de color gris-verde a gris-marrón), siendo la mayoría localizada cerca a los márgenes o puntas de las hojas.
4	Casi muerta	Mayoría de las hojas están necróticas y su ángulo de inserción mayormente cerca de -90° con respecto a la horizontal. Algunas hojas jóvenes que están vivas continúan verdes cerca de la nervadura. Tallo vivo, que se distingue por su color y elasticidad.
5	Muerta (presumible)	Necrosis de todas las hojas y todas las partes de la plántula están sobre el suelo muertas (sin rebrotación después de dos semanas para confirmar)

Al finalizar la evaluación del experimento, se tomaron cuatro plántulas al azar por tratamiento que fueron retiradas de las bolsas plásticas y separadas con tijera de podar para determinar la masa seca de parte aérea (MSA) y masa seca de raíz (MSR). Se llevaron a un horno con ventilación

forzada por 72 horas a 65°C y con estos valores se determinó el índice de calidad de Dickson (Dickson, Leaf, y Hosner, 1960), conforme a la siguiente fórmula:

$$ICD = (MST) / ((AP / DC) + (MSA / MSR))$$

Donde, masa seca total (MST [g]), altura de la planta (AP [cm]), diámetro del cuello (DC [mm]), masa seca de parte aérea (MSA [g]) y masa seca de raíz (MSR [g]).

### **3.5 Procesamiento y análisis estadístico de los datos**

Inicialmente, se evaluó la normalidad y homogeneidad de los datos según la prueba de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente. Cuando se encontraron diferencias significativas en las variables a un nivel de  $p < 0.05$ , se realizó la comparación de medias por la prueba de Tukey ó mediante estadísticos no paramétricos con la prueba Kruskal-Wallis, si no se cumplieron los supuestos. Todos los análisis estadísticos se realizaron en el programa estadístico S.A.S versión 9.3.

## **4. Resultados**

### **4.1 Primera época de evaluación (39 días después del trasplante)**

No se encontraron diferencias significativas entre las dosis de hidrogel y su interacción con los regímenes hídricos, aunque esta última si presento efecto para algunas variables evaluadas. La media entre las dosis fue de 5.33 mm para el DC (valor  $p < 0.11$ ), 68.42 cm para la AP (valor  $p < 0.24$ ), 68.42% para el CRA (valor  $p < 0.52$ ), 13% para el CVS (valor  $p < 0.63$ ) y escala visual de 0.1 (valor  $p < 0.34$ ). Para esta época todos los tratamientos mostraron una sobrevivencia del 100%.

Tabla 5. Medias  $\pm$  desviación estándar para el diámetro de cuello (DC), altura de planta (AP), contenido relativo de agua (CRA), contenido volumétrico de agua del suelo (CVS), escala visual de estrés hídrico y sobrevivencia (S) en plántulas de *C. pyriformis* de acuerdo a los regímenes hídricos, transcurridos 39 días después del trasplante. C.I. La Suiza – Agrosavia.

Régimen hídrico*	DC (mm) <sup>A</sup>	AP (cm) <sup>A</sup>	CRA (%) <sup>A</sup>	CVS (%) <sup>B</sup>	Escala visual <sup>B</sup>	S (%) <sup>B</sup>
<b>R1</b>	5.44 $\pm$ 0.4	67.79 $\pm$ 2.2	82.16 $\pm$ 1.8	5.12 $\pm$ 0.43 c	0.26 $\pm$ 0.2 a	100 $\pm$ 0
<b>R2</b>	5.37 $\pm$ 0.3	69.74 $\pm$ 4.6	78.57 $\pm$ 2.5	15.22 $\pm$ 1.25 b	0.01 $\pm$ 0.02 c	100 $\pm$ 0
<b>R3</b>	5.28 $\pm$ 0.4	67.90 $\pm$ 3.6	78.69 $\pm$ 4.2	16.34 $\pm$ 2.46 b	0.05 $\pm$ 0.04 bc	100 $\pm$ 0
<b>R4</b>	5.24 $\pm$ 0.2	68.22 $\pm$ 2.6	77.34 $\pm$ 3.7	20.99 $\pm$ 1.72 a	0.19 $\pm$ 0.15 ab	100 $\pm$ 0
<b>CV (%)</b>	1.71	1.32	2.62	46.36	91.14	0
<b>ANOVA (valor p)</b>	0.4381	0.2659	0.3977	-	-	-
<b>NOP (valor p)</b>	-	-	-	<b>0.0001</b>	<b>0.0004</b>	-

Nota: Análisis de varianza (ANOVA) o análisis no paramétrico (NOP). Variable analizada con estadístico paramétrico<sup>A</sup> o no paramétrico<sup>B</sup>. Letras diferentes en la columna indican diferencias significativas entre sí de acuerdo a la prueba de Tukey (ANOVA) o Kruskal-Wallis (NOP) para  $p < 0.05$ . \* R1= ausencia de riego luego de 8 días con 100% a CC; R2= ausencia de riego luego de 40 días con 100% a CC; R3= 60% a CC y R4= 100% a CC. Escala visual de estrés hídrico con 0= normal; 1= ligeramente marchita; 2= marchita; 3= severamente= marchita; 4= casi muerta y 5= muerta.

La escala visual tuvo diferencias con respecto a los regímenes hídricos, sin embargo, no son claras las relaciones entre los tratamientos pues en esta época aún se estaba adaptando la escala por el observador (véase Tabla 5). Los regímenes de riego marcaron diferencias en el CVS, se separaron en 3 grupos, siendo mayor R4 (21%), seguido R2 y R3 (15%) y como menor el R1 (5%). No hubo diferencias para las otras variables.

#### 4.2 Segunda época de evaluación (81 días después del trasplante)

Aunque los datos aparentan mayor variabilidad para esta época ninguna de las variables mostró diferencias significativas para las dosis de hidrogel y su interacción con los regímenes hídricos. Los valores medios entre las dosis para el DC fue de 6.61 mm (valor  $p < 0.18$ ), 81.35 cm para la AP (valor  $p < 0.26$ ), 75.9% para el CRA (valor  $p < 0.31$ ), 7.27% para el CVS (valor  $p < 0.76$ ), 0.78

para la escala visual (valor  $p < 0.78$ ). Para esta época todos los tratamientos continuaban con 100% de sobrevivencia.

Tabla 6. Medias  $\pm$  desviación estándar para el diámetro de cuello (DC), altura de planta (AP), contenido relativo de agua (CRA), contenido volumétrico de agua del suelo (CVS), escala visual de estrés hídrico y sobrevivencia (S) en plántulas de *C. pyriformis*, de acuerdo a los regímenes hídricos, transcurridos 81 días después del trasplante. C.I. La Suiza – Agrosavia.

Régimen hídrico*	DC (mm) <sup>A</sup>	AP (cm) <sup>B</sup>	CRA (%) <sup>A</sup>	CVS (%) <sup>B</sup>	Escala visual <sup>B</sup>	S (%) <sup>B</sup>
<b>R1</b>	5.73 $\pm$ 0.3 b	70.30 $\pm$ 2.8 b	70.2 $\pm$ 1.7 b	2.22 $\pm$ 0.17 c	1.83 $\pm$ 0.12 a	100 $\pm$ 0
<b>R2</b>	6.89 $\pm$ 0.6 a	85.78 $\pm$ 6.5 a	80.6 $\pm$ 4.9 a	4.59 $\pm$ 1.35 b	0.98 $\pm$ 0.07 b	100 $\pm$ 0
<b>R3</b>	6.84 $\pm$ 0.5 a	83.60 $\pm$ 4.3 a	79.9 $\pm$ 2.2 a	8.93 $\pm$ 1.26 a	0.12 $\pm$ 0.06 c	100 $\pm$ 0
<b>R4</b>	6.98 $\pm$ 0.3 a	85.72 $\pm$ 3.6 a	72.9 $\pm$ 1.6 bc	13.4 $\pm$ 1.20 a	0.19 $\pm$ 0.21 c	100 $\pm$ 0
<b>CV (%)</b>	8.95	9.14	6.78	67.49	102.95	0
<b>ANOVA (valor p)</b>	0.0003	-	0.0001	-	-	-
<b>NOP (valor p)</b>	-	0.0001	-	0.0001	0.0001	-

Nota: Análisis de varianza (ANOVA) o análisis no paramétrico (NOP). Variable analizada con estadístico paramétrico<sup>A</sup> o no paramétrico<sup>B</sup>. Letras diferentes en la columna indican diferencias significativas entre sí de acuerdo a la prueba de Tukey (ANOVA) o Kruskal-Wallis (NOP) para  $p < 0.05$ . \* R1= ausencia de riego luego de 8 días con 100% a CC; R2= ausencia de riego luego de 40 días con 100% a CC; R3= 60% a CC y R4= 100% a CC. Escala visual de estrés hídrico con 0= normal; 1= ligeramente marchita; 2= marchita; 3= severamente= marchita; 4= casi muerta y 5= muerta.

El CRA demostró diferencias en los regímenes hídricos marcando la deficiencia de agua en R1 (70.2%); se observó que R2 coincidió con R3, con media de 80% (véase Tabla 6). Las variables de crecimiento (DC y AP) se comportaron de manera idéntica, R1 (5.73 mm y 70.30 cm) menor que los tres regímenes restantes (media de 6.8 mm y 84 cm). En CVS y la escala visual de estrés hídrico su comportamiento fue similar, R3 - R4 diferente (0.12 a 0.19) de R1 (1.83) y estos a su vez de R2.

### 4.3 Tercera época de evaluación (123 días después del trasplante)

Se marcaron diferencias en DC con respecto a las dosis de hidrogel, aumentando 0.4 mm con el uso de 6 g plántula<sup>-1</sup> y 0.6 mm cuando se aplicó 9 g plántula<sup>-1</sup> con respecto al tratamiento testigo, no obstante, solo fue significativo con la mayor dosis (véase Tabla 7). Las demás variables no mostraron diferencias. No hubo interacción entre los factores evaluados.

Tabla 7. Medias  $\pm$  desviación estándar para el diámetro de cuello (DC), altura de planta (AP), contenido volumétrico de agua del suelo (CVS) y escala visual de estrés hídrico en plántulas de *C. pyriformis*, de acuerdo a la aplicación de dosis de hidrogel, transcurridos 123 días después del trasplante. C.I. La Suiza – Agrosavia.

Dosis de hidrogel (g plántula <sup>-1</sup> )	DC (mm) <sup>A</sup>	AP (cm) <sup>B</sup>	CVS (%) <sup>B</sup>	Escala visual <sup>B</sup>
0	6.67 $\pm$ 1.11 b	82.17 $\pm$ 10.8	7.7 $\pm$ 7.12	1.98 $\pm$ 2.32
3	6.69 $\pm$ 1.27 b	86.15 $\pm$ 11.38	8.68 $\pm$ 8.51	1.84 $\pm$ 2.13
6	7.07 $\pm$ 1.20 ab	86.39 $\pm$ 10.46	8.39 $\pm$ 8.30	1.78 $\pm$ 2.07
9	7.25 $\pm$ 1.31 a	88.47 $\pm$ 12.51	8.58 $\pm$ 8.17	1.75 $\pm$ 2.02
CV (%)	4.16	3.07	5.27	59.81
ANOVA (valor p)	-	-	-	-
NOP (valor p)	0.0049	0.6503	0.9945	0.9413

Nota: Análisis de varianza (ANOVA) o análisis no paramétrico (NOP). Variable analizada con estadístico paramétrico<sup>A</sup> o no paramétrico<sup>B</sup>. Letras diferentes en la columna indican diferencias significativas entre sí de acuerdo a la prueba de Tukey (ANOVA) o Kruskal-Wallis (NOP) para  $p < 0.05$ . \* R1= ausencia de riego luego de 8 días con 100% a CC; R2= ausencia de riego luego de 40 días con 100% a CC; R3= 60% a CC y R4= 100% a CC. Escala visual de estrés hídrico con 0= normal; 1= ligeramente marchita; 2= marchita; 3= severamente= marchita; 4= casi muerta y 5= muerta.

Todas las variables evaluadas mostraron diferencias con respecto a los regímenes hídricos (véase Tabla 8). Además de los dos grupos identificados en la época anterior con las variables DC y AP, donde se reconocía únicamente a R1 diferente de los demás, en esta época también se diferenció a R2. Las diferencias encontradas con la escala de síntomas visuales evidenciaron dos grupos, R1 igual a R2 y R3 igual a R4.

Tabla 8. *Medias ± desviación estándar para el diámetro de cuello (DC), altura de planta (AP), contenido volumétrico de agua del suelo (CVS) y escala visual de estrés hídrico en plántulas de C. pyriformis, de acuerdo a los regímenes hídricos, transcurridos 123 días después del trasplante. C.I. La Suiza – Agrosavia.*

Régimen hídrico*	DC (mm) <sup>A</sup>	AP (cm) <sup>B</sup>	CVS (%) <sup>B</sup>	Escala visual <sup>B</sup>
<b>R1</b>	5.56±0.33 c	70.90±2.32 c	1.61±0.07 b	3.93±0.36 a
<b>R2</b>	6.27±0.68 b	86.15±8.25 b	1.81±0.09 b	3.42±0.11 a
<b>R3</b>	7.70±0.66 a	89.99±5.81 ab	12.12±1.15 a	0.00±0 b
<b>R4</b>	8.16±0.69 a	96.15±7.03 a	17.82±5.77 a	0.00±0 b
<b>CV (%)</b>	17.52	12.53	95.98	116.03
<b>ANOVA (valor p)</b>	-	-	-	-
<b>NOP (valor p)</b>	0.0006	0.0001	0.0001	0.0001

*Nota:* Análisis de varianza (ANOVA) o análisis no paramétrico (NOP). Variable analizada con estadístico paramétrico<sup>A</sup> o no paramétrico<sup>B</sup>. Letras diferentes en la columna indican diferencias significativas entre sí de acuerdo a la prueba de Tukey (ANOVA) o Kruskal-Wallis (NOP) para  $p < 0.05$ . \* R1= ausencia de riego luego de 8 días con 100% a CC; R2= ausencia de riego luego de 40 días con 100% a CC; R3= 60% a CC y R4= 100% a CC. Escala visual de estrés hídrico con 0= normal; 1= ligeramente marchita; 2= marchita; 3= severamente= marchita; 4= casi muerta y 5= muerta.

Después de cuatro meses desde el trasplante se comprobó la interacción entre los factores para la sobrevivencia (véase Tabla 9). Sin embargo, únicamente en el régimen hídrico R1 fue significativo, siendo superior la dosis de 9 g plántula<sup>-1</sup> (93%) pero sin diferencia con 6 g plántula<sup>-1</sup> (80%); este último tratamiento no fue diferente con el tratamiento testigo ni con el tratamiento de 3 g plántula<sup>-1</sup>.

Tabla 9. *Medias para la sobrevivencia (%) de plántulas de C. pyriformis según interacción entre regímenes hídricos y dosis de hidrogel, transcurridos 123 días después del trasplante. C.I La Suiza – Agrosavia.*

Régimen hídrico*															
R1				R2				R3				R4			
Dosis de hidrogel g plántula <sup>-1</sup>															
0	3	6	9	0	3	6	9	0	3	6	9	0	3	6	9
53	49	80	93	87	87	87	93	100	100	100	100	100	100	100	100
A	a	ab	B	a	a	a	A	a	a	a	a	a	a	a	a

ANOVA  $p = 0.013$

*Nota:* Letras diferentes indican diferencias significativas entre sí de acuerdo a la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ). \*R1= ausencia de riego luego de 8 días con 100% a CC; R2= ausencia de riego luego de 40 días con 100% a CC; R3= 60% a CC y R4= 100% a CC.

#### 4.4 Cuarta época de evaluación (142 días después del trasplante)

En la última época de evaluación no se comprobó influencia del hidrogel ni interacción entre los factores. Las medias entre las dosis para la AP fue de 88.14 cm (valor  $p < 0.07$ ), 7.38 mm para el DC (valor  $p < 0.73$ ), 2.29 para la escala visual (valor  $p < 0.88$ ), 8.34% para el CVS (valor  $p < 0.92$ ) y 71% para la sobrevivencia (valor  $p < 0.77$ ).

Tabla 10. Medias  $\pm$  desviación estándar para el diámetro de cuello (DC), altura de planta (AP), contenido relativo de agua (CRA), escala visual de estrés hídrico y sobrevivencia (S) en plántulas de *C. pyriformis* de acuerdo a los regímenes hídricos, transcurridos 142 días después del trasplante. C.I. La Suiza – Agrosavia.

Régimen hídrico*	DC (mm) <sup>B</sup>	AP (cm) <sup>A</sup>	CRA (%) <sup>A</sup>	CVS (%) <sup>B</sup>	Escala visual <sup>B</sup>	S (%) <sup>B</sup>
R1	5.45 $\pm$ 0.31 b	71.08 $\pm$ 2.30 d	**	1.47 $\pm$ 0.19 b	4.52 $\pm$ 0.25 a	40 $\pm$ 19.6 b
R2	6.36 $\pm$ 0.62 b	86.7 $\pm$ 8.17 c	**	1.75 $\pm$ 0.26 b	4.39 $\pm$ 0.17 b	45.8 $\pm$ 13.9 b
R3	8.45 $\pm$ 0.70 a	87.06 $\pm$ 6.94 b	81.1 $\pm$ 1.4 b	13.29 $\pm$ 0.46 a	0.15 $\pm$ 0.06 c	100 $\pm$ 0.0 a
R4	9.11 $\pm$ 0.66 a	101.03 $\pm$ 9.1 a	85.3 $\pm$ 1.6 a	15.07 $\pm$ 3.55 a	0.10 $\pm$ 0.04 c	100 $\pm$ 0.0 a
CV (%)	23.45	14.15	9.04	92.41	102.95	3.81
ANOVA (valor p)	-	0.0015	0.0027	-	-	-
NOP (valor p)	0.0001	-	-	0.0001	0.0001	0.0001

Nota: \*\*Material vegetal insuficiente. Análisis de varianza (ANOVA) o análisis no paramétrico (NOP). Variable analizada con estadístico paramétrico<sup>A</sup> o no paramétrico<sup>B</sup>. Letras diferentes en la columna indican diferencias significativas entre sí de acuerdo a la prueba de Tukey (ANOVA) o Kruskal-Wallis (NOP) para  $p < 0.05$ . \* R1= ausencia de riego luego de 8 días con 100% a CC; R2= ausencia de riego luego de 40 días con 100% a CC; R3= 60% a CC y R4= 100% a CC. Escala visual de estrés hídrico con 0= normal; 1= ligeramente marchita; 2= marchita; 3= severamente= marchita; 4= casi muerta y 5= muerta.

No se pudo realizar el cálculo de CRA para los tratamientos de régimen hídrico R1 y R2 debido a la necrosis avanzada en el que se encontraban las plántulas (véase Tabla 10), así fueron descartados en los análisis. El régimen R4 fue superior (85%) con respecto a R3 (81%). Se identificaron dos grupos bien definidos para CVS, entre los tratamientos R1 igual a R2, y R3 igual a R4. DC presentó dos grupos, separando los tratamientos con ausencia de riego de los irrigados (las menores medidas en R1 y R2 y las mayores en el grupo de R3 y R4); mientras que AP mostró diferencias en los cuatro tratamientos. De acuerdo a la escala visual se reconocieron tres grupos,

el primero con los puntajes más altos fue R1, el siguiente en orden descendente fue R2 y el tercero correspondió a R3 y R4=cero.

#### 4.5 Masa seca de parte aérea y masa seca de raíz e índice de calidad de Dickson

No se encontraron diferencias entre las medias de MSR, MSA e ICD de acuerdo a dosis de hidrogel o su interacción con el factor régimen hídrico. Las medias entre las dosis para la MSR fue de 4.34 g  $\text{plántula}^{-1}$  (valor  $p < 0.52$ ), 12.0 g  $\text{plántula}^{-1}$  para la MSA (valor  $p < 0.92$ ) y 4.01 para el ICD (valor  $p < 0.90$ ).

El régimen hídrico determinó diferencias en MSR, MSA e ICD, dividiendo los tratamientos en los mismos tres grupos bien definidos para las tres variables, como son: R1 diferente de R2 y por último R3 igual con R4. El mayor incremento entre R1 y R4 se expresó en MSA (12.92 g de diferencia); el incremento en MSR e ICD entre R1 y R4 fue menor (2.9 g de diferencia en MSR y 2.9 puntos de diferencia en ICD) (véase Tabla 11).

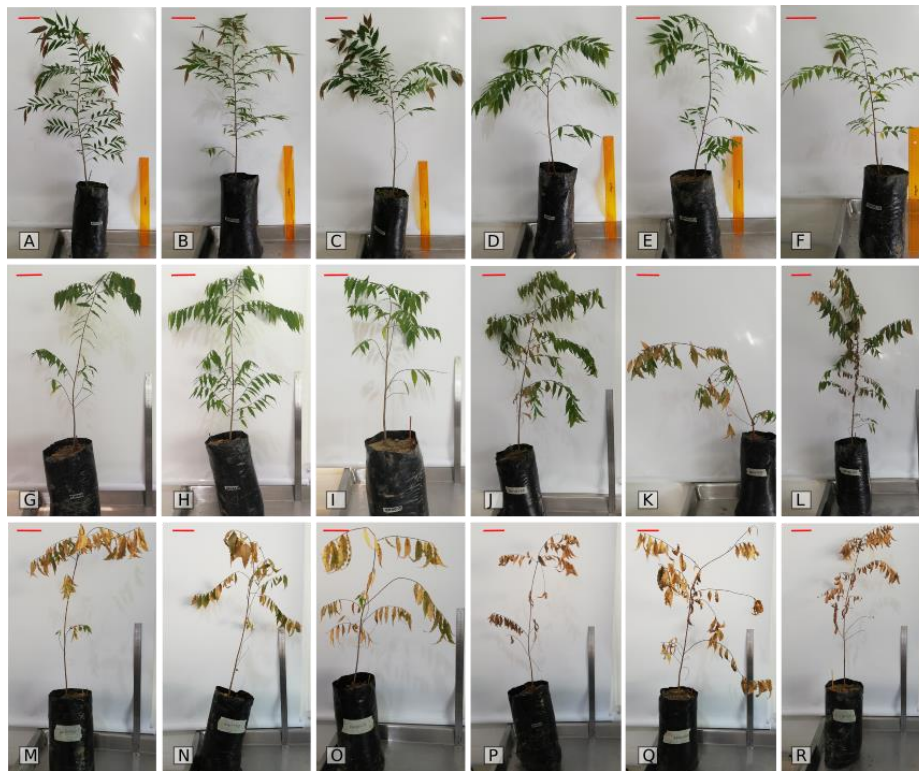
Tabla 11. Medias  $\pm$  desviación estándar de la masa seca de raíz (MSR), masa seca de parte aérea (MSA) e índice de calidad de Dickson (ICD) en plántulas de *C. pyriformis*, de acuerdo a regímenes hídricos, transcurridos 142 días después del trasplante. C.I. La Suiza – Agrosavia.

Régimen hídrico*	MSR (g $\text{plántula}^{-1}$ ) <sup>A</sup>	MSA (g $\text{plántula}^{-1}$ ) <sup>B</sup>	ICD <sup>B</sup>
<b>R1</b>	2.85 $\pm$ 0.40 c	4.7 $\pm$ 0.29 c	2.26 $\pm$ 0.21 c
<b>R2</b>	3.63 $\pm$ 0.47 b	7.54 $\pm$ 1.15 b	2.92 $\pm$ 0.35 b
<b>R3</b>	5.26 $\pm$ 0.93 a	17.48 $\pm$ 4.20 a	6.32 $\pm$ 1.25 a
<b>R4</b>	5.73 $\pm$ 0.87 a	17.62 $\pm$ 3.74 a	5.2 $\pm$ 0.82 a
CV (%)	31	56.6	45.73
<b>ANOVA valor p)</b>	<b>0.0004</b>	-	-
<b>NOP (valor p)</b>	-	<b>0.0001</b>	<b>0.0001</b>

Nota: Análisis de varianza (ANOVA) o análisis no paramétrico (NOP). Variable analizada con estadístico paramétrico<sup>A</sup> o no paramétrico<sup>B</sup>. Letras diferentes en la columna indican diferencias significativas entre sí de acuerdo a la prueba de Tukey (ANOVA) o Kruskal-Wallis (NOP) para  $p < 0.05$ . \* R1= ausencia de riego luego de 8 días con 100% a CC; R2= ausencia de riego luego de 40 días con 100% a CC; R3= 60% a CC y R4= 100% a CC.

#### 4.6 Síntomas de estrés hídrico a través de una escala visual

La Figura 5 muestra las diferentes categorías en las que fueron clasificadas las plántulas de acuerdo al estado de marchitez en el que se encontraron. La Figura 6 muestra en detalle los síntomas sobresalientes de los estados de marchitez de las plántulas relacionados con el tallo y las hojas con los cuales se identificaron. En la Figura 6B se detalla la categoría 1 con el cambio en el ángulo de las ramas con respecto a la horizontal más que de las hojas. Para identificar la categoría 2 se reconoció un ángulo cercano al  $-45^\circ$  con respecto a la horizontal en las hojas del tallo principal, debido a la arquitectura del abarco es más práctico (véase Figura 6C); también es posible verlo en el resto de las hojas desde otro ángulo de visión.



*Figura 5.* Plántulas de *C. pyriformis* clasificadas según escala visual de estrés hídrico. 0= normal (A, B, C); 1= ligeramente marchita (D, E, F); 2= marchita (G, H, I); 3= severamente marchita (J, K, L); 4= casi muerta (M, N, O); 5= muerta (P, Q, R). Barra de escala: 10 cm.

La categoría 3 fue fácil al reconocer en las plántulas severamente marchitas pues tal como se describe en la escala, se inicia la necrosis generalizada y esto se nota en el cambio de color verde a tonos amarillentos y marrones (véase Figura 6D). En la determinación de la categoría 4 fue clave el ángulo de inserción de las hojas, cercano a  $-90^\circ$ , y el color verde oliva de las hojas que podrían estar vivas. La última categoría que describe la marchitez en su máximo nivel, es decir, plántulas muertas, se muestra en la Figura 6F, donde además de la necrosis de todas las hojas, la flexibilidad del tallo es importante para su determinación.



*Figura 6.* Síntomas de estrés hídrico a través de una escala visual en plántulas de *C. pyriformis*. 0= normal (A); 1= ligeramente marchita (B); 2= marchita (C); 3= severamente marchita (D); 4= casi muerta (E) y 5= muerta (F).

Los valores promedio de cada una de las categorías de la escala se muestran en la Figura 7 y la Figura 8. La Figura 7 permitió ver el cambio entre las tres categorías iniciales de la escala, sin embargo, la desviación estándar fue muy alta entre sus medias, tal como se aprecia a los 142 DDT en la Tabla 5, debido a esto no se pudo analizar a fondo la escala. Los regímenes hídricos en cambio permitieron reconocer las 5 categorías de la escala y las plántulas de R3 y R4 no mostraron signos de marchitez durante el ensayo completo. R1 por un lado, fue el tratamiento en el que se logró caracterizar las 5 categorías con una duración determinada siendo más extensa en las primeras tres categorías y la mitad de duración en las últimas dos categorías con respecto a las primeras. El inicio de la mortalidad de las plántulas (categoría 4=casi muerta) inicio a los 130 DDT. Por otro lado, llama la atención la corta duración de la categoría 1 a 2 en R2 (sólo una semana), comparada con las 3 semanas que presentó R1. A partir de los 95 DDT, los regímenes R1 y R2 mostraron síntomas de estrés hídricos similares durante casi el mismo tiempo, no obstante, R1 finalizó con un puntaje mayor (4.52) a R2 (4.39) (véase Figura 8).

		Días después del trasplante														
Dosis g plántula <sup>-1</sup>	32	39	46	53	60	67	74	81	88	95	102	109	116	123	130	142
0	0.23	0.24	0.29	0.34	0.40	0.52	0.88	0.90	0.92	1.13	1.32	1.65	1.68	1.98	2.32	2.40
3	0.10	0.09	0.16	0.27	0.30	0.33	0.91	0.77	0.94	1.13	1.17	1.53	1.62	1.84	2.23	2.32
6	0.10	0.12	0.25	0.23	0.25	0.43	0.84	0.72	0.90	1.17	1.23	1.55	1.50	1.78	2.15	2.25
9	0.10	0.06	0.17	0.17	0.17	0.33	0.67	0.73	0.93	1.07	1.10	1.37	1.42	1.75	2.12	2.20






Categorías según escala visual: 0  1  2  3  4  5 

Figura 7. Síntomas de estrés hídrico a través de una escala visual de estrés hídrico en plántulas de *C. pyriformis* según las dosis de hidrogel, evaluadas desde el trasplante hasta 142 días después.

Régimen hídrico*	Días después del trasplante															
	32	39	46	53	60	67	74	81	88	95	102	109	116	123	130	142
R1	0.24	0.26	0.49	0.82	1.02	1.45	1.63	1.83	2.08	2.23	2.45	2.90	3.13	3.93	4.18	4.52
R2	0.04	0.01	0.14	0.03	0.02	0.05	0.88	0.98	1.54	2.02	2.23	2.61	2.85	3.42	4.05	4.39
R3	0.10	0.05	0.14	0.04	0.00	0.03	0.55	0.12	0.05	0.19	0.13	0.48	0.17	0.00	0.38	0.15
R4	0.16	0.19	0.10	0.11	0.07	0.08	0.24	0.19	0.02	0.07	0.00	0.10	0.07	0.00	0.19	0.10







Categorías según escala visual: 0  1  2  3  4  5 

Figura 8. Síntomas de estrés hídrico a través de una escala visual de estrés hídrico en plántulas de *C. pyriformis* según los regímenes hídricos, evaluados desde el trasplante hasta 142 días después. \* R1= ausencia de riego luego de 8 días con 100% a CC; R2= ausencia de riego luego de 40 días con 100% a CC; R3= 60% a CC y R4= 100% a CC.

## 5. Discusión

### 5.1 Contenido relativo de agua de las hojas y contenido volumétrico de agua del suelo

Hacia la mitad del ensayo (81 DDT) hubo diferencias entre regímenes hídricos para el CRA, donde R1 disminuyó en un 10% comparado con los demás tratamientos, es decir, el abarco pudo mantenerse en esos valores hasta por 80 días sin riego. Llama la atención R1 a los 39 DDT y R2 a los 81 DDT los cuales presentaron un CRA por encima de 80%, siendo R2 igual que R3 a los 81 DDT, estos resultados se asemejan a lo encontrado por Peña-Rojas y colaboradores (2018), quienes sometieron plantas de *Lithraea caustica* Hook. et Arn., a estrés hídrico severo (20%) y moderado (30%) versus tratamiento control (100% CC), encontrando a los 82 días un contenido hídrico relativo similar entre los tres tratamientos hídricos (85.4%), un aumento de biomasa radicular y disminución del crecimiento foliar debido a la disminución de los procesos fotosintéticos y la actividad estomática. Los autores concluyeron que la especie presenta alta tolerancia a la restricción hídrica mediante su mecanismo de ajuste osmótico que permite un contenido hídrico relativo foliar mayor al 80%.

Considerando lo anterior, además de deberse quizás a algún mecanismo de compensación al déficit hídrico presente en el abarco, implicaría que se puede considerar una menor frecuencia de riego porque se está garantizando la hidratación adecuada de la planta con una cantidad de agua al 60% de la CC, evitando su desaprovechamiento y los consecuentes sobrecostos. Tal como la especie *Pinus oaxacana* Mirov, toleró una reducción hídrica del 50% en el suelo sin presentar menor regeneración del sistema radicular (Ávila-Angulo et al., 2017). Este comportamiento de demanda hídrica podría concordar con la distribución natural del abarco en lugares con regímenes de precipitaciones bimodal y cuasibimodal, aunque esto no se haya comprobado aún para esta especie, existen estudios que han encontrado cierta la hipótesis de distribución particular acorde a características funcionales de las plantas evaluadas (Engelbrecht et al., 2007; Kursar et al., 2009; Lozanovska, Ferreira, y Aguiar, 2018).

Hasta los 81 DDT cuando el CVS estuvo por encima de 2% en R1 y R2, el CRA fue un excelente método para conocer del estatus hídrico de las hojas; como indicador práctico, barato y estable (Villalobos, Umaña, y Sterling, 1990, Slot y Poorter, 2007), sin embargo, al ser un método destructivo (Ihuoma y Madramootoo, 2017), no es recomendable para este tipo de ensayos en donde se evalúan tratamientos extremos de sequía, pues es posible no encontrar material con el cual se pueda calcular. Otros métodos para medir el contenido relativo de agua, como por ejemplo el psicrómetro o mediante escalas visuales, son preferibles ante escenarios de restricción hídrica severa (Tyree, Vargas, Engelbrecht, y Kursar, 2002; Kursar et al., 2009; Peña-Rojas et al., 2018).

CVS determinado con la sonda GS3 también demostró ser un método práctico, rápido y eficiente para conocer el estatus hídrico del suelo en condiciones de vivero, como se muestra en la Tabla 5 a los 39 DDT, cuando presentó diferencias entre regímenes hídricos. R1 al ser regado por 8 días al inicio del trasplante, disminuyó y paulatinamente se mantuvo con los valores más

bajos a los 39 y 81 DDT, mientras a los 123 y 142 DDT fue igual a R2: 5.12, 2.22, 1.61 y 1.47 %. En contraste, R4 siempre presentó el mayor valor: 20.9, 13.4, 17.82 y 15.07 %. El riego aplicado a R2, se evidenció claramente a lo largo del experimento, siendo similar a R3 en la primera época de evaluación (39 DDT), mientras en la siguiente (81 DDT) se diferenció de R1 y de R3 y R4, como era de esperarse pues había cesado el riego.

## 5.2 Altura de planta y diámetro de cuello

La AP aumentó progresivamente durante la ejecución del ensayo, sin evidenciar diferencias significativas entre los tratamientos de dosis de hidrogel contrario a lo encontrado en plántulas de *P. patula* las cuales aumentaron 4 a 5 cm su altura con la aplicación de hidrogel, tanto al inicio como al final de una temporada seca (Mudhanganyi et al., 2018). También, ocurrió en plántulas de *Handroanthus ochraceus* (Cham.) Mattos., las cuales fueron más altas con 3 g de hidrogel a los 160 días después de la implantación del experimento (Mews, De Sousa, De Oliveira Sousa Azevedo, y Souza, 2015).

Con respecto a los regímenes hídricos evaluados, la AP fue incrementando en los tratamientos con mayor disponibilidad de agua (R3 y R4), aumento que evidencia un crecimiento normal de las plántulas. Como ha sido reportado en los diferentes estudios, la altura es una característica que evidencia el déficit hídrico (Taiz et al., 2009). Por ejemplo, la correlación directa y positiva de la altura con respecto al nivel de humedad del suelo y al potencial hídrico de las plantas de *Capsicum chinense* Jacq. (May-Lara, Pérez-Gutiérrez, Ruiz-Sánchez, Ic-Caamal, y García-Ramírez, 2011).

Hasta los 81 DDT se vieron los efectos del estrés hídrico en el crecimiento más lento de plántulas del régimen hídrico R1, tanto en DC como AP; este comportamiento refleja de alguna manera, funciones fisiológicas alteradas como pueden ser el funcionamiento de la pared celular

(Gall et al., 2015) y la cavitación del xilema inducida por la sequía; los cuales están relacionados con la estructura del tallo y llegan a ser características clave en el entendimiento de las estrategias de las plantas maderables para sobrevivir al estrés hídrico (Pivovarov et al., 2016).

En los tratamientos R2, R3 y R4, el DC y la AP aumentaron paulatinamente luego de 81 DDT, con evidentes diferencias. Posteriormente, empezó a disminuir el grosor del tallo de las plántulas de R1 y R2 lo cual podría ser explicado por la pérdida de turgencia de las células como estrategia ante el déficit hídrico y finalizando con el inicio de la necrosis de los tejidos. Estos resultados concuerdan con lo que afirman Guo y colaboradores (2015) referente al decrecimiento del diámetro de tallo, altura y número de hojas en *Prunus mongolica* Maxim. debido al estrés hídrico de las plántulas.

DC evidenció diferencias en los tratamientos de dosis de hidrogel a los 123 DDT, provocando los mayores DC con 6 y 9 g  $\text{plantula}^{-1}$ , sin embargo, el tratamiento diferente es 9 g  $\text{plantula}^{-1}$ , por tanto, se recomienda en abarco el uso de 9 g  $\text{plantula}^{-1}$  para producir plántulas con tallos más gruesos, aumentando la capacidad de soporte y haces vasculares mejor desarrollados (Ávila-Angulo et al., 2017).

### **5.3 Masa seca de parte aérea, masa seca de raíz e índice de calidad de Dickson**

Como se mencionó anteriormente, tanto MSR, MSA e ICD coincidieron en las relaciones que se formaron por los diferentes regímenes hídricos, es decir, se formaron los mismos grupos en los cuatro tratamientos. Contrario a los hallazgos de otros estudios, la MSR se vio influenciada negativamente por el estrés hídrico (Eziz et al., 2017); esto podría ser explicado parcialmente por un mecanismo de respuesta distinto, en el que se implicaría más los procesos fisiológicos del abarco que su morfología. Lo anterior fue comprobado con las especie hermanas *Cariniana*.

*estrellensis* (Raddi) Kuntze y *Cariniana ianeirensis* R.Knuth (Gaburro, Zanetti, Gama, Dias Milanez, y Faustini Cuzzuol, 2014; Slot y Poorter, 2007). En especies de bosques húmedos Markesteijn y Poorter (2009) encontraron menor cantidad de biomasa radicular frente aquellas de bosque seco. Nuestros resultados coinciden con lo encontrado para plantas de peumo (*Cryptocarya alba* Mol. Looser), que no modificaron su biomasa raíz a diferencia de plantas de quillay (*Quillaja saponaria* Mol.) en las cuales si aumentó, por lo que hubo cambios en la relación biomasa aérea/biomasa radical (Donoso, Peña, Pacheco, Luna, y Aguirre, 2011).

La MSA se comportó de acuerdo a lo encontrado por otros autores, reduciéndose en mayor medida en aquellas plántulas sometidas a estrés severo (R1 y R2) hasta la necrosis, lo cual refiere una estrategia de adaptación morfológica, ya que al reducirse la superficie de transpiración se evita la pérdida de agua a través de las hojas (estomas) (Pallardy, 2008); entre otras razones en las que están directamente involucradas las hojas, y que han sido reportadas: la disminución de actividad relacionada con el crecimiento celular, síntesis de proteínas, síntesis de clorofila, acumulación de ácido abscísico (ABA), acumulación de prolina y acumulación de azúcares (Hsiao, 1973).

De acuerdo a lo anterior y según la producción de MSA y MSR, las plántulas regadas con 60 y 100 % CC presentaron los valores más altos sin diferir entre estos dos regímenes, por tanto, se recomienda el uso del 60 % CC, con el fin de evitar sobrecostos y reducir el consumo de agua.

En el presente estudio se evidenció mayores valores de ICD en plántulas con mayor disponibilidad hídrica, lo cual se relaciona con plántulas de mayor vigor, al presentar características de soporte y adaptación con las que mejora su probabilidad de sobrevivencia. En *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. Ex Steud, considerada una especie intolerante al estrés hídrico por exceso de agua, también presentó valores de ICD alto cuando se aplicaron láminas de riego más altas (Brucker Kelling, Machado Araujo, Benítez León, Carpenedo Aimi, y Turchetto, 2017).

El hidrogel no afectó el ICD de las plántulas de abarco y diverge con lo encontrado por Mews y colaboradores (2015) quienes encontraron plántulas de *H. ochraceus* con mejores características en el ICD (1.34) cuando aplicaron 1 g de hidrogel combinado con 2 g de fertilizante nitrogenado. El ICD también fue superior en plántulas de *E. dunnii* con dosis de hidrorretenedor a 3.3 g L<sup>-1</sup> de sustrato (Navroski et al., 2015).

#### **5.4 Sobrevivencia y síntomas de estrés hídrico a través de una escala visual**

Siguiendo la propuesta de escala de Tyree, Engelbrecht, y Kursar (2003) mediante la evaluación de propiedades de tolerancia a la desecación y su relación con la sobrevivencia en campo para cinco especies tropicales (*Virola surinamensis* (Rol.) Warb., *Calophyllum longifolium* L., *Ouratea lucens* (Kunth) Engl., *Dipteryx panamensis* (Pittier) Record y Mell, y *Licania platypus* (Hemsl.) Fritsch); fueron identificadas en el presente estudio las cinco categorías que los autores reconocieron tanto en las plantas que evaluaron en vivero como en campo. Además de la categoría cero añadida por Engelbrecht y Kursar (2003) quienes comprobaron la robustez de la escala mediante la evaluación de 28 especies de plantas leñosas tropicales.

Las dosis de hidrogel evaluadas no provocaron diferenciación en la aparición de los síntomas de estrés hídrico como se observa en la Figura 7. Las categorías según escala entre 0 y 1 se pudieron identificar hasta después de los 80 DDT. Las aplicaciones de riego afectaron positivamente la sobrevivencia de las plántulas de abarco, esto se evidenció en la categoría 0 de los tratamientos a 60% y 100% CC, es decir, se encontró 100% de sobrevivencia de las plántulas en ambos regímenes. Regímenes R1 y R2 presentaron una tasa de sobrevivencia diferencial. Algunas categorías presentaron una duración más corta (1 y 3) que otras (0, 2 y 4) teniendo en cuenta los diferentes regímenes que se les aplicó.

Esta escala de marchitez se ha implementado como monitoreo de estrés hídrico junto con pruebas de tipo cuantitativo más específicas, por ejemplo, el uso de batería de tensiómetros en el suelo, que confirmaron su efectividad (Tyree et al., 2002). De manera similar, a pesar de no evaluarse si existía una correlación significativa entre las variables de escala visual y CVS, se pudo evidenciar que a mayores niveles de humedad significó menores puntajes en la escala visual. De igual manera, valores CVS menores a 5% en suelo franco-arenoso estaría indicando que las plántulas de abarco se acercan a un nivel crítico de estrés hídrico. En otros estudios se propone la escala como herramienta prometedora para evaluar la capacidad fotosintética (Slot y Poorter, 2007), sin embargo, nuevos estudios de la especie deberán abordar esos aspectos.

Considerando el costo de las resiembras por material vegetal para establecer una plantación de abarco de una hectárea y densidad de 3 m x 3 m (Véase apéndice A), sería más económico aplicar 9 g plántula<sup>-1</sup>. Luego de cuatro meses con una sobrevivencia del 53% sin la aplicación de hidrogel, el valor adicional para retornar al 100% sería de \$954.000 (477 plántulas x \$2.000 cada una), mientras la aplicación de esa dosis al inicio representaría \$396.000 con una sobrevivencia del 93% y un costo por \$155.400 de la resiembra (78 plántulas x 2000 cada una), para retornar al 100%. Es decir, implicaría un ahorro del 42% en ese rubro. El costo adicional por el uso del hidrogel al momento de la plantación sería del 7.8% con la dosis de 9 g plantula<sup>-1</sup>. Un efecto muy importante del hidrogel es la ganancia que se tendría con la uniformidad de la plantación.

Estas recomendaciones son similares a lo encontrado por Fonseca y colaboradores (2017) para especies forestales nativas establecidas en la región del Cerrado de Brasil, donde los periodos de sequía son más prolongados e intensos. La sobrevivencia de plántulas cuando se mantuvieron a 60 o 100% de la CC empezó a ser evidente únicamente tras cuatro meses. Los periodo críticos en

las cuales las plántulas inician su mortalidad difiere entre especies y ya ha sido reportado anteriormente (Crous, 2016; Fonseca et al., 2017; Rivera Fernández y Mesías Gallo, 2018).

## **6. Conclusiones**

1. Para aumentar la sobrevivencia y el vigor de plántulas de abarco en su establecimiento, se recomienda usar 9 g plántula<sup>-1</sup> de hidrogel en su forma hidratada, lo que permite una sobrevivencia del 93% en periodos de ausencia total de riego hasta por cuatro meses.
2. Aunque no fue estadísticamente significativo, la aplicación de 6 g plántula<sup>-1</sup> de hidrogel aumentó la sobrevivencia del 50 al 80% en plántulas de abarco sometidas a cuatro meses sin riego.
3. Es suficiente implementar un régimen de riego al 60% de la capacidad de campo en suelos franco-arenosos para un óptimo crecimiento de plántulas de abarco.

La escala visual con cinco categorías propuesta es buen indicador de síntomas de estrés hídrico en plántulas de abarco, siendo una herramienta práctica, eficiente y económica que sirve como alternativa ante otros métodos más costosos.

## **7. Recomendaciones**

1. En estudios futuros evaluar otras variables morfológicas y fisiológicas en plántulas de abarco sometidas a estrés hídrico. Además, realizar experimentos en campo que evalúen con mayor exactitud las condiciones de lluvias y sequías a las cuales son expuestas las plántulas.
2. Se sugiere evaluar otras marcas comerciales de hidrogel y métodos de aplicación con el fin de ampliar la oferta a los productores.

### Referencias Bibliográficas

- Abobatta, W. (2018). Impact of hydrogel polymer in agricultural sector. *Advances in Agriculture and Environmental Science: Open Access (AAEOA)*, 1(2), 59-64.
- Agudelo-Castañeda, G. A., Cadena-Torres, J., Almanza-Merchán, Pe. J., y Pinzón-Sandoval, E. H. (2018). Desempeño fisiológico de nueve genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) bajo la sombra de tres especies forestales en Santander, Colombia. *Revista colombiana de ciencias hortícolas*, 12, 223-232.
- Alarcón Hincapié, J. C., y Caicedo Pabón, J. D. (2013). El cambio climático y la distribución espacial de las formaciones vegetales en Colombia. *Colombia Forestal*, 16(2), 171-185.
- Ávila-Angulo, M. L., Aldrete, A., Vargas-Hernández, J. J., Gómez-Guerrero, A., González-Hernández, V. A., y Velázquez-Martínez, A. (2017). Hardening of *Pinus oaxacana* Mirov seedlings under irrigation management in nursery. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 23(2), 221-229.
- Brucker Kelling, M., Machado Araujo, M., Benítez León, E., Carpenedo Aimi, S., y Turchetto, F. (2017). Regímenes de riego y dosis de polímero hidroretenedor sobre características morfológicas y fisiológicas de plantas de *Cordia trichotoma*. *BOSQUE*, 38(1), 123-131.
- Cárdenas López, D., Castaño Arboleda, N., Sua Tunjano, S., y Quintero Barrera, L. (2015). *Planes de manejo para la conservación de abarco, caoba, cedro, palorosa y canelo de los andaqués*. Bogotá, Colombia: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas - SINCHI.
- Cárdenas-López, D., y Salinas, N. R. (2007). *Libro rojo de plantas de Colombia. Volumen 4. Especies maderable amenazadas. Primera parte*. Serie libros rojos de especies amenazadas de Colombia. Bogotá, Colombia. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI – Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 232 pp.
- Cárdenas Camacho, L. M. (2016). Aspectos ecológicos y silviculturales para el manejo de especies forestales nativas. Revisión de información disponible para Colombia. Fundación Natura. Bogotá D. C. Colombia.
- Céspedes, H. P., Medina Arroyo, H. H., y Torres, J. J. (2016). Propagación y crecimiento inicial del abarco (*Cariniana pyriformis* Miers), utilizando semillas silvestres. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*. 7(2)1-9.
- Crous, J. W. (2016). Use of hydrogels in the planting of industrial wood plantations. *Southern Forests*, 79(3), 197-213.
- Dickson, A., Leaf, A. L., y Hosner, J. F. (1960). Quality Appraisal of White Spruce and White Pine Seedling Stock in Nurseries. *The Forestry Chronicle*, 36(1), 10-13.

- Donoso, S., Peña, K., Pacheco, C., Luna, G., y Aguirre, A. (2011). Respuesta fisiológica y de crecimiento en plantas de *Quillaja saponaria* y *Cryptocarya alba* sometidas a restricción hídrica. *Physiological. BOSQUE*, 32(2), 187-195.
- Engelbrecht, B. M. J., y Kursar, T. A. (2003). Comparative drought-resistance of seedlings of 28 species of co-occurring tropical woody plants. *Oecologia*, 136(3), 383-393.
- Engelbrecht, B. M. J., Tyree, M. T., y Kursar, T. A. (2007). Visual assessment of wilting as a measure of leaf water potential and seedling drought survival. *Journal of Tropical Ecology* 23(497-500).
- Eziz, A., Yan, Z., Tian, D., Han, W., Tang, Z., y Fang, J. (2017). Drought effect on plant biomass allocation: A meta-analysis. *Ecology and Evolution*, 7, 11002-11010.
- Farfán Valencia, F. (2012). Árboles con potencial para ser incorporados en sistemas agroforestales con café. *En Federación nacional de cafeteros de colombia-FNC*.
- Felippe, D., Navroski, M. C., Sampietro, J. A., Frigotto, T., Albuquerque, J. A., Mota, C. S., y Pereira, M. O. (2016). Efeito do hidrogel no crescimento de mudas de *Eucalyptus benthamii* submetidas a diferentes frequências de irrigação. *Floresta*, 46(2), 215-225.
- Fonseca, L., Roitman, I., Baiocchi Jacobson, T. K., Ogata, R. S., Fhur Solari, R. A., y Costa Ribeiro, R. J. da. (2017). Viabilidade do hidrogel na recuperação de Cerrado sensu stricto com espécies nativas. *Floresta e Ambiente*, 24(2179-8087).
- Gaburro, T. A., Zanetti, L. V., Gama, V. N., Dias Milanez, C. R., y Faustini Cuzzuol, G. R. (2014). Physiological variables related to photosynthesis are more plastic than the morphological and biochemistry in non-pioneer tropical trees under contrasting irradiance. *Revista Brasileira de Botanica*, 38(1), 39-49.
- Gall, H. Le, Philippe, F., Domon, J., Gillet, F., Pelloux, J., y Rayon, C. (2015). Cell wall metabolism in response to abiotic stress. *Plants*, 4, 112-166.
- Hsiao, T. C. (1973). Plant responses to water stress. *Plant Physiol. Ann Rev* 24, 519-570.
- Huang, Y. Y., Mori, S. A., y Prance, G. T. (2008). A phylogeny of *Cariniana* (Lecythidaceae) based on morphological and anatomical data. *Brittonia*, 60(1), 69-81.
- IDEAM-UNAL. (2018). *Variabilidad Climática y el Cambio Climático en Colombia*. Bogotá, D.C.
- IDEAM. (2019). *Décimo séptimo Boletín de Detecciones Tempranas de Deforestación Cuarto trimestre de 2018 (octubre-diciembre)*. 2018, 3.
- Ihuoma, S. O., y Madramootoo, C. A. (2017). Recent advances in crop water stress detection. *Computers and Electronics in Agriculture*, 141, 267-275.

- Kazanskii, K. S., y Dubrovskii, S. A. (1992). Chemistry and physics of "agricultural" hydrogels. *Advances in Polymer Science* 104.
- Kursar, T. A., Engelbrecht, B. M. J., Burke, A., Tyree, M. T., Omari, B. E. I., y Giraldo, J. P. (2009). Tolerance to low leaf water status of tropical tree seedlings is related to drought performance and distribution. *Functional Ecology*, 23, 93-102.
- Lopes Monteiro, J. L., Araújo, W. F., Chagas, E. A., Siqueira, R. H. da S., Oliveira, G. A., y Abanto-Rodriguez, C. (2017). Hydrogels in brazilian agriculture. *Revista Agro@Mambiente on-Line*, 11(4), 347-360. Recuperado de <https://revista.ufr.br/agroambiente/article/view/4130/2359>
- Lozanovska, I., Ferreira, M. T., y Aguiar, F. C. (2018). Functional diversity assessment in riparian forests – Multiple approaches and trends: A review. *Ecological Indicators*, 95(2018), 781-793.
- Mahecha, G., Rodriguez, R., y Acero, L. (1984). Estudio dendrológico de Colombia. En *Universidad Distrital Francisco José de Caldas-Facultad de Ingeniería Forestal*.
- Markesteyn, L., y Poorter, L. (2009). Seedling root morphology and biomass allocation of 62 tropical tree species in relation to drought- and shade-tolerance. *Journal of Ecology*, 97, 311-325.
- May-lara, C., Pérez-Gutiérrez, A., Ruiz-Sánchez, E., Ic-Caamal, A. E., y García-Ramírez, A. (2011). Efecto de niveles de humedad en el crecimiento y potencial hídrico de *Capsicum chinense* Jacq. Y su relación con el desarrollo de *Bemisia tabaci* Genn. *Tropical subtropical Agroecosystems*, 14, 1039-1045.
- Mews, C. L., De Sousa, J. R. L., De Oliveira Sousa Azevedo, G. T., y Souza, A. M. (2015). Efeito do hidrogel e ureia na produção de mudas de *Handroanthus ochraceus* (Cham.) Mattos. *Floresta e Ambiente*, 22(1), 107-116.
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). (2018). Lineamientos de política: plantaciones forestales con fines comerciales para la obtención de madera y su cadena productiva. Bogotá: UPRA.
- Ministerio del Medio Ambiente. (1996). *Decreto 1791 de 1996-Régimen de aprovechamiento forestal*. 1996(octubre 4).
- Morales Mora, G. A. (2018). Plan de manejo y conservación del abarco (*Cariniana pyriformis* Miers) en la jurisdicción CAR. En *Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR*.
- Moreno, M., y del Valle, J. (2014). Influence of local climate and ENSO on the growth of abarco (*Cariniana pyriformis*) in Chocó, Colombia. *Trees*, 29, 97-107.

- Mori, S. A., Kiernan, E. A., Smith, N. P., Kelly, L. M., Huang, Y.-Y., Prance, G. T., y Thiers, B. (2016). Observations on the phytogeography of the Lecythidaceae clade (Brazil nut family). *Phytoneuron*, 30(April), 1-85.
- Mudhanganyi, A., Ndagurwa, H. G. T., Maravanyika, C., y Mwase, R. (2018). The influence of hydrogel soil amendment on the survival and growth of newly transplanted *Pinus patula* seedlings. *Journal of Forestry Research*, 29(1), 103-109.
- Navroski, M. C., Araujo, M. M., y Fior, C. S. (2015). Uso de hidrogel possibilita redução da irrigação e melhora o crescimento inicial de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden. 467-476.
- ONF Andina. (2018). Presentación del estudio sobre economía forestal. En *Sesión No. 7 Comité Asesor Estratégico I Misión de Crecimiento Verde*.
- Pallardy, S. G. (2008). *Physiology of woody plants*. EL SEVIER. (Third edition).
- Peña-Rojas, K., Donoso, S., Pacheco, C., Riquelme, A., Gangas, R., Guajardo, A., y Durán, S. (2018). Respuestas morfo-fisiológicas de plantas de *Lithraea caustica* (Anacardiaceae) sometidas a restricción hídrica controlada. *BOSQUE* 39(1), 27-36.
- Pereira de Carvalho, R., Cruz, D. céu monteiro, y Martins, L. M. (2013). Frecuencia de irrigacao utilizando polímero hidroabsorbente na producao de mudas de Maracujazeiro-amarelo. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35(2), 518-526.
- Pivovarovoff, A. L., Pasquini, S. C., Guzman, M. E. De, Alstad, K. P., Stemke, J. S., y Santiago, L. S. (2016). Multiple strategies for drought survival among woody plant species. *Functional Ecology*, 30, 517-526.
- Restrepo, M. L. G., Murillo, J. L. T., y Cardona, E. P. (2013). *Propagación y conservación de especies arbóreas nativas*. Medellín: Corantioquia: Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia.
- Slot, M., y Poorter, L. (2007). Diversity of tropical tree seedling responses to drought. *BIOTROPICA*, 39(6)(November), 683-690.
- Souza, A. J. J., Guimarães, R. J., Dominghetti, A. W., Scalco, M. S., y Rezende, T. T. (2016). Water-retaining polymer and seedling type when planting irrigated coffee. *Revista Ciencia Agronomica*, 47(2), 334-343.
- Starkey, T. E., Enebak, S. A., South, D. B., y Cross, R. E. (2012). Particle size and composition of polymer root gels affect loblolly pine seedling survival. *Native Plants*, 13(1), 19-26.
- Suárez Salazar, J. C., Melgarejo, L. M., Casanoves, F., Di Rienzo, J. A., DaMatta, F. M., y Armas, C. (2018). Photosynthesis limitations in cacao leaves under different agroforestry systems in the Colombian Amazon. *PLoS ONE*, 13(11), 1-13.

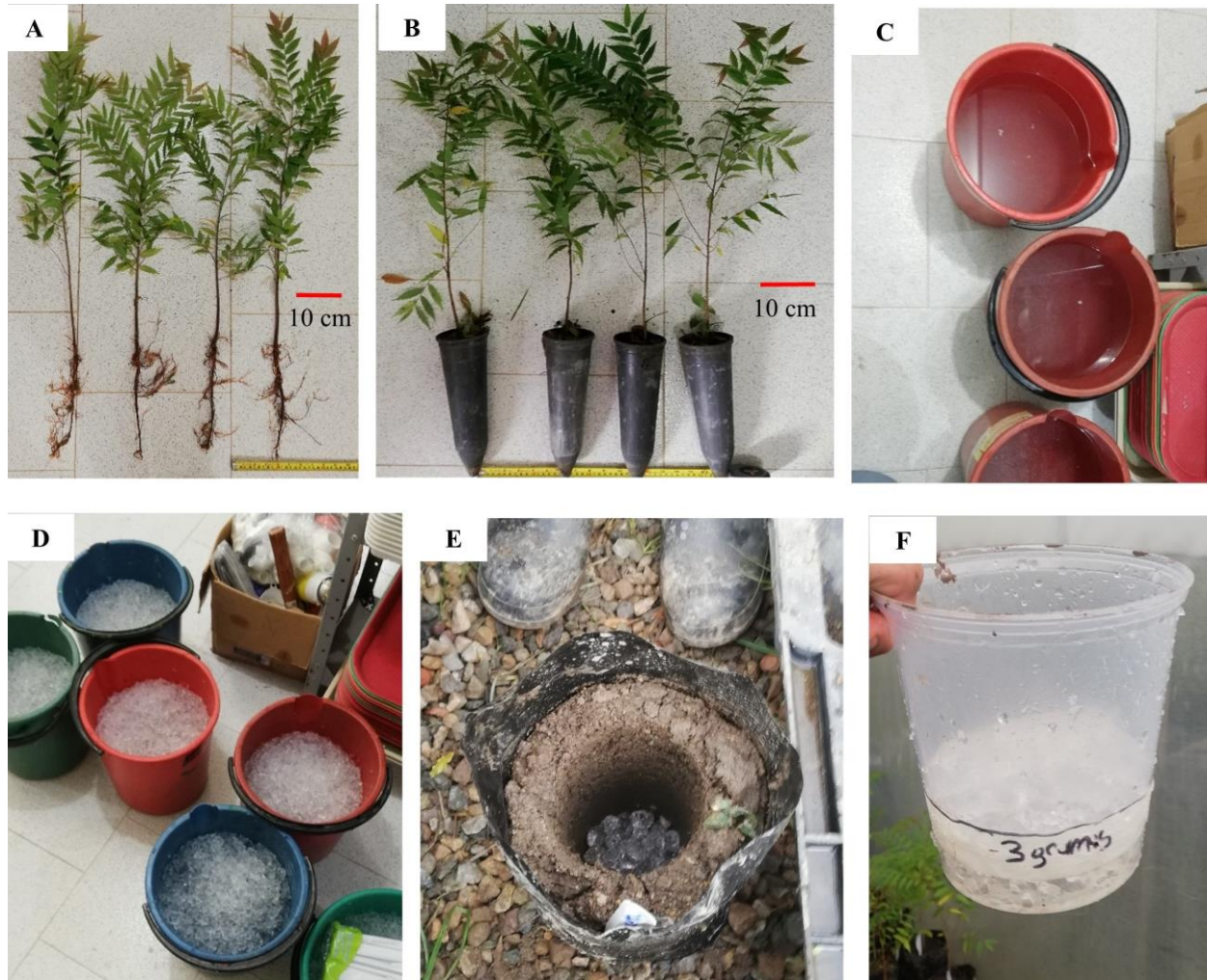
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M., y Murphy, A. (2009). *Plant physiology*. Sunderland: Sinanuer Associates. Inc. *Publishers*.
- The Linnean Society of London. (2009). An update of the angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 161, 105–121.
- Tyree, M. T., Engelbrecht, B., y Kursar, T. (2003). *Desiccation tolerance of five tropical seedlings in Panama. Relationship to a field assessment of drought performance*. *Plant physiology*, 2003. Vol 132, pp. 1439-1447.
- Tyree, M. T., Vargas, G., Engelbrecht, B. M. J., y Kursar, T. A. (2002). Drought until death do us part : a case study of the desiccation-tolerance of a tropical moist forest seedling-tree, *Licania platypus* (Hemsl .) Fritsch. *Journal of Experimental Botany*. 53(378), 2239-2247.
- UNFCCC. (2008). REDD+ Reducing emissions from deforestation and forest degradation in developing countries. Recuperado 17 de agosto de 2019, de Web platform website: <https://redd.unfccc.int/>
- Villalobos, E., Umaña, C. H., y Sterling, F. (1990). Determinación del contenido relativo de agua en progenies de palma aceitera (*Elaeis guineensis*), durante la época seca en Quepos, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 14(1), 73-78.
- Zohuriaan-Mehr, M. J., Omidian, H., Doroudiani, S., y Kabiri, K. (2010). Advances in non-hygienic applications of superabsorbent hydrogel materials. *Journal of Materials Science*, 45(21), 5711-5735.
- ZuCHEM. (2019). *Ficha técnica HIDROKEEPER*. Recuperado de <http://www.hidrokeeper.com/images/descargas/FichaTecnicaHidrokeeperInal.pdf>
- Zuluaga Peláez, J. J., Prato Sarmiento, A. I., Zapata López, L. P., y Zarate Caicedo, D. A. (2018). Phenology of *Cariniana pyriformis* in the Magdalena Medio region of Santander, northeastern Colombia Jhon. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 38, 1-6

## Apéndices

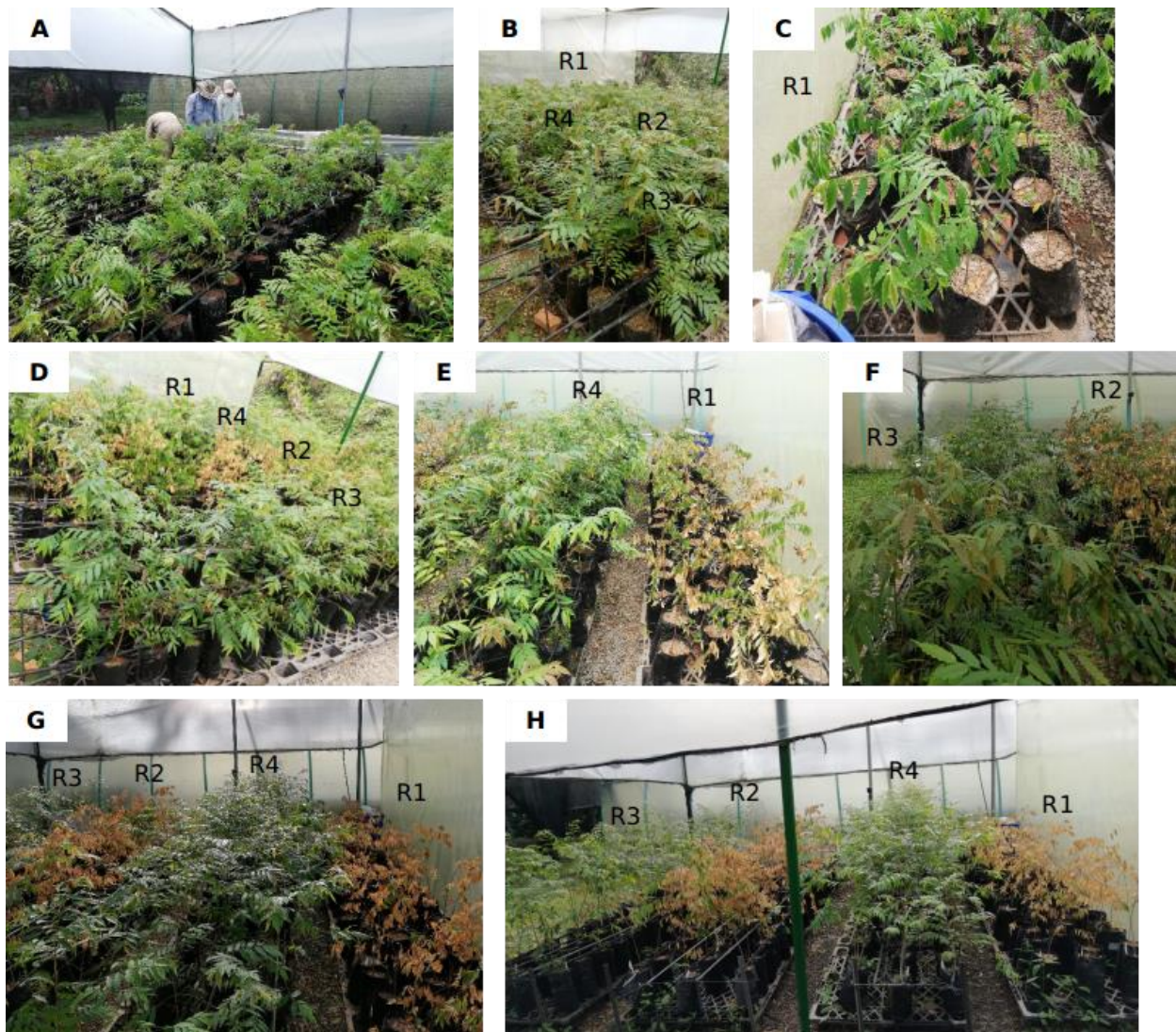
Apéndice A. Cuadro de costo estimado (\$ COP hectárea<sup>-1</sup>) para establecer (año cero) una plantación de *C. pyriformis*, densidad de 3 m x 3 m, con y sin el uso de hidrogel.

Costos directos *	Unidad	Cantidad	Precio unidad (\$ COP)	Precio total (\$ COP)	Participación (%)
<b>Mano de obra</b>					<b>36.4</b>
Preparación del suelo y trazado con estacas	jornal	10	40.000	400.000	7.7
Ahoyado y siembra	hoyo	1.100	800	880.000	16.9
Ahoyado y resiembra	hoyo	110	800	88.000	1.7
Aplicación de enmienda y fertilización	jornal	4	40.000	160.000	3.1
Aplicación herbicida e insecticida con bomba de espalda	jornal	5	40.000	200.000	3.9
Plateo	jornal	4	40.000	160.000	3.1
<b>Insumos</b>					<b>62.3</b>
Plántulas – siembra	plántula	1.100	2.000	2.200.000	42.5
Plántulas – resiembra (10%)	plántula	110	2.000	220.000	4.2
Enmiendas (cal agrícola)	bulto (50 kg)	7	30.000	210.000	4.
Fertilizante (DAP)	bulto (50 kg)	4	85.000	340.000	6.5
Herbicida (Gramoxone)	galón	2	70.000	140.000	3.3
Insecticida (Regent SC)	litro	1	120.000	120.000	2.3
3 g plántula <sup>-1</sup> hidrogel	kg	3.3	40000	132.000	2.6
6 g plántula <sup>-1</sup> hidrogel	kg	6.6	40000	264.000	5.2
9 g plántula <sup>-1</sup> hidrogel	kg	9.9	40000	396.000	7.8
<b>TOTAL sin hidrogel</b>				<b>5.118.000</b>	<b>100</b>
<b>3 g plántula<sup>-1</sup> hidrogel (aumento en % del costo total)</b>				<b>5.892.000</b>	<b>2.6</b>
<b>6 g plántula<sup>-1</sup> hidrogel (aumento en % del costo total)</b>				<b>6.024.000</b>	<b>5.2</b>
<b>9 g plántula<sup>-1</sup> hidrogel (aumento en % del costo total)</b>				<b>6.156.000</b>	<b>7.8</b>

\* De acuerdo a las condiciones edafoclimáticas del C.I. La Suiza – Agrosavia, Rionegro, Santander. No se consideran costos de fletes. Enmienda de cal dolomítica con 300 g plantula<sup>-1</sup> y fertilizante DAP con 100 g plántula<sup>-1</sup>. Plántulas producidas en bolsa plástica de 10 cm x 18 cm.



Apéndice B. Registro fotográfico de las plántulas usadas al momento del trasplante (A y B), proceso de hidratación del hidrogel por 72 horas (C y D) y aplicación del hidrogel en las bolsas plásticas (E y F).



Apéndice C. Registro fotográfico del experimento al momento del trasplante (A); 60 días después del trasplante (B), 80 días después del trasplante (C); 120 días después del trasplante (D, E y F) y 142 días después del trasplante (G y H). R1= ausencia de riego luego de 8 días con 100% a CC; R2= ausencia de riego luego de 40 días con 100% a CC; R3= 60% a CC y R4= 100% a CC.