



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA**

**Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales**

**Efecto de la disponibilidad hídrica en la supervivencia de *Celtis tala* (tala) en bosques degradados del este de la provincia de Buenos Aires**

Presenta

**Stephanie Rocío Godoy Castañeda**  
(Legajo: 27907/2)

**Modalidad:** Investigación en cualquiera de los campos de las Ciencias Agrarias y Forestales

**Área temática:** Ecología forestal

Directora

**Dra. Micaela Medina**

Co- directora

**Dra. Carolina Pérez**

**La Plata, 6 de Agosto 2024**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, mi fuente de sabiduría, paz y gozo. Por acompañarme en cada momento de mi carrera y guiarme en la realización de esta tesis de grado. Gracias Dios por permitirme verte en todo el proceso, por forjar en mi carácter en momentos de incertidumbre. Gracias por brindarme la paz y confianza para perseverar hasta culminar este trabajo final. ¡Todo sea para Tu Gloria!

A mis padres, por ser un ejemplo de vida para mí. Gracias por los valores que me inculcaron, por enseñarme que las cosas se consiguen con esfuerzo y trabajo. Gracias por instruirme en la fe en Dios. Gracias por corregirme cuando he actuado mal, aconsejarme y apoyarme. Gracias por amarme y ponerme en primero aun cuando ya no les correspondía. Gracias por soñar aun antes que yo, que lo lograría. No existen palabras con las que pueda describir lo que han hecho por mí. Decir GRACIAS es poco.

A mis hermanos, por ser quienes han soportado de primera mano mi personalidad pesada y fastidiosa. Gracias por apoyarme en cada una de mis locuras, por escucharme y aconsejarme cuando lo he necesitado. Gracias por mimarme y cuidarme. Gracias por animarme a insistir y persistir en la dificultad y recordarme quién soy.

A mi directora Dra. Micaela Medina y a mi co-directora Dra. Carolina Pérez por la oportunidad de poder realizar este trabajo bajo su excelente mentoría, por la paciencia al plantear sugerencias y correcciones. Por el arduo trabajo al acompañarme en la realización de este trabajo.

Al equipo de trabajo del LISEA que llevó a cabo la medición y recolección de los datos analizados en esta tesis, sin los cuales no se hubiese podido llevar a cabo. Gracias al LISEA por brindarme un lugar para realizar mi trabajo final.

Al Servicio Meteorológico Nacional por proporcionar los datos climáticos necesarios para la realización de esta tesis.

Al Dr. Marcelo Arturi por sus sugerencias e intervenciones oportunas. Por el tiempo dedicado a responder cada una de mis preguntas e inquietudes. Gracias por la predisposición genuina y la calidez brindada.

A mis evaluadoras Dra. María Isabel Delgado y Dra. Corina Graciano, por el tiempo dedicado a corregir este trabajo.

A mis amigos y compañeros de la facultad, por ser quienes vivieron de primera mano mi pase por la Universidad. Gracias por sonreír conmigo en los buenos momentos y sostenerme en los no tan buenos. Gracias por animar este hermoso recorrido, por las charlas, las jornadas maratónicas de estudio, los mates compartidos, los consejos en momentos oportunos, los viajes de estudio y las experiencias compartidas.

A todos aquellos que de manera anónima hicieron posible mi paso por la universidad o que sin saberlo marcaron la diferencia en mi travesía universitaria.

**¡Muchas Gracias!**

# ÍNDICE

RESUMEN .....	6
I. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1.    Objetivo general.....	9
1.2.    Objetivos particulares .....	10
1.3.    Hipótesis .....	10
II. MATERIALES Y MÉTODOS .....	10
2.1.    Área de estudio.....	10
2.2.    Descripción de los ensayos por sitio de muestreo .....	11
2.2.1. Pastizales en Castelli .....	11
2.2.2. Ensayos sobre cordones desmontados .....	14
2.2.3. Ensayos en claros del bosque de tala invadido por ligustro.....	15
2.3.    Análisis por objetivo .....	16
2.3.1. Objetivo 1. Cálculo del balance hídrico. ....	16
2.3.2. Objetivo 2. Variación de la humedad del sustrato por gravimetría en Castelli.....	17
2.3.3. Objetivo 3. Variación de la humedad del suelo por gravimetría en Magdalena.....	17
2.3.4. Objetivo 4. Relación entre el contenido de agua en el suelo estimado por gravimetría y mediante el BH. ....	17
2.3.5. Objetivo 5. Estimar y describir la supervivencia en los diferentes ensayos de plantación con Celtis tala. ....	18

2.3.6. Objetivo 6. Evaluar la relación entre la supervivencia de <i>Celtis tala</i> y el contenido hídrico del suelo para cada ensayo. ....	19
2.4. Análisis de datos.....	19
III. RESULTADOS .....	19
3.1. Objetivo 1: Estimar y describir el balance hídrico mediante variables climáticas para caracterizar las dos localidades que presentan ensayos de plantaciones de <i>Celtis tala</i> , durante el período de estimación de la supervivencia de dichos ensayos. ....	19
3.2. Objetivo 2: Analizar las variaciones del contenido gravimétrico de agua en el suelo en diferentes sustratos de una cantera abandonada en el período de monitoreo de la supervivencia de los ensayos de plantación con <i>C. tala</i> . ....	20
3.3. Objetivo 3. Analizar las variaciones del contenido gravimétrico en dos tipos de ambientes: pastizal sobre cordón desmontado y claros en bosque invadido por ligustro, en el período de monitoreo de la supervivencia de los ensayos de plantación con <i>Celtis tala</i> . ....	22
3.3.1. Claros en el bosque invadido por ligustro .....	23
3.3.2. Pastizal sobre cordones desmontados.....	27
3.4. Objetivo 4: Evaluar para los distintos ensayos, la relación entre el contenido de agua en el suelo estimado por el balance hídrico y el determinado por el método gravimétrico.....	29
3.4.1. Magdalena.....	32
3.4.2. Castelli .....	34
3.5. Objetivo 5. Estimar y describir las variaciones en la supervivencia en los diferentes ensayos de plantación con <i>Celtis tala</i> . ....	36
3.5.1. Pastizal sobre cordones desmontados.....	36
3.5.2. Claros en el Bosque invadido por ligustro .....	37
3.5.3. Pastizales de Castelli .....	39
3.6. Objetivo 6. Evaluar la relación entre la supervivencia de <i>Celtis tala</i> y el contenido hídrico del suelo para cada ensayo. ....	40

IV. DISCUSIÓN .....	42
4.1. Supervivencia de <i>Celtis tala</i> en relación al estrés hídrico .....	42
4.2. Estimación de la disponibilidad hídrica del suelo .....	47
V. CONCLUSIÓN .....	49
VI. BIBLIOGRAFÍA .....	49

## RESUMEN

La restauración de ecosistemas degradados es un reto a abordar. Los talares bonaerenses han sido, históricamente y hasta el presente, afectados por una fuerte intervención antrópica. Con el propósito de establecer la forma de ayudar a la recuperación de la cobertura boscosa se han realizado diversas investigaciones. El objetivo de este trabajo es evaluar la relación entre la disponibilidad hídrica y la supervivencia de *Celtis tala* en los talares del este de la provincia de Buenos Aires. Se parte de la hipótesis de que la escasa disponibilidad de agua en un sistema degradado afecta negativamente la supervivencia de *C. tala*. Se realizaron balances hídricos utilizando la metodología de Thornthwaite & Mather para la zona de estudio y se determinó el almacenaje hídrico de suelo. A su vez se analizaron los datos de contenido gravimétrico medido a campo y se lo vinculó con el almacenaje obtenido de los balances hídricos. Se desarrollaron dos modelos de regresión lineal múltiple para estimar el contenido hídrico del suelo a partir de variables climáticas zonales. Estos modelos tuvieron un mejor ajuste en los ensayos realizados en los claros sobre bosque invadido por ligustro que en áreas abiertas (pastizales sobre cordón desmontado y cantera). Aunque la supervivencia de *C. tala* disminuyó en todos los ensayos luego de transcurrido el verano, no se pudo establecer una relación estrecha entre el contenido hídrico y la supervivencia del *C. tala*.

### I. INTRODUCCIÓN

A lo largo del tiempo las actividades humanas han incidido sobre los ecosistemas naturales transformándolos. Actualmente los bosques nativos se encuentran bajo presión, debido al avance de las fronteras agrícola y urbana, la ganadería y otras actividades productivas (FAO, 2020). El continuo desmonte ha generado pérdidas de la superficie boscosa, degradación de los suelos, alteración del ciclo hídrico y ha favorecido procesos de invasiones biológicas (Borrás et al., 2017; Mónaco et al., 2020), lo que ha conducido a una degradación de numerosos ecosistemas nativos cuya recuperación es poco probable en tiempos históricos. Ante esta problemática se han estudiado diversas estrategias de acción para menguar el impacto negativo de las actividades humanas sobre los bosques, evaluando soluciones que tiendan a

recuperar sistemas intervenidos y degradados, con el fin de restablecer sus funciones ecológicas (Chazdon, 2008).

La explotación minera es una actividad que causa severos disturbios en el ecosistema, no solo porque implica la pérdida de la cubierta vegetal, sino también por las profundas alteraciones que ocurren en el suelo. Entre ellas se señalan la pérdida de materia orgánica y nutrientes y la disminución de la capacidad de retención de agua (Banning et al., 2008). En los talaes, bosques dominados por *Celtis tala* Gillies ex Planch (tala), las áreas desmontadas, así como las áreas invadidas por especies leñosas exóticas, no experimentan procesos de regeneración espontánea del bosque nativo, lo que hace necesaria la realización de intervenciones para promover su recuperación (Arturi & Goya, 2004). En ese sentido, la restauración ecológica, definida como el proceso de ayuda para recuperar un ecosistema que fue degradado, dañado o destruido (SER, 2004), constituye una alternativa para recomponer estos bosques nativos. En la trayectoria de restauración seguida en un ecosistema existen diferentes instancias, vinculadas con el grado de deterioro. Intervienen diferentes factores desde el tiempo transcurrido desde la remoción del o de las causas del disturbio, hasta la inversión de dinero necesaria para llevar adelante el proyecto. En ese marco, la rehabilitación ecológica se centra en la recuperación de la funcionalidad del ecosistema más que en recomponer su composición de especies y estructura (Chazdon, 2008).

En los proyectos de restauración o rehabilitación, la disponibilidad de agua en el suelo frecuentemente es señalada como un factor crítico para el establecimiento de las plantas (Andivia et al., 2021). Es por ello que conocer la dinámica hídrica de un área dada y su relación con los procesos de establecimiento de las especies que se pretende implantar resulta de gran importancia en la planificación y ejecución de dichos proyectos.

La disponibilidad hídrica del suelo se refiere al agua útil, que oscila desde un potencial mínimo (punto marchitez permanente) y el agua a capacidad de campo. La capacidad de almacenaje de agua del suelo depende de la textura, porcentaje de materia orgánica y de la profundidad efectiva (Gudelj et al., 2018). El contenido

hídrico describe la cantidad de agua que puede haber en el suelo en términos de peso o volumen (Fernández & Trillo, 2005).

El uso de balances hídricos permite estimar la disponibilidad hídrica de un suelo. Uno de los métodos más utilizados para realizar un balance hídrico (BH) es el establecido por Thornthwaite & Mather en 1948, mejorado en el año 1955. Este modelo permite establecer el balance hídrico del suelo a nivel regional, a partir del conocimiento de los aportes de aguas de lluvias (precipitaciones medias mensuales) y de las salidas por evapotranspiración (ETP). Thornthwaite & Mather (1955) sostienen que la diferencia entre la entrada y la salida de agua en una cuenca es igual al almacenaje total de agua en el suelo. El BH permite establecer la falta o el exceso de agua en el suelo, es de aplicación para las clasificaciones climáticas (Thornthwaite 1948; Thornthwaite & Mather, 1955) y posibilita definir la hidrología de una zona para su planificación hidráulica. La metodología de Thornthwaite & Mather asume que la precipitación es la única fuente de ingreso de agua en el suelo, no existiendo pérdidas por intercepción, o percolación profunda; tampoco considera pérdidas o ingresos por escorrentía. Considera al suelo como un recipiente homogéneo que incorpora agua por precipitación y la pierde por evapotranspiración. Arturi (1997) realizó un balance hídrico de Thornthwaite seriado para el periodo de 1909-1996 en los talares de Magdalena y obtuvo que los periodos con déficit hídrico presentaron una frecuencia del 50% en los meses de enero y febrero.

Las especies vegetales pueden presentar diferentes adaptaciones ante la escasez hídrica que constituyen distintos mecanismos para evadir, evitar o tolerar la sequía, que les permiten superar el periodo de déficit hídrico (Valladares et al., 2004). Además de las características ecofisiológicas de las especies consideradas, el conocimiento de la disponibilidad hídrica en áreas degradadas es una herramienta clave para evaluar la supervivencia y establecimiento de reforestaciones. Bajo este marco Plaza Behr (2017) evaluó el crecimiento en invernáculo de plantines de tala a distintos niveles de riego, y concluyó que el crecimiento de los plantines fue menor al disminuir la disponibilidad de agua en el sustrato. A su vez, a partir de los ensayos a campo, Plaza Behr et al. (2021) determinaron que la supervivencia y el crecimiento del tala son afectados negativamente por la baja disponibilidad hídrica.

En los talares de Magdalena no se observa regeneración espontánea de tala en claros ni alrededor de individuos aislados (Arturi & Goya, 2004), ya que la alta exposición a la radiación aumenta la transpiración, disminuyendo la supervivencia de plántulas en sitios con déficit hídrico como lo son los claros (Arturi, 1997). Sin embargo, Azcona (2018) evaluó la supervivencia y crecimiento de plántulas de tala implantadas sobre cordones desmontados y en claros generados en el bosque invadido por ligustro. Concluyó que la supervivencia del tala en los claros del bosque es muy superior a la de los cordones desmontados, pero que el crecimiento se ve afectado por el tamaño del claro, siendo mayor la altura alcanzada por los talas en los claros de menor tamaño. Posiblemente el bosque genera condiciones microclimáticas que funcionan como un amortiguador de las condiciones climáticas extremas. Por otro lado, Plaza Behr et al., (2016) realizaron ensayos de reforestación con tala en claros de bosques invadidos por ligustros, y concluyeron que la supervivencia y crecimiento de las plantas de tala ubicadas en las áreas centrales de los claros es mayor a aquellas ubicadas en el borde o bajo el dosel. Vincularon estos resultados al aumento de la disponibilidad de luz y la disminución de la competencia por recursos del suelo. De esta manera se puede afirmar que existe una delicada relación entre la disponibilidad de luz y la disponibilidad de agua en el suelo que se debe favorecer a la hora de generar un claro y que existe un estrecho balance entre estos factores a la hora de rehabilitar el bosque. En canteras de conchilla, en cambio, la luz no es una limitante, sino que la excesiva radiación y la competencia con las especies herbáceas por recursos del suelo reducen las posibilidades de supervivencia del tala, tal como se observó en ensayos de reforestación con dicha especie realizados en Castelli, provincia de Buenos Aires (Plaza Behr et al., 2021).

### **1.1. Objetivo general**

El objetivo del presente trabajo final es determinar la relación entre la disponibilidad hídrica en el suelo y la supervivencia en dos ensayos de reforestaciones con *Celtis tala* (tala) en talares de áreas degradadas de Magdalena y Castelli, provincia de Buenos Aires.

## 1.2. Objetivos particulares

1. Estimar el balance hídrico mediante variables climáticas a fin de caracterizarlas dos localidades que presentan ensayos de plantaciones de *C. tala*, durante el período de estimación de la supervivencia de dichos ensayos.
2. Analizar las variaciones del contenido gravimétrico de agua en diferentes sustratos de una cantera abandonada en el período de monitoreo de la supervivencia de los ensayos de plantación con *C. tala*.
3. Analizar las variaciones del contenido gravimétrico en dos tipos de ambientes: pastizal sobre cordón desmontado y claros en bosque invadido por ligustro, en el período de monitoreo de la supervivencia de los ensayos de plantación con *C. tala*.
4. Evaluar para los distintos ensayos, la relación entre el contenido de agua en el suelo estimado por el balance hídrico y el determinado por el método gravimétrico.
5. Estimar y describir las variaciones en la supervivencia en los diferentes ensayos de plantación con *C. tala*.
6. Evaluar si las disminuciones en supervivencia coinciden con periodos en los que el contenido hídrico del suelo indica baja disponibilidad de agua en el suelo.

## 1.3. Hipótesis

El estrés hídrico representa el principal factor de mortalidad de la regeneración natural de tala, por lo que la disminución de la supervivencia de los individuos plantados se asocia a momentos de baja disponibilidad hídrica del suelo.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Área de estudio

Los talaes son la principal formación boscosa nativa de la provincia de Buenos Aires, principalmente compuesta por tala, especie caducifolia y coronillo, especie perennifolia (Murrielo et al, 1993). Se extienden conformando una faja costera desde la ribera del río Paraná hasta el N del litoral Atlántico en las cercanías de la localidad

de Mar Chiquita (Arturi & Goya, 2004; Stupino et al., 2004). Cabrera (1953) consideró a los talaes bonaerenses como parte de la Provincia Fitogeográfica del Espinal y los incluyó en el Distrito del Tala. Hoy en día están clasificados dentro del Ordenamiento Territorial de Bosque Nativo (OTBN) provincial, en las categorías I y II que corresponden a áreas de alto y mediano valor de conservación respectivamente (OPDS, 2014; MAyDS, 2023). Los sitios de muestreos se encuentran en áreas degradadas de los partidos de Magdalena y Castelli.

## **2.2. Descripción de los ensayos por sitio de muestreo**

### *2.2.1. Pastizal en Castelli*

En el partido de Castelli se tomó como área de estudio la localidad Cerro de la Gloria (35°56'35,77" S- 57°26'48,25" O), en una cantera de conchilla abandonada, de aproximadamente 4 has (Fig. 1), en donde un grupo de trabajo del LISEA llevó a cabo un ensayo para evaluar estrategias de rehabilitación del tala (Plaza Behr, 2017; Plaza Behr et al., 2021). La actividad minera finalizó en el año 2011 dejando áreas de canteras inactivas, con nula vegetación herbácea, elevada exposición a la irradiancia y a los vientos predominantes, y un sustrato con baja retención hídrica y escasa materia orgánica. Esto generó que la vegetación quede expuesta a elevados niveles de demanda de evapotranspiración y escasa disponibilidad hídrica en el suelo (Plaza Behr, 2017). Se distinguieron cuatro tipos de clases texturales en el sustrato remanente: limoarenoso, arenolimoso, arcilloso y arenoso. El ensayo se situó sobre material remanente del cordón intervenido que fue esparcido con máquina retroexcavadora sobre la superficie. El material esparcido no era homogéneo, lo que determinó que el número de plantas por tipo textural no fuera el mismo. Se instalaron 21 grupos de 9 árboles en un arreglo cuadrangular con un distanciamiento entre individuos de 1,5 x 1,5 m. Los grupos fueron distribuidos a lo largo del terreno en tres filas con orientación NO-SE y siete columnas con orientación NE-SO. Se plantaron 189 individuos de *C. tala* en total: 147 en suelo limoarenoso, 15 en arenolimoso, 9 en arcilloso y 18 en suelo arenoso (Fig. 2; Plaza Behr, 2017).

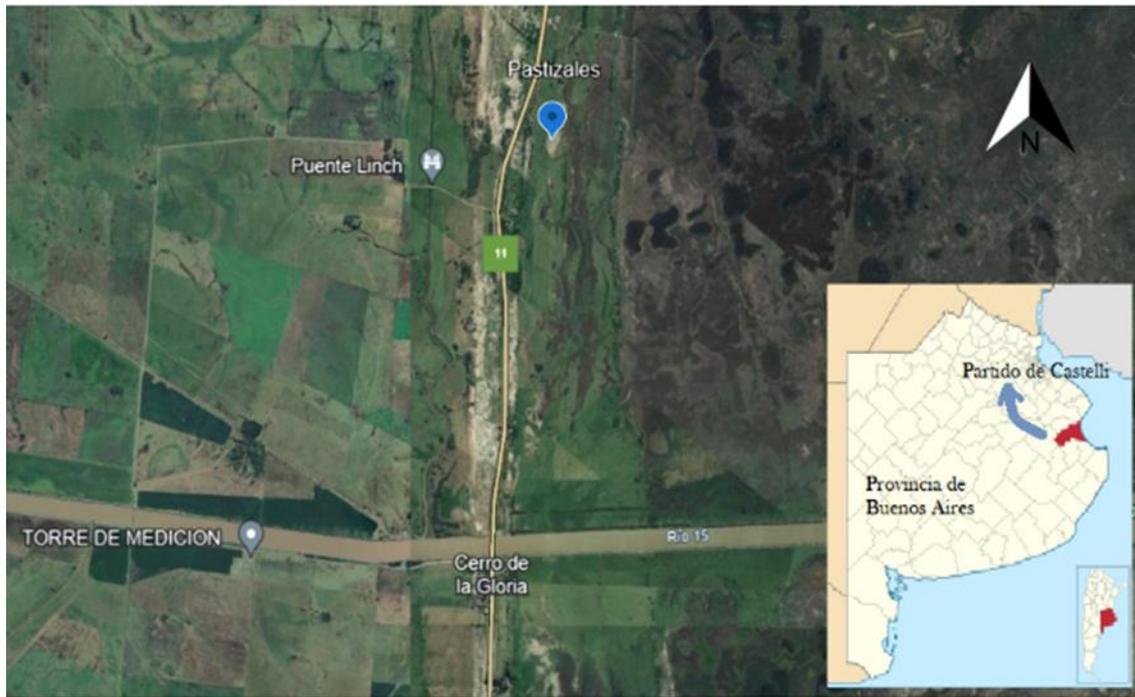


Figura 1. Ubicación de la Cantera en estudio abandonada en 2011 en Castelli. Imagen Google Earth 2024.

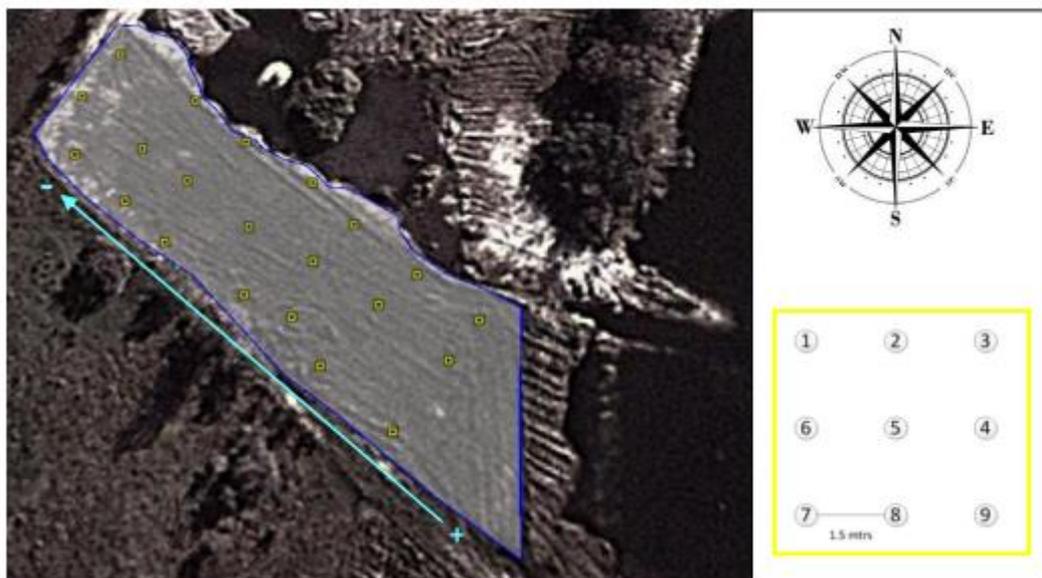


Figura 2. Distribución de los grupos de plantas en el sitio de estudio. Los puntos amarillos indican la posición de cada grupo de 9 individuos. A la derecha la referencia de la distribución de cada planta dentro del grupo. La línea celeste indica el gradiente de tierra negra, desde mayor profundidad (+) hasta menor profundidad (-). Tomado de: Plaza Behr (2017).

Se realizaron determinaciones de contenido gravimétrico de agua en el suelo en las siguientes fechas: octubre y noviembre de 2012 y febrero, mayo y agosto de 2013, en cada uno de los 4 tipos de clases texturales del sustrato de la cantera, a dos profundidades (0-10 y 10-20 cm). En cada fecha se obtuvieron 3 muestras para cada profundidad en cada una de las 4 clases texturales del suelo, pero se analizó el valor promedio de las mismas. Se registró el número de individuos vivos en septiembre, octubre, noviembre y diciembre del 2012, en febrero, abril, octubre del 2013 y en diciembre del 2014.

En el partido de Magdalena, se consideró como área de estudio la Reserva de Biosfera “Parque Costero del Sur”, donde se realizaron ensayos de plantación de tala para evaluar técnicas de rehabilitación sobre cordones desmontados (pastizales) y sobre el bosque de tala invadido por ligustro (Fig. 3; Plaza Behr et al., 2016; Azcona, 2018).

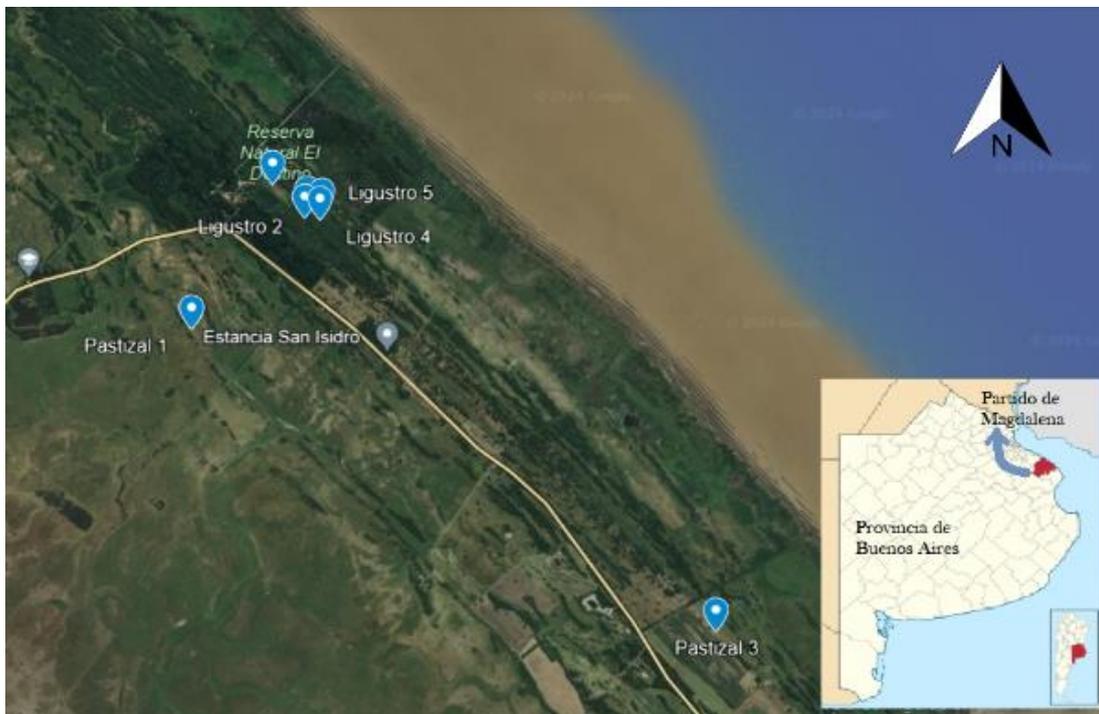


Figura 3. Ubicación de ensayos sobre cordones desmontados (Pastizal 1, Pastizal 2 y Pastizal 3) y claros en bosque de tala invadido por ligustro (Ligustro 1, Ligustro 2, Ligustro 4 y Ligustro 5) en Magdalena. Imagen Google Earth 2024.

### 2.2.2. Ensayos sobre cordones desmontados

Los estudios se llevaron a cabo en la estancia El Destino, estancia Rosalía y una cantera antigua (abandonada en 1995) en la Reserva de Biosfera “Parque Costero del Sur”, sobre cordones desmontados cubiertos con vegetación de pastizal (Fig. 4). En cada lugar se estableció una clausura al pastoreo de ganado doméstico de 20 x 50 m mediante alambrado. Los sitios se denominaron pastizal 1 (P1), pastizal 2 (P2) y pastizal 3 (P3), respectivamente, distantes entre 2 y 5 km entre sí (Fig. 3). En 2010, se plantaron 60 ejemplares de *C. tala* en cada parcela con un distanciamiento entre individuos de 3 x 3 m (Azcona, 2018).

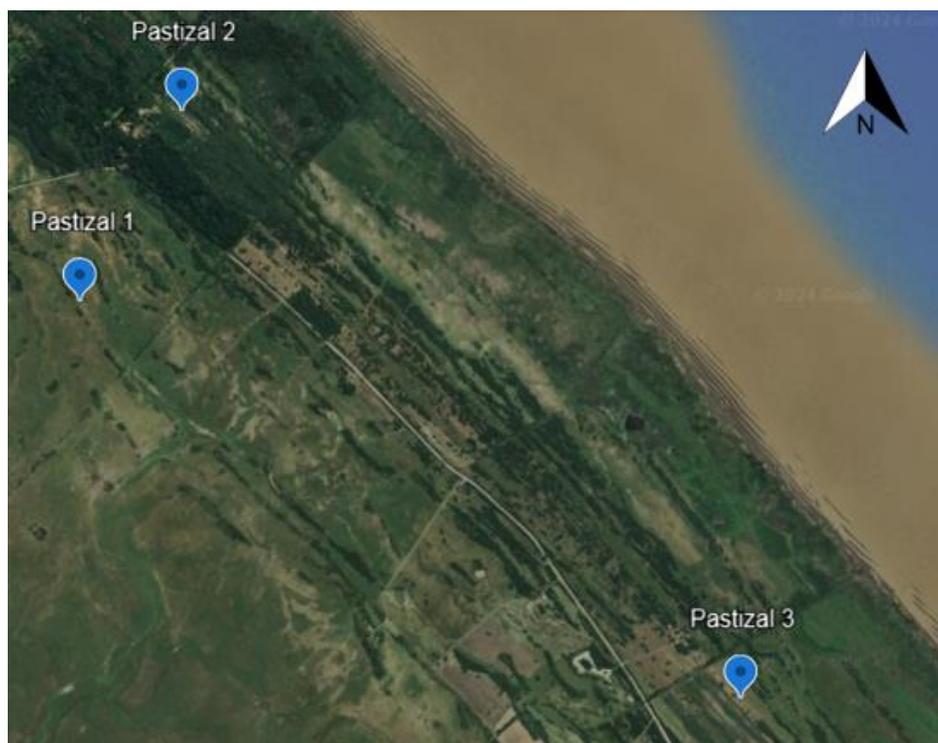


Figura 4. Distribución de los ensayos sobre cordones desmontados (Pastizal 1, Pastizal 2 y Pastizal 3) en Magdalena. Imagen Google Earth 2024.

La humedad del suelo se estimó por gravimetría en diciembre de 2010; mayo, septiembre y diciembre de 2011 y marzo de 2012, a dos profundidades (0-10 cm y 10-20 cm). En cada fecha de medición se obtuvieron tres réplicas por profundidad.

Se registró el número de individuos vivos en septiembre de 2010, febrero, mayo, septiembre y noviembre de 2011 y marzo de 2012.

### 2.2.3. Ensayos en claros del bosque de tala invadido por ligustro

El ensayo se realizó en la estancia El Destino (Plaza Behr et al., 2016). En un sector de bosque de tala invadido por ligustro se abrieron cuatro claros en el dosel, cortando la totalidad de ligustros con motosierras: 2 claros de 500 m<sup>2</sup> (ligustros 1 y 2) y 2 claros de 200 m<sup>2</sup> (ligustros 4 y 5) (Fig. 5). Se plantaron 67, 73, 31 y 35 ejemplares de *C. tala* en cada claro, respectivamente, con un distanciamiento de 3 x 3 m (Plaza Behr et al. 2016; Azcona, 2018). Los ejemplares de *C. tala* se plantaron teniendo en cuenta la distancia desde el centro del claro: 1) en el centro del claro (centro), 2) en el borde interno del claro o parcialmente bajo dosel (borde) y 3) a 5 m del borde del claro (dosel).

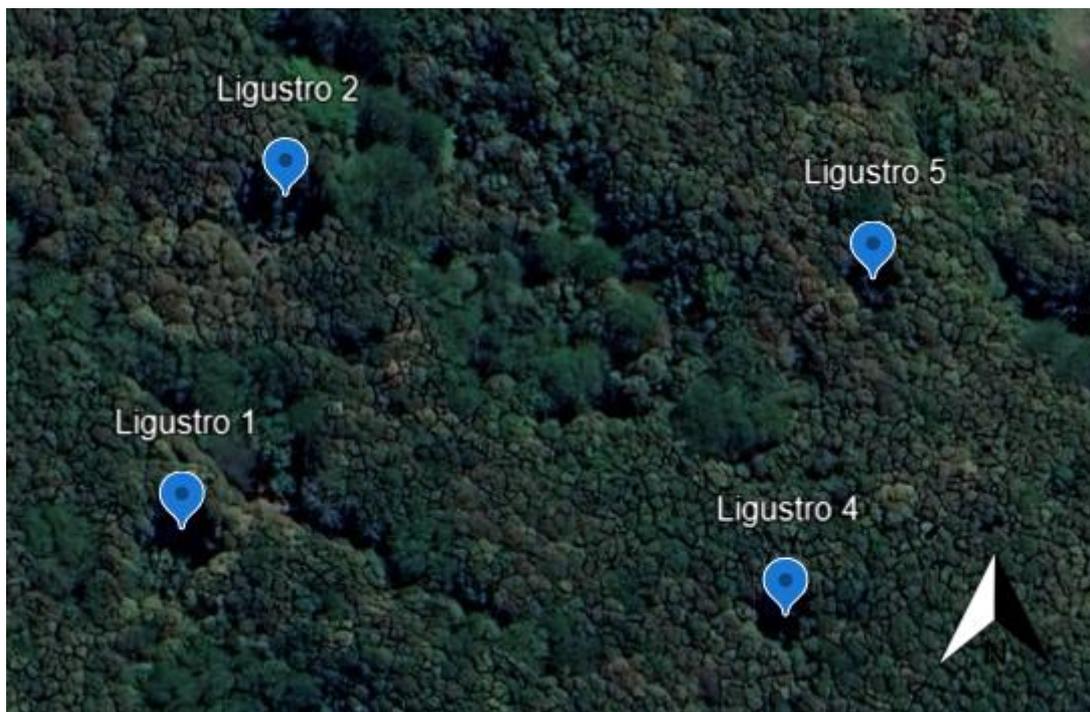


Figura 5. Distribución de los claros sobre bosque de tala invadido por ligustro (Ligustro 1, Ligustro 2, Ligustro 4 y Ligustro 5) en Magdalena. Imagen Google Earth 2024.

La humedad del suelo se estimó por el método gravimétrico en diciembre de 2010; mayo, septiembre y diciembre de 2011 y marzo de 2012, a dos profundidades (0-10 cm y 10-20 cm). En cada fecha se tomó una muestra para cada profundidad y ubicación (centro, borde, dosel).

Se registró el número de individuos vivos en febrero, mayo y octubre de 2011, marzo y noviembre de 2012, diciembre de 2013 y marzo 2015.

El material de plantación de los diferentes ensayos en Castelli y Magdalena se obtuvo a partir de semillas recolectadas de numerosos individuos maduros en la zona de estudio. Las mismas fueron sometidas a un proceso pre-germinativo de escarificado y posteriormente sembradas en bandejas de 24 tubetes de 250 cm<sup>3</sup> bajo cubierta en la Unidad de Vivero Forestal (UVF) de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata. Al tener el tamaño suficiente se llevó a cabo el trasvase a envases de 3 litros con los que finalmente las plantas fueron llevadas a campo, alrededor de un año después (Plaza Behr, 2017; Azcona, 2018).

### **2.3. Análisis por objetivo**

#### *2.3.1. Objetivo 1. Cálculo del balance hídrico.*

Se calculó el balance hídrico para el periodo 2010- 2014 mediante el método de Thornthwaite & Mather (1955). Debido a que no existen registros climáticos de las localidades de Castelli y Magdalena, se obtuvieron datos de precipitación y temperatura media mensual del Servicio Meteorológico Nacional de la Estación Meteorológica de Punta Indio. Se realizaron balances hídricos seriados para el periodo 2010-2014, intervalo en el que se llevó a cabo el muestreo de supervivencia y contenido gravimétrico de agua en el suelo. Se generaron cinco balances hídricos anuales (BH) de los que se obtuvo el almacenaje mensual de agua en el suelo. Se consideró como valor representativo de la capacidad de almacenaje de un cordón típico de la zona 51 mm (Cellone et al., 2021). Se identificó en cada BH los meses de exceso y déficit hídrico, los momentos de recarga del suelo y de consumo hídrico.

Además, se realizó el balance hídrico histórico utilizando valores promedios de 30 años correspondientes al periodo 1991-2020 para la localidad.

### *2.3.2. Objetivo 2. Variación de la humedad del sustrato por gravimetría en Castelli.*

Se analizó la variación en el contenido de humedad obtenido por el método gravimétrico en los 4 tipos texturales de la cantera, por profundidad a la que se recolectó la muestra (0-10 y 10-20 cm) y fecha de muestreo mediante análisis de ANOVA. Se estimaron las diferencias entre las medias por el Test de Tukey ( $P < 0,05$ ) cuando el ANOVA fue significativo ( $P < 0,05$ ).

### *2.3.3. Objetivo 3. Variación de la humedad del suelo por gravimetría en Magdalena.*

Se analizó la variación en el contenido de humedad del suelo obtenido por gravimetría para dos tipos de ambiente: pastizales sobre cordones desmontados y claros dentro del bosque invadido por ligustro. En cada ambiente se evaluó la existencia de diferencias en el contenido de agua del suelo por profundidad a la que se obtuvo la muestra (0-10 y 10-20 cm) y fecha de recolección de la misma. En los claros sobre bosque invadido además se evaluó el contenido hídrico por tamaño de claro, posición respecto del centro del mismo y fechas de medición. En los pastizales sobre cordones desmontados se realizó un análisis del contenido hídrico por pastizal (P1, P2 y P3). Los análisis se realizaron mediante ANOVA y se estimaron las diferencias de medias por la prueba de Tukey ( $P < 0,05$ ) cuando el ANOVA fue significativo ( $P < 0,05$ ).

### *2.3.4. Objetivo 4. Relación entre el contenido de agua en el suelo estimado por gravimetría y mediante el BH.*

Se graficó para cada ensayo realizado en Castelli y Magdalena el almacenaje hídrico obtenido por el método de Thornthwaite, la precipitación mensual y el contenido gravimétrico medido a campo por profundidad para cada fecha de medición. Se describieron las relaciones encontradas en la gráfica entre el contenido gravimétrico medido a campo y las restantes variables obtenidas del balance hídrico.

Se evaluó la existencia de relación entre el contenido de agua del suelo estimado por el método gravimétrico y el almacenaje de agua en el suelo obtenido del balance hídrico para los ensayos de Castelli y Magdalena mediante análisis de correlación de

Pearson. En Castelli se llevó a cabo un análisis por tipo textural. En Magdalena se realizó por separado una correlación para pastizales sobre cordones desmontados y claros dentro del bosque invadido por ligustro. En los cordones desmontados se realizó una correlación por pastizal (P1, P2, P3) y en el bosque invadido por ligustro el análisis se realizó por tamaño de claro y posición respecto del centro del mismo. En todos los casos se realizaron análisis por profundidad (0-10 cm y 10-20 cm).

Con el fin de evaluar la relación entre el contenido hídrico gravimétrico y variables obtenidas del balance hídrico se generaron dos modelos de regresión lineal múltiple considerando como variable dependiente al contenido hídrico medido a campo y diferentes variables independientes. Un modelo consideró como variables independientes al almacenaje del mes y el del mes anterior a la medición a campo, obtenido por el balance hídrico de Thornthwaite, así como una variable denominada vegetación que consideró las categorías, pastizal=0 y bosque=1. En el segundo empleó como variables independientes a la precipitación del mes y la del mes anterior a la medición de contenido hídrico a campo, y la variable vegetación. Estos análisis se llevaron a cabo de manera separada para cada profundidad de suelo analizada. Se analizó la significancia de los modelos y de los parámetros utilizados.

Los valores predichos por los modelos corresponden a un suelo con características propias de un cordón típico de la zona, no intervenido (Arturi & Goya, 2004; Cellone et al., 2021). No resulta esperable que ese valor estime el contenido gravimétrico de agua observado en la cantera de Castelli por tratarse de una situación en la que la estructura del suelo y la textura de los materiales se vieron modificadas por la extracción minera. Sin embargo, se espera una variación temporal similar entre el valor predicho por el modelo y los valores observados en la cantera. Esa similitud se evaluó mediante un análisis de correlación por rangos de Spearman ( $P < 0,05$ ).

*2.3.5. Objetivo 5. Estimar y describir la supervivencia en los diferentes ensayos de plantación con Celtis tala.*

Se estimó la supervivencia para cada uno de los ensayos como el porcentaje de individuos vivos respecto del número inicial de individuos plantados en cada caso.

En Castelli se determinó la supervivencia por fecha de medición en las cuatro clases texturales del suelo. En Magdalena se estimó la supervivencia por tipo de ecosistema: pastizal sobre cordones desmontados y claros en el bosque invadido por ligustro. En los pastizales sobre cordones desmontados se tuvo en cuenta variaciones entre sitios de pastizal (P1, P2, P3) y en los claros sobre bosque invadido se estimó la supervivencia por tamaño de claro y posición respecto del centro del mismo. Los análisis se realizaron mediante ANOVA y se estimaron las diferencias de medias por el Test de Tukey ( $P < 0,05$ ) cuando el ANOVA fue significativo ( $P < 0,05$ ).

*2.3.6. Objetivo 6. Evaluar la relación entre la supervivencia de *Celtis tala* y el contenido hídrico del suelo para cada ensayo.*

Se evaluó la existencia de relación entre la supervivencia de cada uno de los ensayos y el contenido hídrico obtenido por los modelos generados en el objetivo 4 mediante análisis de correlación de Pearson.

Se graficó para cada ensayo el contenido hídrico por profundidad propuesto por los modelos y la supervivencia. Se describieron las relaciones encontradas en la gráfica entre ambas variables.

## **2.4. Análisis de datos**

Todos los análisis fueron efectuados con el software estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2014).

## **III. RESULTADOS**

**3.1. Objetivo 1: Estimar y describir el balance hídrico mediante variables climáticas para caracterizar las dos localidades que presentan ensayos de plantaciones de *Celtis tala*, durante el período de estimación de la supervivencia de dichos ensayos.**

El invierno presentó la principal recarga del suelo, e incluso fue el período con los mayores excesos hídricos, principalmente en los años 2010, 2012 y 2014. Además,

a finales del invierno y a principio de la primavera del 2012 ocurrieron las máximas precipitaciones mensuales para el periodo estudiado, con más de 200 mm/ mes, lo que determinó un elevado exceso hídrico (Fig.6).

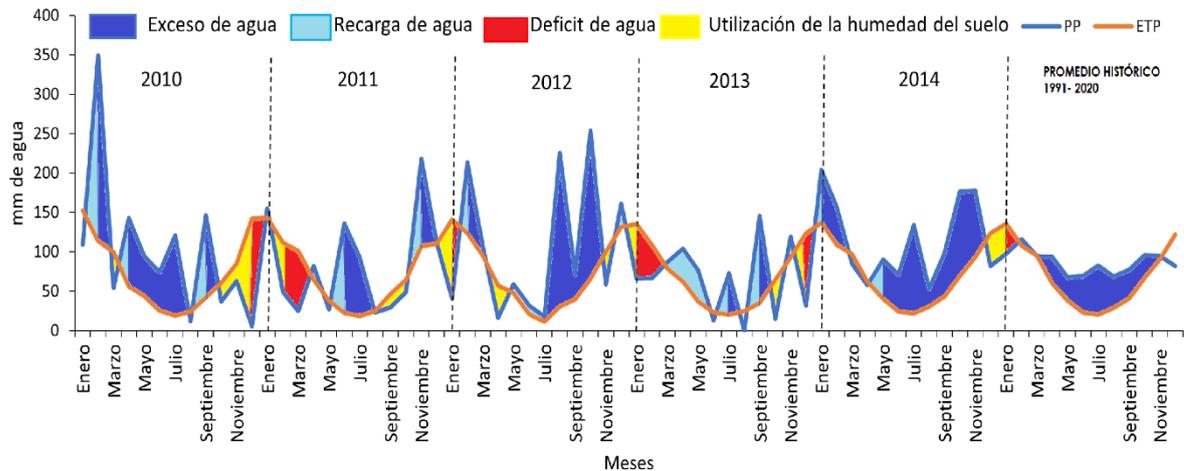


Figura 6. Balances hídricos seriados para el periodo 2010- 2014 y promedio histórico (1991-2020) con datos obtenidos de la Estación Meteorológica de Punta Indio.

Por otro lado, los veranos presentaron los meses de mayor evapotranspiración potencial generando gran consumo hídrico e incluso déficit de agua en el suelo, siendo 2010 y 2013 los años que presentaron mayor déficit. El año 2013 presentó la menor precipitación media mensual del periodo estudiado, siendo excepcionalmente nula en agosto. Se pueden apreciar acotados tiempos de consumo y recarga hídrica y un evidente déficit en el verano. El balance realizado con valores promedios de 30 años presenta variaciones menos marcadas de déficit y excesos.

**3.2. Objetivo 2: Analizar las variaciones del contenido gravimétrico de agua en el suelo en diferentes sustratos de una cantera abandonada en el período de monitoreo de la supervivencia de los ensayos de plantación con *C. tala*.**

El análisis del contenido gravimétrico de agua de los suelos a distinta profundidad no evidenció diferencias entre el estrato superficial (0-10 cm de profundidad) y el estrato inferior (10-20 cm de profundidad) (Fig. 7). El suelo arcilloso presentó significativamente un mayor contenido de agua, estimado por el método gravimétrico, y los suelos arenosos presentaron similitud en las diferentes texturas.

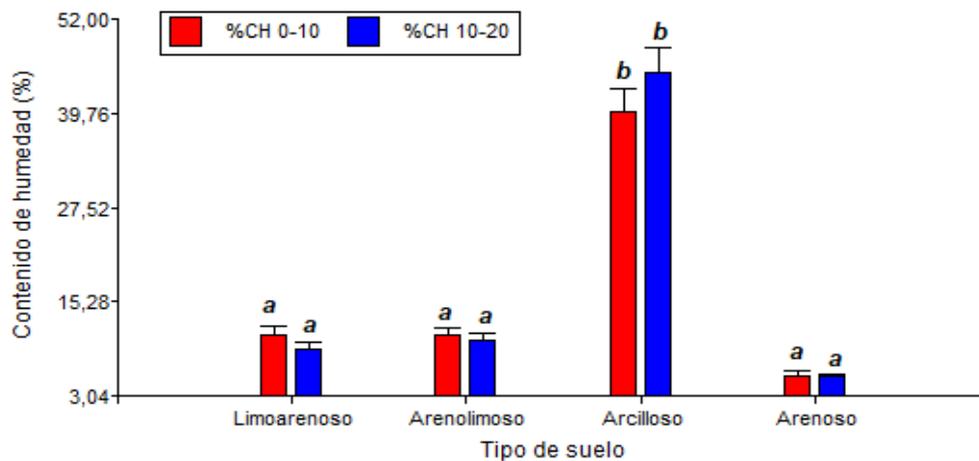


Figura 7. Contenido de humedad (%CH) para cada profundidad y tipo de suelo. Letras diferentes indican diferencias significativas (Test de Tukey,  $p < 0,05$ ). Las líneas verticales indican el error estándar.

Dada la similitud en el contenido hídrico de los suelos de texturas arenosas, se agruparon y compararon con el arcilloso, manteniéndose la tendencia señalada con anterioridad, de mayor contenido de agua en el suelo arcilloso (Fig. 8). Esta tendencia fue evidente a lo largo de las diferentes fechas de muestreo. (Fig.9).

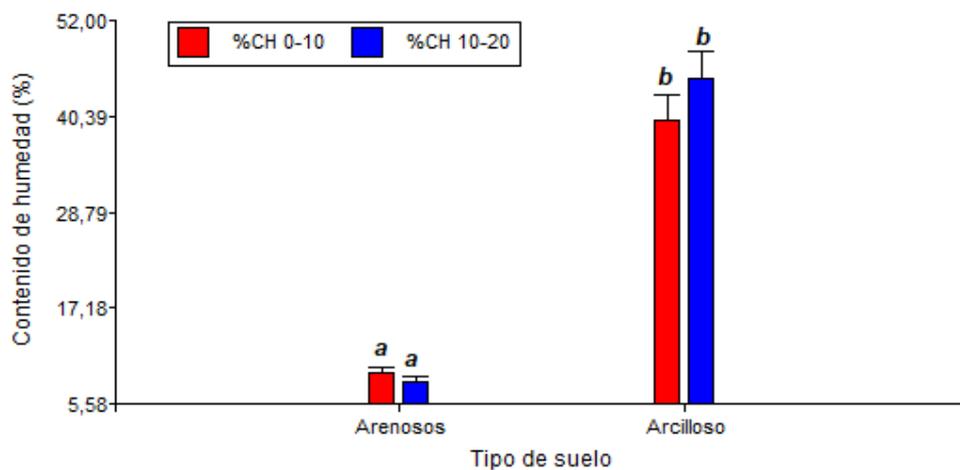


Figura 8. Contenido de humedad de suelos agrupados en dos categorías (arenosos y arcilloso). Letras diferentes indican diferencias significativas (Test de Tukey,  $p < 0,05$ ). Las líneas verticales indican el error estándar.

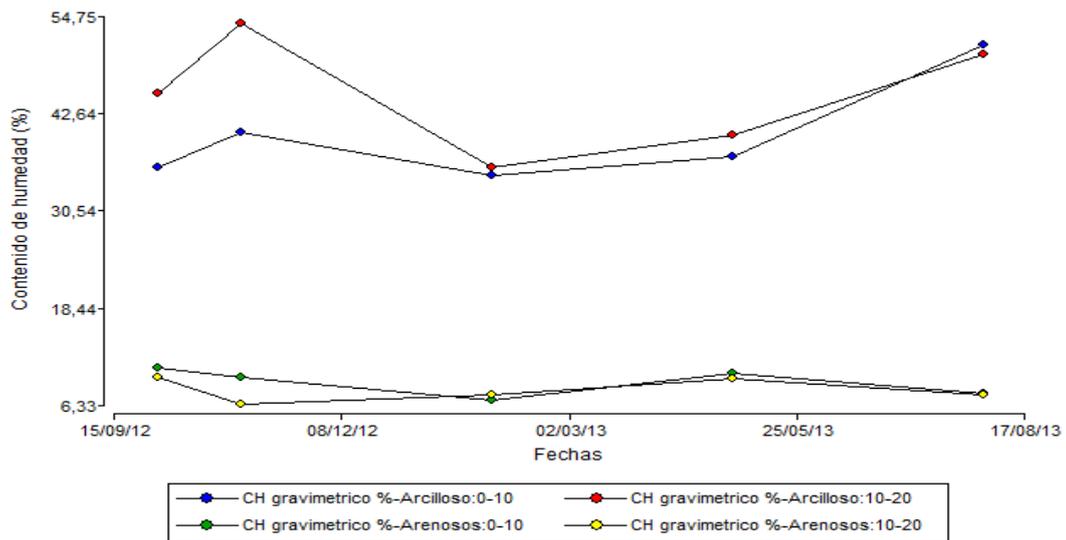


Figura 9. Contenido de humedad para las fechas de medición para los sustratos arenosos y arcillosos en las dos profundidades muestreadas.

**3.3. Objetivo 3. Analizar las variaciones del contenido gravimétrico en dos tipos de ambientes: pastizal sobre cordón desmontado y claros en bosque invadido por ligustro, en el período de monitoreo de la supervivencia de los ensayos de plantación con *Celtis tala*.**

Los suelos del bosque invadido por el ligustro tuvieron un mayor contenido de humedad que los suelos con cobertura de pastizal (Fig.10).

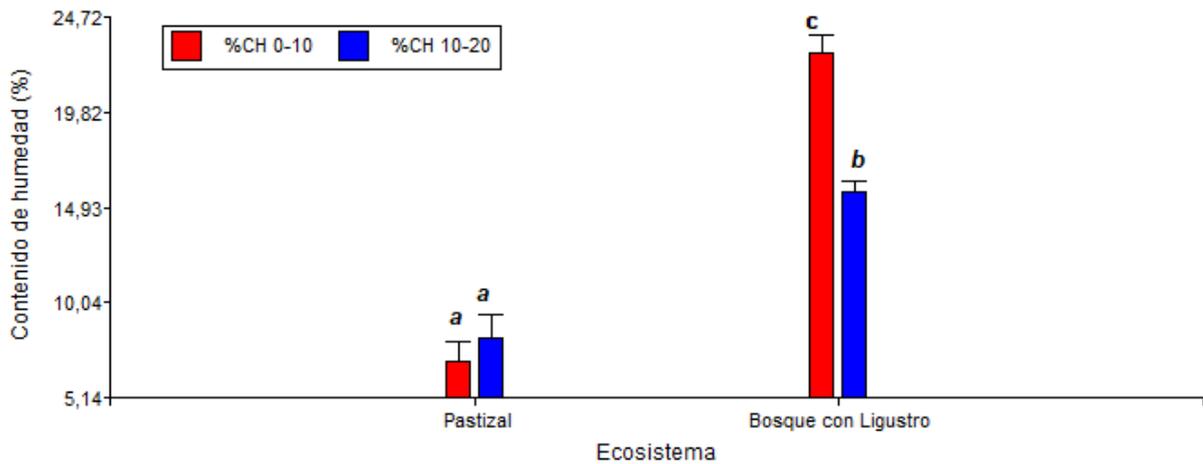


Figura 10. Contenido de humedad obtenido por el método gravimétrico para los ecosistemas bosque con ligustro y pastizal, en dos profundidades, en la localidad de Magdalena. Letras diferentes indican diferencias significativas entre ecosistemas (Test de Tukey,  $p < 0,05$ ). Las líneas verticales indican el error estándar.

### 3.3.1. Claros en el bosque invadido por ligustro

Las muestras obtenidas de los primeros 10 cm de suelo presentaron un contenido de humedad significativamente mayor que aquellas obtenidas del estrato inmediatamente inferior (10-20 cm) (Fig.11).

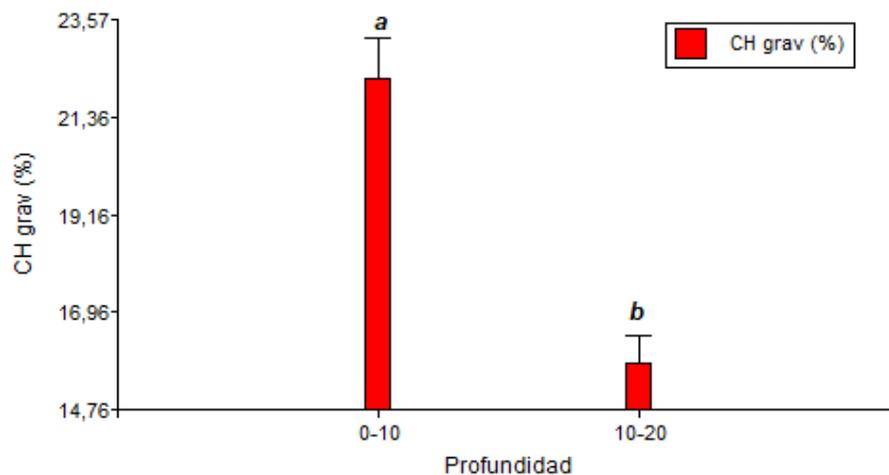


Figura 11. Contenido de humedad para las dos profundidades de las que se obtuvieron muestras en el bosque invadido por ligustro. Letras diferentes indican diferencias significativas entre profundidades de muestreo (Test de Tukey,  $p < 0,05$ ). Las líneas verticales indican el error estándar.

No existen diferencias estadísticamente significativas en el contenido de humedad entre tamaño de claro a la misma profundidad (Fig. 12).

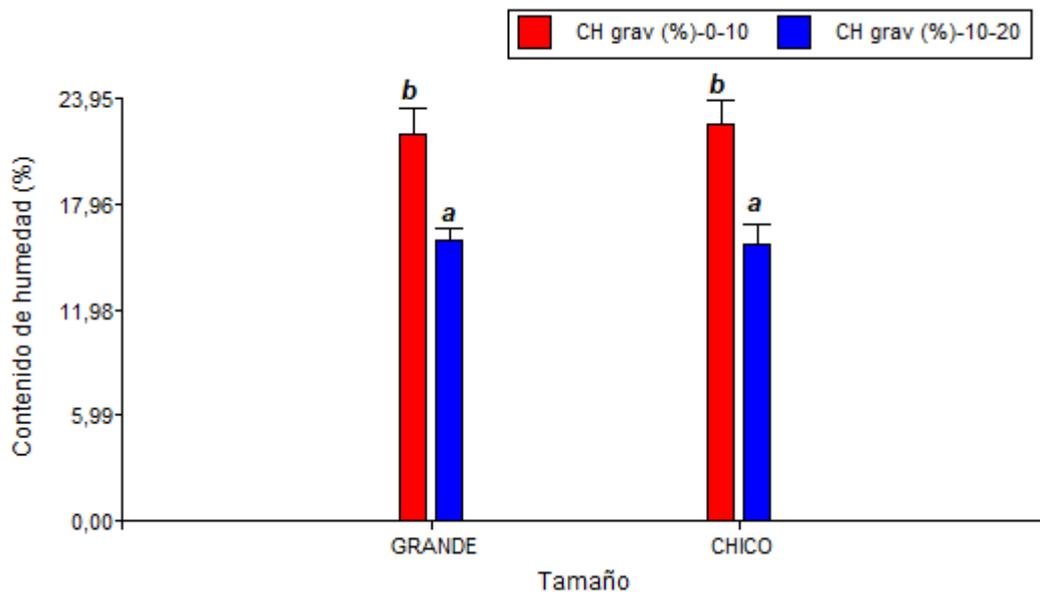


Figura 12. Contenido de humedad por tamaño del claro en el bosque invadido por ligustro para las dos profundidades. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tamaños de claro (Test de Tukey,  $p < 0,05$ ). Las líneas verticales indican el error estándar.

Al realizar un análisis del contenido de humedad gravimétrico respecto del centro del claro se obtuvo que en los primeros 10 cm de suelo (0-10 cm) no existen diferencias significativas entre medias de las diferentes posiciones, por lo que el suelo superficial se comporta como un “bloque homogéneo” independientemente de la posición respecto del claro. A pesar de ello, se puede observar que existe una tendencia al aumento de la variable desde el dosel hacia el centro del claro. En cambio, una comparación de medias en el suelo más profundo (10- 20 cm) arrojó diferencias significativas entre el contenido de humedad de las muestras de suelo de dosel y claro, mientras que las del borde comparten similitudes con las del claro y dosel, siendo el contenido de humedad mayor en el centro del claro que debajo de la cobertura arbórea (Fig.13).

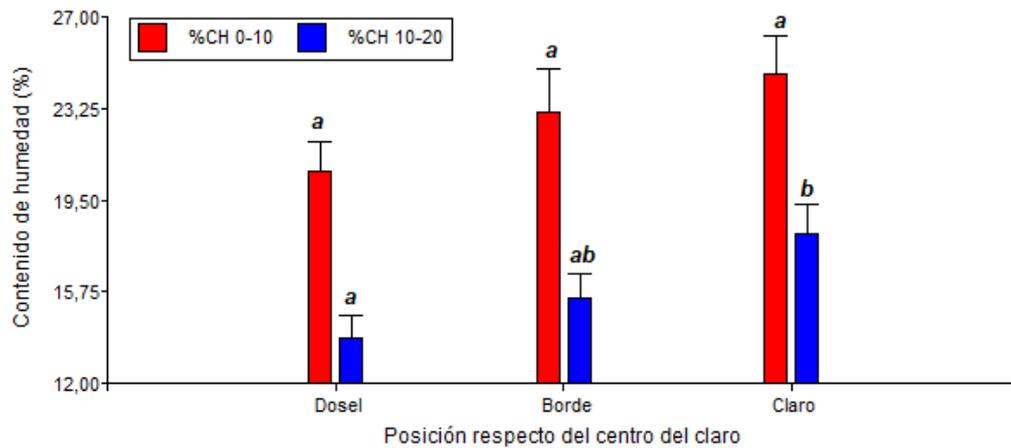


Figura 13. Contenido de humedad por posición respecto del centro del claro. Letras diferentes indican diferencias significativas entre posiciones de plantación con respecto al centro del claro (Test de Tukey,  $p < 0,05$ ). Las líneas verticales indican el error estándar.

El contenido de humedad por fecha de medición presentó diferencias significativas entre fechas principalmente en la superficie del suelo (0-10 cm). Si bien la tendencia es similar en ambas profundidades analizadas, el contenido hídrico superficial (0-10 cm) presenta variabilidad en las distintas fechas de medición, a diferencia del contenido hídrico de las muestras más profundas (10-20 cm) que fue similar en todas las fechas, siendo levemente mayor en la primera y última fecha de medición (Fig.14). En la primera fecha de medición (fines de la primavera de 2010) y en la última fecha de medición (fines del verano de 2012) se registraron los mayores contenidos hídricos para las dos profundidades analizadas. Mientras que se registraron los menores contenidos hídricos para el final de la primavera y comienzos del verano de 2011.

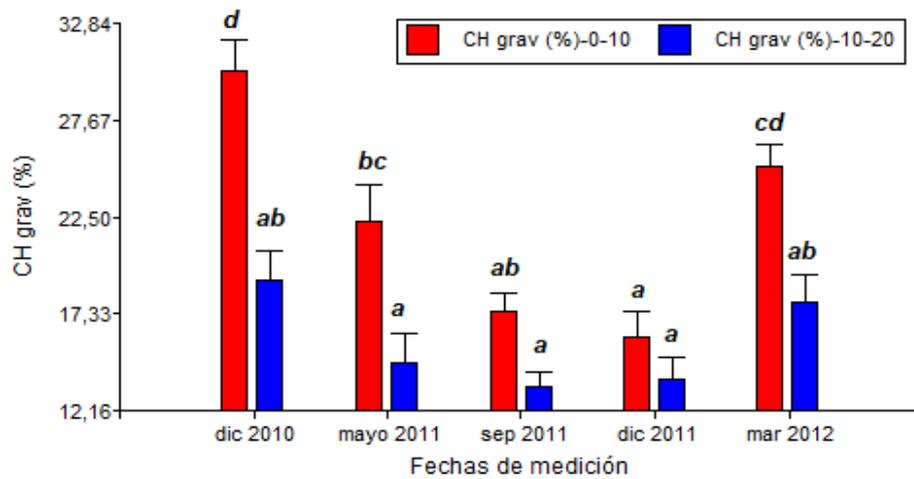


Figura 14. Contenido de humedad por fechas de medición para las dos profundidades. Letras diferentes indican diferencias significativas entre fechas de medición (Test de Tukey,  $p < 0,05$ ). Las líneas verticales indican el error estándar.

En las dos primeras fechas de medición los claros registraron un aumento del contenido hídrico, presentado el máximo en mayo de 2011. En su lugar, las restantes posiciones (borde y bosque) disminuyeron el contenido hídrico, presentando en algunos casos el menor contenido en mayo de 2011. En las siguientes fechas de medición las tres posiciones siguieron las mismas tendencias (Fig.15).

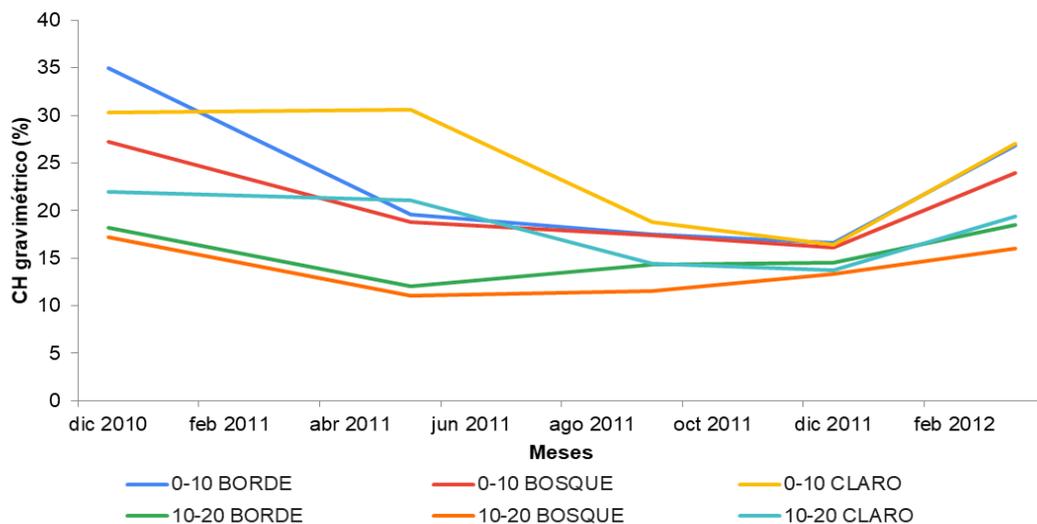


Figura 15. Contenido de humedad por fecha de medición para cada profundidad y posición respecto del centro del claro.

### 3.3.2. Pastizal sobre cordones desmontados

En estos ambientes no se verificaron diferencias significativas entre las medias de las profundidades muestreadas (0-10 y 10-20 cm) (Fig.16).

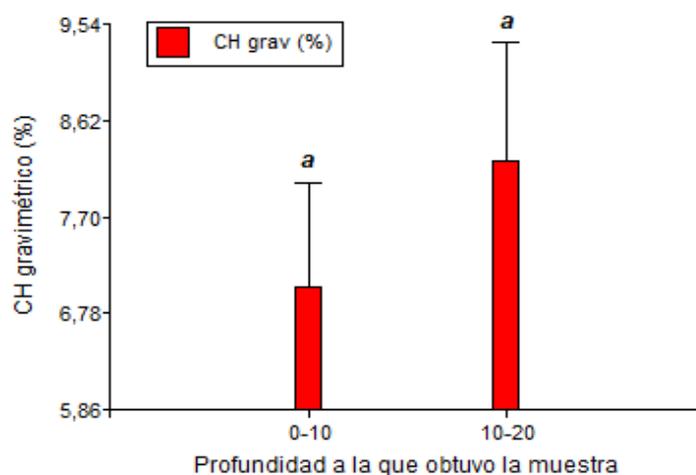


Figura 16. Contenido de humedad para las dos profundidades de las que se obtuvieron muestras en pastizal. Letras diferentes indican diferencias significativas entre profundidades de muestreo (Test de Tukey,  $p < 0,05$ ). Las líneas verticales indican el error estándar.

El contenido hídrico no fue igual en los tres pastizales donde se realizaron ensayos de reforestación con talas. En el Pastizal 1, el contenido hídrico fue significativamente mayor que en los pastizales 2 y 3 (Fig.17).

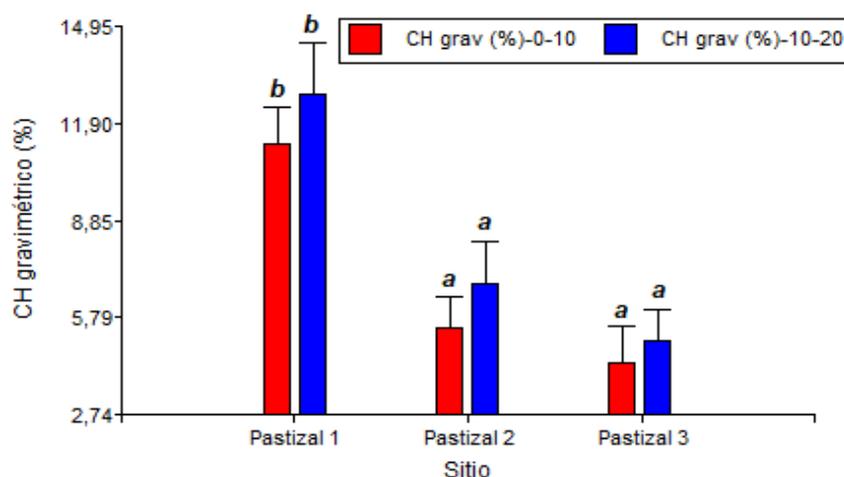


Figura 17. Contenido de humedad para cada sitio en pastizal. Letras diferentes indican diferencias significativas entre pastizales (Test de Tukey,  $p < 0,05$ ). Las líneas verticales indican el error estándar.

El contenido hídrico del suelo a lo largo del período de mediciones fue similar entre los pastizales analizados (Fig.18). Los pastizales 1 y 2 tuvieron valores pico en el otoño de 2011; los tres sitios de pastizal presentaron los valores más bajos de humedad del suelo a fines del invierno de ese mismo año y tendencias crecientes hacia la primavera. El verano de 2012 tuvo valores elevados del contenido hídrico en los tres sitios de pastizal.

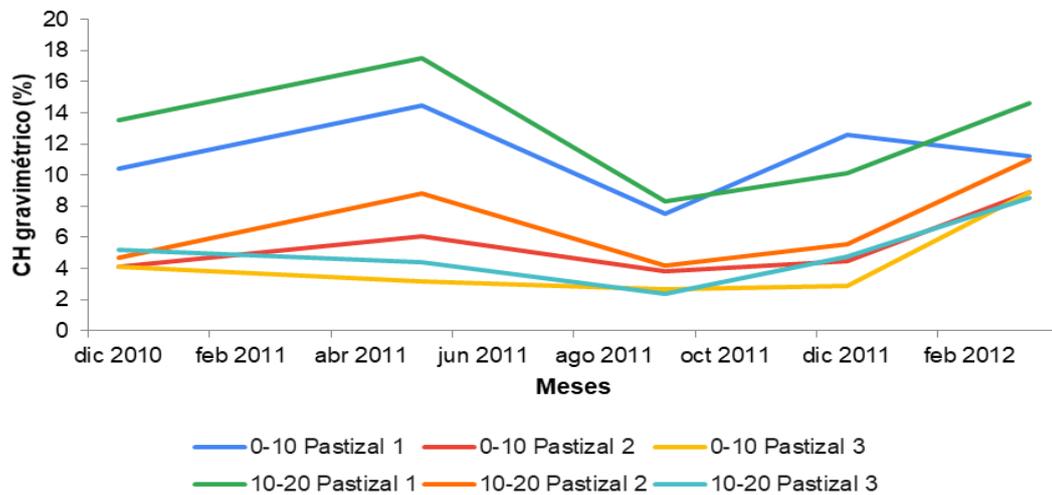


Figura 18. Contenido de humedad (%) a lo largo del periodo de mediciones para cada profundidad en pastizal.

Existen diferencias significativas entre el contenido de humedad obtenido en las diferentes fechas de medición. El menor contenido hídrico se midió en septiembre de 2011 (inicio de primavera) y el mayor en marzo de 2012 (cierre del verano) (Fig.19).

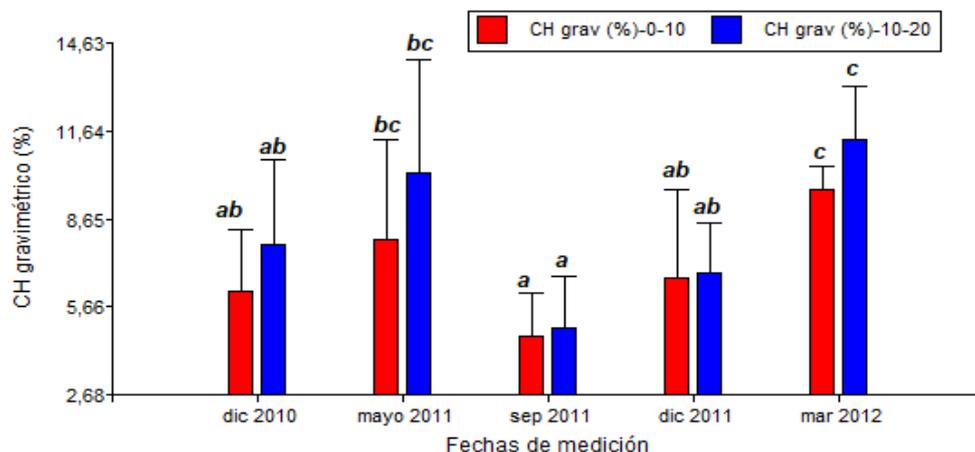


Figura 19. Contenido de humedad por fecha de medición para cada profundidad. Letras diferentes indican diferencias significativas entre fechas de medición (Test de Tukey,  $p < 0,05$ ). Las líneas verticales indican el error estándar.

### 3.4. Objetivo 4: Evaluar para los distintos ensayos, la relación entre el contenido de agua en el suelo estimado por el balance hídrico y el determinado por el método gravimétrico.

En los diferentes ensayos realizados tanto en Magdalena como en Castelli, el almacenaje hídrico del suelo anterior al mes de medición influyó en el contenido gravimétrico obtenido a campo. En algunos casos el alto contenido gravimétrico se debe a las abundantes precipitaciones registradas en el mes de medición, mientras que en otros casos el contenido hídrico medido a campo se mantiene elevado a pesar de una merma en las precipitaciones, asociado al estado hídrico preexistente en el suelo (Fig.20; 21 y 22).

En los pastizales sobre cordones desmontados de Magdalena, las variaciones del contenido gravimétrico medido a campo estuvieron asociadas a un buen contenido hídrico en el suelo (diciembre 2011 y marzo 2012), a meses de consumo vinculados a un mes previo de altas precipitaciones (noviembre 2010, mayo 2011). El contenido gravimétrico se redujo abruptamente en septiembre de 2011, un mes de consumo asociado a un mes previo también de consumo de agua en el suelo (Fig. 20).

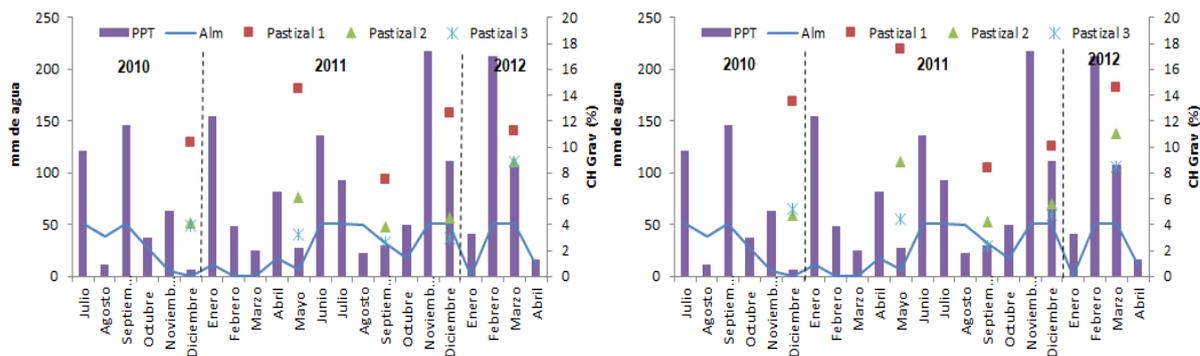


Figura 20. Relación entre el contenido gravimétrico y variables del balance hídrico en pastizales sobre cordones desmontados. Se distinguen la precipitación mensual (PPT), almacenaje hídrico obtenido por el método de Thornthwaite (Alm) y el contenido hídrico estimado por gravimetría por sitio de pastizal (Pastizal 1, Pastizal 2, Pastizal 3). Izquierda: Muestras superficiales (0-10 cm). Derecha: Muestras del estrato inferior (10-20 cm).

En los claros generados sobre bosque invadido por ligustro, el contenido gravimétrico también fue influenciado por la condición hídrica precedente del suelo. A modo de ejemplo se presentan los datos del Ligustro 1, donde el contenido gravimétrico se asocia a meses de elevada precipitación (diciembre 2011, marzo 2012), o de escasa precipitación, asociado a un mes previo de elevadas precipitaciones (diciembre 2010, mayo 2011), o a un mes de consumo asociado a un buen contenido hídrico preexistente del suelo (septiembre 2011) (Fig.21).

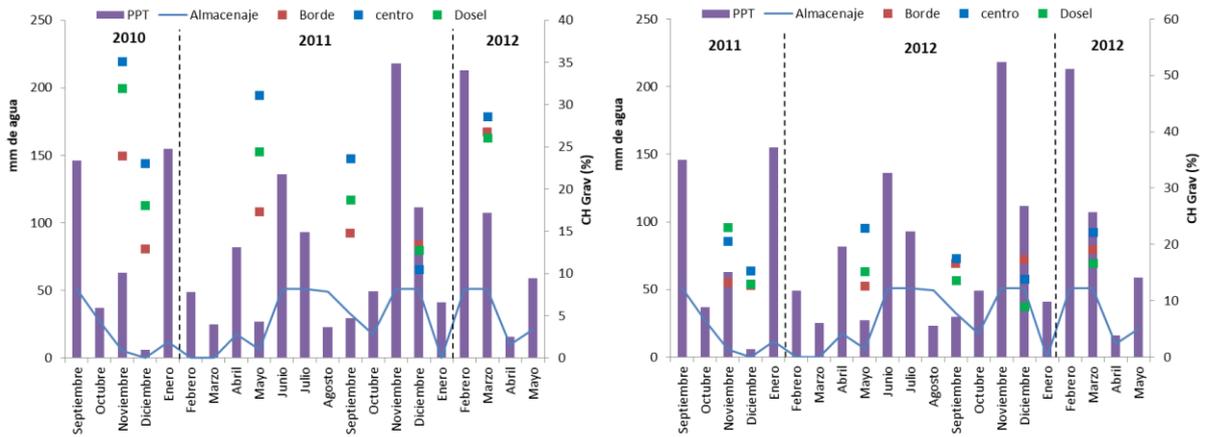


Figura 21. Relación entre el contenido gravimétrico y variables del balance hídrico en claros en bosque invadido por ligustro. Posición respecto del centro del claro para ligustro 1. Se distinguen la precipitación mensual (PPT), el almacenaje hídrico obtenido por el método de Thornthwaite (Alm) y el contenido hídrico estimado por gravimetría por posición (Borde, Centro y Dose). Izquierda: Muestras superficiales (0-10 cm). Derecha: Muestras del estrato inferior (10-20 cm).

En los sustratos de la cantera abandonada, ubicada en Castelli, las variaciones del contenido hídrico medido a campo estuvieron asociadas a las variables obtenidas del balance hídrico de Thornthwaite, donde se verifica un buen contenido hídrico del suelo (51 mm), a meses de recarga hídrica (febrero 2013) o consumo asociado a un mes previo de máximas precipitaciones (octubre 2012) (Fig.22).

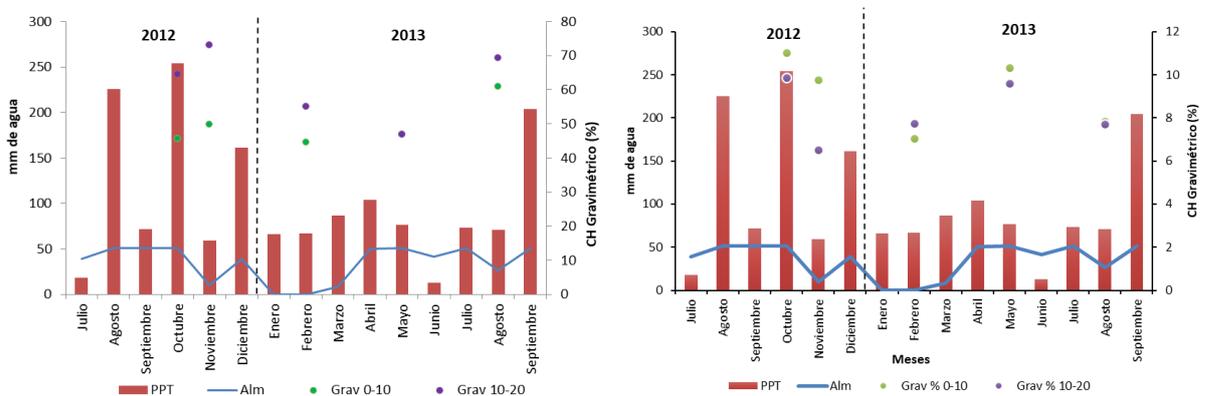


Figura 22. Relación entre el contenido gravimétrico y variables del balance hídrico en una cantera de Castelli. Se distinguen la precipitación mensual (PPT), el almacenaje hídrico obtenido por el método de Thornthwaite (Alm) y el contenido hídrico estimado por gravimetría a dos profundidades (Grav 0-10 y Grav 10-20). Izquierda: Sustrato arcilloso. Derecha: Sustrato arenosos.

### 3.4.1. Magdalena

Al analizar cada ecosistema por separado, no se encontró correlación entre el contenido hídrico gravimétrico y el almacenaje de agua en el suelo en los pastizales sobre cordones desmontados, pero se halló una débil correlación negativa y significativa entre el contenido hídrico y el almacenaje obtenido por el balance hídrico de Thornthwaite en el bosque invadido por ligustro ( $r$  de Pearson= -0,26;  $p$  valor= 0,037). En este último ambiente se identificó una correlación negativa y significativa entre variables para el estrato superficial de suelo (0-10 cm) ( $r$  de Pearson= -0,41;  $p$  valor= 0,0011).

Se encontró una débil correlación negativa y significativa entre el contenido de humedad estimado por gravimetría y el almacenaje de agua en el suelo obtenido por el BH de Thornthwaite en los claros de menor tamaño generados en el bosque invadido por ligustro ( $r$  de Pearson= 0,31;  $p$  valor= 0,0168). Al realizar el análisis por posición, únicamente la posición centro de claro presentó una correlación moderada y significativa entre el contenido de agua obtenido por el método gravimétrico y el almacenaje de agua en el suelo obtenido del balance hídrico de Thornthwaite ( $r$  de Pearson= -0,47;  $p$  valor= 0,0021).

La influencia del almacenaje de agua en el suelo o la precipitación del mes anterior al de mediciones del contenido hídrico gravimétrico llevó a considerar esas variables en la generación de modelos secuenciales para estimar el contenido hídrico. Los modelos que tienen en cuenta el estado hídrico preexistente del suelo generados a partir de los datos de Magdalena, se presentan en las Ecuaciones 1 y 2.

$$\ln(\%CH) = a + b_1 * \ln PP_{mes anterior} + b_2 * \ln PP_{mes + vegetación} \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$\ln(\%CH) = a + b_1 * \ln ALM_{mes anterior} + b_2 * \ln ALM_{mes + vegetación} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Siendo  $a$ ,  $b_1$  y  $b_2$  parámetros del modelo, obtenidas para cada una de las dos profundidades por análisis de regresión. Los valores de los parámetros de ambos modelos se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de los modelos obtenidos por regresión múltiple entre el contenido de humedad gravimétrico en función del almacenaje de agua en el suelo obtenido por el método de Thornthwaite o en función de la precipitación para Punta Indio. Los valores en negrita son significativos ( $P < 0,05$ ). a: ordenada al origen, b1: mes anterior, b2: mes, vegetación: pastizal o bosque. LN: Logaritmo natural.

	<u>LN Almacenaje</u>		<u>LN precipitación</u>	
	<u>0-10</u>	<u>10-20</u>	<u>0-10</u>	<u>10-20</u>
a	0,22	<b>1,18</b>	<b>1,89</b>	<b>1,89</b>
b1	<b>0,89</b>	<b>0,47</b>	-0,09	-0,01
b2	<b>-0,48</b>	<b>-0,25</b>	<b>0,13</b>	0,07
Vegetación	<b>1,16</b>	<b>0,7</b>	<b>1,18</b>	<b>0,71</b>
R <sup>2</sup> ajustado	<b>0,66</b>	<b>0,41</b>	<b>0,63</b>	<b>0,40</b>

Para comparar los valores de contenido gravimétrico medido a campo y aquellos generados por los modelos obtenidos, se aplicó a estos últimos el antilogaritmo a fin de expresar todos los valores en porcentajes.

En Magdalena los dos modelos respondieron de manera muy similar independientemente de la profundidad (Fig. 23 y 24). Los modelos tienen un mejor comportamiento en el bosque invadido por ligustro (Fig. 23) y sobreestiman el contenido hídrico en los cordones desmontados en las dos profundidades (Fig.24).

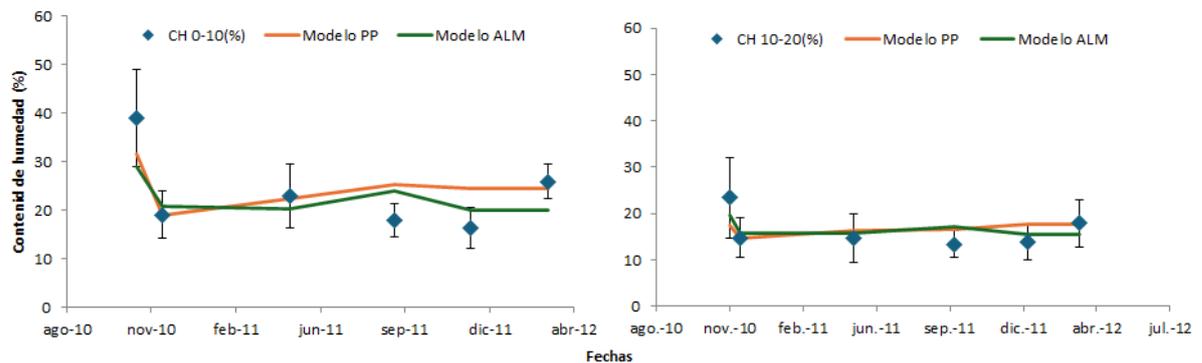


Figura 23. Contenido de humedad (%) en bosque invadido por ligustro por fecha de medición. Línea naranja: Contenido hídrico obtenido por el modelo a partir de la precipitación como variable predictora (Modelo PP). Línea verde: Contenido hídrico obtenido por el modelo a partir del almacenaje como variable predictora (Modelo ALM). Líneas verticales: Desvío estándar. Izquierda: 0-10 cm de profundidad. Derecha: 10-20 cm de profundidad.

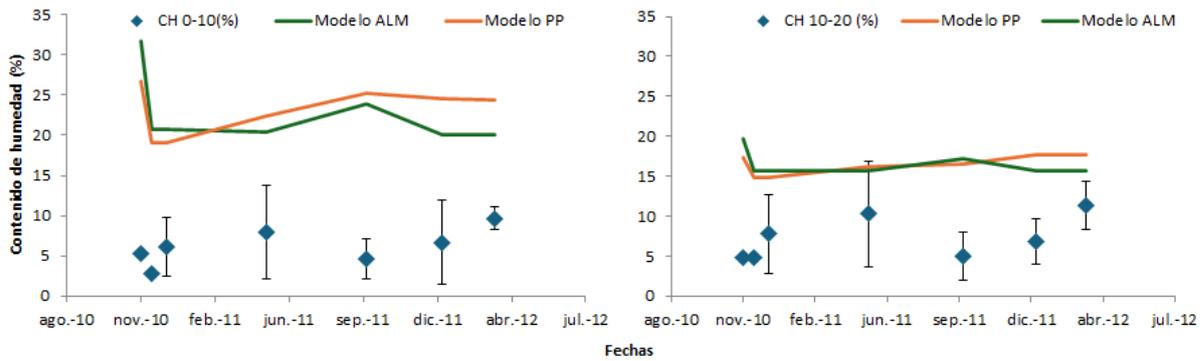


Figura 24. Contenido de humedad (%) en los cordones desmontados por fecha de medición. Línea naranja: Contenido hídrico obtenido por el modelo a partir de la precipitación como variable predictora (Modelo PP). Línea verde: Contenido hídrico obtenido por el modelo a partir del almacenaje como variable predictora (Modelo ALM). Líneas verticales: Desvío estándar. Izquierda: 0-10 cm de profundidad. Derecha: 10-20 cm de profundidad.

### 3.4.2. Castelli

Al realizar el análisis de correlación entre el contenido de agua gravimétrico y el almacenaje de agua por tipo de sustrato en Castelli, en la textura arenosa se observó una relación positiva y moderada entre variables ( $r$  de Pearson= 0,77;  $p$  valor= 0,0097), mientras que la arcillosa no presentó correlación para esas mismas variables.

En una primera instancia se quiso generar modelos individuales para las dos localidades con las mismas variables independientes, pero en Castelli no se halló un modelo estadísticamente significativo y dado que los modelos de Magdalena se generaron a partir de variables que describen el balance hídrico de toda la zona, se utilizaron los mismos parámetros generados para Magdalena en los modelos para estimar el contenido hídrico en Castelli.

El ajuste entre valores observados en Castelli y predichos por los modelos, evaluado con la Correlación de Spearman, en el caso de los suelos arenosos fue no significativo para ambos modelos. En cambio, en el caso de los suelos arcillosos la correlación de Spearman fue positiva y significativa para el estrato de 10-20 cm de profundidad ( $S = 1$ ,  $p=0,045$ ). En el caso del estrato superior (0-10 cm de

profundidad) la correlación entre dichas variables fue 0,80, aunque resultó marginalmente significativa ( $p = 0,06$ ).

Ambos modelos sobreestiman el contenido hídrico en suelos arenosos (Fig.25), pero subestiman el mismo en suelos arcillosos (Fig.26). El modelo que tomó al almacenaje como variable predictora presentó un comportamiento errático, con saltos bruscos que no responden al comportamiento del agua medida a campo. A diferencia, el modelo que tomó como variable predictora a la precipitación no presentó variaciones marcadas.

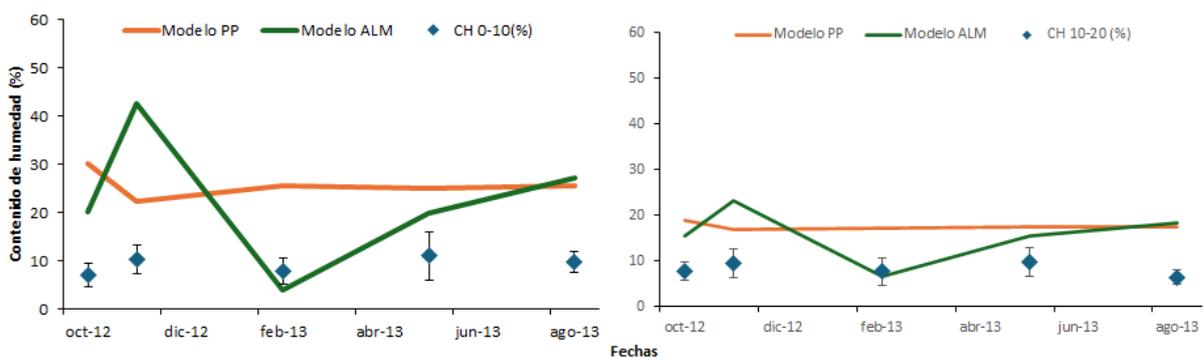


Figura 25. Relación entre el contenido de agua gravimétrico y el contenido de agua estimado por los modelos en sustratos arenosos de Castelli por fecha de medición. Línea naranja: Contenido hídrico obtenido por el modelo a partir de la precipitación como variable predictora (Modelo PP). Línea verde: Contenido hídrico obtenido por el modelo a partir del almacenaje como variable predictora (Modelo ALM). Líneas verticales: Desvío estándar. Izquierda: 0-10 cm de profundidad. Derecha: 10-20 cm de profundidad.

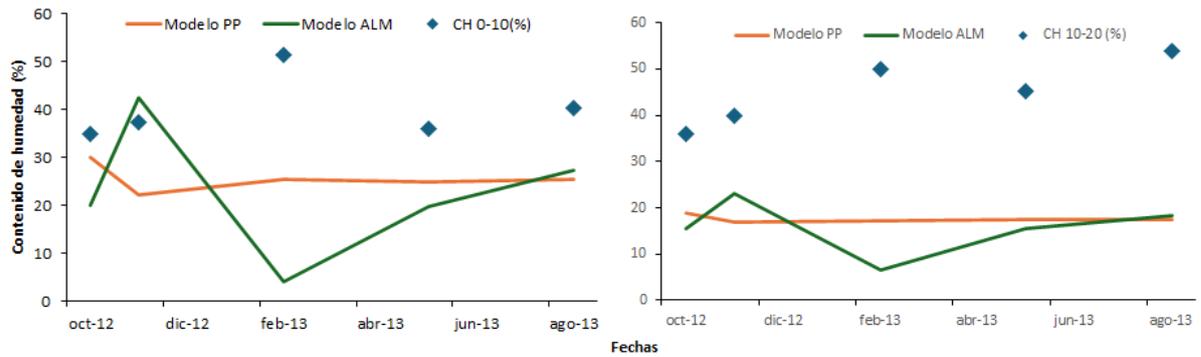


Figura 26. Relación entre el contenido de agua gravimétrico y el contenido de agua estimado por los modelos en sustrato arcilloso de Castelli por fecha de medición. Línea naranja: Contenido hídrico obtenido por el modelo a partir de la precipitación como variable predictora (Modelo PP). Línea verde: Contenido hídrico obtenido por el modelo a partir del almacenaje como variable predictora (Modelo ALM). Izquierda: 0-10 cm de profundidad. Derecha: 10-20 cm de profundidad.

### 3.5. Objetivo 5. Estimar y describir las variaciones en la supervivencia en los diferentes ensayos de plantación con *Celtis tala*.

#### 3.5.1. Pastizal sobre cordones desmontados

El pastizal 1 obtuvo los mayores valores de supervivencia hasta inicios de la primavera del 2011 y posteriormente fue el que presentó la mayor mortalidad en comparación con los otros dos cordones desmontados (Fig.27).

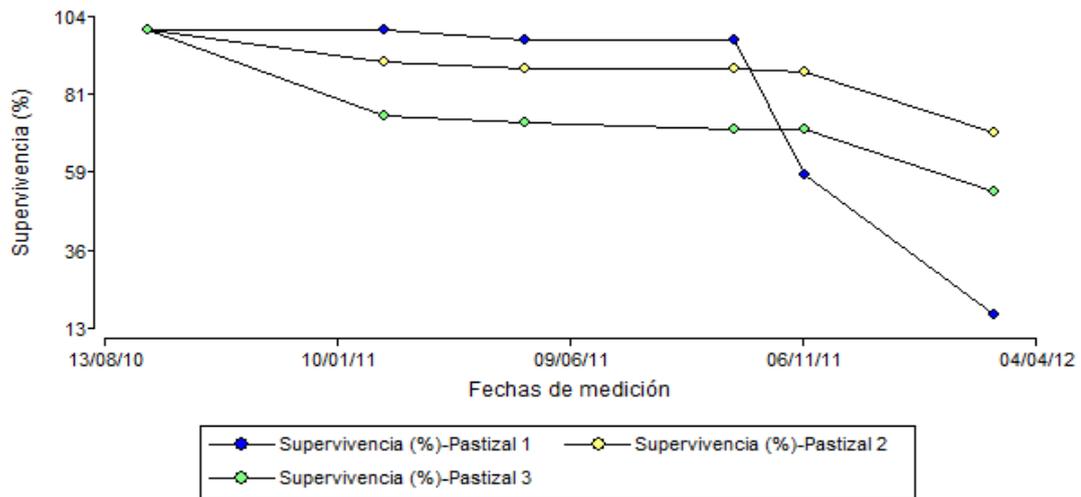


Figura 27. Supervivencia de plantas de ensayo de reforestación de *C. tala* en tres sitios de pastizal sobre cordones desmontados de la localidad de Magdalena.

### 3.5.2. Claros en el Bosque invadido por ligustro

La supervivencia en claros en el bosque invadido por ligustro fue alta en todos los casos para los primeros dos años de medición. En diciembre de 2013 la supervivencia comenzó a decaer en los ensayos denominados ligustro 1, 2, y 4, aunque esta continuó siendo elevada, de aproximadamente el 80%. En esa fecha el ensayo ligustro 5 mantuvo una supervivencia por encima del 95%. Más de un año después, en marzo 2015, la supervivencia disminuyó drásticamente, siendo de 38% en promedio. El ligustro 2 presentó la mayor supervivencia para dicha fecha (47%) y el ligustro 4 la menor (29%), la supervivencia en los claros ligustro 1 y ligustro 5 presentó valores intermedios (36 y 40% respectivamente) (Fig.28).

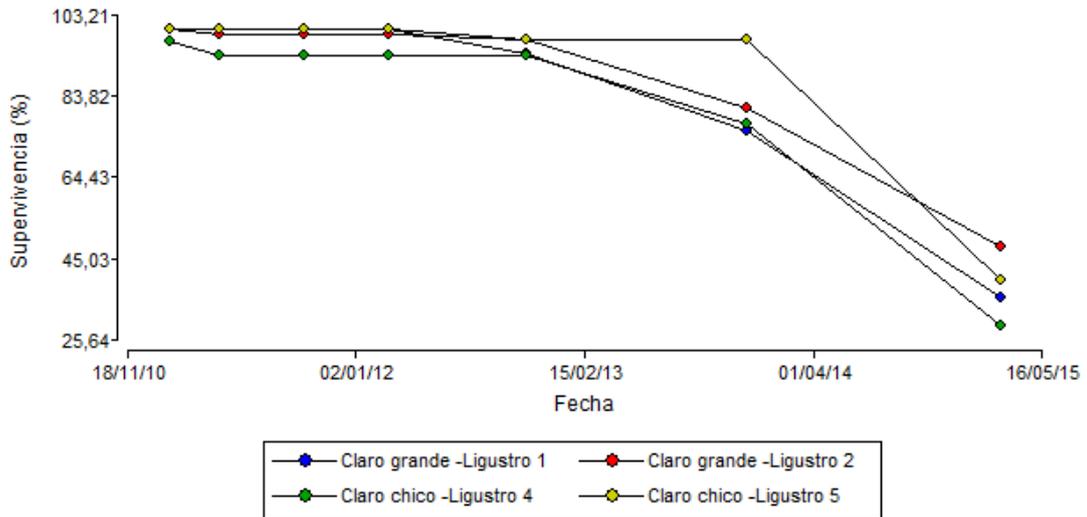


Figura 28. Supervivencia por fecha de medición en los individuos de *C. tala* plantados en ensayos en claros sobre bosque invadido por el ligustro: ligustro 1, ligustro 2, ligustro 4 y ligustro 5.

La supervivencia presentó como tendencia mayores valores en los claros chicos (200 m<sup>2</sup>) aunque el análisis estadístico no evidenció diferencias significativas con los claros grandes (500 m<sup>2</sup>). El análisis por posición respecto al centro del claro tampoco evidenció diferencias significativas. A pesar de ello la posición centro de claro presentó una tendencia de mayores valores de supervivencia que las restantes posiciones (Fig.29).

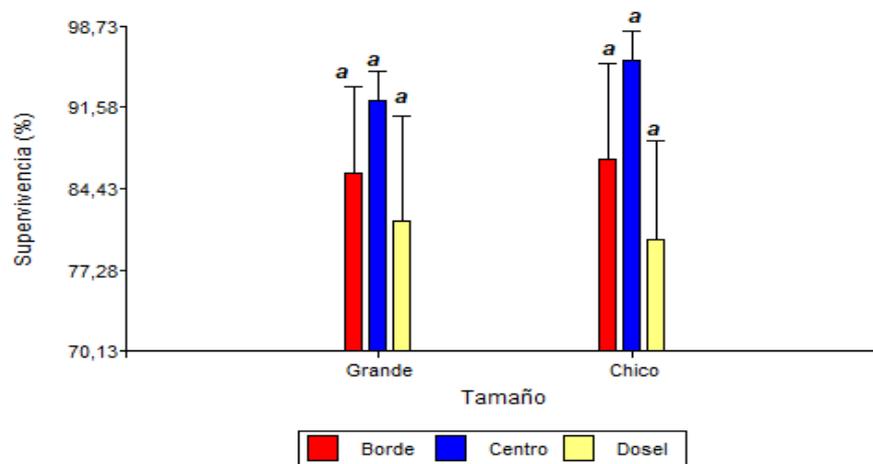


Figura 29. Supervivencia en bosque invadido por ligustro teniendo en cuenta el tamaño y la posición respecto del centro del claro. Grande: 500 m<sup>2</sup>, Chico: 200 m<sup>2</sup>. Posiciones respecto del centro del claro: borde, centro, dosel. Letras diferentes indican diferencias significativas (Test de Tukey, p<0,05). Las líneas verticales indican el error estándar.

La supervivencia por fecha de medición presentó diferencias significativas por posición en la última fecha de muestreo (marzo de 2015). En esta fecha la supervivencia se vio significativamente reducida en el borde del claro y bajo dosel, mientras que en el centro del claro fue significativamente más elevada (Fig.30).

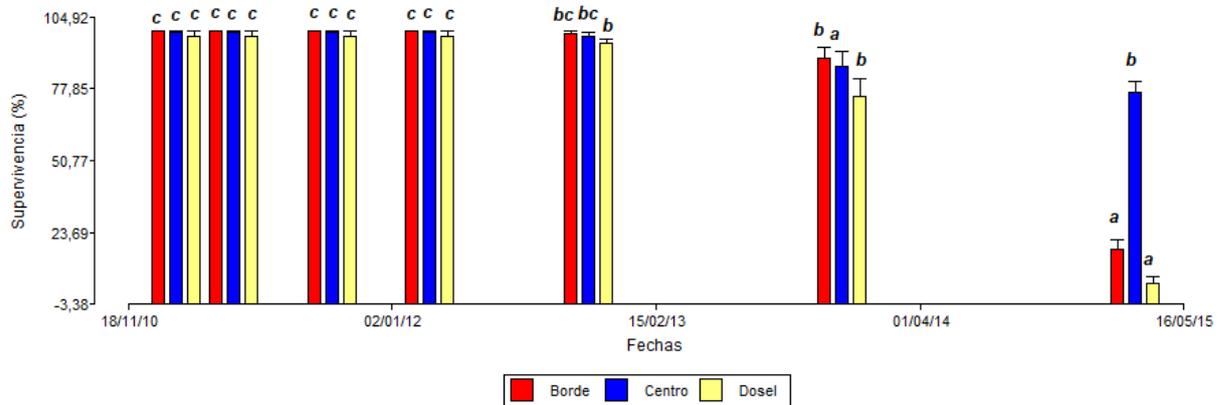


Figura 30. Supervivencia en bosque invadido por ligustro según la posición respecto del centro del claro. Posiciones respecto del centro del claro: borde, centro, dosel. Letras diferentes indican diferencias significativas (Test de Tukey,  $p < 0,05$ ). Las líneas verticales indican el error estándar.

### 3.5.3. Pastizales de Castelli

La supervivencia de las plantas de tala empleadas en el ensayo de reforestación en la cantera fue del 100% con excepción de las últimas fechas de medición. En octubre de 2013, la supervivencia fue elevada (cercana a 96%) sin una tendencia clara de diferenciación entre tipos de sustrato (Fig.31). Sin embargo, más de un año después, en la siguiente medición (diciembre 2014), la supervivencia fue nula para todos los tipos de suelos. No se realizaron mediciones intermedias.

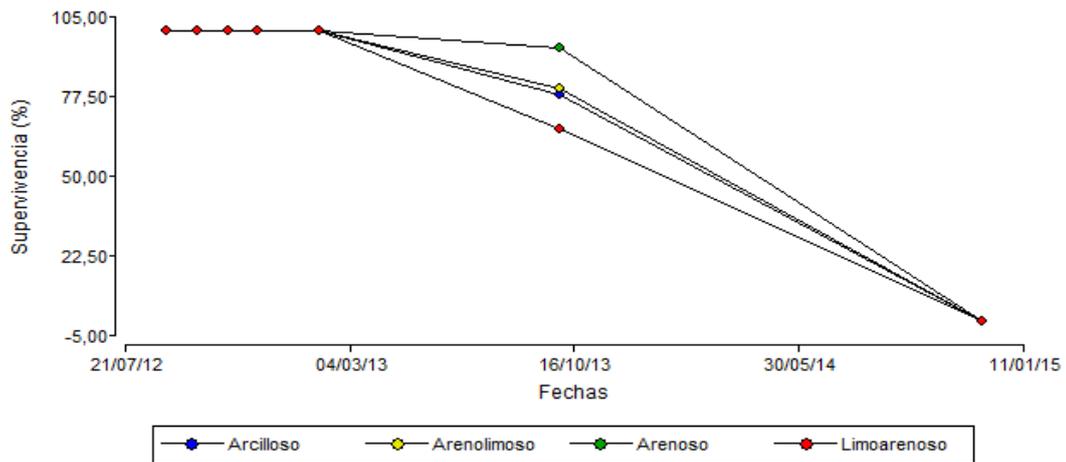


Figura 31. Supervivencia de plantas del ensayo de reforestación con *C. tala* en una cantera abandonada en la localidad de Castelli.

### 3.6. Objetivo 6. Evaluar la relación entre la supervivencia de *Celtis tala* y el contenido hídrico del suelo para cada ensayo.

No se halló correlación entre la supervivencia y el contenido hídrico en los ensayos sobre cordones desmontados y en la cantera de Castelli. Únicamente se halló relación estadísticamente significativa entre la supervivencia y el contenido hídrico generado por los modelos, para el estrato subsuperficial de suelo en bosque invadido por ligustro (10-20 cm) (Modelo ALM: Borde: r de Pearson= 0,94, p valor=0,0001; Centro: r de Pearson=0,73, p valor=0,0001; Dosel: r de Pearson=0,92, p valor= 0,0001. Modelo PP: Borde: r de Pearson=-0,37, p valor=0,0516; Centro: r de Pearson=-0,45; p valor=0,0170; Dosel: r de Pearson=-0,41, p valor=0,0290).

El contenido hídrico estimado por los modelos no siguió la misma tendencia en el tiempo que la supervivencia (Fig. 32; 32 y 33).

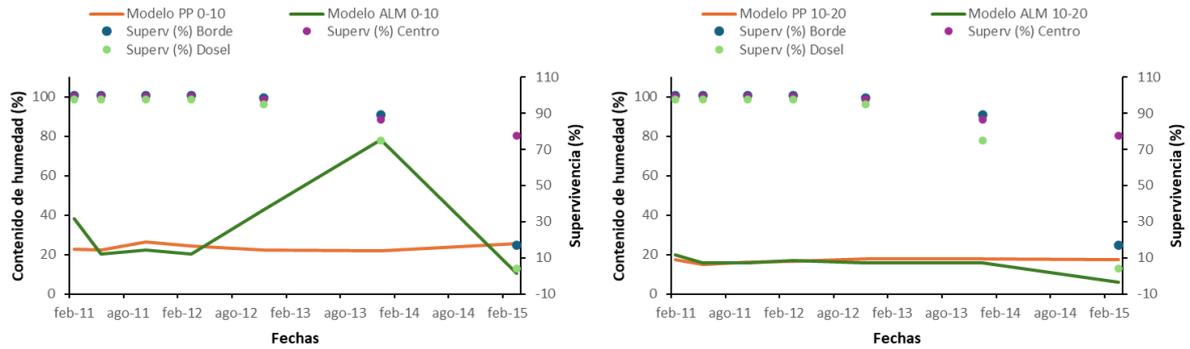


Figura 32. Supervivencia y contenido hídrico estimado por dos modelos en claros sobre bosque invadido por ligustro. Línea naranja: Contenido hídrico obtenido por el modelo a partir de la precipitación como variable predictora (Modelo PP). Línea verde: Contenido hídrico obtenido por el modelo a partir del almacenaje como variable predictora (Modelo ALM). Puntos azul, verde y violeta: Supervivencia en borde, dosel y centro de claro. Profundidad de las muestras: 0-10 cm. Izquierda: 0-10 cm de profundidad. Derecha: 10-20 cm de profundidad.

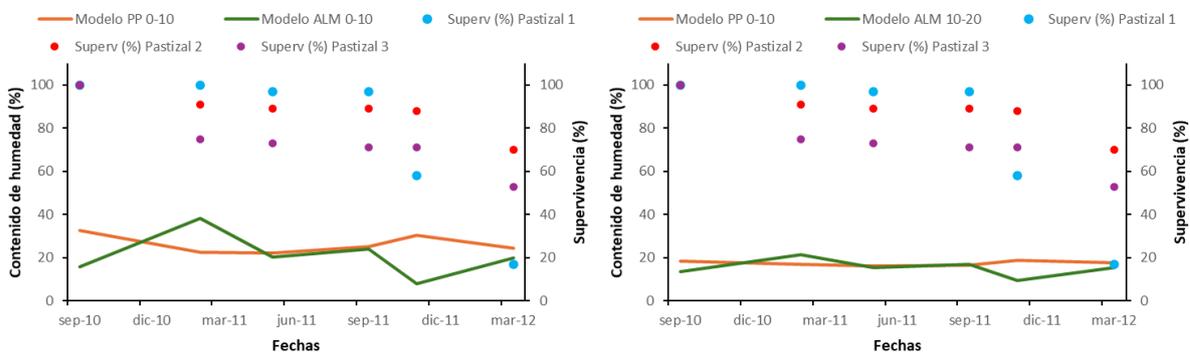


Figura 33. Supervivencia y contenido hídrico estimado por dos modelos en pastizales sobre cordones desmontados. Línea naranja: Contenido hídrico obtenido por el modelo a partir de la precipitación como variable predictora (Modelo PP). Línea verde: Contenido hídrico obtenido por el modelo a partir del almacenaje como variable predictora (Modelo ALM). Puntos celestes, rojos y violetas: Supervivencia en P1, P2 y P3. Profundidad de las muestras: 0-10 cm. Izquierda: 0-10 cm de profundidad. Derecha: 10-20 cm de profundidad.

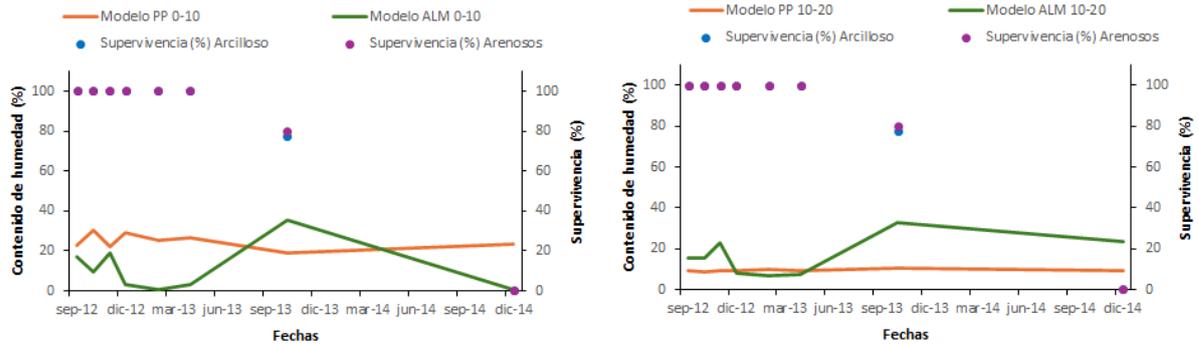


Figura 34. Supervivencia y contenido hídrico estimado por dos modelos para sustratos arcilloso y arenosos en Castelli. Línea naranja: Contenido hídrico obtenido por el modelo a partir de la precipitación como variable predictora (Modelo PP). Línea verde: Contenido hídrico obtenido por el modelo a partir del almacenaje como variable predictora (Modelo ALM). Izquierda: 0-10 cm de profundidad. Derecha: 10-20 cm de profundidad.

## IV. DISCUSIÓN

### 4.1. Supervivencia de *Celtis tala* en relación al estrés hídrico

En este trabajo no se pudo establecer que la mortalidad observada en los diferentes ensayos de *C. tala* se deba a una baja disponibilidad hídrica del suelo como se esperaba, ya que no se encontró una relación evidente entre la supervivencia y las estimaciones del agua en el suelo. En particular, los modelos obtenidos en el presente trabajo no guardaron una relación estrecha con el comportamiento de la supervivencia. Si bien se encontró una supervivencia alta en las primeras fechas de medición en todos los ensayos, investigaciones previas evidenciaron crecimiento nulo o incluso decrecimientos para las mismas fechas de estimación de la supervivencia (Plaza Behr 2017; Azcona 2018). Sin embargo, la falta de ajuste de la supervivencia de los talas con los modelos de disponibilidad hídrica del suelo tampoco permite rechazar la hipótesis planteada en lo referente a la importancia del agua en el establecimiento de los ejemplares de esta especie en los ensayos de restauración.

La supervivencia de las plantas está íntimamente relacionada con la disponibilidad hídrica del suelo. Chavez et al. (2002) afirman que las plantas desarrollan estrategias de adaptación para afrontar el déficit hídrico e incluso la

sequía, como evitar y/o tolerar el estrés. Estas estrategias pueden actuar de manera sinérgica o antagónica con otros estreses y son característicos de cada genotipo. Pueden incluir adaptaciones metabólicas, anatómicas y estructurales en hojas y raíces que le permiten mejorar el funcionamiento de la planta bajo estrés (Valladares et al., 2004). El desarrollo de respuestas tempranas al estrés hídrico favorecería una supervivencia temprana (Chavez et al. 2002). Plaza Behr (2017) ha caracterizado el comportamiento de *C. tala* frente al estrés hídrico como una especie elástica, cuya mortalidad de partes de la planta se incrementa en momentos de escasez hídrica, pero pasado el estrés la planta se recupera. En caso de persistir el estrés en el tiempo, los ejemplares no toleran la condición de déficit, la situación se vuelve irreversible y se produce la muerte de los individuos (Plaza Behr 2017). Además, el tala es una especie que tiene baja tasa de regeneración en los pastizales sobre cordones desmontados y bosque nativo, especialmente por el efecto competitivo debido a la alta ocupación del suelo (Arturi & Goya, 2004; Plaza Behr et al. 2021). Arturi & Goya (2004) sostienen que un rápido desarrollo de las plantas de tala les abriría una vía de escape a la escasez hídrica, evitando así la mortalidad de los individuos.

La supervivencia en los distintos sitios de ensayo, luego de transcurrido cierto tiempo fue baja o nula, pero varió el momento en que cayó drásticamente. En los cordones desmontados la supervivencia disminuyó significativamente luego de dos años de iniciado el ensayo a campo. En los claros sobre bosque invadido, la supervivencia cayó luego de tres años, y en las canteras de Castelli la misma comenzó a menguar al año y fue nula al tercer año de comenzado el ensayo a campo. La influencia de la disponibilidad hídrica y posiblemente otros factores no evaluados en este trabajo, recién se hicieron evidentes luego del tiempo mencionado para cada uno de los ensayos desde la plantación. Si bien en este trabajo no se evaluó el crecimiento, estudios previos concluyeron que las plantas relevadas no crecieron durante las primeras fechas de medición, varios ejemplares presentaron nulo crecimiento, caída de hojas, muerte apical, pérdida de altura (Plaza Behr, 2017; Azcona, 2018), por lo tanto, la supervivencia no puede interpretarse como sinónimo de un buen desarrollo de las plantas. En todos los casos la mortalidad no fue inmediata, sino que existió un tiempo de “resistencia” donde la planta destinó sus

recursos a sobrevivir. Valladares et al., (2004) definen como especies “menos conservadoras” a aquellas que destinan gran cantidad de recursos al crecimiento inicial de la planta para un buen establecimiento, y en especial este periodo es el de mayor susceptibilidad para su supervivencia. Plaza Behr (2017) considera al tala como una especie poco conservadora, pero en realidad, en los ensayos analizados en este trabajo, el tala no logró crecer sino sólo sobrevivir. Se podría decir que el tala es una especie que ante un sustrato altamente alterado o en condiciones de competencia no logra establecerse con efectividad, sino que muere luego de un desgaste fisiológico cuando las condiciones de su entorno no le son favorables. La muerte no está causada por un periodo de déficit hídrico durante un período acotado, sino que ocurre a partir de una suma de factores, entre los que no puede descartarse la disponibilidad hídrica, dado que las mayores tasas de mortalidad en todos los ensayos analizados ocurrieron luego de transcurrido el verano.

La supervivencia del tala fue superior en el bosque que en áreas abiertas o en la cantera. Esto se puede asociar al abrigo frente a eventos climáticos extremos y a la disponibilidad hídrica que brinda el bosque gracias a la capacidad que tiene de retener agua y liberarla lentamente a medida que el sistema la requiera (Rodríguez et al., 2021). Los bosques tienen una capacidad natural para regular el ciclo del agua. Interceptan y evaporan más agua que cualquier otro tipo de vegetación o superficie. Además, captan grandes cantidades de agua gracias a sus sistemas de raíces, los cuales estabilizan el suelo y previenen la erosión (Rodríguez et al., 2021). En comparación con otros ambientes, los bosques destacan por su alta capacidad para infiltrar y retener agua en el suelo (Rodríguez et al., 2021). Si bien en el bosque el consumo de agua por evapotranspiración es superior a la de los pastizales debido entre otras cosas a la mayor profundidad que alcanza el sistema radical (Echeverría et al., 2007), posiblemente el consumo hídrico de los plantines de *C. tala* llevados a campo sea menor con el reparo del bosque que en áreas abiertas. Al generar un claro, se crea un espacio con condiciones diferentes a las del bosque circundante. Los claros modifican la disponibilidad de recursos, crean micrositios que permiten el establecimiento de plantas (Donoso et al., 2018). El reemplazo de un área boscosa por una cubierta herbácea, genera cambios importantes en los aportes de agua que llega al suelo, afectando principalmente la distribución espacial y temporal de

contenido hídrico del suelo, la profundidad a la que llega y la cantidad de agua involucrada en los procesos de dinámica del agua (Echeverría et al., 2007). En el centro de claro la supervivencia de los talas fue significativamente mayor a las restantes posiciones en la última fecha de medición. Plaza Behr et al. (2016) afirma que la mayor supervivencia en los centros de claro se debe a que la competencia es menor que en el borde o bajo dosel. Los claros grandes difieren de los claros pequeños principalmente en lo que respecta a la sombra y la protección que brindan los árboles que lo rodean, en las condiciones microclimáticas y de humedad del suelo (Donoso et al., 2018). Plaza Behr et al. (2016) afirma que la supervivencia del tala es mayor en los claros chicos (200 m<sup>2</sup>) debido al menor desarrollo de vegetación herbácea que se instala con la apertura del claro.

En áreas abiertas, cordones desmontados y canteras, la supervivencia de los talas comenzó a disminuir más tempranamente que en los claros generados en el bosque invadido por el ligustro. La elevada irradiancia en estos ambientes, sumado al déficit hídrico y la competencia con especies herbáceas son señaladas como factores que contribuyen a explicar las altas tasas de mortalidad luego de cierto periodo de resistencia (Azcona, 2018; Plaza Behr et al., 2021). La alteración de un sistema natural tal como ocasiona la extracción de conchilla en canteras disturba profundamente el suelo, dejando un remanente de mezcla de materiales escasos en nutrientes, afectando la supervivencia del tala en dichas condiciones (Plaza Behr, 2017).

Además de una respuesta no inmediata de las plantas de tala a las condiciones adversas en los diferentes ensayos analizados, la ausencia de una relación estrecha entre la supervivencia y la disponibilidad hídrica del suelo analizada en este trabajo puede también adjudicarse a que las mediciones de supervivencia en los distintos ensayos no fueron periódicas en los lapsos de tiempo estudiados y posiblemente a que sean necesarios mayor número de registros del contenido gravimétrico a fin de lograr un mejor ajuste de los modelos. A pesar de no hallar una relación estrecha entre la supervivencia y el contenido hídrico estimado por los modelos, no se puede negar la importancia de la disponibilidad hídrica en el establecimiento y supervivencia del tala. Se puede decir que posiblemente otros factores no

estudiados en este trabajo afectan de manera conjunta su supervivencia. Además de la disponibilidad hídrica, la disponibilidad lumínica, el grado de ocupación de sitio, las propiedades fisicoquímicas de los sustratos, entre otras, son factores que modifican el ambiente en el que se establecieron los ensayos y por ende inciden en la supervivencia de la especie de manera directa, indirecta o sinérgica.

De acuerdo con nuestros resultados, aunque no se pudo comprobar una relación biunívoca entre déficit hídrico y mortalidad, es claro que la falta de agua afecta la supervivencia de los talas. Aunque el riego es sumamente costoso en términos económicos y de mano de obra, debería contemplarse la implementación de algún mecanismo que permita el suministro de agua en épocas críticas si el objetivo es la reinstalación del tala en determinadas áreas. Al respecto, también puede decirse que en las canteras recientemente abandonadas el riego no sería suficiente para lograr la supervivencia de ejemplares de esta especie debido a la profunda alteración del sustrato. En ese caso, la reforestación con otras especies arbóreas nativas facilitadoras o nodrizas puede tener mejores resultados, tal como lo evidencian ensayos realizados por Schrohn (2019) y Schrohn et al. (2021).

Por otro lado, es necesario estandarizar la producción de *C. tala* en vivero. Si bien existen investigaciones recientes al respecto (Lacoretz et al., 2022), aún falta entender los requerimientos ecofisiológicos que limitan el crecimiento y supervivencia del tala. Al respecto, Plaza Berh, 2017 estudió el comportamiento de la conductancia estomática de plantines de tala bajo diferentes situaciones de estrés hídrico en un ensayo en condiciones controladas en vivero. En este ensayo se observó que el tala no cierra los estomas cuando es sometido a estrés hídrico. Estudios como este demuestran la importancia de conocer los requerimientos ecofisiológicos para la producción de tala en vivero como también se propone realizar ensayos en los cuales se analice la capacidad que tienen los plantines en el campo de conducir el agua en periodos de alta ETP y evaluar la eficiencia de los mecanismos del uso del agua por parte de la planta.

## 4.2. Estimación de la disponibilidad hídrica del suelo

Desde su desarrollo inicial, la metodología Thornthwaite ha sido ampliamente utilizada en investigaciones que han aplicado el modelo en diversos estudios. El balance hídrico de Thornthwaite puede aplicarse fácilmente en áreas de cualquier tamaño y región en el mundo. Permite estimar el almacenaje de agua en un suelo a partir de datos de precipitación y temperatura media mensual que están fácilmente disponibles para la mayoría de las ubicaciones (Karsili, 2013).

Conocer el contenido hídrico de un suelo es de vital importancia a la hora de realizar proyectos de restauración ecológica ya que permite tomar decisiones acertadas a campo, como la elección de la especie a plantar, ejecutar un plan de riego, acondicionar el suelo para que acumule humedad, entre otros (Cárdenas et al., 2023). Los balances hídricos se pueden utilizar como una herramienta clave para determinar el comportamiento de la dinámica hídrica de un suelo. Esto aporta información vital a la hora de planificar y realizar un proyecto de restauración ecológica. Si bien para realizar los balances se deben tener datos climáticos de mes, se puede trabajar con datos promedios de un periodo de años para estimar el comportamiento que se espera a campo.

A diferencia del almacenaje hídrico obtenido por el método de Thornthwaite, la medición del contenido hídrico por gravimetría permite su estimación a partir de muestras obtenidas a campo por lo que el dato registrado es de alcance local, y fácilmente determinado por diferencias de peso. A pesar de ello, la obtención de muestras a campo es una labor a menudo trabajosa (Gudelj et al., 2018).

Encontrar una relación entre el contenido hídrico obtenido por el método de Thornthwaite y el obtenido por el método gravimétrico facilita el trabajo a campo. Generar un modelo a partir de variables climáticas que permita prescindir de la medición de contenido hídrico por el método gravimétrico agilizaría los tiempos y el esfuerzo en estudios de restauración. En los ensayos realizados en este estudio se halló relación entre los modelos generados a partir de variables climáticas regionales y el contenido hídrico medido a campo solo en aquellos casos donde el suelo no fue disturbado por extracción minera. En estos últimos, la alteración de los suelos

producto de la actividad minera no responde a las características edáficas de un cordón típico de la zona. Los sustratos remanentes luego de la explotación de materiales calcáreos en Castelli son una mezcla de materiales residuales con déficit de macronutrientes y pH alcalino que afectan el establecimiento del tala (Plaza Behr et al., 2021; Montenegro, com. pers.).

En los pastizales de Castelli los modelos propuestos sobreestiman el contenido hídrico en sustratos arenosos, pero subestiman el mismo en sustratos arcillosos. Si bien el número de muestras en la cantera pudo ser insuficiente, la falta de ajuste del modelo generado se atribuye probablemente a que en Castelli no se trata de un suelo propiamente dicho, sino que es una mezcla muy heterogénea de materiales (sustrato). Los modelos fueron generados a partir de variables hídricas como la precipitación del mes y la del mes anterior, o bien el almacenaje hídrico del mes y del mes anterior al momento de medición, teniendo en cuenta la capacidad de almacenaje de agua de un cordón de conchilla típico de la zona (51 mm) (Cellone et al., 2021), característica que está totalmente alterada en el caso de los sustratos de la cantera. La textura influye fuerte y directamente en el balance hídrico de una parcela (Fernandez & Trillo, 2005). Los suelos arenosos, en general, poseen como característica relevante que el agua infiltra rápido en profundidad, ya que poseen una mayor proporción de macroporos, por ende, en superficie hay escasa disponibilidad hídrica y el sustrato se seca más rápidamente que un cordón no intervenido. A diferencia, los sustratos arcillosos remanentes en la cantera pueden absorber y adsorber el agua circundante, y aun cuando tienen considerable contenido de agua, la fuerza con que esta es retenida por las micelas de arcilla puede no dejar disponible el agua para el consumo de las plantas (Fernández & Trillo, 2005).

En Magdalena, los modelos tienden a estimar mejor el comportamiento hídrico del suelo en el bosque invadido por ligustro y sobreestiman el contenido hídrico en los cordones desmontados. En el bosque, la vegetación arbórea posee una demanda hídrica superior a un cordón desmontado, pero en estos últimos la exposición a la irradiación directa aumentaría la evapotranspiración, que supera la demanda hídrica del dosel arbóreo.

## V. CONCLUSIÓN

La supervivencia del tala disminuyó en todos los ensayos luego de transcurrido el verano, que es el periodo de mayor demanda hídrica para la planta, por lo que se acepta parcialmente la hipótesis propuesta en este trabajo. Si bien no se pudo establecer una relación unidireccional entre el contenido hídrico del suelo y la supervivencia del tala, tampoco se puede negar la influencia que tiene la disponibilidad hídrica en el establecimiento y supervivencia de los plantines llevados a campo en los ensayos de restauración.

Determinar apropiadamente el contenido hídrico del suelo a la hora de planificar proyectos de restauración es de vital importancia para alcanzar los objetivos propuestos. Generar modelos que permitan estimar el contenido hídrico del suelo a partir de variables climáticas de fácil acceso es crucial para disminuir costos de monitoreo a campo y acotar tiempos de trabajo. En este sentido la realización de balances hídricos por el método de Thornthwaite permite identificar en una simple gráfica momentos de exceso, déficit, recarga o consumo hídrico y con ello tomar decisiones.

Los modelos generados para estimar el contenido hídrico del suelo tuvieron una mejor respuesta o estiman de mejor manera el contenido de agua en el suelo en los ensayos de los claros en bosque invadido por ligustro. En áreas abiertas, cordones desmontados y principalmente en los pastizales de Castelli, la estimación del contenido hídrico con los modelos propuestos no reflejó el contenido hídrico encontrado a campo, aunque sí se encontró una variación en el mismo sentido de las variables en el tiempo.

## VI. BIBLIOGRAFÍA

**Andivia, E., Villar-Salvador, P., Oliet, J.A., Puértolas, J., Dumroese, R.K. Ivetić, V., Molina Venegas, R., Arellano E.C., Guolei L. & Ovalle, J.F.** 2021. Climate and species stress resistance modulate the higher survival of large seedlings in forest restorations worldwide. *Ecological Applications*, 31(6), e02394.

**Arturi, M.F.** 1997. Regeneración de *Celtis tala* Gill ex Planch en el NE de la Provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/4658>

**Arturi, M.F. & J.F. Goya.** 2004. Estructura, dinámica y manejo de los talares del NE de Buenos Aires. En: Arturi, M.F., J.L. Frangi y J.F. Goya (Eds.), *Ecología y manejo de los bosques de Argentina*, Editorial de la Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina, 1, 1-23.

**Azcona, M.** 2018. Evaluación de técnicas de rehabilitación de áreas degradadas en los talares de Magdalena y Punta Indio. Trabajo final de grado. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/69128>

**Banning, N.C., C.D. Grant, D.L. Jones, & D.V. Murphy.** 2008. Recuperación de materia orgánica del suelo, recambio de materia orgánica y ciclo del nitrógeno en una cronosecuencia de rehabilitación forestal post-minería. *Biología y Bioquímica del Suelo*, 40 (8), 2021-2031.

**Borrás M., E. Manghi, F. Miñarro, M. Monaco, M. Navall, P. Peri, M.E. Periago & P. Preliasco.** 2017. Acercando el Manejo de Bosques con Ganadería Integrada al monte chaqueño. Una herramienta para lograr una producción compatible con la conservación del bosque. Buenas prácticas para una ganadería sustentable. Kit de extensión para el Gran Chaco. Fundación Vida Silvestre Argentina. Buenos Aires.

**Cabrera, A.L.** 1953. Esquema fitogeográfico de la República Argentina. *Revista Museo Eva Perón* (La Plata), Botánica, 8: 87-168.

**Cárdenas M.F., Vahos Mesa G., Zapata C., Botero Rivera T.A., Tobón D., Rincón Grajales C.L., Vásquez A., Perez Rojas J., Contreras J., Silva A., Cortés Traslaviña D.** 2023. Reflexiones y aprendizajes sobre el ordenamiento territorial de embalses.

**Cellone F.A., Borzi G.E., Santucci L., Tanjal C.V., Villalba E., Carol E.S.** 2021. Dinámica del agua en un humedal costero de la Reserva de la Biosfera "Parque Costero del Sur", Argentina. *Saltador; Humedales*; 41; 6; 8-2021; 1-13.

**Chavez, M.M., Pereira J.S., Maroco J., Rodrigues M.L., Ricardo C.P.P., Osório M.L., Carvalho I., Faria T., Pinheiro C.** 2002. How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth. *Annals of Botany* 89: 907-916.

**Chazdon, R.L.** 2008. Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands. *Science*, 320(5882), 1458-1460.

**Di Rienzo J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M. y Robledo, C.W.** 2014. InfoStat versión 2014. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

**Donoso P.J., Promis A., Soto D.P.** 2018. Silvicultura en bosques nativos. Experiencias en silvicultura y restauración en Chile, Argentina y el oeste de Estados Unidos. The Chile Initiative, OSU College of Forestry.

**Echeverría, C., Huber, A. y Taberlet, F.** 2007. Estudio comparativo de los componentes del equilibrio hídrico en un bosque nativo y una pradera en el sur de Chile. *Bosque (Valdivia)*, 28 (3), 271-280.

**Fernández R.J. & Trillo N.** 2005. La textura del suelo como fuente de heterogeneidad; sus efectos sobre la oferta de agua para las plantas. *Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires*.

**Food and Agriculture Organization of the United Nation (FAO).** 2020. El Estado de los bosques del mundo 2020: Los bosques, la biodiversidad y las personas. Roma. Editorial ONU. <https://doi.org/10.4060/ca8642es>

**Gudelj O., Arce J., Gudelj V.** 2018. Metodología de muestreo y determinación de agua de suelo. INTA Ediciones. Información para Extensión 29: 1-18.

**Karsili, C.** 2013. Cálculo de la disponibilidad hídrica pasada y presente en la región mediterránea y estimaciones futuras según el modelo de balance hídrico de Thornthwaite. *Serie de tesis de estudiantes INES*.

**Lacoretz, M. V., Malavert, C., Madanes, N., Cristiano, P., & Tognetti, P. M.** 2022. Seed dormancy and germination of native and invasive alien woody species of an endangered temperate forest in the Argentine Pampas. *Forest Ecology and Management*, 526, 120577.

**Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MAyDS).** 2023. Estado de la implementación de la Ley 26.331. Ley de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos. Reporte 5. Ficha nacional y fichas provinciales.

**Mónaco M.H., P.L. Peri, F.A. Medina, H.P. Colomb, V.A. Rosales, F. Berón, E. Manghi, M.L. Miño, J. Bono, J.R. Silva, J.J. González Kehler, L. Ciuffoli, F. Presta, A. García Collazo, M. Navall, C. Carranza, D. López & G. Gómez Campero.** 2020. Causas e impactos de la deforestación de los bosques nativos de Argentina y propuestas de desarrollo alternativas. Colegio de Graduados en Ciencias Forestales de Santiago del Estero. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/desmotes\\_y\\_alternativas-julio27.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/desmotes_y_alternativas-julio27.pdf)

**Murriello S., Arturi M., & Brown A.D.** 1993. Fenología de las especies arbóreas de los talares del este de la Provincia de Buenos Aires. *Ecología austral*, 3(1), 025-031.

**Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible, Gobierno de la Provincia de Buenos Aires (OPDS).** 2014. Ordenamiento territorial de Bosque Nativo. [https://informacionpublica.ambiente.gba.gob.ar/tmp/546\\_1.-DOCUMENTO-TECNICO.--BOSQUES-NATIVOS-FINAL\\_compressed.pdf](https://informacionpublica.ambiente.gba.gob.ar/tmp/546_1.-DOCUMENTO-TECNICO.--BOSQUES-NATIVOS-FINAL_compressed.pdf)

**Plaza Behr, M.** 2017. Evaluación de estrategias de rehabilitación de los bosques de *Celtis ehrenbergiana* "talarés" en canteras de conchilla abandonadas en el partido de Castelli, Buenos Aires". Trabajo final de grado. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/59256>

**Plaza Behr, M., C. Pérez, J. Goya, M. Azcona & M. Arturi.** 2016. Plantación de *Celtis ehrenbergiana* como técnica de recuperación de bosques invadidos por *Ligustrum lucidum* en los talares del NE de Buenos Aires. *Ecología austral*, 26(2), 171-177.

**Plaza Behr, M., C. Pérez, J. Goya & M. Arturi.** 2021. Supervivencia y crecimiento de *Celtis tala* Gillies ex Planch en la rehabilitación ecológica de canteras abandonadas. *Ecología Austral*, 31.

**Rodríguez, S. A., Delgado, M. I., Area, M. C., Lupi, A. M., & Escobar, P.** 2021. Los bosques como reguladores del ciclo del agua para disminuir los riesgos de inundaciones. Argentina Forestal. <https://www.argentinaforestal.com/2020/09/07/los-bosques-como-reguladores-del-ciclo-del-agua-para-disminuir-los-riesgos-de-inundaciones/>

**Schrohn H.C.** 2019. Plantaciones de especies nativas para la rehabilitación de canteras de conchilla en Castelli, provincia de Buenos Aires. Trabajo final de grado. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP.

**Schrohn H.C., Medina M., Plaza Behr M., Arturi M., Goya J., Perez C.** 2021. Evaluación preliminar de especies nativas para la reforestación de bosques de tala degradados por actividad minera. *Revista Forestal Yvyrareta* 29 (2021) 15-22.

**Society for Ecological Restoration (SER).** 2004. Principios de SER International sobre la restauración ecológica. [www.ser.org](http://www.ser.org) y Tucson: Society for Ecological Restoration International.

**Stupino, S.A., Arturi, M.F., & Frangi, J.L.** 2015. Estructura del paisaje y conservación de los bosques de *Celtis tala* Gill ex Planch del NE de la provincia de Buenos Aires. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, 105(2), 37-45.

**Thorntwaite, C.W.** 1948. An approach toward a rational classification of climate. *American Geographical Society* 38(1): 55-94.

**Thorntwaite C.W & Mather R.J.** 1955. The water balance. Publications in climatology, laboratory of climatology. Centerton, NJ. 104 pp.

**Valladares, F., A. Vilagrosa, J. Peñuelas, R. Ogaya, J.J. Camarero, L. Corcuera, S. Sisó y E. Gil-Pelegrín.** 2004. Estrés hídrico: ecofisiología y escalas de la sequía. En: Valladares, F. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Pp. 163-190. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A., Madrid.