



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA**  
*Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales*



**EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS DE REHABILITACIÓN DE LOS BOSQUES DE  
*Celtis ehrenbergiana* “TALARES” EN CANTERAS DE CONCHILLA  
ABANDONADAS EN EL PARTIDO DE CASTELLI, BUENOS AIRES**

**PLAZA BEHR, MAIA CARISA | PEREZ, CAROLINA *Directora* | ARTURI, MARCELO *Co-director***

**TRABAJO FINAL DE GRADO | *Modalidad INVESTIGACIÓN***

La Plata, 21 de marzo de 2017.

Hay científicos cuya sensibilidad política los lleva a rechazar el sistema social reinante en nuestro país y en toda Latinoamérica.

Lo consideran irracional, suicida e injusto de forma y fondo; no creen que simples reformas o «desarrollo» puedan curar sus males, sino solo disimular sus síntomas más visibles. No aceptan sus normas y valores – copiados servilmente, para colmo, de modelos extranjeros–; no aceptan el papel que el sistema les asigna, de ciegos proveedores de instrumentos para uso de cualquiera que pueda pagarlos, y hasta sospechan de la pureza y neutralidad de la ciencia pura y de la infalibilidad y apoliticismo de las élites científicas internacionales al imponer temas, métodos y criterios de evaluación.

A estos científicos rebeldes o revolucionarios se les presenta un dilema clásico: seguir funcionando como engranajes del sistema –dando clases y haciendo investigación ortodoxa– o abandonar su oficio y dedicarse a preparar el cambio de sistema social como cualquier militante político. El compromiso usual ante esta alternativa extrema es dedicar parte del tiempo a cada actividad, con la consiguiente inoperancia en ambas.

Este dilema tiene un cuarto cuerno, mencionado muchas veces pero a nivel de slogan: usar la ciencia para ayudar al cambio de sistema, tanto en la etapa de lucha por el poder como en la de implantación –y definición concreta previa– del que lo va a sustituir.

Sostengo que esto es mucho más que un slogan, o puede serlo, pero requiere un esfuerzo de adaptación muy grande por parte de los científicos; tal vez mayor que abandonar la ciencia por completo: es más difícil soportar la etiqueta de pseudocientífico que de excientífico.

Pero creo además que la llamada «ciencia universal» de hoy está tan adaptada a este sistema social como cualquier otra de sus características culturales, y por lo tanto el esfuerzo por desarrollar la investigación seria del cambio total que puede producir, a plazo no muy largo, una ciencia no solo revolucionaria sino revolucionada

VARSAVSKY, O. 1969.

A mi Directora Carolina Pérez por su incondicional e invaluable apoyo. A mi Co-director Marcelo Arturi por su ingenio y humildad. A ambos, no tengo más que palabras de agradecimiento, por compartir conmigo su completa vocación por la docencia y la investigación.

A la Dra. Corina Graciano y al Dr. Marcelo Barrera por la evaluación de este trabajo.

Al equipo de trabajo del Laboratorio de Investigación de Sistemas Ecológicos y Ambientales (LISEA). Por compartir un mate, dar una palmada de aliento, ir al campo o realizar alguna recomendación, a todos, gracias por su cálido acompañamiento.

A la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, a la Universidad Nacional de La Plata, a todo el sistema educativo público y gratuito, y al pueblo argentino que con sus aportes lo sostiene.

A la Unidad de Vivero Forestal y a todos los estudiantes que no dudaron en dar una mano en las tareas de campo.

Al Instituto de Fisiología Vegetal (INFIVE) por el aporte de valioso instrumental e instalaciones.

A mi familia por su esfuerzo y acompañamiento diario.

A mis amigos y amigas: ¡Salud!

A todos los compañeros y compañeras que conocí en el paso por la Universidad, y que en las pequeñas y grandes cosas me hicieron y me hacen, una persona más libre.

¡GRACIAS!

# CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	2
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	3
<b>MATERIALES Y METODOS</b> .....	6
<b>Los Talares</b> .....	6
<b>Área de estudio</b> .....	7
<b>Plantación exploratoria</b> .....	8
<b>Ensayo de reparo y desmalezado</b> .....	11
<b>Ensayo en invernáculo</b> .....	14
<i>Mediciones no destructivas</i> .....	15
<i>Mediciones destructivas</i> .....	15
<b>Análisis de datos</b> .....	16
<b>RESULTADOS</b> .....	18
<b>Plantación Exploratoria</b> .....	18
<b>Ensayo de reparo y desmalezado</b> .....	19
<b>Ensayo en invernáculo</b> .....	22
<i>Mediciones no destructivas</i> .....	22
<i>Mediciones destructivas</i> .....	25
<b>DISCUSIÓN</b> .....	27
<b>CONCLUSIONES</b> .....	32
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	33

## RESUMEN

La reducción de las áreas forestales nativas implica la pérdida de servicios ambientales de alto valor. La *rehabilitación ecológica* tiene como principal objetivo reparar las funciones de un ecosistema degradado, y este proceso, a veces tiene que iniciarse con intervenciones activas. En el NE de la Provincia de Buenos Aires, la explotación minera de los materiales calcáreos del subsuelo provoca la pérdida de cobertura de bosque nativo. Los talaes, bosques dominados por *Celtis ehrenbergiana* (tala), representan una de las principales formaciones de la región. El objetivo de este estudio fue evaluar técnicas de plantación de tala en áreas de canteras de conchilla abandonadas y de producción de plantas en vivero, para mejorar las prácticas de recuperación de estos bosques. Como hipótesis planteamos que la supervivencia y crecimiento son afectados negativamente por una baja disponibilidad hídrica y que ambas variables son favorecidas por la disponibilidad de un sustrato con mayor retención de agua, la provisión de reparo y desmalezado. Se llevaron a cabo dos ensayos a campo y uno en invernáculo. Se registró la supervivencia de las plantas de tala, se midieron variables dasométricas en distintos momentos para evaluar la respuesta en crecimiento y se evaluó la respuesta fisiológica a condiciones de estrés hídrico en plantas jóvenes. La supervivencia de las plantas de tala en las condiciones de la cantera fue nula o muy reducida. La respuesta positiva en el crecimiento estuvo asociada a condiciones ambientales como la disponibilidad hídrica, las características del sustrato y a los efectos positivos del desmalezado. Las plantas de tala no cambiaron significativamente la relación peso seco subterráneo:aéreo en respuesta a condiciones de déficit hídrico, pero regularon su actividad a través de cambios en la conductancia estomática. La pérdida de cobertura que produce la minería no puede revertirse con técnicas sencillas de plantación. Es necesario entender diferencias ecofisiológicas y planificar el manejo del sustrato.

## INTRODUCCIÓN

Los recursos naturales experimentaron una creciente presión por explotación desde la segunda mitad del siglo XX debido al crecimiento demográfico mundial y la necesidad de producción de alimentos. Los efectos ambientales de la competencia por el uso de la tierra, el agua y la obtención de energías son cada vez más significativos y sus alcances, en muchos casos, desiguales. Existen muchos estudios acerca de estos problemas (Godfray et al., 2010; Foley et al., 2011; Tilman et al., 2011), sin embargo, todavía no está resuelto el debate entre como producir bienes y servicios y asegurar la conservación de la calidad ambiental y la biodiversidad (Perfecto y Vandermeer, 2010; Seufert et al., 2012; Grau et al., 2013).

En Argentina, en las últimas décadas, la expansión de la frontera agropecuaria afectó principalmente a los bosques nativos (Montenegro et al., 2004; Grau et al., 2005; Matteucci et al., 2007; García Cortéz et al., 2009). La reducción de las aéreas forestales nativas implica la pérdida de diversidad animal y vegetal, así como desbalances en el almacenamiento de carbono, la dinámica del agua y los nutrientes y la consecuente erosión del suelo. La pérdida de servicios ambientales de alto valor afecta tanto comunidades locales como alejadas de los sitios impactados (Jobbágy et al., 2008; García Cortéz et al., 2009; Paolasso et al., 2012). Las estrategias adoptadas para reducir los impactos de las actividades humanas sobre las componentes naturales del paisaje tienden a evitar el uso de áreas de alto valor de conservación y a establecer acciones para recuperar características importantes de los sistemas ya intervenidos. La *rehabilitación ecológica* tiene como principal objetivo reparar las funciones de un ecosistema degradado, sin que exista un planteo estricto de restablecer su estructura como meta inmediata, como sí lo es en la *restauración ecológica* (Aronson et al., 1993). La recuperación de la cobertura y de las funciones ecosistémicas no siempre dependen sólo de la suspensión de la actividad que está generando el impacto, sino que el proceso de restauración o la rehabilitación tienen que iniciarse con intervenciones activas (Corbin y Holl, 2012). Estos procesos pueden plantear grandes desafíos para la reforestación, dado que a menudo la competencia con la vegetación espontánea es importante y los herbicidas suelen estar prohibidos o ser económicamente inviables para el plan de restauración propuesto (Stanturf et al., 2014).

El material vegetal que se lleva a campo debe ser apropiado, algunos autores señalan el concepto de *planta meta* o “target plant concept” (Stanturf et al., 2014) donde plantean las características que deben reunir las plantas destinadas a objetivos de restauración. Las

estrategias de obtención de ese material vegetal deben tener foco en los objetivos del proyecto, deben considerar el tamaño y el tipo de planta, su genética y diversidad sexual, los factores limitantes del sitio, la ventana de plantación y la herramienta de plantación más eficiente. En general la calidad de las plántulas es caracterizada por algún parámetro morfológico, pero los atributos fisiológicos de las plántulas también son muy importantes (Stanturf et al., 2014), lo cual vuelve aún más complejo el proceso de obtención de una planta meta.

En zonas degradadas uno de los principales factores que condiciona el establecimiento de la cobertura vegetal es la disponibilidad de agua (Muñoz-Rojas et al., 2016). Las respuestas de las plantas a la escasez de agua son complejas e involucran cambios adaptativos y/o efectos deletéreos. En condiciones de campo esas respuestas pueden ser sinérgicamente o antagónicamente modificadas por la presencia de otros estreses (Chaves et al., 2002). Las plantas pueden amortiguar o responder a las oscilaciones en la disponibilidad de agua mediante diferentes respuesta. Una respuesta típica es adaptar el sistema de raíces para mejorar la captación de agua (Valladares et al., 2004a), pero esa respuesta en el ajuste sobre los patrones de asignación de recursos puede ser diferente según la etapa de desarrollo y las condiciones ambientales (Poorter et al., 2012).

En el NE de la Provincia de Buenos Aires, la explotación minera de los materiales calcáreos del subsuelo provoca la pérdida de cobertura de bosque nativo. Los talaes son bosques dominados por *Celtis ehrenbergiana* (Klotzsch) Liebm. var. *ehrenbergiana* (tala) y representan una de las principales formaciones boscosas de la Provincia de Buenos Aires. Los talaes experimentaron distintos procesos de degradación desde principios del siglo XX debido a la expansión de las fronteras urbana y agropecuaria y la utilización de su madera como leña (Parodi, 1940; Torres Robles y Tur, 2006). La regeneración natural de esta especie en los talaes es afectada por procesos de estrés hídrico, y tiende a ocurrir en acúmulos de tierra removida como alambrados, banquinas, cordones con plantación de especies exóticas y bordes de canteras abandonadas, sitios con baja ocupación de la vegetación herbácea que pueden ofrecer mejores condiciones para un crecimiento temprano de las plántulas (Arturi y Goya, 2004). Las condiciones de crecimiento temprano podrían modificar la relación entre la biomasa aérea y subterránea de manera tal que las plantas adquieran una mayor resistencia a los procesos de estrés hídrico (Valladares et al., 2004a). En ensayos de plantación realizados en áreas de cordones desmontados con cobertura de pastizal, las plantas de tala presentaron bajo crecimiento y alta mortalidad (Azcona et al., 2012). Los suelos de los cordones tienen poca

retención de agua, lo cual combinado con falta de protección y alta competencia con el estrato herbáceo, expone a las plantas de tala a condiciones de alta desecación y probablemente a efectos negativos de las heladas. En cambio, en áreas de bosque invadidos por *Ligustrum lucidum* W.T. Aiton (ligustro) donde se abrieron claros mediante la corta de árboles, se detectó alta supervivencia y crecimiento en las zonas centrales de los claros (Plaza Behr et al., 2016). La disponibilidad de luz y otros recursos, combinado con la protección del bosque genera un sitio favorable para el establecimiento de plantas de tala.

Estos resultados hacen necesario continuar con la búsqueda de alternativas de plantación y producción de plantas que permitan recuperar la cobertura arbórea en tiempos razonables con el fin de poder mitigar los efectos derivados del desarrollo de las actividades mineras (Arturi et al., 2012).

El objetivo general de este proyecto fue evaluar técnicas de plantación de *C. ehrenbergiana* en áreas de canteras de conchilla abandonadas y de producción de plantas en vivero, para mejorar las prácticas de recuperación de los bosques de tala. El trabajo se desarrolló bajo la hipótesis general de que la supervivencia y crecimiento son afectados negativamente por una baja disponibilidad hídrica durante el verano y que ambas variables son favorecidas por la disponibilidad de un sustrato con mayor retención de agua, la provisión de reparo y la aplicación de tratamientos de desmalezado.

Como objetivos particulares planteamos, (a) evaluar el crecimiento y supervivencia de plantas de tala llevadas a campo luego de la explotación minera y la incidencia de las características del sustrato; (b) evaluar la incidencia de la aplicación de reparo contra el sol y desmalezado sobre el crecimiento y supervivencia de ejemplares plantados a campo; (c) evaluar el efecto de distintos tratamientos de riego sobre el crecimiento y la relación de biomasa subterránea:aérea de plantas de tala; y (d) evaluar el efecto de distintos tratamientos de riego sobre la conductancia estomática y su respuesta al estrés hídrico progresivo.



## MATERIALES Y METODOS

### Los Talaes

Los bosques de tala del E bonaerense se extienden sobre cordones conchiles subparalelos a la costa del Río de la Plata, desde la localidad de Los Talas, Partido de La Plata, hasta las cercanías de Mar Chiquita formando parches de extensión variable en una matriz de zonas bajas donde se desarrollan pastizales y pajonales (Figura 1) (Goya et al., 1992; Arturi y Goya, 2004). Debido a su biodiversidad han sido incluidos en el programa El Hombre y la Biosfera (MAB-UNESCO) con la creación del Parque Costero del Sur” que resguarda una faja costera de 26.000 ha entre las localidades de Magdalena y Pipinas (Arturi y Goya, 2004).



**Figura 1** | Paisajes típicos de los talaes. A la izquierda en el Partido de Magdalena, al NE de su distribución; y a la derecha, en el Partido de Catelli.

Los cordones se formaron durante ingresiones marinas del Cuaternario (Tricart, 1973). Se elevan entre 1 y 2 m de altura respecto del nivel general del terreno, presentan un ancho de entre 15 y 50 m y pueden alcanzar longitudes de hasta 5000 m (Cavallotto et al., 2009). En cordones con buena estructura del bosque nativo se observa poca o nula regeneración espontánea de tala (Arturi, 1997) pero resulta frecuente la regeneración en situaciones donde la biomasa total de raíces en comparación con el bosque nativo y los pastizales es menor (Arturi y Goya, 2004).

Las principales actividades asociadas a los talaes del E bonaerense son: (1) ganadería, el bosque brinda refugio y forraje a los animales; (2) minería, extracción de conchilla del subsuelo; y como actividad secundaria, (3) emprendimientos relacionados con el turismo rural. La extracción de conchilla (Figura 2) produce lo que se denomina “carbonato de calcio

orgánico” y consiste en el lavado y separación por categorías granulométricas del material calcáreo. Este producto tiene como principal destino el uso directo o en alimentos balanceados como suplemento del mineral calcio, en la producción de bovinos, porcinos y aves.

Después de las actividades de extracción de conchilla, quedan alteradas las condiciones de relieve positivo y buen drenaje además de removerse la capa superior y de mayor fertilidad del suelo. En estas condiciones se observa reducida o nula regeneración del bosque.



**Figura 2** | Aspecto típico de un aprovechamiento activo en la zona de talares del Partido de Castelli.

## **Área de estudio**

EL estudio se llevó a cabo en la localidad Cerro de la Gloria, partido de Castelli ( $35^{\circ}56'35,77''S$ - $57^{\circ}26'48,25''O$ ) en el sector E de la distribución de los talares en la Provincia de Buenos Aires (Torres Robles y Arturi, 2009). La temperatura media anual se encuentra entre  $15^{\circ}C$  y  $17^{\circ}C$  y los valores anuales de precipitación varían entre 850 y 1065 mm con máximos de ocurrencia en otoño y primavera (Burgos, 1968; Arturi y Goya, 2004). La evapotranspiración potencial promedio es de 750 a 800 mm anuales por lo que, existe una alternancia entre períodos húmedos en los que se producen inundaciones y períodos de fuertes sequías (Sala, 1975; Barbagallo, 1983). Estas variaciones se producen periódicamente (entre 4 y 7 años) y repercuten fuertemente en las actividades agropecuarias de la Pampa Deprimida (Arturi y Goya, 2004). Los datos climáticos y registros de eventos meteorológicos se tomaron del Partido de Punta Indio ya que no existe en la base de datos del Servicio Meteorológico Nacional referencias para el partido de Castelli, pero ambos presentan homogeneidad climática zonal (Torres Robles y Arturi, 2009). Los suelos del área fueron estudiados por Sánchez et al. (1976) y por Hurtado y Ferrer (1988). Esos trabajos muestran la existencia de

características edáficas contrastantes entre los suelos desarrollados sobre los cordones y aquellos en los intercordones. Los suelos de los cordones fueron clasificados como Rendoles y presentan un perfil A1, AC, C. El horizonte A1 tiene 20 cm de profundidad, es de textura franca y presenta fragmentos gruesos de conchilla en su masa. El AC es de 18 cm de espesor y está conformado principalmente por fragmentos gruesos de conchilla al igual que el C. La reacción de los suelos varía de neutra a moderadamente alcalina (pH 7 a 8,5) y la cantidad de sales solubles no supera a  $1 \text{ dS m}^{-1}$  (Imbellone et al., 2014). Los materiales gruesos confieren a estos suelos un buen drenaje y aireación que favorece la actividad biológica y la humificación de la materia orgánica que alcanza al 12 % en el horizonte superficial. Los suelos de los intercordones están desarrollados sobre materiales finos y presentan drenaje muy lento, frecuente anegamiento y caracteres hidromórficos como la presencia de moteados (Arturi y Goya, 2004).

Este trabajo fue enmarcado dentro de las acciones del *Plan de cese de actividad y restauración de la cantera "Don Domingo" de Domingo González y CIA S.A.*, Acta acuerdo Expediente 200 - 003013 / 12 – 000 y del proyecto de investigación acreditado por la FCAyF *Plantación de especies nativas para la recuperación de áreas degradadas en bosque de tala en el NE de la provincia de Buenos Aires* Expediente 200-1435/15 (Promforz Componente A.4.9).

El predio pertenece a la firma Domingo González y CIA. Las actividades de extracción de conchilla finalizaron en el año 2011 y desde entonces distintas tareas y ensayos se realizaron desde el grupo de trabajo del Laboratorio de Investigación de Sistemas Ecológicos y Ambientales (LISEA). Previo a la explotación minera, el cordón de conchilla presentaba un horizonte superficial bien desarrollado y buenas condiciones de drenaje. Una vez realizada la extracción del material calcáreo, el sustrato remanente se caracterizó por presentar mezclas de materiales con distintas proporciones de conchilla fina, arena y limos con porcentajes variables de materia orgánica. La diferencia entre cotas de lo que constituía el cordón-intercordón y el relieve positivo del sitio fueron significativamente afectados. En estas condiciones y en el marco de los objetivos planteados se llevaron a cabo dos ensayos a campo, *plantación exploratoria* y *ensayo de reparo y desmalezado*, y uno en *invernáculo*.

### **Plantación exploratoria**

Con la finalidad de evaluar la respuesta de las plantas a las condiciones ambientales de la cantera aprovechada y recientemente abandonada, se realizó en agosto de 2012 la primera

plantación de talas. Se utilizaron plantas provenientes de la Unidad de Vivero Forestal (UVF) de la FCAYF, UNLP. Este grupo de trabajo cuenta con una importante recopilación de técnicas y experiencias de producción de plantas de esta y otras especies nativas de importancia regional. Las plantas en la UVF fueron producidas a partir de semillas, se encontraban en envase plástico de 3 L, tenían una altura de entre 50 y 90 cm y 3 años de edad.

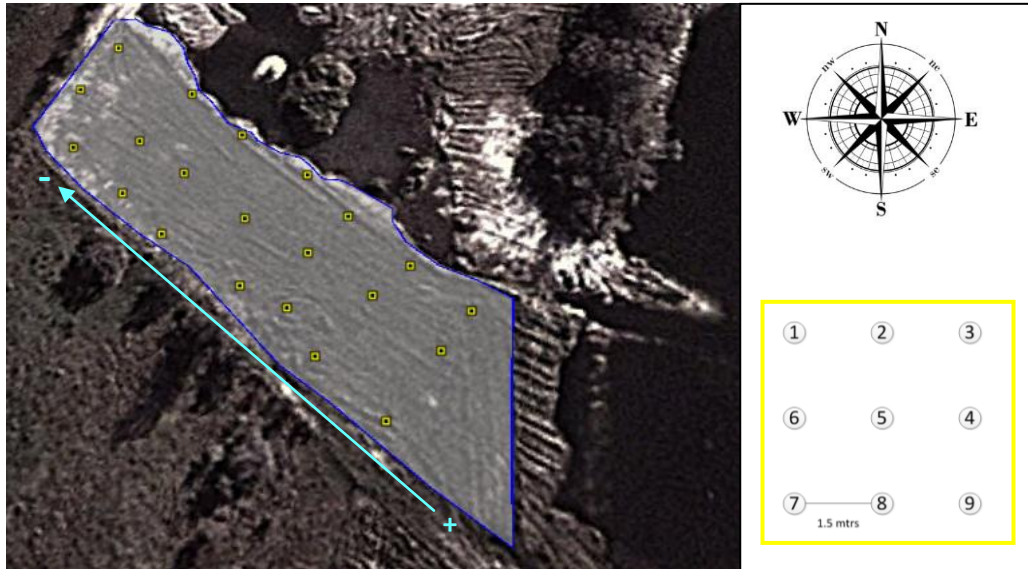
*Método a partir de semilla.* Los árboles de tala florecen durante la primavera y principios de verano, la fructificación comienza a fines de verano y continúa durante todo el otoño (Murriello et al., 1993). El fruto es una drupa ovoide, amarillo-anaranjada, carnosa, de 5-7 mm de diámetro. El endocarpio es ligeramente rugoso a estriado, algo agudo en sus extremos, y posee una sola semilla. La maduración del fruto ocurre usualmente entre los meses de febrero y abril y la cantidad de frutos disponibles es variable año a año. En el momento de la cosecha los frutos maduros se retiraron de las ramas manualmente. En ocasiones es posible aprovechar también los frutos caídos en el suelo que presenten un aspecto sano o fresco. También puede recurrirse a sacudir las ramas sobre una lona colocada en el suelo. Una vez realizada la cosecha es importante la remoción del pericarpio mediante maceración en agua fría para evitar ataque de patógenos, especialmente hongos (Arturi et al., 2014).

Las semillas recibieron un tratamiento pre germinativo de escarificado por abrasión con el fin de facilitar la emergencia. La siembra se realizó en bandejas forestales con una semilla por tubete y sustrato mezcla de arena, lombricompost y tierra negra en una proporción 1:1:2.

La superficie a plantar fue acondicionada con máquina retroexcavadora oruga y cargador frontal. Se dispuso una capa superficial de material limoso rico en materia orgánica (tierra negra) procedente del suelo superficial que había sido removido durante la explotación. Como resultado de la preparación del terreno para los ensayos quedó establecido un gradiente en la profundidad de la capa superficial de tierra negra que varió desde 40 a menos de 5 cm a lo largo de 140 m de longitud del área de plantación. Como consecuencia de ese gradiente y la mezcla de materiales del subsuelo, se observó una fuerte variación en la textura (arenosa, francoarenosa y arcillosa) de los sitios sobre los que se hizo la plantación.

Se instalaron 21 grupos de 9 árboles en un arreglo cuadrangular con un espaciamiento de 1,5 m entre cada planta, 189 individuos de tala en total. Los grupos fueron distribuidos a lo largo del terreno en tres filas con orientación NO-SE y siete columnas con orientación NE-SO (Figura

3). Mediante la utilización de GPS (Sistema de Posicionamiento Global) se obtuvieron las coordenadas de los centros de cada grupo y vértices del área de estudio. La identificación de los árboles se realizó con marcas metálicas numeradas.



**Figura 3** | 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 (-).

Se llevaron a cabo registros de la supervivencia de las plantas instaladas en el área en los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre de 2012 y de febrero y abril de 2013. En las plantas vivas se midieron las siguiente variables dasométricas:

- *Diámetro a la altura del cuello.* Se realizó utilizando calibre con vernier. Se tomó como “altura del cuello” 5 cm desde la base. La misma fue marcada en cada ejemplar a fin de evitar diferencias por voladura de suelo mientras el mismo permaneció descubierto de vegetación espontánea.
- *Altura total.* Con cinta métrica se midió la distancia perpendicular desde el plano de la base hasta el punto más alto de la planta.
- *Longitud.* Con cinta métrica se midió desde la base hasta el ápice del tallo. Esta medida permitió cuantificar las dimensiones de las plantas más adecuadamente que la altura debido a la fuerte inclinación en muchas de ellas.

## Ensayo de reparo y desmalezado

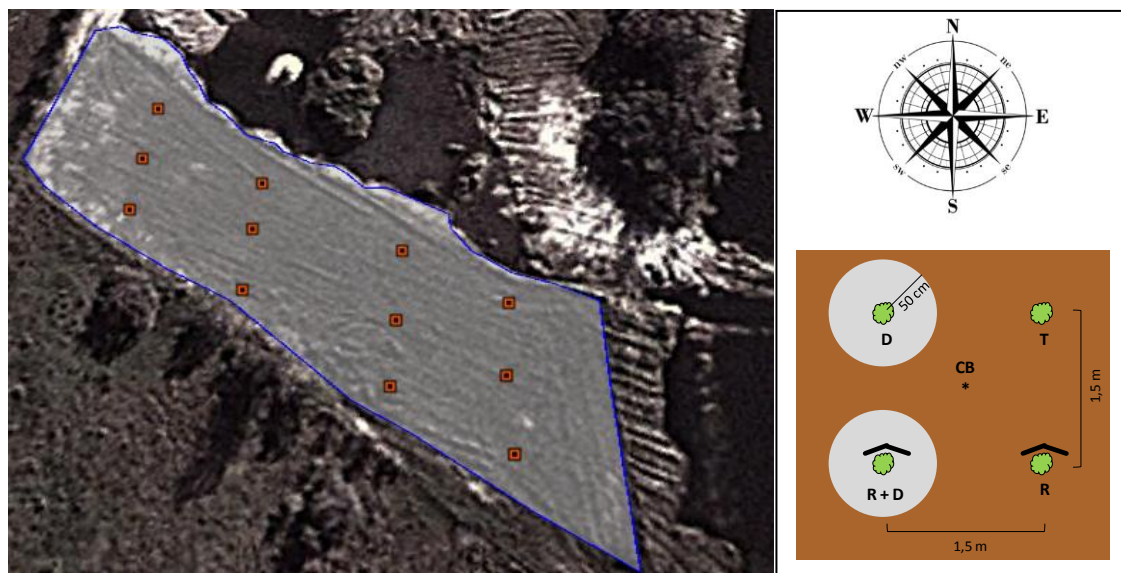
A partir de los resultados que arrojó el ensayo exploratorio, en septiembre de 2014 se realizó una segunda plantación para evaluar la incidencia de factores que podían afectar el establecimiento de las plantas de tala: la competencia ejercida por plantas herbáceas y la radiación solar intensa en los meses de verano. Para ello se realizaron ensayos de combinación de desmalezado y reparo.

En el marco del Plan de cese de actividad y restauración de la cantera Don Domingo en el partido de Castelli, Buenos Aires, se instaló un invernáculo en septiembre de 2012 con el objetivo de producir plantas de tala con destino a distintos ensayos de restauración. Fue necesario generar una estrategia de producción en el sitio de estudio ya que no existe en el mercado una oferta de plantines de dicha especie. La cantidad de ejemplares que requiere un plan estratégico de restauración es elevada, por lo cual se aplicó la técnica de recolección de plántulas.

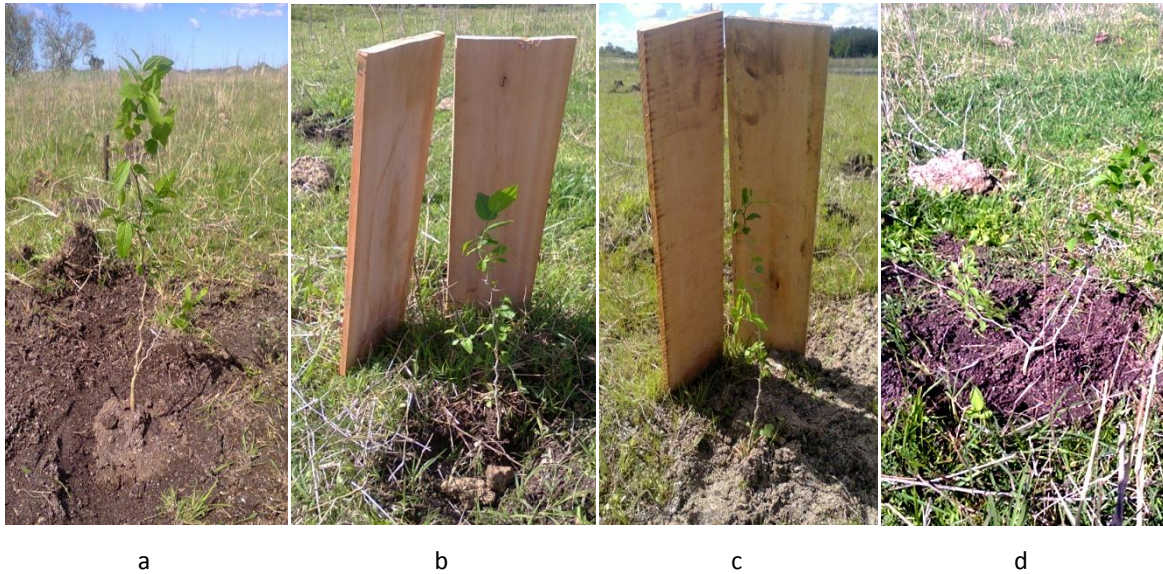
*Método a partir de recolección de plántulas.* Durante el mes de noviembre de 2012 se recolectaron, en las márgenes del bosque remanente dentro de la cantera, plántulas con características claves (1) presencia de cotiledones, (2) al menos un par de hojas verdaderas (3) no más de tres pares de hojas verdaderas, (4) buen estado hídrico y sanitario, turgentes y no cloróticas, (5) tallo rustificado, (6) buen desarrollo radicular (Arturi et al., 2014). Los individuos seleccionados se dispusieron en tubetes (bandejas forestales) con un sustrato 1:1:2 de arena, lombricomposteo y tierra negra. Las bandejas se ubicaron en el invernáculo y se les suministró riego adecuado durante el tiempo de establecimiento en los tubetes.

Este ensayo se realizó en el mismo sitio que la *plantación exploratoria*. Dos años posteriores a la finalización de las actividades de extracción en la cantera, las especies herbáceas colonizaron completamente el área. Si bien el manejo que tuvo el sustrato ya fue descrito, es probable que la alta densidad de raíces en la porción superficial del suelo, y los sucesivos aportes de materia orgánica que generaron las herbáceas colonizadoras a lo largo del tiempo transcurrido, pudieron haber generado cambios en las características superficiales del sitio de estudio.

Se plantaron 48 individuos de tala de 2 años de edad, conformando 12 bloques de 4 plantas cada uno, distribuidos a lo largo del gradiente de profundidad de tierra negra (Figura 4). Dentro de cada bloque las plantas de tala se ubicaron, esquemáticamente, en los vértices de un cuadrado a 1,5 m de distancia. Sobre estas plantas se realizaron ensayos de reparo y desmalezado. El reparo se realizó con 2 tablas de madera de 20 x 50 cm dispuestas con orientación N con el objetivo de reducir la incidencia solar directa. El desmalezado consistió en la remoción manual con pala y asada de las herbáceas en un radio de 50 cm alrededor de la planta. La combinación de los dos factores determinó 4 tratamientos: desmalezado (D), reparo (R), reparo y desmalezado (R+D) y por último el testigo (T) (Figuras 4 y 5).



**Figura 4** | Distribución de los bloques del ensayo en el sitio de estudio. Los puntos naranjas indican la posición de cada bloque de 4 individuos, a la derecha la referencia de la posición de cada planta dentro del bloque y su tratamiento correspondiente: D desmalezado; R reparo; R +D reparo y desmalezado; T testigo. CB indica el centro del bloque.



**Figura 5** | Plantas de tala y aspecto de los tratamientos luego de la instalación del ensayo. a, desmalezado; b, reparo; c, reparo y desmalezado; d, testigo.

Se llevaron a cabo cinco registros a lo largo de un año (octubre 2014-octubre 2015) en los que se relevó la supervivencia de las plantas instaladas en el área. En las plantas vivas, en cada fecha de muestreo, se midieron las siguiente variables dasométricas:

- *Diámetro a la altura del cuello.* Se utilizó un calibre con vernier que se dispuso de forma perpendicular al eje del tallo en la base del mismo, donde comienza la sección aérea de la planta.
- *Altura total.* Con cinta métrica se midió la distancia perpendicular desde el plano de la base hasta la última hoja viva. En este ensayo sólo se tomó la altura debido a que no se observaron inclinaciones de las plantas.

También se tomaron muestras de 10 cm de profundidad del suelo, con el objetivo de caracterizar la biomasa subterránea y aérea del estrato herbáceo. Se utilizó un barreno para raíces de 8,3 cm de diámetro y 13 cm de alto para la obtención del material vegetal subterráneo y aéreo. En laboratorio se separó el material vegetal del sustrato y se clasificaron las partes aéreas de las subterráneas. El material se dispuso en bolsas de papel rotuladas, se llevó a estufa a 60 °C hasta peso constante.



## Ensayo en invernáculo

A partir de los resultados obtenidos de las dos experiencias a campo se planteó evaluar la respuesta de plantas de tala a distintos niveles de disponibilidad de agua en el suelo.

Los plantines de tala que se utilizaron para este ensayo fueron producidos en el invernáculo de Castelli. Los renovales fueron obtenidos en el mes de noviembre de 2014 utilizando la técnica de recolección de plántulas ya descrita en la sección de ensayo de reparo y desmalezado. En enero de 2015 las plántulas de tala fueron trasladadas a las instalaciones de la UVF. Allí se trasvasaron a envases plásticos de 4 L, con tierra proveniente del sitio de cantera abandonada. La misma se extrajo de los límites de los cordones explotados, ya que era un sustrato con similares características a las del ensayo.

El diseño del ensayo fue completamente aleatorizado, con tres tratamientos y veinte repeticiones por cada tratamiento (60 plantas en total). Los tratamientos aplicados fueron 3 niveles de riego que representaban el 40, 60 y 100 % de la capacidad de campo (40 % CC, 60 % CC, 100 % CC respectivamente), y la misma se estableció gravimétricamente. Para ello se determinó el peso inicial de cada maceta con sustrato en balanza electrónica hasta unificar los valores de todas las macetas, luego se suministro agua hasta que el volumen total del suelo alcance el punto de saturación (formación de una película de agua en la superficie del sustrato). Después de dos días, se peso la mitad de las macetas y se obtuvo su peso promedio a capacidad de campo. La diferencia entre el peso del suelo seco y del suelo a capacidad de campo determinó el volumen de agua que representa el 100 % de la capacidad de campo. Por interpolación se determinó el volumen de agua correspondiente para 60 y 40 % de la capacidad de campo. El riego de las plantas de tala se realizó con una periodicidad semanal y el volumen de agua que se les suministro se calculo para cada tratamiento en función de la perdida de agua promedio determinada a partir del peso de diez plantas seleccionadas al azar de cada tratamiento.

Durante el período de crecimiento comprendido entre los meses de enero y febrero de 2015 se midió quincenalmente la altura de las plantas y el diámetro basal de las mismas. Durante la última semana de crecimiento antes de la finalización del ensayo se realizaron mediciones de conductancia estomática para evaluar la respuesta al estrés hídrico. Luego de sesenta y ocho días de crecimiento se seleccionaron cinco plantas al azar por cada tratamiento y se cosecharon para obtener las siguientes variables: área foliar, peso total y peso de distintos

compartimentos de la planta. A continuación se detalla la técnica que se utilizó para cada variable medida.

#### *Mediciones no destructivas*

- *Altura (A)*. Se determinó la altura de cada individuo de tala en tres oportunidades, con un intervalo de quince días entre ellas. Se utilizó un metro plegable de 100 cm de longitud y se consideró el plano que pasa por la base de la parte aérea como inicio y el plano paralelo a este, que pasa por el límite de la última hoja viva como fin del segmento a determinar.
- *Diámetro basal (DB)*. El diámetro de cada individuo de tala se determinó en la base de la parte aérea de cada planta, sobre el plano perpendicular al tallo principal. Para ello se utilizó un calibre con vernier para obtener lecturas fraccionales.
- *Conductancia estomática (CE)*. Se realizaron mediciones de CE con Porómetro DC 1 (Decagon) perteneciente al INFIVE para obtener curvas diarias y evaluar la respuesta en la apertura estomática de las plantas de tala a los 3 niveles de disponibilidad hídrica. Se tomaron cinco mediciones al día (a las 9, 11, 13, 15 y 17 hs.) y estas mediciones se repitieron a los 3, 5, 7 y 10 días luego de la suspensión del riego. Los valores de CE se tomaron en todas las plantas de tala (20 medidas por cada tratamiento).

#### *Mediciones destructivas*

- *Área foliar (AF)*. Luego de la cosecha se recolectaron todas las hojas de cada uno de los quince ejemplares de tala. Las hojas se dispusieron en grupos, bien separadas una de otra, en una superficie de 297 x 210 mm (equivalente a una hoja tamaño A4) y con la identificación correspondiente. Luego se obtuvieron fotos mediante escáner y se procesaron con el software Image Tool Versión 1.28 CMEIAS Upgrade, que permite calcular área y perímetro de cada hoja. Los datos arrojados por el programa tuvieron una segunda etapa de procesamiento en hoja de cálculo Microsoft Excel para sintetizar datos para cada individuo.
- *Peso*. En la cosecha se obtuvo por un lado, la parte aérea de las plantas de tala (tallos y hojas). Las *hojas (H)* se separaron manualmente de los tallos y el compartimento *tallos (T)* se conformó por la parte aérea libre de hojas (tallo principal y ramas finas).

Por otro lado, para la parte subterránea (raíces vivas) se descalzaron las plantas y el pan de tierra que contenía a los elementos se fue removiendo manualmente con ayuda de agua, sobre un tamiz de malla fina a fin de evitar la pérdida de raíces. Se utilizó un calibre con venier para separar las raíces según su diámetro. Las *raíces gruesas vivas (RGV)* fueron todas aquellas mayores a 1 mm de diámetro y las *raíces finas vivas (RFV)* fueron todas aquellas menores a 1 mm de diámetro. Los elementos de cada compartimento se pusieron en bolsas de papel rotuladas y se llevaron a estufa a 60°C hasta peso constante. Finalmente se obtuvo el peso de cada compartimento utilizando una balanza de precisión. El *peso total (PT)* para cada individuo se obtuvo por sumatoria de los distintos compartimentos.

A partir de estos datos se estimaron los siguientes *cocientes*

- a. Raíz / Tallo (R / T) = (peso RFV + peso RGV) / (peso H + peso T)
- b. Hojas / Raíces finas vivas (H / RFV) = peso H / peso RFV
- c. Área foliar relativa (AFR) = AF / PT
- d. Área foliar específica (AFE) = AF / peso H
- e. Peso relativo de hojas (PR-H) = peso H / PT
- f. Peso relativo de tallos (PR-T) = peso T / PT
- g. Peso relativo de RFV (PR-RFV) = peso RFV / PT
- h. Peso relativo de RGV (PR-RGV) = peso RGV / PT

## **Análisis de datos**

Los resultados de la plantación exploratoria se contrastaron mediante un análisis de varianza con un factor intra-sujetos representado por el tiempo y la variación entre grupos como factor entre sujetos, lo cual, se corresponde con el análisis de un diseño en bloques completos al azar (von Ende, 2001). Las variables analizadas fueron supervivencia, DAC y longitud. Se evaluó el número de plantas vivas y muertas a los ocho meses de establecido el ensayo y en qué medida se manifestaron variaciones entre grupos. Se aplicó un análisis de regresión logística codificando la variable dependiente con 1 (plantas vivas) y 0 (plantas muertas) y la variable grupo como única independiente.

El grupo representó un factor aleatorio pero fue incluido como factor fijo con la finalidad de evaluar de manera exploratoria las diferencias entre posiciones en el terreno. De esta manera

se evaluó si el DAC y la altura variaron con el tiempo dentro de cada grupo y en qué medida esas variaciones fueron similares o diferentes entre grupos.

El efecto sobre el DAC y la altura en el ensayo de reparo y desmalezado se llevó a cabo mediante un análisis de varianza con dos factores entre sujetos (reparo y desmalezado) y un factor intra-sujeto (tiempo). Mediante una regresión logística se evaluó si el número de plantas vivas (1) y muertas (0) dependió del tratamiento aplicado. Este análisis se llevó a cabo para el período octubre 2014 - octubre 2015. La combinación de factores entre sujetos con el factor intra-sujeto corresponde al análisis de un diseño de parcelas divididas (von Ende, 2001). Se evaluó la existencia de una interacción reparo x tiempo y desmalezado x tiempo que permitió evaluar si el DAC y la altura variaron con el tiempo de manera similar entre tratamiento o no. De esta manera, el resultado significativo de esta interacción indica un efecto positivo de los tratamientos sobre el crecimiento de las plantas.

Las variaciones de DAC y altura para el ensayo de riego realizado en invernáculo fueron analizadas mediante un análisis de varianza para un diseño de parcelas divididas con un factor entre sujetos (tratamientos de riego) y un factor intra-sujetos (tiempo). De la misma manera se analizaron los resultados de las mediciones de conductancia estomática. El peso de las plantas de cada tratamiento tomado al final del ensayo, como el área foliar y la relación subterráneo:aéreo fueron analizadas mediante un análisis de varianza para un diseño completamente al azar.

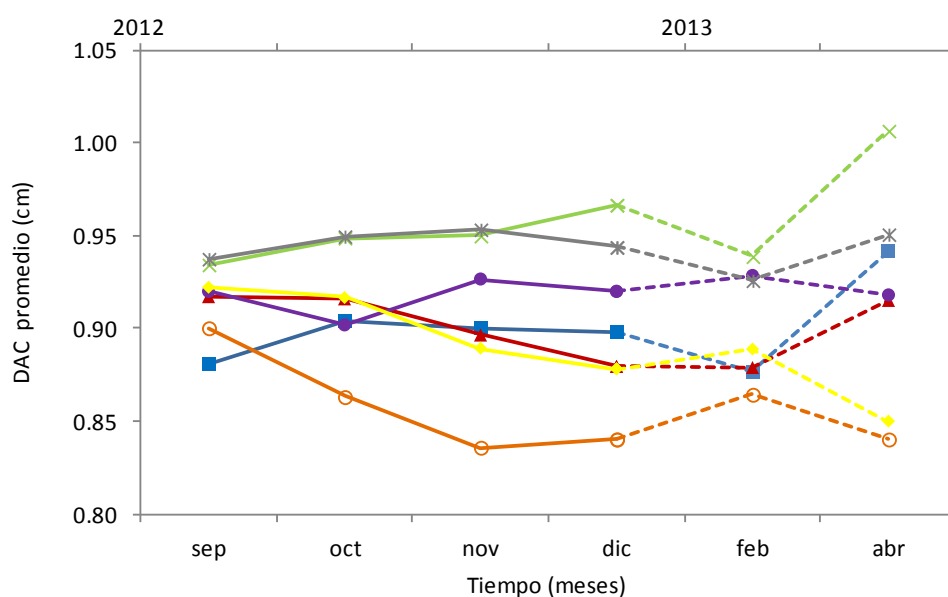
Los datos de supervivencia se analizaron por medio de una regresión logística ajustada mediante un modelo lineal generalizado con una variable dependiente con distribución binomial consistente en un valor "1" y "0" para las plantas vivas y muertas respectivamente, en un momento determinado. Las variables independientes fueron el "grupo" en el ensayo exploratorio mientras que en el ensayo de reparo y desmalezado fueron "bloque", "reparo" y "desmalezado". Estos modelos fueron calculados mediante la función "glm" en el programa "R"(R Core Team 2016). Para todas las otras variables se utilizó en todos los casos, la función "aov" (R Core Team 2016).

## RESULTADOS

### Plantación Exploratoria

La supervivencia de plantas de tala fue del 70 % ocho meses después de realizada la plantación. No se observaron diferencias entre grupos de plantas en la supervivencia ( $P = 0,513$ ). A los dos años de comenzado el ensayo no se observó ninguna planta de tala viva.

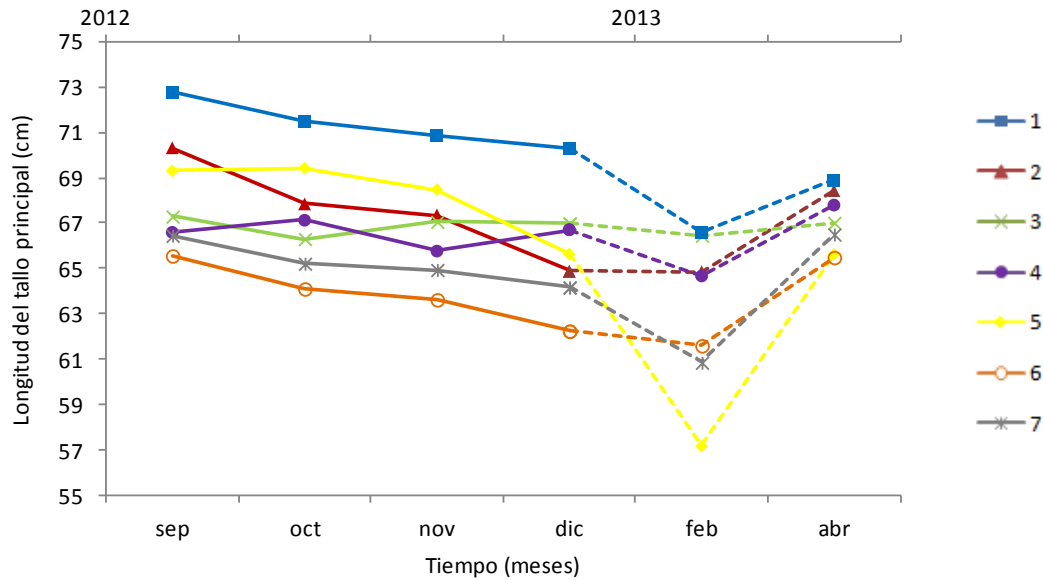
Se encontraron diferencias significativas entre grupos en las medias del DAC ( $P < 0,01$ ), sin embargo no se observó un efecto significativo del factor tiempo ( $P = 0,818$ ) ni de su interacción con grupos ( $P > 0,05$ ) indicando que la media del DAC no presentó una variación a lo largo del tiempo como reflejo de un procesos de crecimiento. Los valores promedio de DAC tendieron a sostenerse y en algunos casos a disminuir, pero al final del período de crecimiento se observa una leve tendencia a recuperar los valores originales o incluso aumentarlos (Figura 6).



**Figura 6** | Valores promedio del DAC de las plantas de tala por columna. Cada una de las siete columnas se conformó con los tres grupos consecutivos de plantas en orientación NE-SE. Los segmentos de líneas punteadas indican períodos donde el comportamiento de la variable es desconocida.

El efecto del tiempo fue significativo sobre la longitud media de las plantas de tala ( $P < 0,05$ ) observándose una tendencia decreciente en los meses de primavera-verano y un crecimiento a fines de verano y comienzos del otoño (Figura 7). No se observó interacción entre los grupos y el tiempo ( $P > 0,05$ ) pero sí del factor grupo ( $P < 0,01$ ) sobre la longitud media de las plantas. La ausencia de interacción grupos  $\times$  tiempo indicó que las longitudes medias de los grupos

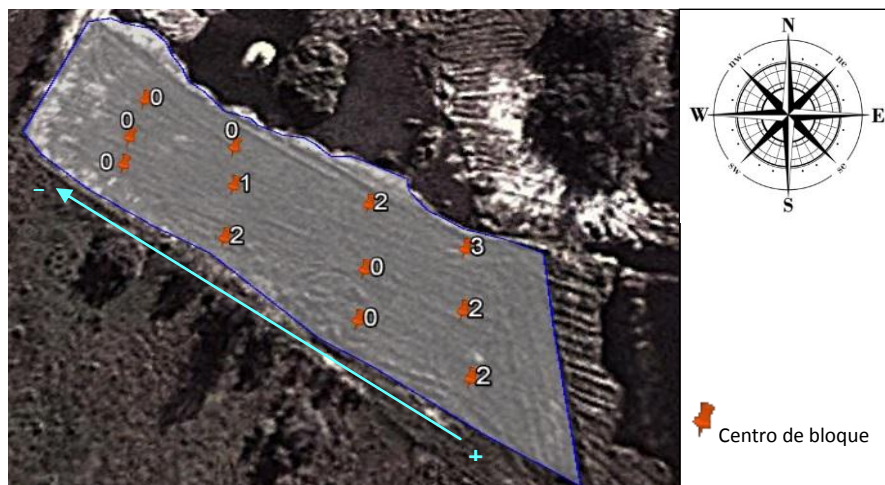
cambiaron de manera similar a lo largo del tiempo y que las diferencias entre grupos correspondieron a diferencias iniciales en los tamaños de las plantas.



**Figura 7** | Longitud promedio por columna de los tallos de plantas de tala. Cada una de las siete columnas se conformó con los tres grupos consecutivos de plantas en orientación NE-SE. Los segmentos de líneas punteadas indican períodos donde el comportamiento de la variable es desconocida.

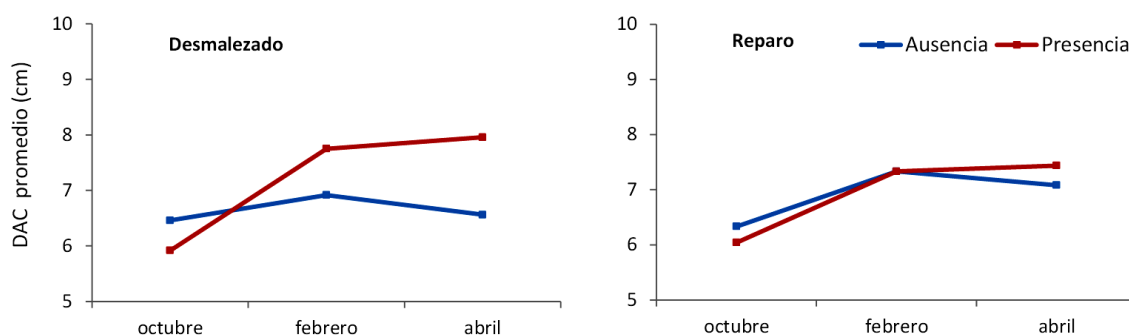
### Ensayo de reparo y desmalezado

La supervivencia de las plantas de tala fue del 100 % hasta abril de 2015. Se realizó el análisis estadístico para el período abril 2014 – octubre 2015, mes en el que se detectaron los primeros individuos muertos. El tratamiento que mostró la mayor supervivencia fue D (50 %), seguido por R+D (42 %) y R (8 %), en T la supervivencia fue nula. Si bien se observaron variaciones en los porcentajes de supervivencia según los tratamientos aplicados, los efectos no fueron significativos en términos estadísticos. El factor bloque mostró efectos significativos ( $P < 0,01$ ) sobre la supervivencia (Figura 8), indicando diferencias entre posiciones en el terreno. Este resultado indicó que el mayor número de plantas vivas observadas en las posiciones más alejadas de la ruta representaron un efecto espacial significativo.



**Figura 8** | Número de plantas de tala vivas por bloque. La línea celeste indica el gradiente de tierra negra, desde mayor profundidad (+) hasta menor profundidad (-).

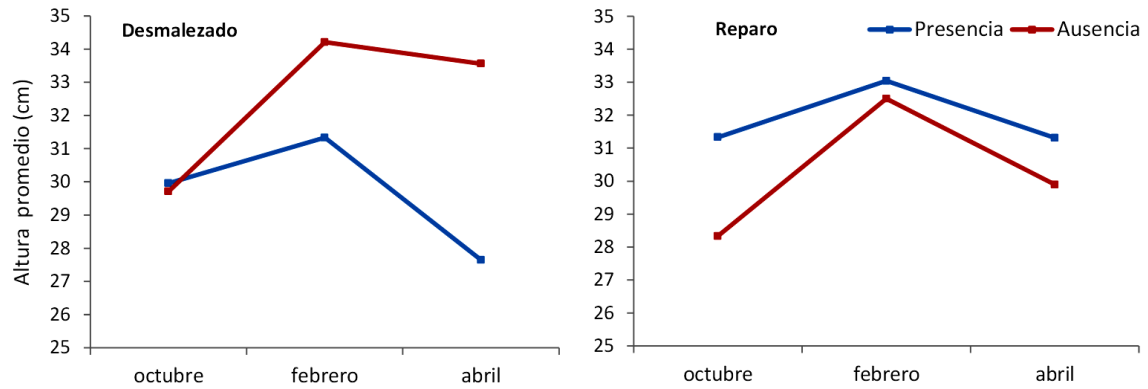
Los análisis del DAC indicaron un efecto significativo del tiempo ( $P < 0,01$ ) y en la interacción entre tiempo y el tratamiento D ( $P = 0,014$ ). El DAC medio de las plantas del tratamiento D tendió a aumentar, mientras que las que no recibieron desmalezado no presentaron una tendencia clara de aumento en esa variable (Figura 9). No se observaron efectos significativos del factor reparo ni su interacción con el tiempo, el DAC de las plantas de este tratamiento varió de manera similar al testigo.



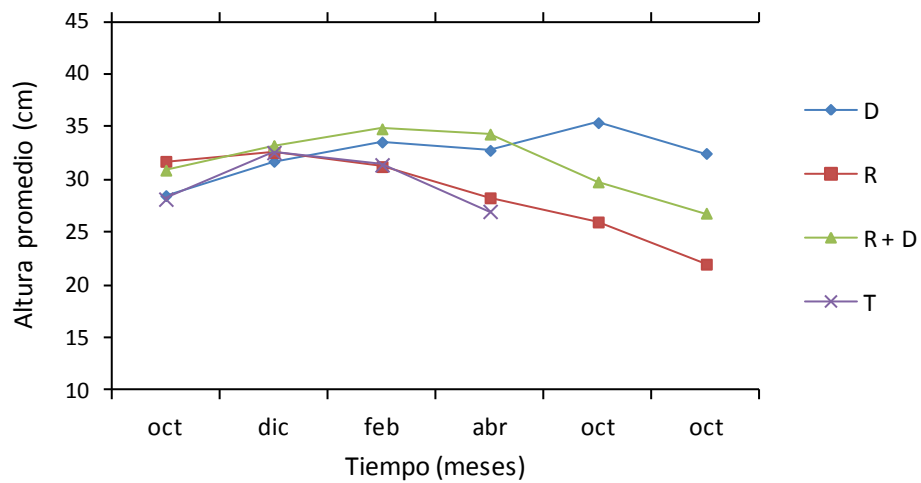
**Figura 9** | Respuesta de los valores promedios de DAC a la presencia o ausencia de reparo y desmalezado en cada fecha analizada.

Los cambios ocurridos en los valores de altura no fueron significativos en términos estadísticos. Sin embargo pudo observarse una tendencia al crecimiento en el primer período y un fuerte decrecimiento en el segundo que, en algunos casos, alcanzó valores menores a los

de la altura inicial (Figura 10). A campo se observaron ramas secas en las porciones apicales de las plantas. Aunque se observó un efecto positivo del desmalezado y la combinación de desmalezado y reparo en la altura, el total de mediciones indicó una tendencia al decrecimiento excepto en el tratamiento D que tendió a mantenerse estable (Figura 11).



**Figura 10** | Respuesta de la altura media de las plantas de tala a la presencia o ausencia de desmalezado y reparo en cada fecha analizada.



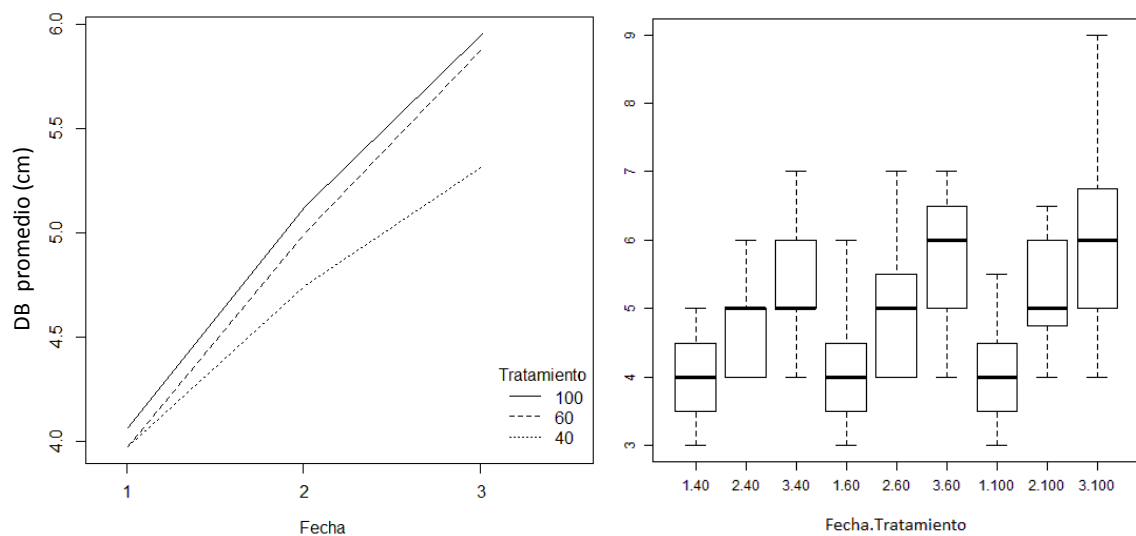
**Figura 11** | Marcha anual de la altura promedio de las plantas de tala vivas para cada tratamiento. Se adicionó la última medición para mostrar tendencia actual de la altura de las plantas. D: desmalezado, R: reparo, R+D: reparo y desmalezado, T: testigo.



## Ensayo en invernáculo

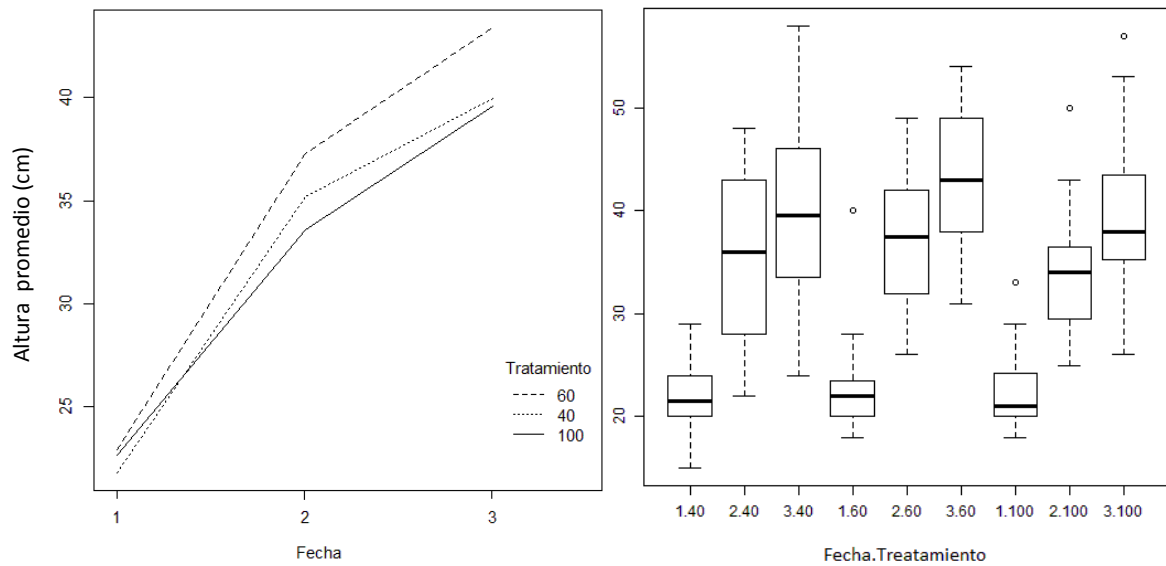
### Mediciones no destructivas

Se observó un cambio positivo y significativo del DB con el tiempo ( $P < 0,001$ ) (Figura 12). Ese crecimiento tendió a presentar patrones diferentes según la disponibilidad hídrica, indicado por el término de interacción tratamiento  $\times$  tiempo ( $P = 0,06$ ). Ese resultado reflejó la tendencia de las plantas que recibieron el tratamiento de 40 % CC a crecer más lentamente que los otros tratamientos.



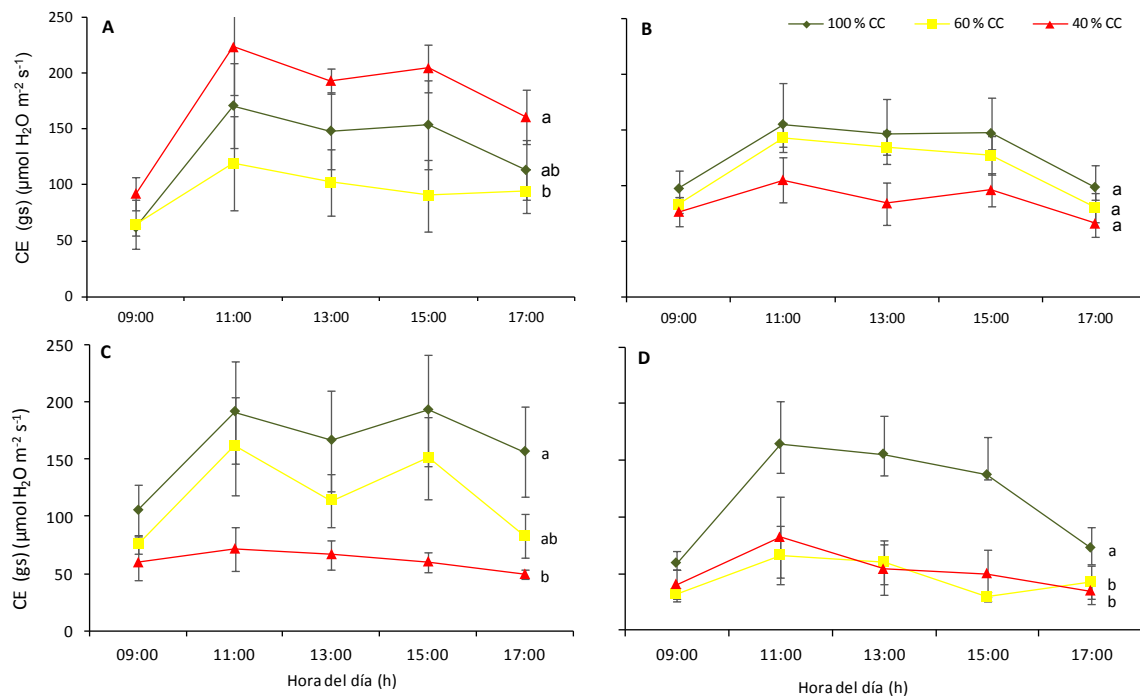
**Figura 12** | A la izquierda, diámetro basal promedio de las plantas de tala para cada tratamiento de riego y fecha evaluada, y a la derecha los diagramas de cajas mostrando las medias, los cuartiles y los desvíos estándar. Los números (1, 2 y 3) indican la fecha de medición y, (40, 60 y 100) expresan los tratamientos correspondientes al porcentaje de la capacidad de campo provista por el riego.

La altura aumentó con el tiempo ( $P < 0,001$ ) pero no hubo una interacción significativa tiempo  $\times$  tratamiento ( $P = 0,209$ ) indicando patrones similares de crecimiento en altura entre tratamientos. Las plantas del tratamiento 60 % CC tendieron a alcanzar mayores alturas especialmente en la última fecha de medición (Figura 13).



**Figura 13** | A la izquierda, altura media de las plantas de tala para cada tratamiento de riego y fecha evaluada y a la derecha los diagramas de cajas mostrando las medias, los cuartiles y los desvíos estándar. Los números (1, 2 y 3) indican la fecha de medición y, (40, 60 y 100) expresan los tratamientos correspondientes al porcentaje de la capacidad de campo provista por el riego.

Las curvas diarias de conductancia estomática se generaron con el promedio de las plantas medidas para cada tratamiento (Figura 14). Sobre la base de esas curvas se seleccionó la medición de las 11 h para llevar a cabo las comparaciones estadísticas debido a que en ese momento se observó un pico de actividad de las plantas que se mantuvo hasta las 15 h o disminuyó paulatinamente hasta las 17 h.



**Figura 14** | Curvas diarias de conductancia estomática (gs) para distintos momentos. (A) Luego de los 3 días; (B) luego de 5 días; (C) luego de 7 días y (D) después de 10 días de la suspensión del riego. Letras diferentes en minúscula indican diferencias significativas entre tratamientos a las 11 hs.

Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en las variaciones de la conductancia estomática a partir del cese del riego indicada por la interacción tratamiento  $\times$  tiempo ( $P < 0,01$ ). Luego de transcurridos tres días desde el último riego se observó que las plantas con mayor actividad fueron las del tratamiento 40 % CC y las de menor las de 60 % CC, en tanto que las de 100 % CC tuvieron valores intermedios a los otros dos tratamientos. A los cinco días el tratamiento 40 % CC presentó los valores más bajos respecto a los otros dos tratamientos, aunque sin diferencias significativas. Siete días después del cese del riego las plantas del tratamiento 40 % CC presentaron una actividad de intercambio muy escasa con diferencias significativas respecto de las del tratamiento 100 % CC. En el tratamiento 60 % CC las plantas tendieron a incrementar su actividad entre el día 3 y el 7 mostrando en el día 10 una marcada caída con valores similares al tratamiento 40 %CC. Las plantas del tratamiento 100 % CC mantuvieron valores de actividad similares a los del inicio y una tendencia a disminuir hacia el día 10.

### Mediciones destructivas

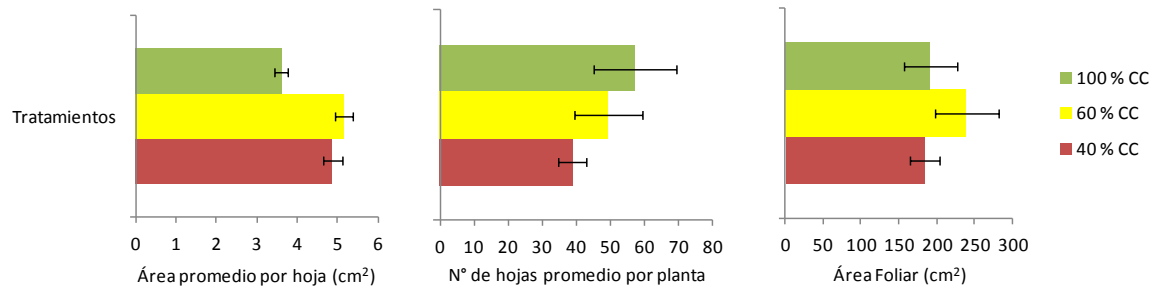
Ninguno de los tratamientos de riego tuvo un efecto significativo sobre el peso seco de los distintos compartimentos de las plantas de tala. Los cocientes calculados tampoco mostraron resultados significativos de los efectos de los distintos niveles de disponibilidad de agua (Tabla 1).

**Tabla 1** | Valores promedio de peso seco para cada compartimento y tratamiento de riego. Los cocientes se calcularon en base a esos valores. (H) peso de hojas; (T) peso de tallos; (RFV) peso de raíces finas vivas; (RGV) peso de raíces gruesas vivas; (PT) peso total; (AF) área foliar; (R/T) relación subterráneo:aéreo; (H/RFV) relación hojas:raíces finas vivas; (AFR) área foliar relativa; (AFE) área foliar específica; (PR-H) peso relativo de hojas; (PR-T) peso relativo de tallos; (PR-RFV) peso relativo de raíces finas vivas; (PR-RGV) peso relativo de raíces gruesas vivas.

Compartimentos	40 % CC	60 % CC	100 % CC
H [gr]	0,72	0,87	0,83
T [gr]	1,46	1,84	1,40
RFV [gr]	0,81	0,82	0,66
RGV [gr]	0,53	0,35	0,43
PT [gr]	3,52	3,88	3,32
AF [cm <sup>2</sup> ]	184,32	239,42	191,59
<b>Cocientes</b>	<b>40 % CC</b>	<b>60 % CC</b>	<b>100 % CC</b>
R/T	0,59	0,45	0,50
H/RFV	1,21	1,10	1,32
AFR [cm <sup>2</sup> .gr <sup>-1</sup> ]	55,78	63,25	60,67
AFE [cm <sup>2</sup> .gr <sup>-1</sup> ]	260,95	280,29	243,79
*PR-H	21,51	22,39	25,10
PR-T	42,50	47,19	41,98
PR-RFV	21,35	21,18	19,52
**PR-RGV	14,64	9,24	13,41

\*  $P = 0,078$ ; \*\*  $P = 0,058$

Se observaron tendencias en cuanto al área foliar, área promedio de las hojas y número de hojas por planta asociados a cada tratamiento. Se observó que las hojas del tratamiento 60 %CC tienden a ser de mayor tamaño que en los otros dos tratamientos, lo cual se refleja en los valores de área foliar. Las plantas del tratamiento 100 % CC tendieron a desarrollar mayor número de hojas, pero de tamaño más pequeño (Figura 15).



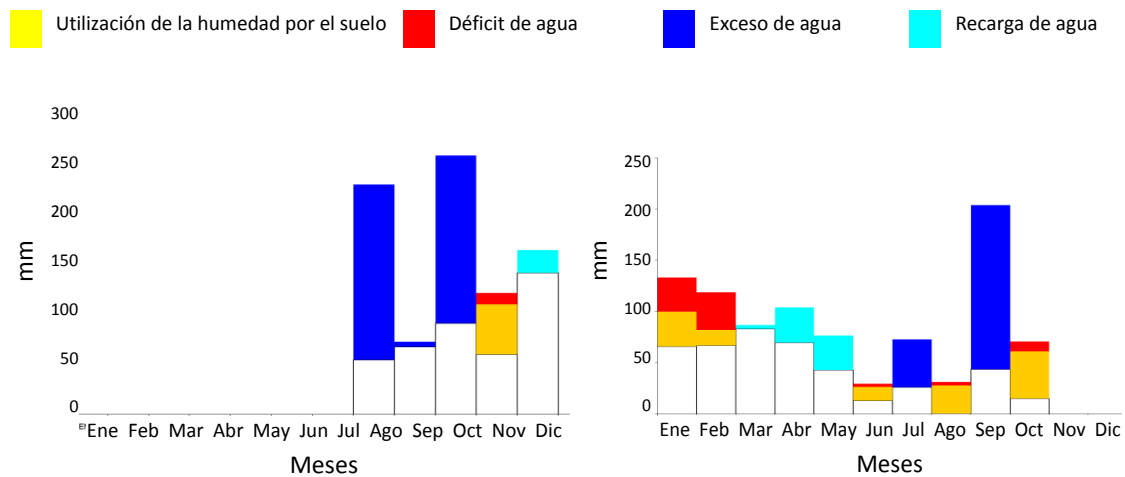
**Figura 15** | Valores medios de área foliar, área promedio por hoja y número de hojas por individuo y tratamiento. CC: capacidad de campo.

Si bien las diferencias entre las plantas sometidas a los distintos tratamientos no fueron significativas, posiblemente debido al bajo número de plantas cosechadas, se pueden observar tendencias en la distribución de la biomasa en los distintos compartimentos de las plantas. Las plantas de 40 % CC tendieron a presentar menor peso promedio de hojas por planta, menor proporción relativa de hojas y mayor relación subterráneo:aéreo.

## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en los ensayos a campo resultan coherentes con las experiencias previas de plantación a cielo abierto: en el plazo de dos años la supervivencia tiende a cero y el crecimiento observado en ese periodo es muy bajo. En la plantación exploratoria realizada en la cantera la supervivencia en los primeros meses fue alta pero el crecimiento fue nulo o muy bajo sin diferencias entre plantas instaladas en diferentes posiciones sobre el terreno, que representaban diferencias en las características del sustrato. Las diferentes condiciones de sustrato, involucraron desde un material arenoso, rico en fragmentos de conchilla, que representaba los sedimentos marinos sin procesos de formación de suelo, hasta situaciones en las que el horizonte edáfico superficial exhibía unos 40 cm de espesor y presentaba una textura franco-arenosa o franco-arcillosa. La falta de respuesta del crecimiento frente a esas variaciones sugiere la existencia de limitaciones ambientales muy fuertes, frente a las cuales, las diferencias relacionadas con el sustrato no llegan a manifestarse. En alguna medida las variaciones de altura de las plantas estuvieron asociadas con variaciones en la disponibilidad hídrica. Durante los meses de verano se observó un marcado decrecimiento de la altura y un aumento durante fines del verano y comienzos del otoño. Durante los meses posteriores a la plantación se registró un exceso de agua en el suelo especialmente durante agosto y octubre, en cambio, en noviembre de 2012 y enero y febrero de 2013, las precipitaciones no alcanzaron a cubrir la demanda evapotranspirativa produciéndose un déficit hídrico (Arturi et al., 2014). Durante los meses de marzo y abril se observó una recarga del almacenaje del suelo debido a que las precipitaciones superaron la evapotranspiración (Figura 16). Las plantas de tala que sobrevivieron al período crítico mostraron un incremento en su altura. El déficit hídrico observado durante el invierno probablemente afectó en menor medida a las plantas de tala, que estaban en el período de reposo, que los déficits de primavera y verano en los que las plantas presentaban su mayor actividad. Si bien el efecto del déficit hídrico en los meses de enero y febrero pudo representar la causa principal de la mortalidad en ese periodo, en general, las condiciones fueron lo suficientemente favorables como para que sobreviva el 70 % de las plantas alrededor de un año después de establecida la plantación.

Este ensayo exploratorio indicó que la altura de las plantas se vio afectada negativamente por los períodos de déficit hídrico y respondió positivamente al incremento en la disponibilidad de agua. Una tendencia similar se reflejó también en el DAC.



**Figura 16 |** Diagrama de balance hídrico mensual por el método de Thornthwaite y Matter para el área de estudio en el período agosto 2012 – diciembre 2013 tomado de Arturi et al. (2014).

El concepto físico de tensión-deformación (stress-strain) aplicado a sistemas biológicos ha sido propuesto por Levitt (1980). La deformación o strain representa la respuesta de un material mediante la extensión o compresión frente a la aplicación de una tensión. En un organismo representa la respuesta a escala funcional como resultado de la incidencia de factores de tensión o stress. Dentro de cierto rango de tensión, la respuesta del organismo puede ser reversible, resultando análoga a una deformación elástica. A medida que la tensión aumenta, la deformación en la respuesta alcanza límites de los que no puede recuperarse y representa una deformación plástica. Por último, si la tensión no cesa, se sobrepasa el límite de la resistencia del material (Valladares et al., 2004b). El comportamiento de las plantas de tala a la tensión ejercida por el déficit hídrico podría representar una respuesta elástica, que provoca la mortalidad de parte de la planta, pero existe una recuperación al cesar la tensión. En caso de persistencia de las condiciones de estrés, la planta podría sobrepasar el límite de resistencia del material produciéndose la muerte del individuo (Valladares et al., 2004b). El periodo de crecimiento siguiente (septiembre 2013- abril 2014) también presentó momentos de déficit hídrico determinando que ninguna de las plantas haya sobrevivido a un tercer período de crecimiento.

Estos resultados ponen en evidencia que las alteraciones que provoca la explotación minera modifican la composición textural, las condiciones originales de relieve positivo y buen drenaje de los suelos de los cordones sobre los que se desarrollan los talares, y que estas condiciones no pueden ser compensadas sólo con mejoras de la capa superficial del suelo.

Los cambios en los procesos típicos del desarrollo de las plantas indican la presencia de algún factor ambiental capaz de producir ese estrés, la respuesta ante el estrés hídrico está estrechamente correlacionado con el estrés térmico y lumínico (Valladares et al., 2004b). Además, la competencia es un proceso que puede agravar una situación de estrés disminuyendo la supervivencia. Alcanzar un mayor tamaño en menor tiempo permitiría mejorar la situación competitiva, pero esto sólo representa una ventaja en condiciones ambientales favorables (Villar et al., 2004). En el ensayo de reparo y desmalezado se puso a prueba el desempeño de las plantas de tala, atenuando el efecto de la competencia y la radiación solar directa. El efecto negativo de la competencia que producen las plantas herbáceas pudo detectarse por el efecto positivo del desmalezado sobre el crecimiento. En términos de supervivencia, si bien no hubo un efecto significativo, los porcentajes de plantas vivas en los tratamientos con desmalezado tendieron a ser mayores que en los restantes. Estos resultados resultan coherentes con las tendencias de la regeneración natural de la especie, ya que el establecimiento espontáneo de tala es más frecuente en sitios donde la biomasa total de raíces es menor, en comparación con el bosque nativo y los pastizales (Arturi y Goya, 2004). El reparo no demostró tener un efecto positivo y esto podría deberse a que, si bien se restringió la incidencia de la radiación directa en las horas de mayor temperatura, es probable que sea necesaria una protección mayor contra la radiación o bien, además, evitar el efecto de corrientes de aire que podrían empeorar la situación hídrica. El porcentaje de plantas sobrevivientes fue muy bajo al cabo de dos años, indicando que los factores de mortalidad no resultaron reducidos en la medida necesaria. Pero el sustrato demostró en este ensayo una tendencia marcada. Casi el 60 % de las plantas que sobrevivieron a octubre de 2015 se encontraron en posiciones del terreno con mayor profundidad de material superficial del suelo. Para octubre de 2016, el 100 % de las plantas sobrevivientes se localizaron en esos sitios.

Si bien estas dos experiencias de ensayos a campo no fueron suficientes para alcanzar los objetivos de restauración, permitieron demostrar que la pérdida de cobertura boscosa que produce la actividad minera no puede revertirse con técnicas sencillas de plantación y que se requiere de una caracterización ecofisiológica del tala frente a las condiciones ambientales en las que se establecieron las plantaciones.

La respuesta ecofisiológica frente al estrés hídrico depende del grado de desarrollo del sistema radical, la profundidad de la raíz y del acceso al agua en períodos de déficit (Chaves et al., 2002). Las plantas pueden cambiar la distribución de biomasa hacia la raíz en respuesta a un bajo nivel de los recursos del suelo (Valladares et al., 2004a; Camargo-Rodríguez y Rodríguez-



López, 2006). Sin embargo, las plantas de tala sometidas a baja disponibilidad hídrica (40 % CC) no evidenciaron una asignación prioritaria hacia la biomasa subterránea. Si bien fueron las plantas con mayor proporción y peso de raíces, esos resultados no son significativos, y en muchos casos los valores de algunos compartimentos se asemejaron más a una planta a capacidad de campo que a una con baja o intermedia disponibilidad de agua. Algunos estudios en plantas leñosas observaron numerosas excepciones que dejaban a la profundidad de la raíz como un factor más, pero no decisivo, en la estrategia hídrica general de las plantas (Chaves et al., 2002). Estos cambios en la asignación pueden ser interpretados como adaptativos, siempre que permitan a la planta capturar más de aquel recurso que limita fuertemente su crecimiento (Camargo-Rodríguez y Rodríguez-López, 2006). Los distintos niveles de agua a los que sometimos las plantas de tala pudieron no haber resultado lo suficientemente contrastantes entre sí, o de suficiente duración, como para poner en evidencia esos cambios. Alternativamente, es posible que el tala presente otras respuestas al estrés hídrico y que no requiera una asignación diferencial de los recursos entre órganos aéreos y subterráneos.

La respuesta en la conductancia estomática frente al estrés hídrico permitió observar un comportamiento similar al de especies que, a través de una estrategia de *derroche*, aprovechan de forma más eficiente episodios breves de disponibilidad hídrica (Valladares et al., 2004b). Las plantas a 40 % CC muestran una intensa actividad durante los primeros días luego de realizado el riego y luego caen a niveles muy bajos como consecuencia del agotamiento del recurso. Las plantas de 60 % CC evidencian un comportamiento similar a las de 40 % CC pero con cierto retardo, probablemente debido al mayor contenido de agua que tenían al inicio del periodo de suspensión del riego. Las plantas de 100 % CC presentaron un comportamiento regular durante el transcurso de los días y no redujeron su respuesta en la CE.

Algunos estudios acerca de la regulación estomática, como una de las estrategias para evitar el daño causado por la sequía, distinguen dos tipos de regulación del agua: isohídrica y anisohídrica (González-Rodríguez et al., 2016). Las especies isohídricas pueden enfrentar períodos severos, pero cortos de sequía, mientras que las especies anisohídricas son más aptas para sobrevivir en condiciones de sequía a largo plazo pero de menor intensidad. En un estudio realizado por González-Rodríguez y colaboradores (2016), *C. ehrenbergiana* se ajustó mejor a la categoría de especies anisohídricas con limitada tolerancia al estrés hídrico extremo. En el mismo sentido Adhikari y White (2014) demostraron que esta especie mostraba una alta CE inicial y una alta reducción del potencial agua del suelo, exhibiendo en consecuencia altas tasas de transpiración. Esta categorización coincide con los resultados encontrados en estos

ensayos en los que las plantas de los tratamientos sometidos a estrés hídrico no redujeron apreciablemente su crecimiento, y su CE sólo disminuyó por agotamiento del recurso. La similitud de estas respuestas entre los tratamientos a 60 % CC y 40 % CC sugieren que los tratamientos no afectaron ese comportamiento. Otros estudios sobre los caracteres morfológicos de las hojas de tala permitieron establecer que condiciones ambientales con alta radiación solar y disponibilidad de agua son las mejores para el crecimiento *C. ehrenbergiana*, donde sus hojas modifican la estructura y mejoran la eficiencia fotosintética (Nughes et al., 2013).

En muchas especies la respuesta de los individuos frente a las condiciones de crecimiento es fuertemente dependiente de la edad. Un cambio acontecido en una fase del desarrollo puede afectar la capacidad de respuesta en otra fase. Este es el principio de la variación ontogénica, y esos cambios se vuelven aun más complejos de estudiar cuando interaccionan con la capacidad de un mismo genotipo, de producir fenotipos diferentes como respuesta a ambientes diferentes (plasticidad) (Valladares et al., 2004a). En ese sentido la ontogenia de las plantas y plasticidad fenotípica pueden tener un fuerte efecto sobre los patrones de asignación de la biomasa hacia diferentes órganos (Valladares et al., 2004a; Poorter et al., 2012) Diversas especies arbóreas en las etapas iniciales del establecimiento, responden con una estrategia *menos conservadora* (mayor gasto en crecimiento) a la competencia con las plantas herbáceas y es también en esos períodos o etapas del desarrollo, donde las especies pueden ser particularmente sensibles (o insensibles) a un estrés determinado (Valladares et al., 2004b). Es posible que durante la fase de plántula la respuesta del tala a las restricciones ambientales sea diferente y más exitosa, que la de las plantas utilizadas en estos ensayos. La especie se establece espontáneamente sobre montículos de suelo en las canteras (Arturi y Goya, 2004) en contraste con la altísima mortalidad encontrada en estos ensayos.

## CONCLUSIONES

Los ensayos a campo permitieron encontrar resultados parcialmente coincidentes con la hipótesis planteada, indicando que el déficit hídrico afecta negativamente la supervivencia y crecimiento de las plantas de tala, que existe un efecto negativo de la competencia sobre esas variables y positivo de la disponibilidad de un sustrato de mejor calidad. El efecto positivo del reparo no resultó observable pero, la caracterización ecofisiológica frente al estrés hídrico, sugiere que es muy probable que las condiciones experimentales no hayan sido apropiadas para poner de manifiesto ese efecto.

Resulta evidente a partir de los resultados, que la pérdida de cobertura boscosa que produce la actividad minera, no puede revertirse con técnicas sencillas de plantación. La disponibilidad de un sustrato con características adecuadas para el crecimiento resulta un factor clave. El manejo previo y posterior al período de aprovechamiento de la cantera, debería ser cuidadosamente planificado para lograr un sustrato de mejores características que intente representar de una manera más adecuada las condiciones favorables para la instalación del tala como especie dominante de los bosques del lugar. Los futuros esfuerzos deben dirigirse a entender diferencias ecofisiológicas entre las plantas en diferentes estados de desarrollo y a desarrollar técnicas eficientes de reducción de la competencia, mejora del sustrato y provisión de un microclima apropiado.

## BIBLIOGRAFÍA

**Adhikari, A., y J.D. White.** 2014. Plant water use characteristics of five dominant shrub species of the Lower Rio Grande Valley, Texas, USA: implications for shrubland restoration and conservation. *Conservation Physiology* 2, 10.1

**Aronson, J., C. Floret, E. Floc'h, C. Ovalle y R. Pontanier.** 1993. Restoration and Rehabilitation of Degraded Ecosystems in Arid and Semi-Arid Lands. I. A View from the South. *Restoration Ecology* 1(1): 8-17

**Arturi, M.F.** 1997. Regeneración de *Celtis tala* y su relación con el pastoreo, la cobertura herbácea y arbórea en el NE de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Ecología Austral* 7:3-12.

**Arturi, M.F. y J.F. Goya.** 2004. Estructura, dinámica y manejo de los talaes 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.

**Arturi, M. F., F. Goya, C. Perez, S. L. Burns, M. Azcona, M. Presutti, C. Graciano y M. Cavalcante.** 2012. Estrategias para la recuperación de áreas degradadas y alternativas de manejo forestal en los talaes de Magdalena y Punta Indio. Proyecto Institucional de Investigación y Extensión de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Informe final inédito.

**Arturi, M.F., F. Goya, E. Escoda, M. Rugura y C. Pérez.** 2014. Estrategia de Reducción del Impacto Ambiental en Canteras de Extracción de Conchilla en el Partido de Castelli: Plan de Cese de Actividad y Restauración. Informe Técnico Inédito.

**Azcona, M., M.F. Arturi, J.F. Goya, C. Pérez, S.L. Burns y M. Cavalcante.** 2012. Plantaciones de *Celtis tala* sobre áreas degradadas de los talaes de Magdalena y Punta Indio XXV Reunión Argentina de Ecología, Luján.

**Barbagallo, F.J.** 1983. Las áreas anegables de la Pampa Deprimida En: Fuschini Mejía, M.C. (De.) Hidrología de las grandes llanuras. Actas del coloquio de Olavarría. Museo. UNLP. UNESCO, Argentina.

**Burgos, J.J.** 1968. El clima de la Provincia de Buenos Aires. En: Cabrera, A.L. (Ed.). *Flora de la Provincia de Buenos Aires*. Pp. 33-101. Colección Científica del INTA. Buenos Aires, Argentina.

**Camargo-Rodríguez, I. D y N. Rodríguez- López.** 2006. Nuevas perspectivas para el estudio de la asignación de biomasa y su relación con el funcionamiento de plantas en ecosistemas Neotropicales. *Acta Biológica Colombiana* 11: 75-87.

**Cavallotto, J.** 2009. Caracterización e historia evolutiva del sustrato sobre el que se desarrollan los talaes del nordeste bonaerense. En: Athor, J. (Ed). *Parque costero del sur: Magdalena y Punta Indio*. Pp. 66-81. Fundación de Historia Natural Felix de Azara.

**Chaves, M.M., J.S. Pereira, J. Maroco, M.L. Rodrigues, C.P.P. Ricardo, M.L. Osório, I. Carvalho, T. Faria y Pinheiro, C.** 2002. How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. *Annals of botany* 89(7): 907-916.

**Corbin, J.D. y K.D. Holl.** 2012. Applied nucleation as a forest restoration strategy. *Forest Ecology and Management* 265: 37-46.

**Foley, J.A., N. Ramankutty, K.A. Brauman, E.S. Cassidy, J.S. Gerber, M. Johnston, N.D. Mueller, Ch. O'Connell, D.K. Ray, P.C. West, Ch. Balzer, E.M. Bennett, S.R. Carpenter, J. Hill, Ch. Monfreda, S. Polasky, J. Rockström, J. Sheehan, S. Siebert, D. Tilman y David P.M. Zaks.** 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature* 478(7369): 337-342.

**García Cortéz, M., C. Pérez, M. Presutti y M. Arturi.** 2009. Cambios en la superficie boscosa y biomasa forrajera en los talares de Magdalena y Punta Indio. En: Athor, J. (Ed.). *Parque Costero del Sur. Naturaleza, Conservación y Patrimonio Cultural*. Pp. 92-103. Fundación de Historia Natural Félix de Azara. Buenos Aires.

**Godfray H.C.J., JR Beddington, IR Crute, L Haddad, D Lawrence, JF Muir, J Pretty, S Robinson, SM Thomas y C Toulmin.** 2010. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science* 327:812-818.

**González-Rodríguez H., W. Himmelsbach, J. I. SarquísRamírez, I. Cantú-Silva, R.G. Ramírez-Lozano y J.M. López-Hernández.** 2016. Seasonal water relations in four co-existing native shrub species from Northeastern Mexico. *Arid Land Research and Management* 30(4): 1-14.

**Goya, J.F., G. Placci, M.F. Arturi y A. Brown.** 1992. Distribución y características estructurales de los Talares de la Reserva de Biosfera Parque Costero del Sur. *Revista de la Facultad de Agronomía*, La Plata 68(1):53-64.

**Grau, H.R., N.I. Gasparri y T.M. Aide.** 2005. Agriculture expansion and deforestation in seasonally dry forests of north-west Argentina. *Environmental Conservation* 32(2): 140-148.

**Grau, R., T. Kuemmerle, y L. Macchi.** 2013. Beyond 'land sparing versus land sharing': environmental heterogeneity, globalization and the balance between agricultural production and nature conservation. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 5(5): 477-483.

**Hurtado, M. y J.A. Ferrer.** 1988. *Guía de Campo de las Segundas Jornadas de Suelos de la Región Pampeana*. La Plata, Argentina.

**Imbellone P.A., J.E. Giménez, M.L. Mormeneo.** 2014. Suelos calcáreos del Litoral Noreste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. En: Imbellone P.A. (Ed.), *Suelos con Acumulaciones Calcáreas y Yesíferas de Argentina*. Pp. 57-93. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Buenos Aires.

**Jobbágy, E.G., M.D. Nosetto, C.S. Santoni, y G. Baldi.** 2008. El desafío ecohidrológico de las transiciones entre sistemas leñosos y herbáceos en la llanura Chaco-Pampeana. *Ecología Austral* 18(3): 305-322.

**Levitt, J.** 1980. *Responses of plants to environmental stresses. Volume II. Water, radiation, salt, and other stresses* (No. Ed. 2). Academic Press.

**Matteucci, S.D., J.N.R., Barcelo Coll, G.S. Garcia, B.S. Tames, R.B. Coll, W.L. Larcher, y Loomis, R.S.** 2007. Panorama de la ecología de paisajes en Argentina y países sudamericanos (No. 581.1). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

**Montenegro, C., I. Gasparri, E. Manghi, M. Strada, J. Bono y M.G. Parmuchi.** 2004. Informe sobre deforestación en Argentina. *Dirección de Bosques. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable*. Buenos Aires.

**Muñoz-Rojas, M. T.E. Erickson, D.C. Martini, K.W. Dixon y D.J. Merritt.** 2016. Climate and soil factors influencing seedling recruitment of plant species used for dryland restoration. *Soil* 2(2): 287-298

**Murriello, S., M. Arturi, y A. Brown.** 1993. Fenología de las especies arbóreas de los talares del este de la Provincia de Buenos Aires. *Ecología Austral* 3: 25-31.

**Nughes, L., M. Colares, M. Hernández y A. Arambarri.** 2013. Morfo-anatomía de las hojas de *Celtis ehrenbergiana* (Celtidaceae) desarrolladas bajo condiciones naturales de sol y sombra. *Bonplandia* 22:47-58.

**Paolasso, P., J. Krapovickas y N.I. Gasparri.** 2012. Deforestación, expansión agropecuaria y dinámica demográfica en el Chaco Seco Argentino durante la década de los noventa. *Latin American Research Review* 47(1): 35-63

**Parodi, L.R.** 1940. La distribución geográfica de: los talares en la Provincia de Buenos Aires. *Darwiniana* 4(1): 33-56.

**Perfecto, I. y J. Vandermeer.** 2010. The agroecological matrix as alternative to the land-sparing/agriculture intensification model. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107(13): 5786-5791.

**Plaza Behr, M.C., C. Pérez, J.F. Goya, M. Azcona y M.F. 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: 171-177.

**Poorter, H., K. J. Niklas, P.B. Reich, J. Oleksyn, P. Poot, y L. Mommer.** 2012. Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. *New Phytologist*, 193(1): 30-50.

**R Core Team.** 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>

**Sala, J.M.** 1975. Geología de la Provincia de Buenos Aires. Recursos hídricos. *Relatorio VI Cong. Geol. Arg.* 169-251.

**Sánchez, R.O., J.A. Ferrer, O.A. Duymovich y M.A. Hurtado.** 1976. *Estudio pedológico integral de los Partidos de Magdalena y Brandsen (Provincia de Buenos Aires)*. Anales del LEMIT Serie II N° 310, Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Buenos Aires.

**Seufert, V., N. Ramankutty y J. A. Foley.** 2012. Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature* 485(7397): 229-232.

**Stanturf, J.A., B.J. Palik, y R.K. Dumroese.** 2014. Contemporary forest restoration: a review emphasizing function. *Forest Ecology and Management* 331: 292-323.

**Tilman, D., C. Balzer, J. Hill y B.L. Befort.** 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 108:20260-20264

**Torres Robles, S.S. y M.F. Arturi.** 2009. Variación de la composición y riqueza florística en los talares del parque costero del sur y su relación con el resto de los talares bonaerenses. En: Athor J. (Ed.) *Parque Costero del Sur. Naturaleza, Conservación y Patrimonio Cultural*. Pp. 104-121. Fundación de Historia Natural Félix de Azara, Buenos Aires.

**Torres Robles, S.S. y N.M Tur.** 2006. Los talares de la provincia de Buenos Aires. En: Brown, A., Martínez Ortiz, U., Acerbi, M. y Corcuera, J., *La situación ambiental argentina 2005*. Pp. 246-250 Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires.

**Tricart, J.** 1973. *Geomorfología de la Pampa Deprimida: base para los estudios edafológicos y agronómicos. Plan Mapa de Suelos de la Región Pampeana*. XII Colección Científica del INTA. Buenos Aires.

**Valladares F., I. Aranda y D. Sánchez-Gómez.** 2004 a. La luz como factor ecológico y evolutivo para las plantas y su interacción con el agua. En: Valladares, F. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Pp. 335-369. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A., Madrid.

**Valladares, F., A. Vilagrosa, J. Peñuelas, R. Ogaya, J.J. Camarero, L. Corcuera, S. Sisó y E. Gil-Pelegrín.** 2004 b. 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.

**Villar, R., J. Ruiz-Robledo, J.L. Quero, H. Poorter, F. Valladares y T. Marañón.** 2004. Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. En: Valladares, F. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Pp. 191-227. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A., Madrid.

**von Ende, C.** 2001. Repeated-measures analysis: growth and other time-dependent measures. In: Scheiner, S.M., J. Gurevitch (Eds.), *Design and analysis of ecological experiments*. Pp.134-157 Oxford University Press, New York.

