

Anexo 09. Informes trimestrales Potencial hídrico y Conductancia estomática. Universidad de Chile.

Informe Semestral primer semestre 2024 – Proyecto Cambios y Mejoras en la Operación Minera del Salar de Ataca- cama Región de Antofagasta

Anexo 09. Informes trimestrales Potencial hídrico y Conductancia estomática. Universidad de Chile.
GEOB.SQMSL862.INFO21.ANX09. Programa de Seguimiento de Flora y Vegetación de la quebrada
de Camar

| Rev. | Id | Ejecutor | Revisor | Aprueba | Descripción |
|------|--------|------------|------------|------------|--------------------|
| B | Nombre | YG | CI | IZ | Propuesta Rev. (B) |
| | Fecha | 07.10.2024 | 29.10.2024 | 29.10.2024 | |



La Fundación de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile es una organización sin fines de lucro que busca promover el estudio y la investigación de las ciencias agropecuarias.



INFORME DE ESTADO HÍDRICO EN ALGARROBO DE LA QUEBRADA DE CAMAR

Enero 2024

Mandante:

geobiota



Tabla de contenido

| | |
|--|----|
| RESUMEN | 3 |
| INTRODUCCIÓN | 4 |
| Objetivo | 5 |
| Objetivos específicos | 5 |
| MATERIALES Y MÉTODO | 6 |
| Área de estudio | 6 |
| Individuos medidos en estudio | 7 |
| Equipos utilizados | 8 |
| Metodología para medición del estado hídrico de las plantas | 8 |
| • Potencial hídrico en pre-alba y mediodía | 8 |
| • Conductancia estomática | 9 |
| Análisis estadístico | 10 |
| RESULTADOS | 12 |
| Comparación de algarrobos de la Serie A y Series B-C | 13 |
| Comparación de algarrobos según su ubicación respecto de la tubería | 13 |
| Comparación de algarrobos con y sin riego | 14 |
| Evolución temporal | 14 |
| DISCUSIÓN | 17 |
| CONCLUSIONES | 18 |
| BIBLIOGRAFÍA | 19 |
| APÉNDICES | 22 |
| 1. Certificado de calibración de porómetro | 22 |
| ANEXOS | 23 |
| 1. Registro fotográfico | 23 |
| 2. Modelo lineal generalizado sobre potencial hídrico de pre-alba entre Serie A y Serie B-C | 28 |
| 3. Análisis de varianza sobre potencial hídrico de mediodía entre Serie A y Serie B-C | 29 |
| 4. Análisis de varianza sobre conductancia estomática entre Serie A y Serie B-C | 29 |
| 5. Modelo lineal generalizado sobre potencial hídrico de pre-alba entre árboles aguas arriba y abajo | 29 |
| 6. Análisis de varianza sobre potencial hídrico de mediodía entre árboles aguas arriba y abajo | 30 |
| 7. Análisis de varianza sobre conductancia estomática entre árboles aguas arriba y abajo | 30 |

| | | |
|-----|--|----|
| 8. | Modelo lineal generalizado sobre potencial hídrico de pre-alba entre árboles con y sin riego | 31 |
| 9. | Análisis de varianza sobre potencial hídrico de mediodía entre árboles con y sin riego | 31 |
| 10. | Modelo lineal generalizado sobre conductancia estomática entre árboles con y sin riego | 32 |
| 11. | Resultados de Potencial hídrico en pre-alba | 33 |
| 12. | Resultados de Potencial hídrico en mediodía..... | 33 |
| 13. | Resultados de Conductancia estomática..... | 34 |
| 14. | Profesionales involucrados en el desarrollo del informe..... | 36 |

Tabla de figuras

| | | |
|------------------|--|----|
| Figura 1. | Ubicación puntos de medición variables fisiológicas..... | 6 |
| Figura 2. | Registro fotográfico mediciones de potencial hídrico en pre-alba. | 9 |
| Figura 3. | Registro fotográfico mediciones de potencial hídrico de mediodía. | 9 |
| Figura 4. | Registro fotográfico mediciones de conductancia estomática. | 10 |
| Figura 5. | Evolución temporal, potencial hídrico en pre-alba en las series A y B, desde 2020 a 2024. | 15 |
| Figura 6. | Evolución temporal, potencial hídrico de mediodía de las series A y B, desde 2020 a 2024. | 16 |
| Figura 7. | Evolución temporal, conductancia estomática para las series A y B, desde 2020 a 2024. | 16 |

RESUMEN

El presente informe es parte del programa de seguimiento de flora y vegetación de la quebrada de Camar indicado como parte de las acciones del Programa de Cumplimiento (Acción 24) aprobado mediante Res. Ex. N° 38/2022 por la Superintendencia de Medio Ambiente, y en el marco del procedimiento sancionatorio Res. Ex. N°4/Rol F-041-2016. Se tiene por objetivo caracterizar el estado fisiológico de la población de los algarrobos que se encuentran en la Quebrada de Camar y que son parte del seguimiento ambiental en el marco de la RCA 226/2006.

Para dar cumplimiento con el objetivo propuesto, se realizó en el mes de enero 2024, una campaña de medición de variables fisiológicas asociadas al estado hídrico de los algarrobos presentes en la Quebrada de Camar en el Salar de Atacama. Se trabajó con una muestra de 18 individuos de algarrobo pertenecientes a la serie A, que están distribuidos en torno al ex pozo de extracción Camar-2 (cuya operación fue detenida en 2018 y su infraestructura de bombeo desmantelada en 2021) y que han sido monitoreados históricamente. Complementariamente, se tomaron muestras en 9 ejemplares pertenecientes a la serie B, que están alejados de dicho pozo y que se encuentran ubicados hacia el Este de los individuos objeto de estudio, 1 ejemplar de la serie C, 1 ejemplar de la serie D y 2 ejemplares de la serie AX, los cuales se ubican en la zona de los árboles de la serie A. Las comparaciones realizadas fueron entre la serie A y las series B y C, según su ubicación respecto a la tubería que atraviesa la quebrada de norte a sur y respecto a si son regados o no.

Los principales resultados obtenidos para este periodo (enero 2024), indican que la serie A se diferencia con las series B-C en las variables de potencial hídrico en pre-alba y mediodía, con los valores más bajos en las series B-C. Así mismo, en los algarrobos regados y no regados, se observan las mismas diferencias, con los valores más bajos en los árboles no regados. Adicionalmente, al comparar los algarrobos ubicados agua arriba y abajo de la tubería, se observan diferencias significativas solo en potencial hídrico en pre-alba, con los valores más bajos en los árboles ubicados aguas arriba de la tubería. Por otra parte, la conductancia estomática no mostró diferencias en ninguna de las comparaciones que se realizaron.

Al analizar la dinámica temporal de las variables de potencial hídrico en pre-alba, potencial hídrico de mediodía y conductancia estomática, en los meses de julio los valores de potencial hídrico son los más bajos de cada año, lo que es una respuesta a la variación estacional, en el que se observan los valores más negativos en invierno, para posteriormente, observar un alza en todas las variables. Por otro lado, se observa un mejor estado hídrico en los árboles de la serie A, desde el inicio de la aplicación del riego, alcanzando valores más altos de potencial hídrico y conductancia estomática desde enero de 2023.

INTRODUCCIÓN

En el borde Este del Salar de Atacama, Región de Antofagasta, específicamente en el sector correspondiente a la Quebrada de Camar, existe una población de Algarrobos, identificados preliminarmente como *Prosopis flexuosa* (RCA 226/2006), que posteriormente, en base a estudios taxonómicos específicos realizados en 2019, fueron identificados como *Prosopis alba* (Ibañez, 2019). Ambas especies son freatófitas de la familia Fabaceae. A partir del año 2022 cambia el nombre de estas especies, debido a la desintegración del género *Prosopis*, llamándose desde ahora *Neltuma flexuosa* y *Neltuma alba*, respectivamente (Hughes et al., 2022).

En torno a esta población de Algarrobos, la empresa SQM Salar S.A. dispuso de un pozo de extracción de agua, conocido como Camar-2 autorizado por la RCA 226/2006, definiéndose un Área de Estudio con el objeto de realizar el seguimiento a los ejemplares cercanos, correspondiendo a los Algarrobos que se encontraban en el área de influencia de este pozo. La operación de este pozo fue detenida en 2018 y su infraestructura para el bombeo fue desmantelada en 2021.

Posteriormente, en el marco del procedimiento sancionatorio iniciado por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) mediante la Resolución Exenta N°1/Rol F-041-2016 (rectificado por Res. Ex. N°4/Rol F-041-2016), se considera la complementación de la información contenida en los informes del Plan de Seguimiento Ambiental Biológico (PSAB) en cuanto a la población de algarrobos cercanos al pozo (serie A) y la implementación de un programa de seguimiento de la vegetación y flora de la Quebrada de Camar. Para esto, se considera un estudio eco-fisiológico enfocado en la población de algarrobos que se desarrolla en la quebrada (Acción 24).

Considerando lo anterior, el presente estudio tiene como objetivo caracterizar el estado fisiológico de la población de los algarrobos de Camar, analizando el estado hídrico de una muestra de 18 individuos de algarrobos de la serie A, distribuidos en las proximidades del pozo Camar-2 a través de las variables potencial hídrico (pre alba y mediodía) y conductancia estomática, y su comparación con otros individuos de algarrobos pertenecientes a las series B y C (n=10). Por otro lado, se considera comparar todos los ejemplares (n=31) a monitorear según su ubicación respecto a una tubería que cruza el área de estudio de norte a sur, y entre individuos regados y no regados (el riego inició en diciembre de 2022).

Cuando un árbol tiene estrés por falta de agua, presenta valores más negativos de potencial hídrico (Tyree et al., 2002). Giordano *et al.* (2011) menciona potenciales de pre-alba de entre -1,3 y -3,8 MPa para individuos de *Prosopis flexuosa* (*Neltuma flexuosa*) con acceso restringido a la napa, medidos entre los meses de diciembre y marzo, siendo más negativo en la medida que se reduce la oferta de agua. Al mediodía se esperaría registrar valores más negativos de potencial hídrico, en comparación con la pre-alba, debido a que en ese momento del día se produce el mayor déficit de presión de vapor, por lo que la columna de agua queda sometida a una mayor tensión. Así mismo, la conductancia estomática también debería disminuir cuando presenta estrés hídrico, como resultado del cierre estomático para disminuir la pérdida de vapor de agua (Taiz y Zeiger, 2002).

La información que se entrega en este informe fue obtenida, analizada y discutida por los profesionales Paola Silva, José Ayamante, Sótero Astaburuaga y Marcelo Becerra (Anexo 14).

Objetivo

Caracterizar el estado fisiológico de la población de los algarrobos de Camar, objeto de seguimiento ambiental en el marco de la RCA 226/2006, mediante la medición de variables que permiten determinar el estado hídrico de una muestra de individuos de *Neltuma alba* (n=18), distribuidos en las proximidades del pozo Camar-2 (serie A), y comparar esta muestra con individuos de las series B y C (n=10), según su ubicación respecto de la tubería y según el riego aplicado.

Objetivos específicos

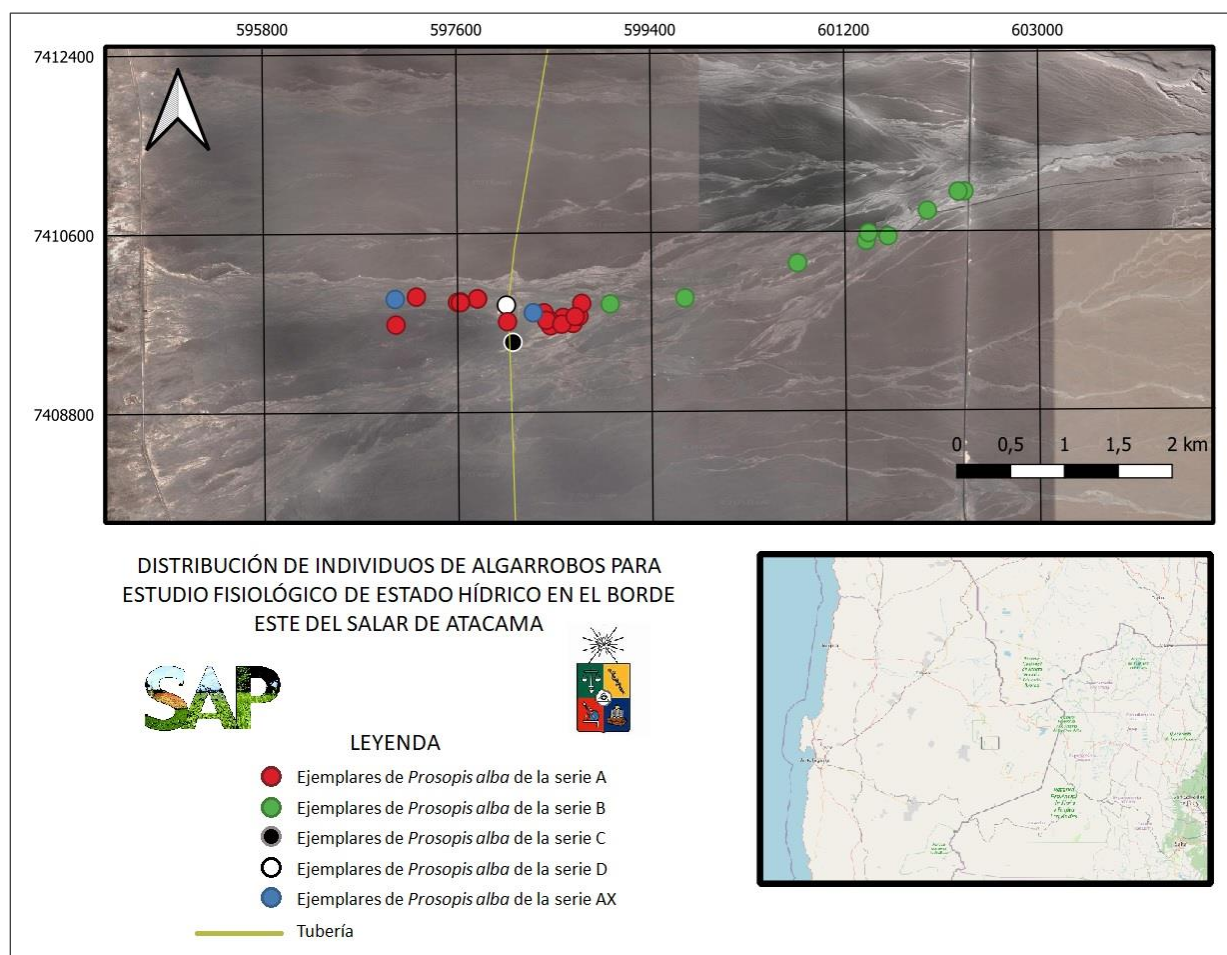
- Medir el potencial hídrico Ψ (MPa) de 31 individuos en muestras vegetales (ramillas) con cámara de presión tipo Scholander en dos momentos, pre-alba y mediodía.
- Medir la conductancia estomática g_s ($\text{mmol/m}^2 \text{ s}^{-1}$) de 31 individuos a través de un porómetro de flujo estacionario, con muestras vegetales (hojas).
- Realizar un análisis estadístico de los resultados considerando la existencia de diferencias significativas entre: (1) individuos de la serie A y resto de los individuos de las series B y C; (2) entre individuos ubicados aguas arriba y aguas abajo de la tubería; y (3) entre individuos con y sin riego.

MATERIALES Y MÉTODO

Área de estudio

El área de estudio se ubica en una zona altiplánica, en el sector oriental de la provincia de Antofagasta, II Región, Chile, en el Salar de Atacama (Figura 1). El estudio se realiza en la quebrada de Camar, la que tiene una superficie total de 38 km² (Ramírez, 1972). La cuenca del Salar de Atacama tiene una influencia del tipo climático “Desértico Marginal de Altura”, que se localiza por sobre los 2.000 metros de altura, por lo que las temperaturas son más atenuadas, presentando una media anual de 10 °C. Las lluvias se concentran en los meses de verano, debido al invierno altiplánico, y fluctúan entre 50 y 100 mm anuales (DGA, 2004). Según la estación meteorológica más cercana (Camar, San Pedro de Atacama), la precipitación acumulada de los últimos doce meses es de 53,7 mm, mientras que la temperatura media anual es de 16,3 °C (INIA, 2023).

Figura 1. Ubicación puntos de medición variables fisiológicas.



Fuente: Laboratorio SAP a partir de Geobiota, 2023.

En la cuenca del Salar de Atacama los suelos son muy escasos, debido a que está constituida mayoritariamente por el cuerpo salino del Salar de Atacama, identificando en la zona adyacente

al salar una unidad taxonómica que corresponde al tipo Entisol. Este tipo de suelo se caracteriza por su carencia de horizontes bien desarrollados, poco evolucionados por la aridez de la zona, su alto contenido salino y pH elevado (DGA, 2004). La zona de estudio está dominada en gran medida por individuos de Algarrobo, que son parte de la base de subsistencia tradicional de la Comunidad de Camar.

Individuos medidos en estudio

Se realizaron mediciones del estado hídrico en ejemplares de algarrobo ubicados en las proximidades del pozo Camar-2 (no se encuentra operativo y fue desmantelado) de la empresa SQM Salar S.A., en el Salar de Atacama, específicamente en la Quebrada de Camar. Los árboles del Área de Estudio se encuentran a menos de 1,1 km del pozo Camar-2, y se consideró un grupo de 18 árboles (serie A) que corresponden a la población objetivo de este seguimiento. Estos árboles están distribuidos aguas arriba y aguas abajo respecto de una tubería que atraviesa de norte a sur el área de estudio, además, cuentan con un sistema de riego, como se indican en la Tabla 1, y cuya ubicación se puede visualizar en la Figura 1. Las mediciones fueron realizadas entre los días 24 y 26 de enero de 2024. Cabe destacar, que también se considera un grupo de ejemplares constituidos por 9 individuos, los que corresponden a árboles de la serie B, 1 individuo de la serie C, 1 individuo de la serie D y 2 individuos de la serie AX.

Tabla 1. Ubicación de los árboles, su ubicación respecto de la tubería y presencia de riego (Proyección: UTM; Datum: WGS84; zona: 19S).

| N | Árbol | Coordenada Este | Coordenada Norte | Serie | Posición c/respecto tubería | Riego |
|----|-------|-----------------|------------------|-------|-----------------------------|-------|
| 1 | A04 | 598066 | 7409720 | A | aguas abajo | Si |
| 2 | A07 | 597031 | 7409692 | A | aguas abajo | Si |
| 3 | A12 | 597223 | 7409975 | A | aguas abajo | Si |
| 4 | A17 | 597603 | 7409916 | A | aguas abajo | Si |
| 5 | A21 | 597632 | 7409915 | A | aguas abajo | Si |
| 6 | A22 | 597634 | 7409921 | A | aguas abajo | Si |
| 7 | A30 | 597788 | 7409952 | A | aguas abajo | Si |
| 8 | A31 | 597792 | 7409953 | A | aguas abajo | Si |
| 9 | A33 | 598759 | 7409902 | A | aguas arriba | Si |
| 10 | A36 | 598732 | 7409766 | A | aguas arriba | Si |
| 11 | A37 | 598698 | 7409766 | A | aguas arriba | Si |
| 12 | A38 | 598677 | 7409695 | A | aguas arriba | Si |
| 13 | A40 | 598574 | 7409693 | A | aguas arriba | Si |
| 14 | A41 | 598469 | 7409677 | A | aguas arriba | Si |
| 15 | A43 | 598432 | 7409734 | A | aguas arriba | Si |
| 16 | A44 | 598449 | 7409740 | A | aguas arriba | Si |
| 17 | A47 | 598581 | 7409758 | A | aguas arriba | Si |
| 18 | A58 | 598407 | 7409807 | A | aguas arriba | Si |
| 19 | B02 | 599016 | 7409889 | B | aguas arriba | No |
| 20 | B03 | 599710 | 7409937 | B | aguas arriba | No |
| 21 | B04 | 600761 | 7410288 | B | aguas arriba | No |
| 22 | B09 | 601420 | 7410585 | B | aguas arriba | No |

| N | Árbol | Coordenada Este | Coordenada Norte | Serie | Posición c/respecto tubería | Riego |
|----|-------|-----------------|------------------|-------|-----------------------------|-------|
| 23 | B10 | 601403 | 7410509 | B | aguas arriba | No |
| 24 | B11 | 601603 | 7410548 | B | aguas arriba | No |
| 25 | B17 | 601972 | 7410806 | B | aguas arriba | No |
| 26 | B20 | 602261 | 7410998 | B | aguas arriba | No |
| 27 | B21 | 602313 | 7410998 | B | aguas arriba | No |
| 28 | C58 | 598113 | 7409506 | C | aguas arriba | No |
| 29 | D28 | 598055 | 7409879 | D | aguas abajo | No |
| 30 | AX01 | 598305 | 7409804 | AX | aguas arriba | Si |
| 31 | AX02 | 597020 | 7409942 | AX | aguas abajo | No |

Equipos utilizados

Para la medición de potencial hídrico (en pre-alba y mediodía) se utilizó una cámara de presión tipo Scholander, la que no requiere calibración. Por otro lado, para la medición de conductancia estomática, se utilizó un porómetro marca Meter SC-1, el que se calibra previo a realizar las mediciones y cuyo certificado de calibración se presenta en el apéndice 1.

Metodología para medición del estado hídrico de las plantas

- **Potencial hídrico en pre-alba y mediodía**

El potencial hídrico se midió en pre-alba de manera de registrar la capacidad de recuperación hídrica de los árboles durante la noche (Acevedo *et al.*, 1985). Las mediciones se realizaron con una cámara de presión (Scholander *et al.*, 1965; May *et al.*, 2011), que es el equipo más utilizado para una lectura rápida y sencilla, y es el mejor método disponible para condiciones de campo (García *et al.*, 2009). Para la medición se utilizó nitrógeno gaseoso como gas presurizado, en ramillas formadas durante la temporada anterior. Se seleccionaron 2 ramillas por árbol, las que se ubicaron al interior de una bolsa plástica sellada con una capa de papel aluminio (Meyer & Ritchie, 1980). Cada ramilla se cortó, se desenvolvió y se introdujo inmediatamente en la cámara de presión para medir su potencial hídrico entre las 5:45 y 6:45 am.

El potencial hídrico en mediodía fue medido para registrar el estado hídrico al momento de mayor demanda de vapor de agua por parte de la atmósfera, debido a la alta radiación y mayor déficit de presión de vapor. Previo a la medición, se eligieron 2 ramillas y se envolvieron en bolsas plásticas con papel aluminio (Meyer & Ritchie, 1980; Williams, 2001; Sellés *et al.*, 2002) durante 1 hora aproximadamente, para equilibrar el potencial hídrico foliar y xilemático. Posteriormente se midió el potencial hídrico entre las 12:00 y 13:00 horas, de la misma forma que se describió para la medición de pre-alba.

En las figuras 2 y 3 se presentan registros fotográficos de las mediciones de potencial hídrico realizadas entre el 24 y 26 de enero de 2024.

Figura 2. Registro fotográfico mediciones de potencial hídrico en pre-alba.



Figura 3. Registro fotográfico mediciones de potencial hídrico de mediodía.



- **Conductancia estomática**

La transpiración corresponde al flujo de vapor de agua, desde las plantas hacia la atmósfera. Este flujo de vapor de agua ocurre desde los espacios intercelulares de la cavidad subestomática, moviéndose por difusión, a través de los estomas, hacia la atmósfera.

Los estomas son poros que están en la cara abaxial de las hojas de algarrobo, cuya apertura responde a condiciones ambientales. La conductancia estomática es un indicador de la apertura de estos, determina la facilidad con que las hojas transpiran, y su magnitud depende de la densidad, tamaño y grado de apertura de los estomas (METER Group, 2020). Si los estomas se cierran, la conductancia estomática disminuirá y el flujo de vapor de agua se reducirá.

La conductancia estomática (gs) es el principal factor limitante para la fotosíntesis y es sensible al estado del agua en la planta. Evaluar con precisión el comportamiento de la conductancia estomática, sobre todo en individuos bajo estrés por déficit de agua, en zonas desérticas o xerofíticas, es esencial para entender el flujo del agua en las especies y sería un indicador de su producción y biomasa (Doudou *et al.*, 2020), ya que se produce un intercambio gaseoso con la salida hacia la atmósfera de vapor de agua y la captación de CO₂ por las plantas necesario para la producción de biomasa (Carvajal y Andrade, 2020).

La conductancia estomática se mide con un porómetro de flujo estacionario marca Meter, modelo SC-01, el que es calibrado por el profesional a cargo de esta medición (Sótero Astaburuaga), previo a las mediciones de cada día, respecto de las condiciones ambientales presentes en ese momento.

Las mediciones se realizan entre las horas de máxima apertura estomática, en hojas adultas y sanas de exposición Este, de 10:00 a 11:30 am. En la figura 4 se presentan registros fotográficos de las mediciones de conductancia estomática realizadas entre el 24 y 26 de enero de 2024.

Figura 4. Registro fotográfico mediciones de conductancia estomática.



Análisis estadístico

Se realizaron comparaciones para determinar la existencia de diferencias significativas entre:

1. Individuos de la serie A (N=18), que corresponden a la población objeto del seguimiento histórico en el contexto del PSAB, posicionados en las proximidades del pozo Camar-2, y el resto de los individuos de las series B y C (N=10).
2. Individuos ubicados aguas arriba (N=21, pertenecientes a las series A, B, C y AX) y aguas abajo (N=10, pertenecientes a las series A, D y AX) de la tubería que atraviesa de norte a sur el área de estudio.
3. Individuos con riego (N=19, pertenecientes a las series A y AX) y sin riego (N=12, pertenecientes a las series B, C, D y AX).

Cuando no se pudo realizar alguna medición de potencial hídrico o conductancia estomática, el análisis estadístico se realiza de igual manera reduciendo el N definido anteriormente. Las variables medidas en los Algarrobos se estudiaron a través de un análisis de varianza considerando como factor fijo la serie a la que corresponden (anexos 2, 3 y 4), la ubicación respecto de la tubería (anexos 5, 6 y 7), y la presencia de un sistema de riego (anexos 8, 9 y 10).

Cuando se determinaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, se procedió a realizar una prueba de separación de medias, por medio de la prueba DGC y cuando esta no fue lo suficientemente sensible para detectar las diferencias encontradas se usó LSD-Fisher (Di Rienzo *et al.*, 2011), al 5% de probabilidad de error lo que es igual a un nivel de confianza del 95%.

Cuando no se cumplió con el supuesto de normalidad de la varianza, se transformaron los datos a su logaritmo natural o elevado al cubo y cuando persistió el no cumplimiento, se usó un análisis de varianza no paramétrico (Kruskal Wallis) (Pérez, 2018). Cuando no se cumplió con el supuesto de homocedasticidad de la varianza, se utilizó un modelo heterocedástico (modelo lineal general). Los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el programa InfoStat v.2020.

RESULTADOS

A continuación, se presentan los valores de potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}) y mediodía (Ψ_{md}), y conductancia estomática (gs) medidos en enero de 2024 (tabla 2). Los valores de la población objetivo (serie A) fluctuaron entre -0,8 y -1,95 MPa en Ψ_{pa} , entre -1,1 y -3,0 MPa en Ψ_{md} , y entre 194,48 y 393,37 mmol m⁻² s⁻¹ en gs.

Tabla 2. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (gs) medidos en enero de 2024 en algarrobos de la Quebrada de Camar.

| Árbol | Ψ_{pa} (MPa) | Ψ_{md} (MPa) | gs (mmol/m ² s ⁻¹) | Serie | Posición* | Riego |
|-------|-------------------|-------------------|---|-------|-----------|-------|
| A04 | -1,55 | -2,80 | 225,78 | A | Abajo | Si |
| A07 | -1,55 | -2,60 | 227,93 | A | Abajo | Si |
| A12 | - | - | 287,05 | A | Abajo | Si |
| A17 | - | - | 254,13 | A | Abajo | Si |
| A21 | - | - | 298,93 | A | Abajo | Si |
| A22 | - | - | 393,37 | A | Abajo | Si |
| A30 | - | - | 250,95 | A | Abajo | Si |
| A31 | -1,70 | -2,50 | 270,73 | A | Abajo | Si |
| A33 | -1,90 | -2,30 | 238,08 | A | Arriba | Si |
| A36 | -1,65 | -2,90 | 221,03 | A | Arriba | Si |
| A37 | -1,85 | -2,90 | 242,50 | A | Arriba | Si |
| A38 | -0,80 | -1,50 | 350,98 | A | Arriba | Si |
| A40 | -1,95 | -3,00 | 211,55 | A | Arriba | Si |
| A41 | -1,00 | -1,10 | 305,98 | A | Arriba | Si |
| A43 | - | - | 271,53 | A | Arriba | Si |
| A44 | -1,65 | -2,80 | 226,15 | A | Arriba | Si |
| A47 | -1,95 | -2,45 | 194,48 | A | Arriba | Si |
| A58 | -1,55 | -1,85 | 324,18 | A | Arriba | Si |
| B02 | - | - | 197,68 | B | Arriba | No |
| B03 | -2,85 | -3,60 | 154,93 | B | Arriba | No |
| B04 | -2,60 | -3,40 | 207,35 | B | Arriba | No |
| B09 | -2,65 | -2,75 | 271,08 | B | Arriba | No |
| B10 | -3,25 | -3,30 | 165,43 | B | Arriba | No |
| B11 | -2,65 | -2,90 | 223,05 | B | Arriba | No |
| B17 | -2,10 | -2,80 | 306,78 | B | Arriba | No |
| B20 | -1,65 | -2,10 | 371,15 | B | Arriba | No |
| B21 | -1,25 | -2,85 | 302,88 | B | Arriba | No |
| C58 | - | - | 213,63 | C | Arriba | No |
| D28 | -1,50 | -1,80 | 396,88 | D | Abajo | No |
| AX01 | -1,20 | -1,30 | 265,90 | AX | Arriba | Si |
| AX02 | - | - | 192,55 | AX | Abajo | No |

*: Posición respecto de la tubería. -: Árboles no medidos por falta de ramillas u hojas.

En esta campaña los árboles A12, A17, A21, A22, A30, A43, B02, C58 y AX02 no pudieron ser medidos en pre-alba y mediodía por falta de ramillas.

Comparación de algarrobos de la Serie A y Series B-C

A continuación, se presentan los valores promedio de Ψ_{pa} , Ψ_{md} y gs medidos en enero de 2024 para los árboles de la serie A y de las series B-C (tabla 3). Se encontraron diferencias significativas al comparar el potencial hídrico en pre-alba ($p=0,0067$) y mediodía ($p=0,0376$), con los valores más bajos en los árboles de la serie B-C (-2,38 MPa y -2,96 MPa, respectivamente). Por el contrario, la conductancia estomática no se diferenció significativamente ($p=0,2901$), alcanzando un valor promedio de $257,47 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Tabla 3. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), potencial hídrico de ramilla de mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (gs) promedios para serie A y series B-C, medidos en enero de 2024 en algarrobos de la Quebrada de Camar.

| Serie | Ψ_{pa} (MPa) | Ψ_{md} (MPa) | gs ($\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) |
|-----------------|-------------------|-------------------|--|
| A | -1,59±0,10 a | -2,39±0,18 a | 266,40±12,32 a |
| B-C | -2,38±0,23 b | -2,96±0,17 b | 241,39±21,91 a |
| Promedio | -1,91±0,14 | -2,62±0,14 | 257,47±11,13 |

Valores promedio corresponden a las medias ± 1 Error Estándar. Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% según el test LSD-Fisher (Ψ_{pa}) y DGC (Ψ_{md} y gs) de separación de medias.

Comparación de algarrobos según su ubicación respecto de la tubería

A continuación, se presentan los valores promedio de Ψ_{pa} , Ψ_{md} y gs medidos en enero de 2024 para los árboles ubicados aguas arriba de la tubería y aguas abajo (tabla 4). Se encontraron diferencias significativas solo en potencial hídrico en pre-alba ($p=0,0499$), alcanzando los valores más bajos en los árboles ubicados aguas arriba (-1,92 MPa). Mientras que el potencial hídrico de mediodía y la conductancia estomática no mostraron diferencias entre ambos grupos de árboles ($p=0,7548$ y $p=0,2288$, respectivamente), alcanzando valores promedio de -2,52 MPa y $260,15 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Tabla 4. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), potencial hídrico de ramilla de mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (gs) promedios para individuos ubicados aguas arriba y aguas abajo de la tubería, medidos en enero de 2024 en algarrobos de la Quebrada de Camar.

| Ubicación respecto de la tubería | Ψ_{pa} (MPa) | Ψ_{md} (MPa) | gs ($\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) |
|----------------------------------|-------------------|-------------------|--|
| Aguas arriba | -1,92±0,16 b | -2,54±0,17 a | 250,77±12,88 a |
| Aguas abajo | -1,58±0,04 a | -2,43±0,22 a | 279,83±21,56 a |
| Promedio | -1,85±0,13 | -2,52±0,14 | 260,15±11,22 |

Valores promedio corresponden a las medias ± 1 Error Estándar. Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% según el test LSD-Fisher (Ψ_{pa}) y DGC (Ψ_{md} y gs) de separación de medias.

Comparación de algarrobos con y sin riego

A continuación, se presentan los valores promedio de Ψ_{pa} , Ψ_{md} y gs medidos en enero de 2024 para los árboles con y sin riego (tabla 5). Se encontraron diferencias significativas tanto en el potencial hídrico en pre-alba ($p=0,0093$) como en mediodía ($p=0,0416$). Los valores más bajos se encontraron en los árboles sin riego, con valores de $-2,28$ MPa en Ψ_{pa} y $-2,83$ MPa en Ψ_{md} . Mientras que en la conductancia estomática no se encontraron diferencias respecto del riego ($p=0,5349$), con un valor promedio de $260,15 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Tabla 5. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), potencial hídrico de ramilla de mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (gs) promedios para individuos con y sin riego, medidos en enero de 2024 en algarrobos de la Quebrada de Camar.

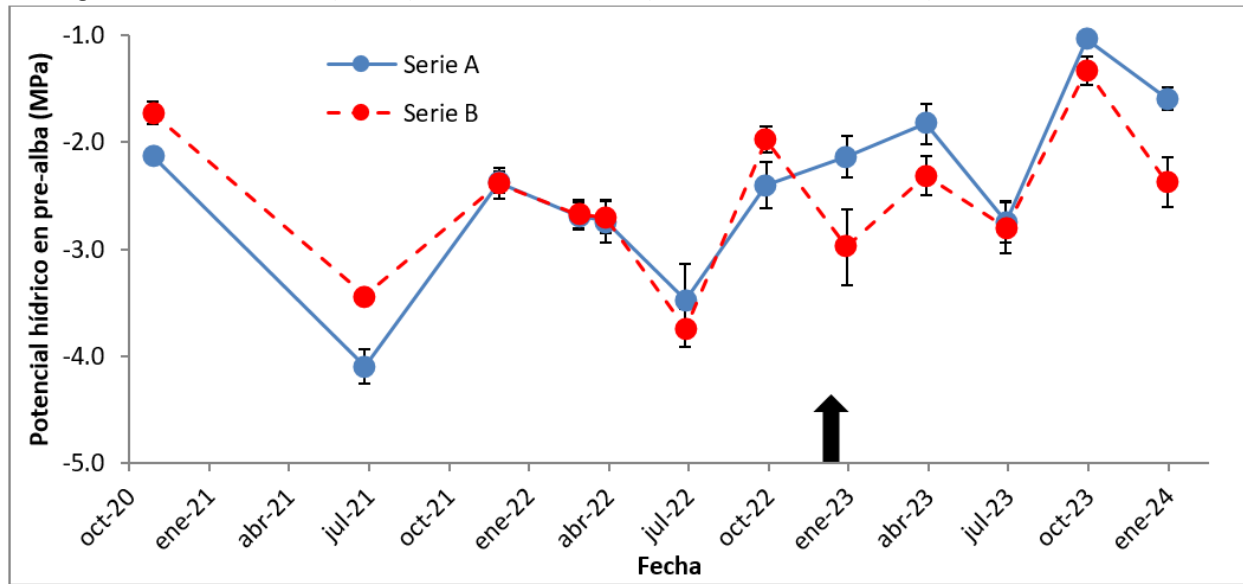
| Riego | Ψ_{pa} (MPa) | Ψ_{md} (MPa) | gs ($\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) |
|-----------------|--------------------|--------------------|--|
| Con riego | $-1,56 \pm 0,10$ a | $-2,31 \pm 0,18$ a | $266,38 \pm 11,66$ a |
| Sin riego | $-2,28 \pm 0,23$ b | $-2,83 \pm 0,20$ b | $250,28 \pm 22,83$ a |
| Promedio | $-1,85 \pm 0,13$ | $-2,52 \pm 0,14$ | $260,15 \pm 11,22$ |

Valores promedio corresponden a las medias ± 1 Error Estándar. Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% según el test LSD-Fisher (Ψ_{pa}) y DGC (Ψ_{md} y gs) de separación de medias.

Evolución temporal

En la figura 5 se observa la evolución en el tiempo (desde noviembre de 2020 a la actualidad) del potencial hídrico en pre-alba en los árboles de la serie A y B. En los meses de julio (2021 y 2022) se observan los valores más bajos de potencial (inferiores a $-3,0$ MPa), tanto en la serie A como en la serie B. Por otro lado, antes de la aplicación de riego (diciembre 2022) la serie B tuvo valores superiores o similares a los de la serie A, lo que se da por el mejor estado hídrico de los árboles B11, B17, B20 y B21. Estos árboles se encuentran distribuidos cercanos a la ruta CH-23, donde los árboles B20 y B21 reciben diariamente agua liberada desde el poblado de Camar, lo que ha sido observado desde el inicio de las mediciones en 2020. Pese a ello, al iniciar el riego, la serie A alcanza valores superiores a los de la serie B en enero, abril y octubre de 2023, y en enero de 2024. En las campañas de octubre de 2022 y 2023 se alcanzaron los valores más altos de cada año, tanto en la serie A como en la serie B.

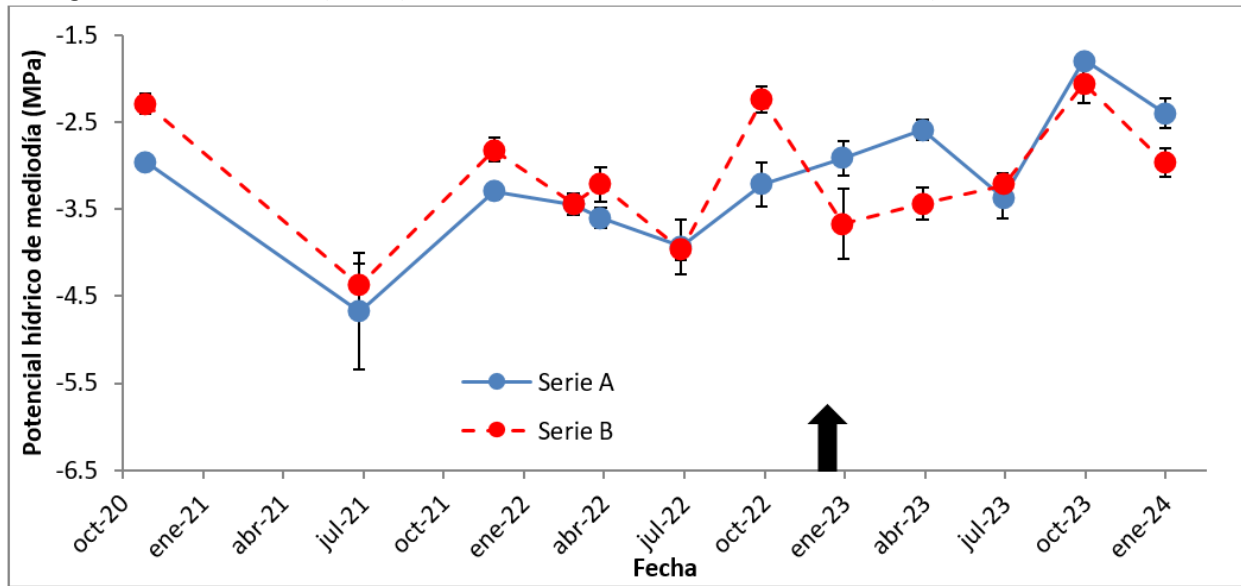
Figura 5. Evolución temporal, potencial hídrico en pre-alba en las series A y B, desde 2020 a 2024.



Las barras verticales representan el error estándar de la media. La flecha representa el inicio de la aplicación de riego en los árboles de la serie A. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 6 se observa la evolución en el tiempo del potencial hídrico de mediodía en los árboles de la serie A y B. Al igual que en el potencial hídrico en pre-alba, se aprecia que en los meses de julio (2021 y 2022) se obtuvieron los valores más bajos de potencial de cada año (en 2021 alcanzan valores inferiores a los -4,0 MPa), tanto para la serie A como para la serie B. Por otro lado, antes de la aplicación de riego la serie B alcanzó una media superior a la de la serie A, mientras que, en las campañas de enero y abril de 2023, y enero de 2024, con la aplicación del riego en la serie A, esta alcanza valores superiores a los de la serie B. En las campañas de octubre de 2022 y 2023, ambas series alcanzan los valores de potencial hídrico de mediodía más alto de cada año.

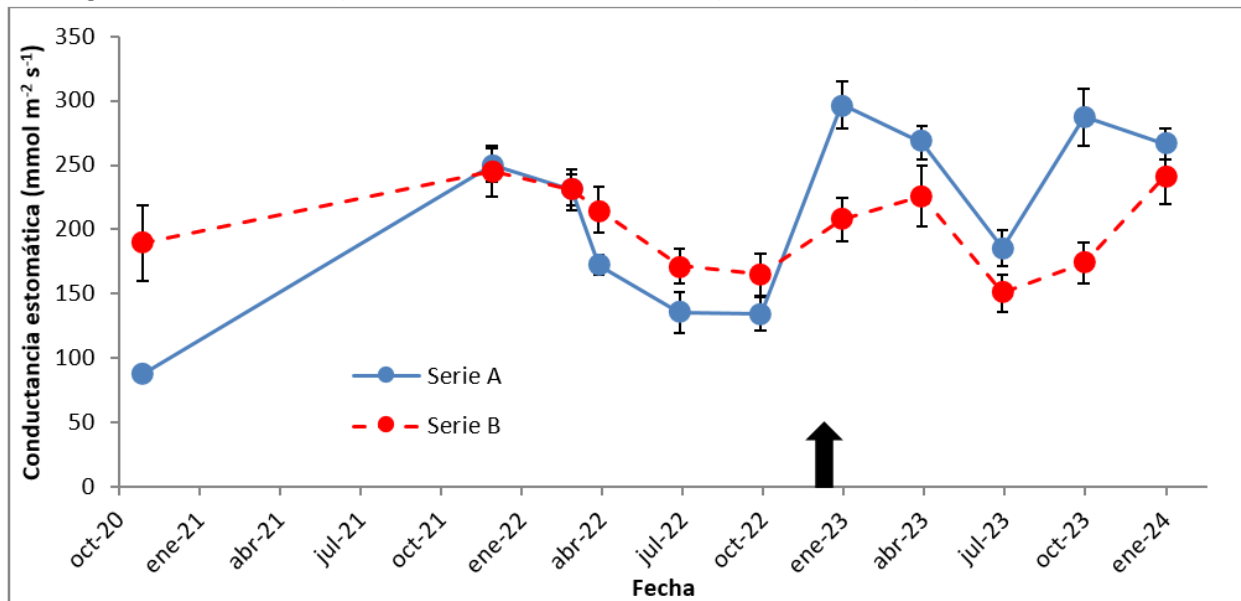
Figura 6. Evolución temporal, potencial hídrico de mediodía de las series A y B, desde 2020 a 2024.



Las barras verticales representan el error estándar de la media. La flecha representa el inicio de la aplicación de riego en los árboles de la serie A. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 7 se observa la evolución en el tiempo (desde noviembre de 2020 a la actualidad) de la conductancia estomática en los árboles de la serie A y B. Se aprecia que antes de la aplicación de riego, la serie B alcanzó valores superiores o similares a los de la serie A (hasta 2022), mientras que, en las últimas cinco campañas, con la aplicación del riego en la serie A, esta alcanza valores superiores a los de la serie B. En esta campaña de enero se redujo la diferencia entre la serie A y B, manteniendo la tendencia de mayor conductancia en la serie A.

Figura 7. Evolución temporal, conductancia estomática para las series A y B, desde 2020 a 2024.



Las barras verticales representan el error estándar de la media. La flecha representa el inicio de la aplicación de riego en los árboles de la serie A. Fuente: Elaboración propia.

DISCUSIÓN

En enero de 2024 se observaron Algarrobo ubicados en las proximidades del pozo Camar-2 que presentaron una disminución en su cobertura, respecto de lo observado en la campaña de octubre de 2023 (Anexo 1. Registro fotográfico). Lo que se refleja en la mayor cantidad de árboles que no fueron posibles de evaluar por la inexistencia de ramillas medibles suficientes (árboles A12, A17, A21, A22, A30, A43, B02, C58 y AX02). Esta falta de ramillas se puede deber, a la escasa regeneración de ramillas, al ramoneo producido por burros que hay en la zona, y a la naturaleza destructiva de la medición de los potenciales hídricos que corta 4 ramillas por campaña de medición (2 para Ψ_{pa} y 2 para Ψ_{md}). Además, esto se traduce en una disminución de las hojas en el árbol, aunque esto no fue un impedimento para la medición de conductancia estomática.

La ficha de clasificación de estado de conservación de *N. alba* y *N. flexuosa*, describen estas especies como de hojas caducas, es decir, que pierden gran parte de sus hojas en invierno (MMA, 2012a; MMA, 2012b). Así mismo, *N. chilensis*, también ha sido descrito como caducifolio en su distribución sur en Latinoamérica, lo que se produce como resultado del efecto de las heladas (FAO, 1997). Esto podría explicar la falta de hojas observada en Algarrobo en los meses de julio, pero que no justifica la menor cantidad de hojas observadas en esta campaña de enero.

En esta campaña se observaron diferencias estadísticamente significativas en las variables fisiológicas de potencial hídrico en pre-alba y mediodía, entre las series A (cercano al pozo Camar-2) y B-C, observándose en la serie B-C los valores más bajos (-2,38 y -2,96 MPa, respectivamente). Por otra parte, al comparar el estado hídrico de los Algarrobo con y sin riego, también se observaron las mismas diferencias entre estos grupos, encontrando el valor más bajo en potencial de potencial hídrico en pre-alba y mediodía en los árboles sin riego (-2,28 y -2,83 MPa, respectivamente). Así mismo, al comparar los Algarrobo ubicados aguas arriba y aguas abajo de la tubería que atraviesa la quebrada, se observaron diferencias solo en el potencial hídrico en pre-alba, con los valores más bajos en los árboles ubicados aguas arriba (-1,92 MPa), lo que se podría explicar debido a la cantidad de árboles sin riego que hay aguas arriba de la tubería (48%), mientras que aguas abajo solo dos árboles no tienen sistema de riego (20%).

Al observar los valores de esta campaña de potencial en pre-alba en la serie A (-1,59 MPa), como en la serie regada (-1,56 MPa), se alcanzan valores cercanos al valor promedio para *Neltuma flexuosa* ubicados en zonas de valle (mayor acceso al agua) mencionado por Giordano *et al.* (2011), lo que se explica por la aplicación del riego en la mayoría de los árboles, alcanzando valores más altos de potencial. Por otro lado, los individuos de las series B-C (-2,38 MPa) y sin riego (-2,28 MPa) alcanzan valores de potencial en pre-alba cercano al promedio de individuos de *Neltuma flexuosa* ubicados en zonas de menor acceso al agua como es la zona de dunas donde Giordano *et al.* (2011) hicieron sus evaluaciones. Al observar la conductancia estomática, todos los árboles alcanzaron valores cercanos a lo observado en *Neltuma flexuosa* en zona de valle (Giordano *et al.*, 2011).

El déficit hídrico se produce cuando la demanda hídrica es mayor que el suministro hídrico, en este sentido hay que considerar que la demanda depende tanto de las condiciones atmosféricas como de la magnitud de área foliar que se encuentra transpirando, es así que, en esta campaña se alcanzaron valores más bajos de potencial hídrico respecto de la campaña anterior, lo que puede ser un efecto estacional, al igual que lo observado el año anterior en la serie B. Por otra

parte, desde que comenzó el riego de los algarrobos, diciembre 2022, las diferencias entre las series A y B-C como en la serie regada y no regada se han observado en los meses en que es mayor tanto la demanda atmosférica como el área foliar de los algarrobos (enero, abril y octubre).

Al analizar la dinámica temporal de las variables medidas, se observó un patrón similar en el potencial hídrico en pre-alba y mediodía, donde los valores de potencial presentan cambios estacionales. En los meses de julio el potencial tiende a ser el más negativo de cada año (Figura 5 y Figura 6). Este cambio temporal de potenciales coincide con lo evaluado en otras especies freatófitas del Desierto de Atacama *Strombocarpa tamarugo* (SAP, 2021) y *Strombocarpa burkartii* (Carevic *et al.*, 2017). El menor potencial hídrico observado en julio podría ser efecto de las bajas temperaturas (Allen y Ort, 2001), a la cavitación del xilema (Hacke y Sauter, 1996), a cambios en la fluidez y permeabilidad de las membranas (Sellin y Kupper, 2007) o a cambios en la viscosidad del agua (López y Nobel, 1990).

CONCLUSIONES

En la campaña de enero de 2024, se evidencia que:

- Los algarrobos de la serie A muestran un mejor estado hídrico que los algarrobos de las series B-C, expresado en un mayor potencial hídrico en pre-alba y mediodía.
- Se observan diferencias de potencial hídrico en pre-alba en los algarrobos en relación a su ubicación respecto de la tubería, con los valores más bajos en los árboles ubicados aguas arriba.
- Los algarrobos regados se diferencian con los algarrobos no regados en las variables de potencial hídrico en pre-alba y mediodía.
- Las diferencias observadas tendrían relación a la aplicación del riego, expresándose diferencias en los meses de mayor demanda atmosférica, alcanzando siempre valores más altos en los individuos que reciben riego.

En relación con las mediciones anteriores, se evidencia que:

- Los valores de potencial hídrico de la campaña de octubre son los más altos de cada año, observándose una disminución en enero de 2024.
- Se observa un efecto de la aplicación del riego en los árboles de la serie A, mostrando una tendencia de mayor potencial hídrico y conductancia estomática que la serie B, en la mayoría de las evaluaciones realizadas desde enero de 2023 hasta la actualidad. En julio los valores de todas las variables son más bajos.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, E., Sotomayor, D. and Zenteno, V. 1985. Parámetros hídricos de tejidos foliares de *Prosopis tamarugo* Phil. In: Estado actual del conocimiento sobre *Prosopis tamarugo*. Habit, M. (Eds). Arica, Chile. 11-15 de junio de 1984, FAO: 500.
- Allen, D. & Ort, D. 2001. Impacts of chilling temperatures on photosynthesis in warm-climate plants. *Trends in Plant Science*, 6(1), 36–42.
- Bucci, S., Scholz, F., Goldstein, G., Meinzer, F., Hinojosa, J., Hoffmann, W. and Franco, A. 2004. Processes preventing nocturnal equilibration between leaf and soil water potential in tropical savanna woody species. *Tree Physiology* 24: 1119-1127.
- Carvajal, B. y Andrade, H. 2020. Captura de carbono en biomasa de sistemas de uso de suelo, municipio de Yopal, Casanare, Colombia. *Orinoquia* 24(1): 13-22.
- Carevic, F. S., Delatorre-Herrera, J. and Carrasco, A. 2017. Plant water variables and reproductive traits are influenced by seasonal climatic variables in *Prosopis burkartii* (Fabaceae) at Northern Chile. *Flora* 233: 7-11.
- Dirección General de Agua (DGA). 2004. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca Salar de Atacama.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L., Tablada, M. & Robledo, C. 2011. InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Doudou, L., Ximeng, L., Benye X., Virginia H. 2020. Evaluation of method to model stomatal conductance and its use to assess biomass increase in poplar trees. *Agricultural Water Management* 259:107228.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 1997. *Prosopis chilensis*, especies arbóreas y arbustivas para las zonas áridas y semiáridas de América Latina. Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en Sistemas Agroforestales.
- García, A., Cun, R., Chong, C., Duarte, C. y Montero, L. 2009. Calibration of a hydraulic pressure chamber developed in Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 18(3):24-29.
- Giordano, C., Guevara, A., Boccalandro, H., Sartor, C. and Villagra, P. 2011. Water status, drought responses, and growth of *Prosopis flexuosa* trees with different Access to the water table in a warm South American desert. *Plant Ecol.* 212:1123-1134.
- Hacke, U. y Sauter, J. 1996. Xylem dysfunction during winter and recovery of hydraulic conductivity in diffuse-porous and ring-porous trees. *Oecologia* 105:435-439.
- Hughes, C., Ringelberg, J., Lewis, G. y Catalano, S. 2022. Desintegración del género *Prosopis* L. (Leguminosae, Caesalpinioideae, clado mimosoide). *PhytoKeys* 205:147-189.

- Ibáñez, S. 2019. Informe taxonómico de identificación de las especies de *Prosopis* en la Quebrada de Camar. Apéndice 4.7-10. SQM.
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). 2023. Agrometeorología, Red Agrometeorológica INIA, Estación Camar, San Pedro de Atacama. Consultado el 6 de noviembre de 2023.
- Laboratorio de Relación Suelo-Agua-Planta (SAP). 2021. Informe Proyecto Pampa Hermosa Llamara 2021. SQM.
- López, F. y Nobel, P. 1990. Root hydraulic conductivity of two cactus species in relation to root age, temperature, and soil water status. *Journal of Experimental Botany* 42:143-149.
- May, C., Pérez, A., Ruiz, E., Ic, A. y García, A. 2011. Effect of moisture levels on growth and water potential of *Capsicum chinense* Jacq. and their relationship to the development of *Bemisia tabaci* Genn, *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14(2011):1039-1045.
- METER Group. 2020. Manual Porómetro de hoja SC-1. USA.
- Meyer, W.S. & Ritchie, J.T. 1980. Resistance to Water Flow in the Sorghum Plant. *Plant Physiology* 65: 33-39.
- Ministerio de Medio Ambiente (MMA). 2012a. Ficha de antecedentes de especie 582, *Prosopis flexuosa* DC. Clasificación según estado de conservación.
- Ministerio de Medio Ambiente (MMA). 2012b. Ficha de antecedentes de especie 578, *Prosopis alba* Grise. var. alba. Clasificación según estado de conservación.
- Pérez, L. 2018. How do we proceed to violations of parametric methods assumptions? or how to work with non-normal biological variables? *Revista del Jardín Botánico Nacional* 39: 1-12.
- Ramírez, E. 1972. Caracterización climatológica e hidrológica del Salar de Atacama. CORFO.
- Scholander, P., Bradstreet Edda, D., Hemmingsen, E. and Hammel, H. 1965. Sap Pressure in Vascular Plants: Negative hydrostatic pressure can be measured in plants. *Science* 148: 339–346.
- Sellés, V., Ferreyra, E. y Maldonado, P. 2002. Cámara de presión, Instrumento para controlar el riego a través de mediciones del estado hídrico de las plantas. *Aconex* 76:18-22.
- Sellin, A. y Kupper, P. 2007. Temperature, light and leaf hydraulic conductance of little-leaf linden (*Tilia cordata*) in a mixed forest canopy. *Tree Physiology* 27:679-688.
- Taiz, L. & Zeiger, E. 2002. *Plant Physiology* (Third Edition). Sinauer Associates, Inc. Sunderland.
- Tyree, M., Vargas, G., Engelbrecht, B. y Kursar, T. 2002. Drought until death do us part: a case study of the desiccation-tolerance of a tropical moist forest seedling-tree, *Licania platypus* (Hemsl.) Fritsch. *J. Exp. Bot.* 53:2239-2247.

Williams, L. 2001. Irrigation of winegrapes in California. Practical Winery & Vineyard 23:42-55.

APÉNDICES

1. Certificado de calibración de porómetro



METER

METER Group, Inc. USA
Certificate of Quality Assurance

| | | | |
|----------------------|----------------------------------|------------|---------------|
| Model | Leaf Porometer, SC-1 | Date | July 16, 2021 |
| Order Type | Controller Serial Number: LP4527 | Technician | KH |
| Sensor Serial Number | Calibration Value | | |
| LPS3821 | 2204200 | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

This document is to certify that the instrument indicated above has been tested and approved by the Quality Assurance department at METER Group, Inc. USA , and has shown to function properly and to be free of event flaws or defects.

Manufactured in USA

METER Group, Inc. USA
2365 NE Hopkins Court, Pullman, WA 99163
T 509.332.2756 F 509.332.5158
E info@metergroup.com W metergroup.com

ANEXOS

1. Registro fotográfico

Se presenta registro fotográfico de los individuos de Algarrobos obtenidos en enero de 2024.

Serie A



Árbol A04



Árbol A07



Árbol A12



Árbol A17



Árbol A21



Árbol A22



Árbol A30



Árbol A31



Árbol A33



Árbol A36



Árbol A37



Árbol A38



Árbol A40



Árbol A41



Árbol A43



Árbol A44



Árbol A47



Árbol A58

Serie B



Árbol B02



Árbol B03



Árbol B04



Árbol B09



Árbol B10



Árbol B11



Árbol B17



Árbol B20



Árbol B21

Series C, D y AX



Árbol C58



Árbol D28



Árbol AX01



Árbol AX02

2. Modelo lineal generalizado sobre potencial hídrico de pre-alba entre Serie A y Serie B-C

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.001_PHpa_REML<-glms(PHpa~1+Grupo
,weights=varComb(varIdent(form=~1|Grupo))
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data00)
```

Resultados para el modelo: mlm.modelo.001_PHpa_REML

Variable dependiente: PHpa

Medidas de ajuste del modelo

| n | AIC | BIC | logLik | Sigma | R2 | 0 |
|----|-------|-------|--------|-------|------|---|
| 20 | 35.33 | 38.89 | -13.66 | 0.36 | 0.40 | |

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

| | numDF | F-value | p-value |
|-------------|-------|---------|---------|
| (Intercept) | 1 | 329.48 | <0.0001 |
| Grupo | 1 | 9.38 | 0.0067 |

PHpa - Medias ajustadas y errores estándares para Grupo

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

| Grupo | Medias | E.E. |
|-------|--------|------|
|-------|--------|------|

| | | | |
|---|-------|------|---|
| A | -1.59 | 0.10 | A |
|---|-------|------|---|

| | | | |
|---|-------|------|---|
| B | -2.38 | 0.23 | B |
|---|-------|------|---|

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Estructura de varianzas

Modelo de covarianzas de los efectos aleatorios: varIdent

Formula: ~ 1 | Grupo

Parámetros de la función de varianza

| Param | Estim |
|-------|-------|
| A | 1.00 |

B 1.84

3. Análisis de varianza sobre potencial hídrico de mediodía entre Serie A y Serie B-C

Análisis de la varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| PHmd | 20 | 0.22 | 0.18 | 21.27 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------|------|----|------|------|---------|
| Modelo | 1.56 | 1 | 1.56 | 5.04 | 0.0376 |
| Grupo | 1.56 | 1 | 1.56 | 5.04 | 0.0376 |
| Error | 5.59 | 18 | 0.31 | | |
| Total | 7.15 | 19 | | | |

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.5235

Error: 0.3104 gl: 18

Grupo Medias n E.E.

B -2.96 8 0.20 A

A -2.39 12 0.16 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

4. Análisis de varianza sobre conductancia estomática entre Serie A y Serie B-C

Análisis de la varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| gs | 28 | 0.04 | 0.01 | 22.81 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------|----------|----|---------|------|---------|
| Modelo | 4021.47 | 1 | 4021.47 | 1.17 | 0.2901 |
| Grupo | 4021.47 | 1 | 4021.47 | 1.17 | 0.2901 |
| Error | 89659.55 | 26 | 3448.44 | | |
| Total | 93681.02 | 27 | | | |

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=47.5383

Error: 3448.4443 gl: 26

Grupo Medias n E.E.

B 241.39 10 18.57 A

A 266.40 18 13.84 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

5. Modelo lineal generalizado sobre potencial hídrico de pre-alba entre árboles aguas arriba y abajo

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.003_PHpa_REML<-glms(PHpa~1+Posicion.c.respecto.tuberia
,weights=varComb(varIdent(form=~1|Posicion.c.respecto.tuberia))
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data02)
```

Resultados para el modelo: mlm.modelo.003_PHpa_REML

Variable dependiente: PHpa

Medidas de ajuste del modelo

| n | AIC | BIC | logLik | Sigma | R2 | 0 |
|---|-----|-----|--------|-------|----|---|
|---|-----|-----|--------|-------|----|---|

22 40.73 44.71 -16.36 0.09 0.05
AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

| | numDF | F-value | p-value |
|------------------------------|-------|---------|---------|
| (Intercept) | 1 | 1466.07 | <0.0001 |
| Posicion.c.respecto.tuberi.. | 1 | 4.36 | 0.0499 |

PHpa - Medias ajustadas y errores estándares para Posicion.c.respecto.tuberia

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

| Posicion.c.respecto.tuberi.. | Medias | E.E. | |
|------------------------------|--------|------|---|
| aguas abajo | -1.58 | 0.04 | A |
| aguas arriba | -1.92 | 0.16 | B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Estructura de varianzas

Modelo de covarianzas de los efectos aleatorios: varIdent

Formula: ~ 1 | Posicion.c.respecto.tuberia

Parámetros de la función de varianza

| Param | Estim |
|--------------|-------|
| aguas abajo | 1.00 |
| aguas arriba | 7.73 |

6. Análisis de varianza sobre potencial hídrico de mediodía entre árboles aguas arriba y abajo

Análisis de la varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| PHmd | 22 | 5.0E-03 | 0.00 | 27.05 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| | F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|------------------------------|------|------|----|------|------|---------|
| Modelo | | 0.05 | 1 | 0.05 | 0.10 | 0.7548 |
| Posición c/respecto tuberí.. | | 0.05 | 1 | 0.05 | 0.10 | 0.7548 |
| Error | | 9.31 | 20 | 0.47 | | |
| Total | | 9.36 | 21 | | | |

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.7947

Error: 0.4656 gl: 20

| Posición c/respecto tuberí.. | Medias | n | E.E. | |
|------------------------------|--------|----|------|---|
| aguas arriba | -2.54 | 18 | 0.16 | A |
| aguas abajo | -2.43 | 4 | 0.34 | A |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

7. Análisis de varianza sobre conductancia estomática entre árboles aguas arriba y abajo

Análisis de la varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|------|
| LN gs | 31 | 0.05 | 0.02 | 4.24 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| | F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------|------|------|----|------|------|---------|
| Modelo | | 0.08 | 1 | 0.08 | 1.51 | 0.2288 |

| | | | | | |
|------------------------------|------|----|------|------|--------|
| Posición c/respecto tuberí.. | 0.08 | 1 | 0.08 | 1.51 | 0.2288 |
| Error | 1.60 | 29 | 0.06 | | |
| Total | 1.68 | 30 | | | |

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.1824

Error: 0.0551 gl: 29

| Posición c/respecto tuberí.. | Medias | n | E.E. | |
|------------------------------|--------|----|------|---|
| aguas arriba | 5.50 | 21 | 0.05 | A |
| aguas abajo | 5.61 | 10 | 0.07 | A |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

8. Modelo lineal generalizado sobre potencial hídrico de pre-alba entre árboles con y sin riego

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.005_PHpa_REML<-glms(PHpa~1+Riego
,weights=varComb(varIdent(form=~1|Riego))
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data04)
```

Resultados para el modelo: mlm.modelo.005_PHpa_REML

Variable dependiente: PHpa

Medidas de ajuste del modelo

| n | AIC | BIC | logLik | Sigma | R2 | 0 |
|----|-------|-------|--------|-------|------|---|
| 22 | 38.96 | 42.94 | -15.48 | 0.36 | 0.34 | |

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

| | numDF | F-value | p-value |
|-------------|-------|---------|---------|
| (Intercept) | 1 | 335.31 | <0.0001 |
| Riego | 1 | 8.28 | 0.0093 |

PHpa - Medias ajustadas y errores estándares para Riego

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Riego Medias E.E.

| | | | |
|----|-------|------|---|
| si | -1.56 | 0.10 | A |
| no | -2.28 | 0.23 | B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Estructura de varianzas

Modelo de covarianzas de los efectos aleatorios: varIdent

Formula: ~ 1 | Riego

Parámetros de la función de varianza

| Param | Estim |
|-------|-------|
| si | 1.00 |
| no | 1.90 |

9. Análisis de varianza sobre potencial hídrico de mediodía entre árboles con y sin riego

Análisis de la varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|---|----------------|-------------------|----|
|----------|---|----------------|-------------------|----|

POT PHmd 22 0.19 0.15 57.72

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------|---------|----|--------|------|---------|
| Modelo | 576.05 | 1 | 576.05 | 4.74 | 0.0416 |
| Riego | 576.05 | 1 | 576.05 | 4.74 | 0.0416 |
| Error | 2431.35 | 20 | 121.57 | | |
| Total | 3007.40 | 21 | | | |

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=9.8069

Error: 121.5674 gl: 20

Riego Medias n E.E.

no -25.25 9 3.68 A

si -14.85 13 3.06 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

10. Modelo lineal generalizado sobre conductancia estomática entre árboles con y sin riego

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.006_gs_REML<-glm(gs~1+Riego
,weights=varComb(varIdent(form=~1|Riego))
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data06)
```

Resultados para el modelo: `mlm.modelo.006_gs_REML`

Variable dependiente: `gs`

Medidas de ajuste del modelo

| n | AIC | BIC | logLik | Sigma | R2 | 0 |
|----|--------|--------|---------|-------|------|---|
| 31 | 333.29 | 338.76 | -162.64 | 50.81 | 0.02 | |

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

| | numDF | F-value | p-value |
|-------------|-------|---------|---------|
| (Intercept) | 1 | 642.08 | <0.0001 |
| Riego | 1 | 0.39 | 0.5349 |

gs - Medias ajustadas y errores estándares para Riego

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Riego Medias E.E.

si 266.38 11.66 A

no 250.28 22.83 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Estructura de varianzas

Modelo de covarianzas de los efectos aleatorios: `varIdent`

Formula: `~ 1 | Riego`

Parámetros de la función de varianza

| Param | Estim |
|-------|-------|
| si | 1.00 |
| no | 1.56 |

11. Resultados de Potencial hídrico en pre-alba

| Árbol | Hora | $\Psi_{pa} 1$ (MPa) | $\Psi_{pa} 2$ (MPa) |
|-------|------|---------------------|---------------------|
| A04 | 6:35 | -1,5 | -1,6 |
| A07 | 6:03 | -1,5 | -1,6 |
| A12 | - | - | - |
| A17 | - | - | - |
| A21 | - | - | - |
| A22 | - | - | - |
| A30 | - | - | - |
| A31 | 6:20 | -1,7 | - |
| A33 | 6:18 | -1,9 | -1,9 |
| A36 | 6:16 | -1,6 | -1,7 |
| A37 | 6:15 | -1,8 | -1,9 |
| A38 | 6:13 | -0,8 | - |
| A40 | 6:24 | -2,4 | -1,5 |
| A41 | 6:26 | -1,0 | - |
| A43 | - | - | - |
| A44 | 6:28 | -1,6 | -1,7 |
| A47 | 6:23 | -1,9 | -2,0 |
| A58 | 6:30 | -1,6 | -1,5 |
| AX01 | 6:35 | -1,2 | - |
| AX02 | - | - | - |
| B02 | - | - | - |
| B03 | 6:26 | -3,0 | -2,7 |
| B04 | 6:24 | -2,6 | -2,6 |
| B09 | 6:17 | -2,5 | -2,8 |
| B10 | 6:18 | -3,2 | -3,3 |
| B11 | 6:11 | -2,7 | -2,6 |
| B17 | 6:07 | -2,2 | -2,0 |
| B20 | 5:59 | -1,6 | -1,7 |
| B21 | 6:00 | -1,0 | -1,5 |
| C58 | - | - | - |
| D28 | 6:29 | -1,5 | - |

-: medición no realizada por falta de ramillas.

12. Resultados de Potencial hídrico en mediodía

| Árbol | Hora | $\Psi_{md} 1$ (MPa) | $\Psi_{md} 2$ (MPa) |
|-------|-------|---------------------|---------------------|
| A04 | 12:16 | -2,9 | -2,7 |
| A07 | 11:59 | -2,6 | -2,6 |
| A12 | - | - | - |

| | | | |
|------|-------|------|------|
| A17 | - | - | - |
| A21 | - | - | - |
| A22 | - | - | - |
| A30 | - | - | - |
| A31 | 12:10 | -2,5 | - |
| A33 | 12:03 | -2,3 | -2,3 |
| A36 | 12:01 | -2,9 | -2,9 |
| A37 | 12:00 | -2,9 | -2,9 |
| A38 | 11:59 | -1,5 | - |
| A40 | 12:07 | -3,0 | -3,0 |
| A41 | 12:09 | -1,1 | - |
| A43 | - | - | - |
| A44 | 12:10 | -2,8 | -2,8 |
| A47 | 12:06 | -2,5 | -2,4 |
| A58 | 12:12 | -1,8 | -1,9 |
| AX01 | 12:13 | -1,3 | - |
| AX02 | - | - | - |
| B02 | - | - | - |
| B03 | 12:26 | -3,5 | -3,7 |
| B04 | 12:24 | -3,4 | -3,4 |
| B09 | 12:16 | -2,6 | -2,9 |
| B10 | 12:15 | -3,2 | -3,4 |
| B11 | 12:11 | -2,9 | -2,9 |
| B17 | 12:06 | -2,8 | -2,8 |
| B20 | 12:00 | -2,2 | -2,0 |
| B21 | 11:59 | -2,6 | -3,1 |
| C58 | - | - | - |
| D28 | 12:13 | -1,8 | - |

-: medición no realizada por falta de ramillas.

13. Resultados de Conductancia estomática

| Árbol | Hora | gs (mmol/m ² s ¹) | Árbol | Hora | gs (mmol/m ² s ¹) |
|-------|-------|--|-------|-------|--|
| A04 | 11:24 | 264,2 | A07 | 10:02 | 175,9 |
| | | 215,1 | | | 316,3 |
| | | 198,4 | | | 222,1 |
| | | 225,4 | | | 197,4 |
| A12 | 10:21 | 304,9 | A17 | 10:37 | 158,4 |
| | | 294,3 | | | 338,6 |
| | | 308,5 | | | 246,6 |
| | | 240,5 | | | 272,9 |

| | | | | | |
|------|-------|-------|------|-------|-------|
| | | 186,7 | | | 407,4 |
| A21 | 10:44 | 368,3 | A22 | 10:50 | 411,0 |
| | | 313,8 | | | 361,7 |
| | | 326,9 | | | - |
| | | 240,8 | | | 222,8 |
| A30 | 10:57 | 277,5 | A31 | 11:04 | 295,6 |
| | | 206,0 | | | 279,2 |
| | | 279,5 | | | 285,3 |
| | | 237,3 | | | 218,9 |
| A33 | 10:02 | 260,7 | A36 | 10:14 | 232,9 |
| | | 259,7 | | | 205,8 |
| | | 194,6 | | | 226,5 |
| | | 244,6 | | | 296,8 |
| A37 | 10:20 | 311,0 | A38 | 10:30 | 345,0 |
| | | 169,3 | | | 454,0 |
| | | 245,1 | | | 308,1 |
| | | 188,6 | | | 327,5 |
| A40 | 10:37 | 196,5 | A41 | 10:54 | 357,5 |
| | | 244,8 | | | 288,7 |
| | | 216,3 | | | 250,2 |
| | | 337,0 | | | 271,0 |
| A43 | 11:11 | 308,2 | A44 | 11:03 | 222,8 |
| | | 172,1 | | | 168,4 |
| | | 268,8 | | | 242,4 |
| | | 171,5 | | | 391,7 |
| A47 | 10:45 | 178,6 | A58 | 11:20 | 291,4 |
| | | 190,1 | | | 220,8 |
| | | 237,7 | | | 392,8 |
| | | 346,7 | | | 203,4 |
| AX01 | 11:30 | 280,8 | AX02 | 10:12 | 150,8 |
| | | 185,1 | | | 200,6 |
| | | 251,0 | | | 215,4 |
| | | 184,0 | | | 142,5 |
| B02 | 11:39 | 215,5 | B03 | 11:21 | 202,9 |
| | | 253,0 | | | 147,1 |
| | | 138,2 | | | 127,2 |
| | | 167,4 | | | 233,2 |
| B04 | 11:09 | 257,8 | B09 | 10:57 | 307,7 |
| | | 203,2 | | | 254,2 |

| | | | | | |
|-----|-------|-------|-----|-------|-------|
| | | 201,0 | | | 289,2 |
| | | 152,7 | | | 169,8 |
| B10 | 10:50 | 192,7 | B11 | 10:38 | 276,2 |
| | | 168,7 | | | 248,2 |
| | | 147,6 | | | 198,0 |
| | | 309,2 | | | 445,7 |
| B17 | 10:26 | 218,3 | B20 | 10:09 | 203,0 |
| | | 360,8 | | | 394,6 |
| | | 338,8 | | | 441,3 |
| | | 288,5 | | | 210,5 |
| B21 | 10:01 | 270,8 | C58 | 11:33 | 170,1 |
| | | 352,5 | | | 237,7 |
| | | 299,7 | | | 236,2 |
| | | 341,0 | | | |
| D28 | 11:14 | 351,2 | | | |
| | | 415,7 | | | |
| | | 479,6 | | | |

-: medición no realizada por falta de hojas.

14. Profesionales involucrados en el desarrollo del informe

Paola Silva C.: Dra. Mg. Cs. Ing. Agr. Investigadora laboratorio SAP.

José Ayamante M.: Ingeniero en Recursos Naturales Renovables a cargo del análisis de datos y elaboración de informes.

Sótero Astaburuaga O.: Ingeniero en Recursos Naturales Renovables a cargo de la toma de datos en terreno.

Marcelo Becerra D.: Ingeniero Agrónomo a cargo de la toma de datos en terreno.



La Fundación de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile es una organización sin fines de lucro que busca promover el estudio y la investigación de las ciencias agropecuarias.



INFORME DE ESTADO HÍDRICO EN ALGARROBO DE LA QUEBRADA DE CAMAR

Abril 2024

Mandante:

geobiota



Tabla de contenido

| | |
|---|----|
| RESUMEN | 3 |
| INTRODUCCIÓN | 4 |
| Objetivo | 6 |
| Objetivos específicos | 6 |
| MATERIALES Y MÉTODO | 7 |
| Área de estudio | 7 |
| Individuos medidos en estudio | 8 |
| Equipos utilizados | 9 |
| Metodología para medición del estado hídrico de las plantas | 9 |
| • Potencial hídrico en pre-alba y mediodía | 9 |
| • Conductancia estomática | 10 |
| Análisis estadístico | 11 |
| RESULTADOS | 13 |
| Comparación de algarrobos de la Serie A y Series B-C | 14 |
| Comparación de algarrobos según su ubicación respecto de la tubería | 14 |
| Comparación de algarrobos con y sin riego | 15 |
| DISCUSIÓN | 16 |
| CONCLUSIONES | 20 |
| BIBLIOGRAFÍA | 21 |
| APÉNDICES | 24 |
| 1. Certificado de calibración de porómetro | 24 |
| ANEXOS | 25 |
| 1. Registro fotográfico | 25 |
| 2. Modelo lineal generalizado sobre potencial hídrico de pre-alba entre Serie A y Serie B-C | 30 |
| 3. Análisis de varianza sobre potencial hídrico de mediodía entre Serie A y Serie B-C | 31 |
| 4. Modelo lineal generalizado sobre conductancia estomática entre Serie A y Serie B-C | 31 |
| 5. Análisis de varianza sobre potencial hídrico de pre-alba entre árboles aguas arriba y abajo | 32 |
| 6. Análisis de varianza sobre potencial hídrico de mediodía entre árboles aguas arriba y abajo | 32 |
| 7. Análisis de varianza sobre conductancia estomática entre árboles aguas arriba y abajo | 32 |
| 8. Modelo lineal generalizado sobre potencial hídrico de pre-alba entre árboles con y sin riego | 33 |
| 9. Análisis de varianza sobre potencial hídrico de mediodía entre árboles con y sin riego | 33 |

| | | |
|-----|--|----|
| 10. | Modelo lineal generalizado sobre conductancia estomática entre árboles con y sin riego | 34 |
| 11. | Resultados de Potencial hídrico en pre-alba | 35 |
| 12. | Resultados de Potencial hídrico en mediodía..... | 35 |
| 13. | Resultados de Conductancia estomática..... | 36 |
| 14. | Profesionales involucrados en el desarrollo del informe..... | 38 |

Tabla de figuras

| | | |
|------------------|---|----|
| Figura 1. | Ubicación puntos de medición variables fisiológicas. | 7 |
| Figura 2. | Registro fotográfico mediciones de potencial hídrico en pre-alba. | 10 |
| Figura 3. | Registro fotográfico mediciones de potencial hídrico de mediodía. | 10 |
| Figura 4. | Registro fotográfico mediciones de conductancia estomática. | 11 |
| Figura 5. | Evolución temporal, potencial hídrico en pre-alba en las series A y B, desde 2020 a 2024.. | 16 |
| Figura 6. | Evolución temporal, potencial hídrico de mediodía de las series A y B, desde 2020 a 2024. | 17 |
| Figura 7. | Evolución temporal, conductancia estomática para las series A y B, desde 2020 a 2024. | 17 |

RESUMEN

El presente informe es parte del programa de seguimiento de flora y vegetación de la quebrada de Camar indicado como parte de las acciones del Programa de Cumplimiento (Acción 24) aprobado mediante Res. Ex. N° 38/2022 por la Superintendencia de Medio Ambiente, y en el marco del procedimiento sancionatorio Res. Ex. N°4/Rol F-041-2016. Se tiene por objetivo caracterizar el estado fisiológico de la población de los Algarrobos que se encuentran en la Quebrada de Camar y que son parte del seguimiento ambiental en el marco de la RCA 226/2006.

Para dar cumplimiento con el objetivo propuesto, se realizó en el mes de abril 2024 una campaña de medición de variables fisiológicas asociadas al estado hídrico de los Algarrobos presentes en la Quebrada de Camar en el Salar de Atacama. Se trabajó con una muestra de 18 individuos de Algarrobo pertenecientes a la serie A, que están distribuidos en torno al ex pozo de extracción Camar-2 (cuya operación fue detenida en 2018 y su infraestructura de bombeo desmantelada en 2021) y que han sido monitoreados históricamente desde el año 2006. Complementariamente, se tomaron muestras en 9 ejemplares pertenecientes a la serie B, que están alejados de dicho pozo y que se encuentran ubicados hacia el Este de los individuos objeto de estudio, 1 ejemplar de la serie C, 1 ejemplar de la serie D y 2 ejemplares de la serie AX, los cuales se ubican en la zona de los árboles de la serie A. Las comparaciones realizadas fueron entre la serie A y las series B y C, según su ubicación respecto a la tubería que atraviesa la quebrada de norte a sur y respecto a si son regados o no.

Los principales resultados obtenidos para este periodo (abril 2024), indican que la serie A se diferencia con las series B-C en la variable de potencial hídrico en pre-alba, con los valores más bajos en las series B-C, lo que estaría asociada a la presencia del riego en los árboles de la serie A. Así mismo, en los Algarrobos regados y no regados, se observan las mismas diferencias, con los valores más bajos en los árboles no regados, lo que es un resultado esperable, debido a que tiene menos agua disponible en el suelo. Por otra parte, la conductancia estomática no mostró diferencias en ninguna de las comparaciones que se realizaron, lo que podría indicar que la resistencia estomática empieza a reducir su valor en los árboles regados principalmente, lo que puede ser un primer efecto de las condiciones ambientales asociadas al fin de la época estival. Finalmente, al comparar las variables fisiológicas respecto de la ubicación de los árboles en relación de la tubería, ninguna variable muestra diferencias, por lo que no tendría efecto en el estado hídrico de los Algarrobos.

Al analizar la dinámica temporal de las variables de potencial hídrico en pre-alba, potencial hídrico de mediodía y conductancia estomática se observa en los meses de julio los valores de potencial hídrico más bajos de cada año, lo que es una respuesta a la variación estacional, en el que se observan los valores más negativos en invierno, para posteriormente, observar un alza en potencial hídrico en el mes de octubre, alcanzando el valor más alto de cada año. Por otro lado, se observa un mejor estado hídrico en los árboles de la serie A, desde el inicio de la aplicación del riego, alcanzando valores más altos de potencial hídrico y conductancia estomática desde enero de 2023.

INTRODUCCIÓN

En el borde Este del Salar de Atacama, Región de Antofagasta, específicamente en el sector correspondiente a la Quebrada de Camar, existe una población de Algarrobos, identificados preliminarmente como *Prosopis flexuosa* (RCA 226/2006), que posteriormente, en base a estudios taxonómicos específicos realizados en 2019, fueron identificados como *Prosopis alba* (Ibañez, 2019). Ambas especies son freatófitas de la familia Fabaceae. A partir del año 2022 cambia el nombre de estas especies, debido a la desintegración del género *Prosopis*, llamándose desde ahora *Neltuma flexuosa* y *Neltuma alba*, respectivamente (Hughes *et al.*, 2022).

En torno a esta población de Algarrobos, la empresa SQM Salar S.A. dispuso de un pozo de extracción de agua, conocido como Camar-2 autorizado por la RCA 226/2006, definiéndose un Área de Estudio con el objeto de realizar el seguimiento a los ejemplares cercanos, correspondiendo a los Algarrobos que se encontraban en el área de influencia de este pozo. La operación de este pozo fue detenida en 2018 y su infraestructura para el bombeo fue desmantelada en 2021.

Posteriormente, en el marco del procedimiento sancionatorio iniciado por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) mediante la Resolución Exenta N°1/Rol F-041-2016 (rectificado por Res. Ex. N°4/Rol F-041-2016), se considera la complementación de la información contenida en los informes del Plan de Seguimiento Ambiental (PSA) en cuanto a la población de algarrobos cercanos al pozo (serie A) y la implementación de un programa de seguimiento de la vegetación y flora de la Quebrada de Camar. Para esto, se considera un estudio eco-fisiológico enfocado en la población de algarrobos que se desarrolla en la quebrada (Acción 24).

Considerando lo anterior, el presente estudio tiene como objetivo caracterizar el estado fisiológico de la población de los algarrobos de Camar, analizando el estado hídrico de una muestra de 18 individuos de algarrobos de la serie A, distribuidos en las proximidades del Ex. pozo Camar-2 a través de las variables potencial hídrico (pre alba y mediodía) y conductancia estomática, y su comparación con otros individuos de algarrobos pertenecientes a las series B y C (n=10). Por otro lado, se considera comparar todos los ejemplares (n=31) a monitorear según su ubicación respecto a una tubería que cruza el área de estudio de norte a sur, y entre individuos regados y no regados (el riego inició en diciembre de 2022).

Cuando un árbol tiene estrés por falta de agua, presenta valores más negativos de potencial hídrico (Tyree *et al.*, 2002). Giordano *et al.* (2011) menciona potenciales de pre-alba de entre -1,3 y -3,8 MPa para individuos de *Prosopis flexuosa* (*Neltuma flexuosa*) con acceso restringido a la napa, medidos entre los meses de diciembre y marzo, siendo más negativo en la medida que se reduce la oferta de agua. Al mediodía se esperaría registrar valores más negativos de potencial hídrico, en comparación con la pre-alba, debido a que en ese momento del día se produce el mayor déficit de presión de vapor, por lo que la columna de agua queda sometida a una mayor tensión. Así mismo, la conductancia estomática también debería disminuir cuando presenta estrés hídrico, como resultado del cierre estomático para disminuir la pérdida de vapor de agua (Taiz y Zeiger, 2002).

La información que se entrega en este informe fue obtenida, analizada y discutida por los profesionales Paola Silva, José Ayamante y Sótero Astaburuaga (Anexo 14).

Objetivo

Caracterizar el estado fisiológico de la población de los algarrobos de Camar, objeto de seguimiento ambiental en el marco de la RCA 226/2006, mediante la medición de variables que permiten determinar el estado hídrico de una muestra de individuos de *Neltuma alba* (n=18), distribuidos en las proximidades del Ex. pozo Camar-2 (serie A), y comparar esta muestra con individuos de las series B y C (n=10), según su ubicación respecto de la tubería y según el riego aplicado.

Objetivos específicos

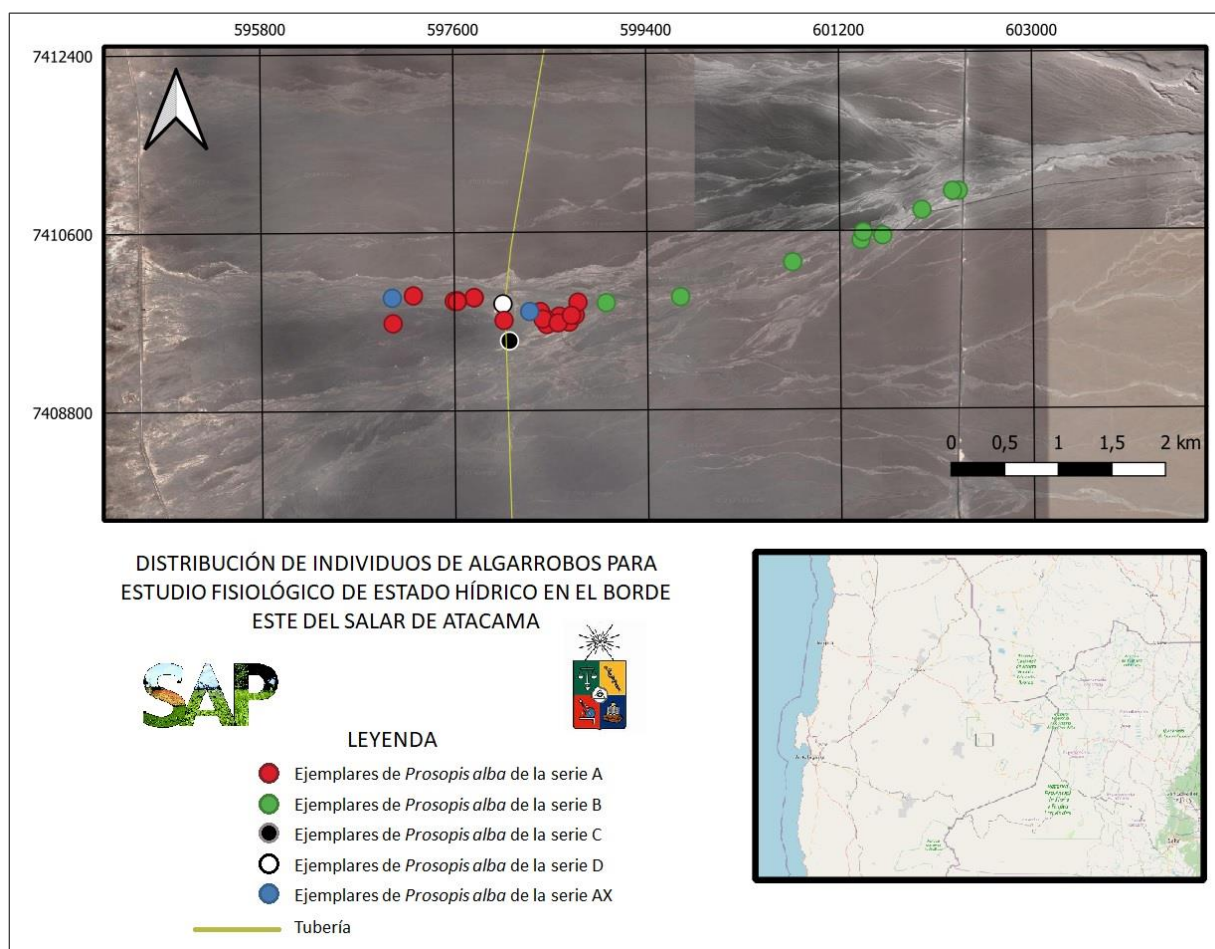
- Medir el potencial hídrico Ψ (MPa) de 31 individuos en muestras vegetales (ramillas) con cámara de presión tipo Scholander en dos momentos, pre-alba y mediodía.
- Medir la conductancia estomática g_s ($\text{mmol/m}^2 \text{ s}^{-1}$) de 31 individuos a través de un porómetro de flujo estacionario, con muestras vegetales (hojas).
- Realizar un análisis estadístico de los resultados considerando la existencia de diferencias significativas entre: (1) individuos de la serie A y resto de los individuos de las series B y C; (2) entre individuos ubicados aguas arriba y aguas abajo de la tubería; y (3) entre individuos con y sin riego.

MATERIALES Y MÉTODO

Área de estudio

El área de estudio se ubica en una zona altiplánica, en el sector oriental de la provincia de Antofagasta, II Región, Chile, en el Salar de Atacama (Figura 1). El estudio se realiza en la quebrada de Camar, la que tiene una superficie total de 38 km² (Ramírez, 1972). La cuenca del Salar de Atacama tiene una influencia del tipo climático “Desértico Marginal de Altura”, que se localiza por sobre los 2.000 metros de altura, por lo que las temperaturas son más atenuadas, presentando una media anual de 10 °C. Las lluvias se concentran en los meses de verano, debido al invierno altiplánico, y fluctúan entre 50 y 100 mm anuales (DGA, 2004). Según la estación meteorológica más cercana (Camar, San Pedro de Atacama), la precipitación acumulada de los últimos doce meses es de 53,7 mm, mientras que la temperatura media anual es de 16,3 °C (INIA, 2023).

Figura 1. Ubicación puntos de medición variables fisiológicas.



Fuente: Laboratorio SAP a partir de Geobiota, 2023.

En la cuenca del Salar de Atacama los suelos son muy escasos, debido a que está constituida mayoritariamente por el cuerpo salino del Salar de Atacama, identificando en la zona adyacente

al salar una unidad taxonómica que corresponde al tipo Entisol. Este tipo de suelo se caracteriza por su carencia de horizontes bien desarrollados, poco evolucionados por la aridez de la zona, su alto contenido salino y pH elevado (DGA, 2004). La zona de estudio presenta una vegetación escasa, con cobertura vegetal inferior al 5%. Los ejemplares de Algarrobo presentes en la quebrada no conforman bosque y son parte de la base de subsistencia tradicional de la Comunidad de Camar.

Individuos medidos en estudio

Se realizaron mediciones del estado hídrico en ejemplares de algarrobo ubicados en las proximidades del Ex. pozo Camar-2 (no se encuentra operativo y fue desmantelado) de la empresa SQM Salar S.A., en el Salar de Atacama, específicamente en la Quebrada de Camar. Los árboles del Área de Estudio se encuentran a menos de 1,1 km del Ex. pozo Camar-2, y se consideró un grupo de 18 árboles (serie A) que corresponden a la población objetivo de este seguimiento. Estos árboles están distribuidos aguas arriba y aguas abajo respecto de una tubería que atraviesa de norte a sur el área de estudio, además, cuentan con un sistema de riego, como se indican en la Tabla 1, y cuya ubicación se puede visualizar en la Figura 1. Las mediciones fueron realizadas entre los días 3 y 5 de abril de 2024. Cabe destacar, que también se considera un grupo de ejemplares constituidos por 9 individuos, los que corresponden a árboles de la serie B, 1 individuo de la serie C, 1 individuo de la serie D y 2 individuos de la serie AX.

Tabla 1. Ubicación de los árboles, su ubicación respecto de la tubería y presencia de riego (Proyección: UTM; Datum: WGS84; zona: 19S).

| N | Árbol | Coordenada Este | Coordenada Norte | Serie | Posición c/respecto tubería | Riego |
|----|-------|-----------------|------------------|-------|-----------------------------|-------|
| 1 | A04 | 598066 | 7409720 | A | aguas abajo | Si |
| 2 | A07 | 597031 | 7409692 | A | aguas abajo | Si |
| 3 | A12 | 597223 | 7409975 | A | aguas abajo | Si |
| 4 | A17 | 597603 | 7409916 | A | aguas abajo | Si |
| 5 | A21 | 597632 | 7409915 | A | aguas abajo | Si |
| 6 | A22 | 597634 | 7409921 | A | aguas abajo | Si |
| 7 | A30 | 597788 | 7409952 | A | aguas abajo | Si |
| 8 | A31 | 597792 | 7409953 | A | aguas abajo | Si |
| 9 | A33 | 598759 | 7409902 | A | aguas arriba | Si |
| 10 | A36 | 598732 | 7409766 | A | aguas arriba | Si |
| 11 | A37 | 598698 | 7409766 | A | aguas arriba | Si |
| 12 | A38 | 598677 | 7409695 | A | aguas arriba | Si |
| 13 | A40 | 598574 | 7409693 | A | aguas arriba | Si |
| 14 | A41 | 598469 | 7409677 | A | aguas arriba | Si |
| 15 | A43 | 598432 | 7409734 | A | aguas arriba | Si |
| 16 | A44 | 598449 | 7409740 | A | aguas arriba | Si |
| 17 | A47 | 598581 | 7409758 | A | aguas arriba | Si |
| 18 | A58 | 598407 | 7409807 | A | aguas arriba | Si |
| 19 | B02 | 599016 | 7409889 | B | aguas arriba | No |
| 20 | B03 | 599710 | 7409937 | B | aguas arriba | No |
| 21 | B04 | 600761 | 7410288 | B | aguas arriba | No |

| N | Árbol | Coordenada Este | Coordenada Norte | Serie | Posición c/respecto tubería | Riego |
|----|-------|-----------------|------------------|-------|-----------------------------|-------|
| 22 | B09 | 601420 | 7410585 | B | aguas arriba | No |
| 23 | B10 | 601403 | 7410509 | B | aguas arriba | No |
| 24 | B11 | 601603 | 7410548 | B | aguas arriba | No |
| 25 | B17 | 601972 | 7410806 | B | aguas arriba | No |
| 26 | B20 | 602261 | 7410998 | B | aguas arriba | No |
| 27 | B21 | 602313 | 7410998 | B | aguas arriba | No |
| 28 | C58 | 598113 | 7409506 | C | aguas arriba | No |
| 29 | D28 | 598055 | 7409879 | D | aguas abajo | No |
| 30 | AX01 | 598305 | 7409804 | AX | aguas arriba | Si |
| 31 | AX02 | 597020 | 7409942 | AX | aguas abajo | No |

Equipos utilizados

Para la medición de potencial hídrico (en pre-alba y mediodía) se utilizó una cámara de presión tipo Scholander, la que no requiere calibración. Por otro lado, para la medición de conductancia estomática, se utilizó un porómetro marca Meter SC-1, el que se calibra previo a realizar las mediciones y cuyo certificado de calibración se presenta en el apéndice 1.

Metodología para medición del estado hídrico de las plantas

- **Potencial hídrico en pre-alba y mediodía**

El potencial hídrico se midió en pre-alba de manera de registrar la capacidad de recuperación hídrica de los árboles durante la noche (Acevedo *et al.*, 1985). Las mediciones se realizaron con una cámara de presión (Scholander *et al.*, 1965; May *et al.*, 2011), que es el equipo más utilizado para una lectura rápida y sencilla, y es el mejor método disponible para condiciones de campo (García *et al.*, 2009). Para la medición se utilizó nitrógeno gaseoso como gas presurizado, en ramillas formadas durante la temporada anterior. Se seleccionaron 2 ramillas por árbol, las que se ubicaron al interior de una bolsa plástica sellada con una capa de papel aluminio (Meyer & Ritchie, 1980). Cada ramilla se cortó, se desenvolvió y se introdujo inmediatamente en la cámara de presión para medir su potencial hídrico entre las 5:45 y 6:45 am.

El potencial hídrico en mediodía fue medido para registrar el estado hídrico al momento de mayor demanda de vapor de agua por parte de la atmósfera, debido a la alta radiación y mayor déficit de presión de vapor. Previo a la medición, se eligieron 2 ramillas y se envolvieron en bolsas plásticas con papel aluminio (Meyer & Ritchie, 1980; Williams, 2001; Sellés *et al.*, 2002) durante 1 hora aproximadamente, para equilibrar el potencial hídrico foliar y xilemático. Posteriormente se midió el potencial hídrico entre las 12:00 y 13:00 horas, de la misma forma que se describió para la medición de pre-alba.

Dado que esta medición tiene una naturaleza destructiva para el ejemplar, esta solo se llevó a cabo si el ejemplar en cuestión presentó una cantidad adecuada de ramillas de la última temporada. Es crucial asegurarse de que la medición se realice con el máximo cuidado para no dejar al ejemplar sin ramillas, preservando así su salud y su capacidad de regeneración. Este

enfoque garantiza que se minimice el impacto negativo sobre el ejemplar, permitiendo una evaluación precisa sin comprometer su bienestar.

En las figuras 2 y 3 se presentan registros fotográficos de las mediciones de potencial hídrico realizadas entre el 3 y 5 de abril de 2024.

Figura 2. Registro fotográfico mediciones de potencial hídrico en pre-alba.

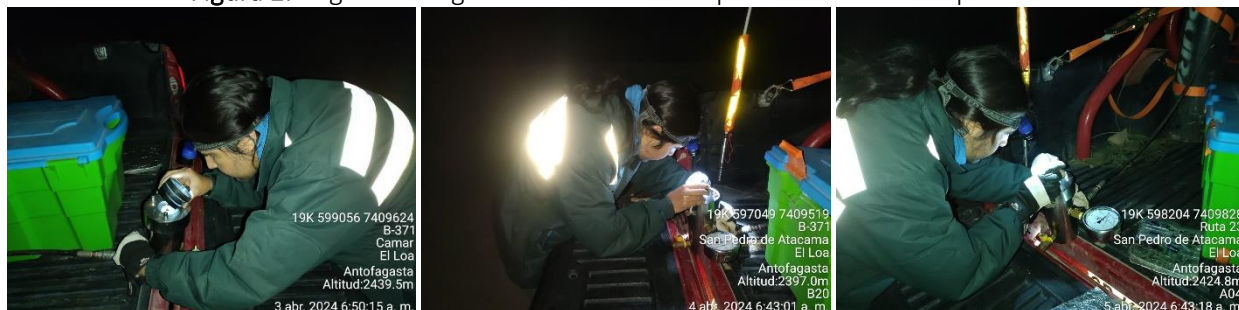


Figura 3. Registro fotográfico mediciones de potencial hídrico de mediodía.



- **Conductancia estomática**

La transpiración corresponde al flujo de vapor de agua, desde las plantas hacia la atmósfera. Este flujo de vapor de agua ocurre desde los espacios intercelulares de la cavidad subestomática, moviéndose por difusión, a través de los estomas, hacia la atmósfera.

Los estomas son poros que están en la cara abaxial de las hojas de algarrobo, cuya apertura responde a condiciones ambientales. La conductancia estomática es un indicador de la apertura de estos, determina la facilidad con que las hojas transpiran, y su magnitud depende de la densidad, tamaño y grado de apertura de los estomas (METER Group, 2020). Si los estomas se cierran, la conductancia estomática disminuirá y el flujo de vapor de agua se reducirá.

La conductancia estomática (gs) es el principal factor limitante para la fotosíntesis y es sensible al estado del agua en la planta. Evaluar con precisión el comportamiento de la conductancia estomática, sobre todo en individuos bajo estrés por déficit de agua, en zonas desérticas o xerofíticas, es esencial para entender el flujo del agua en las especies y sería un indicador de su producción y biomasa (Doudou *et al.*, 2020), ya que se produce un intercambio gaseoso con la salida hacia la atmósfera de vapor de agua y la captación de CO₂ por las plantas necesario para la producción de biomasa (Carvajal y Andrade, 2020).

La conductancia estomática se mide con un porómetro de flujo estacionario marca Meter, modelo SC-01, el que es calibrado por el profesional a cargo de esta medición (Sótero Astaburuaga), previo a las mediciones de cada día, respecto de las condiciones ambientales presentes en ese momento. Las mediciones se realizan entre las horas de máxima apertura estomática, en hojas adultas y sanas de exposición Este, de 10:00 a 11:30 am. Si el ejemplar no presentó hojas en el momento de la evaluación o si las hojas que tiene se encontraban en un estado senescente, la medición no se llevó a cabo. En la figura 4 se presentan registros fotográficos de las mediciones de conductancia estomática realizadas entre el 3 y 5 de abril de 2024.

Figura 4. Registro fotográfico mediciones de conductancia estomática.



Análisis estadístico

Se realizaron comparaciones para determinar la existencia de diferencias significativas entre:

1. Individuos de la serie A (N=18), que corresponden a la población objeto del seguimiento histórico en el contexto del PSA, posicionados en las proximidades del Ex. pozo Camar-2, y el resto de los individuos de las series B y C (N=10).
2. Individuos ubicados aguas arriba (N=21, pertenecientes a las series A, B, C y AX) y aguas abajo (N=10, pertenecientes a las series A, D y AX) de la tubería que atraviesa de norte a sur el área de estudio.
3. Individuos con riego (N=19, pertenecientes a las series A y AX) y sin riego (N=12, pertenecientes a las series B, C, D y AX).

Cuando no se pudo realizar alguna medición de potencial hídrico o conductancia estomática (por falta de ramillas y/o hojas medibles), el análisis estadístico se realiza de igual manera reduciendo el N definido anteriormente. Las variables medidas en los Algarrobos se estudiaron a través de un análisis de varianza considerando como factor fijo la serie a la que corresponden (anexos 2, 3 y 4), la ubicación respecto de la tubería (anexos 5, 6 y 7), y la presencia de un sistema de riego (anexos 8, 9 y 10).

Cuando se determinaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, se procedió a realizar una prueba de separación de medias, por medio de la prueba DGC y cuando esta no fue lo suficientemente sensible para detectar las diferencias encontradas se usó LSD-Fisher (Di Rienzo *et al.*, 2011), al 5% de probabilidad de error lo que es igual a un nivel de confianza del 95%.

Cuando no se cumplió con el supuesto de normalidad de la varianza, se transformaron los datos a su logaritmo natural o elevado al cubo y cuando persistió el no cumplimiento, se usó un análisis de varianza no paramétrico (Kruskal Wallis) (Pérez, 2018). Cuando no se cumplió con el supuesto de homocedasticidad de la varianza, se utilizó un modelo heterocedástico (modelo lineal general). Los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el programa InfoStat v.2020.

RESULTADOS

A continuación, se presentan los valores de potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}) y mediodía (Ψ_{md}), y conductancia estomática (gs) medidos en abril de 2024 (Tabla 2). Los valores de la población objetivo (serie A) fluctuaron entre -1,25 y -2,0 MPa en Ψ_{pa} , entre -1,8 y -2,9 MPa en Ψ_{md} , y entre 147,45 y 289,15 mmol m⁻² s⁻¹ en gs.

Tabla 2. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (gs) medidos en abril de 2024 en algarrobos de la Quebrada de Camar.

| Árbol | Ψ_{pa} (MPa) | Ψ_{md} (MPa) | gs (mmol/m ² s ¹) | Serie | Posición* | Riego |
|-------|-------------------|-------------------|--|-------|-----------|-------|
| A04 | -1,25 | -1,80 | 243,50 | A | Abajo | Si |
| A07 | -1,60 | -2,55 | 214,70 | A | Abajo | Si |
| A12 | -1,30 | - | 214,48 | A | Abajo | Si |
| A17 | - | - | 147,45 | A | Abajo | Si |
| A21 | - | - | 164,68 | A | Abajo | Si |
| A22 | - | - | 231,63 | A | Abajo | Si |
| A30 | - | - | 182,75 | A | Abajo | Si |
| A31 | - | - | 186,03 | A | Abajo | Si |
| A33 | -1,95 | -2,45 | 150,83 | A | Arriba | Si |
| A36 | -1,90 | -2,80 | 201,28 | A | Arriba | Si |
| A37 | -1,70 | -1,90 | 263,08 | A | Arriba | Si |
| A38 | - | - | 226,03 | A | Arriba | Si |
| A40 | -2,00 | -2,70 | 205,38 | A | Arriba | Si |
| A41 | - | - | 263,33 | A | Arriba | Si |
| A43 | - | - | 267,55 | A | Arriba | Si |
| A44 | -1,50 | -2,90 | 216,13 | A | Arriba | Si |
| A47 | -1,50 | -2,30 | 289,15 | A | Arriba | Si |
| A58 | -1,35 | -2,20 | 222,03 | A | Arriba | Si |
| B02 | - | - | 165,50 | B | Arriba | No |
| B03 | -2,65 | -2,70 | 166,45 | B | Arriba | No |
| B04 | -2,40 | -3,60 | 170,53 | B | Arriba | No |
| B09 | -1,95 | -2,30 | 267,80 | B | Arriba | No |
| B10 | -2,95 | -3,05 | 143,55 | B | Arriba | No |
| B11 | -2,60 | -3,40 | 186,80 | B | Arriba | No |
| B17 | -1,95 | -2,45 | 329,58 | B | Arriba | No |
| B20 | -1,45 | -2,05 | 373,53 | B | Arriba | No |
| B21 | -1,65 | -2,95 | 252,25 | B | Arriba | No |
| C58 | - | - | 51,30 | C | Arriba | No |
| D28 | - | - | 249,88 | D | Abajo | No |
| AX01 | - | - | 271,58 | AX | Arriba | Si |
| AX02 | - | - | 203,05 | AX | Abajo | No |

*: Posición respecto de la tubería. -: Árboles no medidos por falta de ramillas u hojas.

En esta campaña los árboles A17, A21, A22, A30, A31, A38, A41, A43, B02, C58, D28, AX01 y AX02 no pudieron ser medidos en pre-alba y mediodía por falta de ramillas, y el árbol A12 no pudo ser medido en mediodía.

Comparación de algarrobos de la Serie A y Series B-C

A continuación, se presentan los valores promedio de Ψ_{pa} , Ψ_{md} y gs medidos en abril de 2024 para los árboles de la serie A y de las series B-C (Tabla 3). Se encontraron diferencias significativas al comparar el potencial hídrico en pre-alba ($p=0,0107$), con los valores más bajos en los árboles de la serie B-C (-2,2 MPa). Mientras que, el potencial hídrico de mediodía ($p=0,0866$) y la conductancia estomática ($p=0,8660$) no se diferenciaron entre estas series, alcanzando un valor promedio de -2,59 MPa para Ψ_{md} y 214,19 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para gs .

Tabla 3. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), potencial hídrico de ramilla de mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (gs) promedios para serie A y series B-C, medidos en abril de 2024 en algarrobos de la Quebrada de Camar.

| Serie | Ψ_{pa} (MPa) | Ψ_{md} (MPa) | gs ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) |
|-----------------|-------------------|-------------------|---|
| A | -1,61±0,09 a | -2,40±0,13 a | 216,11±9,48 a |
| B-C | -2,20±0,19 b | -2,81±0,19 a | 210,73±30,14 a |
| Promedio | -1,87±0,12 | -2,59±0,12 | 214,19±12,03 |

Valores promedio corresponden a las medias ± 1 Error Estándar. Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% según el test LSD-Fisher (Ψ_{pa}) y DGC (Ψ_{md} y gs) de separación de medias.

Comparación de algarrobos según su ubicación respecto de la tubería

A continuación, se presentan los valores promedio de Ψ_{pa} , Ψ_{md} y gs medidos en abril de 2024 para los árboles ubicados aguas arriba de la tubería y aguas abajo (Tabla 4). No se encontraron diferencias significativas en ninguna variable medida al comparar ambos grupos de árboles. El Ψ_{pa} ($p=0,0611$) alcanzó un valor promedio de -1,87 MPa, mientras que el Ψ_{md} ($p=0,2134$) alcanza una media de -2,59 MPa. La gs ($p=0,4263$) tuvo un valor promedio de 216,83 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Tabla 4. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), potencial hídrico de ramilla de mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (gs) promedios para individuos ubicados aguas arriba y aguas abajo de la tubería, medidos en abril de 2024 en algarrobos de la Quebrada de Camar.

| Ubicación respecto de la tubería | Ψ_{pa} (MPa) | Ψ_{md} (MPa) | gs ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) |
|----------------------------------|-------------------|-------------------|---|
| Aguas arriba | -1,97±0,13 a | -2,65±0,12 a | 223,03±15,53 a |
| Aguas abajo | -1,38±0,11 a | -2,18±0,38 a | 203,81±10,63 a |
| Promedio | -1,87±0,12 | -2,59±0,12 | 216,83±11,07 |

Valores promedio corresponden a las medias ± 1 Error Estándar. Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% según el test DGC de separación de medias.

Comparación de algarrobos con y sin riego

A continuación, se presentan los valores promedio de Ψ_{pa} , Ψ_{md} y gs medidos en abril de 2024 para los árboles con y sin riego (Tabla 5). Se encontraron diferencias significativas solo en el potencial hídrico en pre-alba ($p=0,0107$). Los valores más bajos se encontraron en los árboles sin riego, con $-2,2$ MPa. Mientras que en el potencial hídrico de mediodía ($p=0,0866$) y en la conductancia estomática ($p=0,8338$) no se encontraron diferencias respecto del riego, con un valor promedio de $-2,59$ MPa y $216,83 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente.

Tabla 5. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), potencial hídrico de ramilla de mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (gs) promedios para individuos con y sin riego, medidos en abril de 2024 en algarrobos de la Quebrada de Camar.

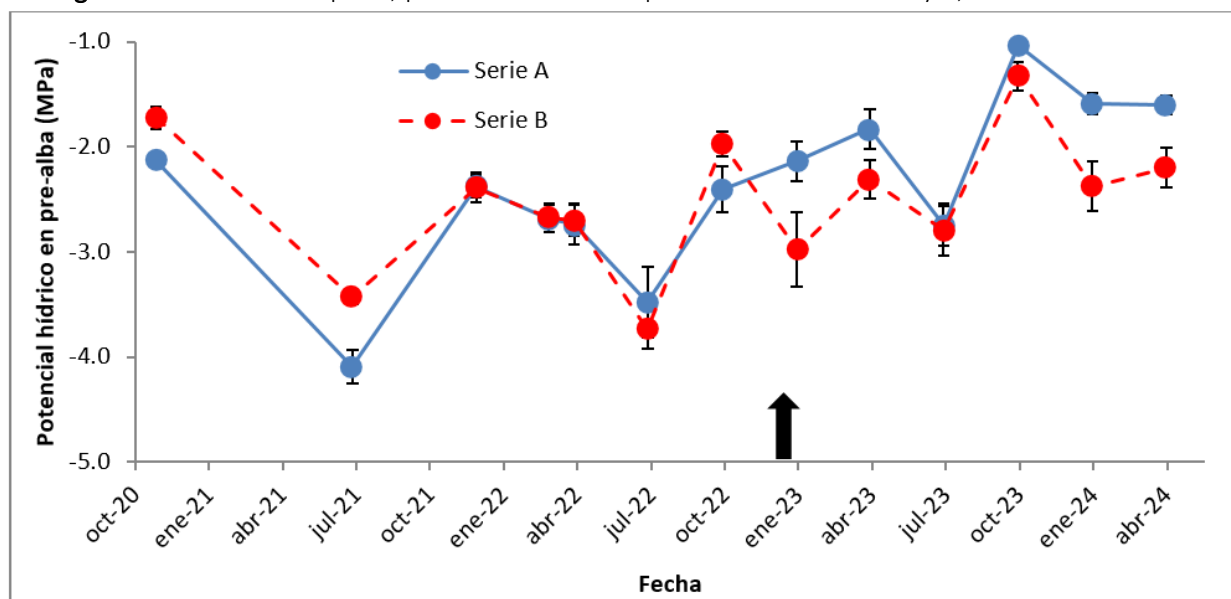
| Riego | Ψ_{pa} (MPa) | Ψ_{md} (MPa) | gs ($\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) |
|-----------------|--------------------|--------------------|--|
| Con riego | $-1,61 \pm 0,09$ a | $-2,40 \pm 0,13$ a | $219,03 \pm 9,43$ a |
| Sin riego | $-2,20 \pm 0,19$ b | $-2,81 \pm 0,19$ a | $213,35 \pm 25,11$ a |
| Promedio | $-1,87 \pm 0,12$ | $-2,59 \pm 0,12$ | $216,83 \pm 11,07$ |

Valores promedio corresponden a las medias ± 1 Error Estándar. Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% según el test LSD-Fisher (Ψ_{pa}) y DGC (Ψ_{md} y gs) de separación de medias.

DISCUSIÓN

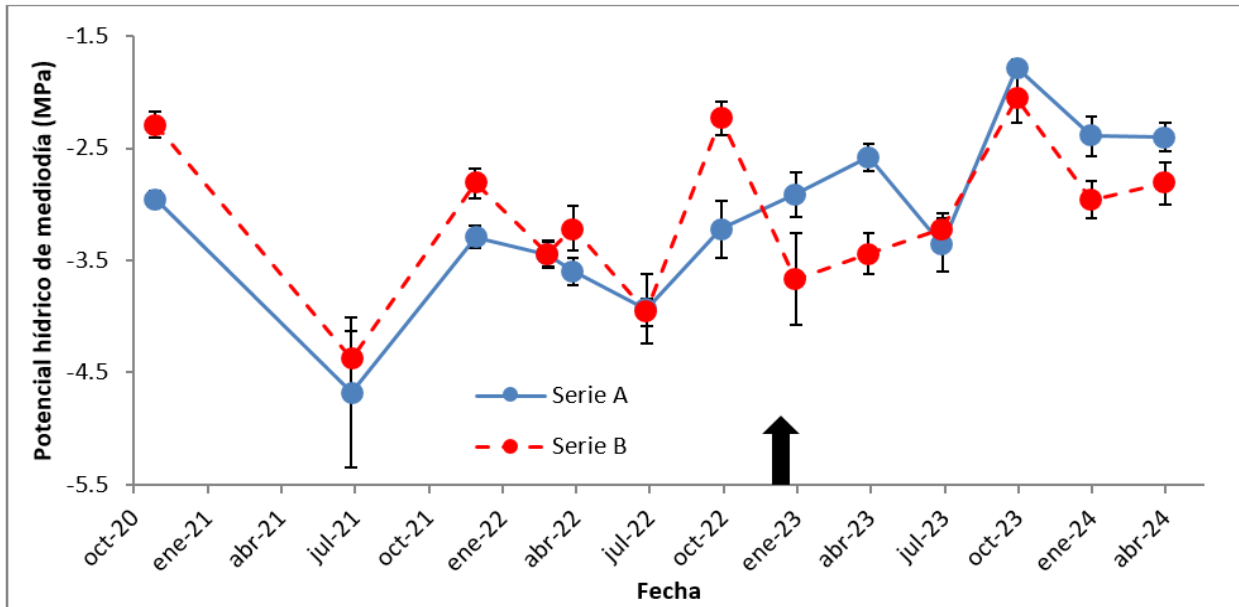
En la Figura 5 y 6 se observan la evolución en el tiempo (desde noviembre de 2020 a la actualidad) del potencial hídrico (pre-alba y mediodía, respectivamente) en los árboles de la serie A y B. Se observan comportamientos similares en ambas mediciones, con valores más altos en pre-alba. En los meses de julio (2021 y 2022) se observaron los valores más bajos de potencial (inferiores a -3,0 MPa en pre-alba, y cercanos a -4,0 MPa en mediodía), tanto en la serie A como en la serie B. Por otro lado, antes de la aplicación de riego (diciembre 2022) la serie B tuvo valores de potencial hídrico (pre-alba y mediodía) superiores o similares a los de la serie A, lo que se da por el mejor estado hídrico de los árboles B11, B17, B20 y B21. Estos árboles se encuentran distribuidos cercanos a la ruta CH-23, donde los árboles B20 y B21 reciben diariamente agua liberada desde el poblado de Camar, lo que ha sido observado desde el inicio de las mediciones en 2020. Pese a ello, al iniciar el riego en los árboles, la serie A alcanzó valores superiores a los de la serie B en enero, abril y octubre de 2023, y en enero y abril de 2024. En las campañas de octubre de 2022 y 2023 se alcanzaron los valores más altos de cada año, tanto en la serie A como en la serie B.

Figura 5. Evolución temporal, potencial hídrico en pre-alba en las series A y B, desde 2020 a 2024.



Las barras verticales representan el error estándar de la media. La flecha representa el inicio de la aplicación de riego en los árboles de la serie A. Fuente: Elaboración propia.

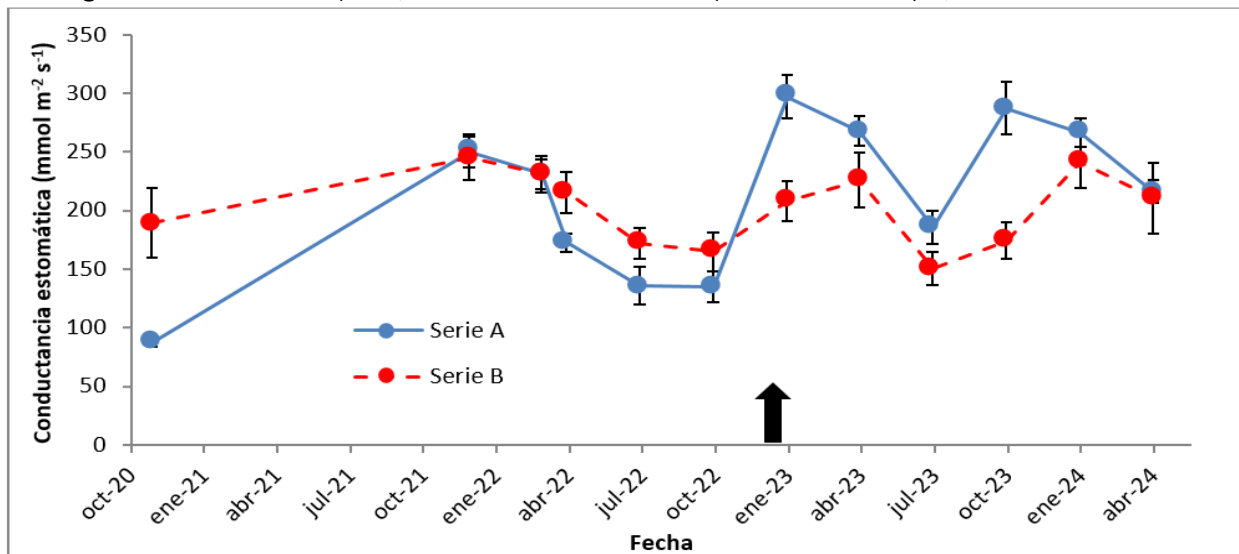
Figura 6. Evolución temporal, potencial hídrico de mediodía de las series A y B, desde 2020 a 2024.



Las barras verticales representan el error estándar de la media. La flecha representa el inicio de la aplicación de riego en los árboles de la serie A. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 7 se observa la evolución en el tiempo (desde noviembre de 2020 a la actualidad) de la conductancia estomática en los árboles de la serie A y B. Se aprecia que antes de la aplicación de riego, la serie B alcanzó valores superiores o similares (dic21 y ene22) a los de la serie A, hasta 2022, mientras que, en las últimas seis campañas, con la aplicación del riego en la serie A, esta alcanza valores superiores o similares (abr24) a los de la serie B. En las últimas dos campañas se redujo la diferencia entre la serie A y B, manteniendo la tendencia de mayor conductancia en la serie A.

Figura 7. Evolución temporal, conductancia estomática para las series A y B, desde 2020 a 2024.



Las barras verticales representan el error estándar de la media. La flecha representa el inicio de la aplicación de riego en los árboles de la serie A. Fuente: Elaboración propia.

En abril de 2024 los algarrobos ubicados en las proximidades del Ex. pozo Camar-2 han mantenido un follaje verde similar a la observada en la campaña anterior de enero 2024 (Anexo 1. Registro fotográfico). De esta forma, se mantuvieron individuos de algarrobo que no fueron posibles de evaluar por la inexistencia de ramillas medibles suficientes (árboles A17, A21, A22, A30, A31, A38, A41, A43, B02, C58, D28, AX01 y AX02). Esta falta de ramillas se puede deber, a la escasa regeneración de ramillas, al ramoneo producido por burros que hay en la zona, y a la naturaleza destructiva de la medición de los potenciales hídricos que corta 4 ramillas por campaña de medición (2 para Ψ_{pa} y 2 para Ψ_{md}). Además, esto se traduce en una disminución de las hojas en estos árboles, aunque esto no fue un impedimento para la medición de conductancia estomática.

La ficha de clasificación de estado de conservación de *N. alba* y *N. flexuosa*, describen estas especies como de hojas caducas, es decir, que pierden gran parte de sus hojas en invierno (MMA, 2012a; MMA, 2012b). Así mismo, *N. chilensis*, también ha sido descrito como caducifolio en su distribución sur en Latinoamérica, lo que se produce como resultado del efecto de las heladas (FAO, 1997). Esto podría explicar la falta de hojas observada en algarrobos en los meses de julio.

En esta campaña se observaron diferencias estadísticamente significativas solo en la variable fisiológica de potencial hídrico en pre-alba, entre las series A (cercano al Ex. pozo Camar-2) y B-C, observándose en la serie B-C los valores más bajos (-2,20 MPa). Así mismo, al comparar el estado hídrico de los algarrobos con y sin riego, también se observó la misma diferencia entre estos grupos, ya que los mismos árboles de la serie A son los con riego, y los árboles de la serie B, corresponden a los sin riego. Por otra parte, al comparar los algarrobos ubicados aguas arriba y aguas abajo de la tubería que atraviesa la quebrada, no se observaron diferencias en ninguna variable. Si bien no hay efecto en las variables, cabe destacar que el potencial hídrico no pudo ser medido en el 80% de árboles ubicados aguas abajo de la tubería y en un 29% de los árboles ubicados aguas arriba de la misma.

Al observar los valores de esta campaña de potencial en pre-alba en la serie A, como en la serie regada (-1,61 MPa), se alcanzan valores cercanos al valor promedio para *Neltuma flexuosa* ubicados en zonas de valle (mayor acceso al agua) mencionado por Giordano *et al.* (2011), lo que se explica por la aplicación del riego, alcanzando valores más altos de potencial. Por otro lado, los individuos de las series B-C y sin riego (-2,20 MPa) alcanzan valores de potencial en pre-alba cercano al promedio de individuos de *Neltuma flexuosa* ubicados en zonas de menor acceso al agua como es la zona de dunas donde Giordano *et al.* (2011) hicieron sus evaluaciones. Al observar la conductancia estomática, todos los árboles alcanzaron valores cercanos a lo observado en *Neltuma flexuosa* en zona de valle (Giordano *et al.*, 2011).

El déficit hídrico se produce cuando la demanda hídrica es mayor que el suministro hídrico, en este sentido hay que considerar que la demanda depende tanto de las condiciones atmosféricas como de la magnitud de área foliar que se encuentra transpirando. Es así que, en esta campaña se mantuvieron estables los valores de potencial hídrico y se pudo observar que el follaje verde fue similar respecto a la campaña anterior. Sin embargo, se observa una disminución de la conductancia estomática, respecto de la campaña anterior, pero no alcanzó valores inferiores a los $195 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, como los observados en todas las campañas de julio en la serie B, y desde que inició la aplicación del riego en la serie A.

Por otra parte, desde que comenzó el riego de los algarrobos, diciembre 2022, las diferencias entre las series A y B-C como en la serie regada y no regada se han observado principalmente en los meses en que es mayor tanto la demanda atmosférica como el área foliar de los algarrobos (enero, abril y octubre). Así mismo, al analizar la dinámica temporal de las variables medidas, se observó un patrón similar en el potencial hídrico en pre-alba y mediodía, donde los valores de potencial presentan cambios estacionales. En los meses de julio el potencial tiende a ser el más negativo de cada año (Figura 5 y Figura 6). Este cambio temporal de potenciales coincide con lo evaluado en otras especies freatófitas del Desierto de Atacama *Strombocarpa tamarugo* (SAP, 2021) y *Strombocarpa burkartii* (Carevic *et al.*, 2017). El menor potencial hídrico observado en julio podría ser efecto de las bajas temperaturas (Allen y Ort, 2001) que pueden provocar cavitación del xilema (Hacke y Sauter, 1996), cambios en la fluidez y permeabilidad de las membranas (Sellin y Kupper, 2007) y/o cambios en la viscosidad del agua (López y Nobel, 1990).

CONCLUSIONES

En la campaña de abril de 2024, se evidencia que:

- Los algarrobos de la serie A muestran un mejor estado hídrico que los algarrobos de las series B-C, expresado en un mayor potencial hídrico en pre-alba.
- No se observaron diferencias ni de potencial hídrico ni en conductancia estomática en los algarrobos en relación a su ubicación respecto de la tubería.
- Los algarrobos regados se diferencian con los algarrobos no regados sólo en la variable de potencial hídrico en pre-alba.
- Las diferencias observadas tendrían relación a la aplicación del riego, expresándose diferencias en los meses de mayor demanda atmosférica principalmente, alcanzando siempre valores más altos en los individuos que reciben riego.

En relación con las mediciones anteriores, se evidencia que:

- Los valores de potencial hídrico de las campañas de octubre son los más altos de cada año, observándose una disminución en las campañas posteriores.
- Se observa un efecto de la aplicación del riego en los árboles de la serie A, mostrando una tendencia de mayor potencial hídrico y conductancia estomática que la serie B, en la mayoría de las evaluaciones realizadas desde enero de 2023 hasta la actualidad. En julio los valores de todas las variables son más bajos.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, E., Sotomayor, D. and Zenteno, V. 1985. Parámetros hídricos de tejidos foliares de *Prosopis tamarugo* Phil. In: Estado actual del conocimiento sobre *Prosopis tamarugo*. Habit, M. (Eds). Arica, Chile. 11-15 de junio de 1984, FAO: 500.
- Allen, D. & Ort, D. 2001. Impacts of chilling temperatures on photosynthesis in warm-climate plants. *Trends in Plant Science*, 6(1), 36–42.
- Bucci, S., Scholz, F., Goldstein, G., Meinzer, F., Hinojosa, J., Hoffmann, W. and Franco, A. 2004. Processes preventing nocturnal equilibration between leaf and soil water potential in tropical savanna woody species. *Tree Physiology* 24: 1119-1127.
- Carvajal, B. y Andrade, H. 2020. Captura de carbono en biomasa de sistemas de uso de suelo, municipio de Yopal, Casanare, Colombia. *Orinoquia* 24(1): 13-22.
- Carevic, F. S., Delatorre-Herrera, J. and Carrasco, A. 2017. Plant water variables and reproductive traits are influenced by seasonal climatic variables in *Prosopis burkartii* (Fabaceae) at Northern Chile. *Flora* 233: 7-11.
- Dirección General de Agua (DGA). 2004. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca Salar de Atacama.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L., Tablada, M. & Robledo, C. 2011. InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Doudou, L., Ximeng, L., Benye X., Virginia H. 2020. Evaluation of method to model stomatal conductance and its use to assess biomass increase in poplar trees. *Agricultural Water Management* 259:107228.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 1997. *Prosopis chilensis*, especies arbóreas y arbustivas para las zonas áridas y semiáridas de América Latina. Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en Sistemas Agroforestales.
- García, A., Cun, R., Chong, C., Duarte, C. y Montero, L. 2009. Calibration of a hydraulic pressure chamber developed in Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 18(3):24-29.
- Giordano, C., Guevara, A., Boccalandro, H., Sartor, C. and Villagra, P. 2011. Water status, drought responses, and growth of *Prosopis flexuosa* trees with different Access to the water table in a warm South American desert. *Plant Ecol.* 212:1123-1134.
- Hacke, U. y Sauter, J. 1996. Xylem dysfunction during winter and recovery of hydraulic conductivity in diffuse-porous and ring-porous trees. *Oecologia* 105:435-439.
- Hughes, C., Ringelberg, J., Lewis, G. y Catalano, S. 2022. Desintegración del género *Prosopis* L. (Leguminosae, Caesalpinioideae, clado mimosoide). *PhytoKeys* 205:147-189.

- Ibáñez, S. 2019. Informe taxonómico de identificación de las especies de *Prosopis* en la Quebrada de Camar. Apéndice 4.7-10. SQM.
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). 2023. Agrometeorología, Red Agrometeorológica INIA, Estación Camar, San Pedro de Atacama. Consultado el 6 de noviembre de 2023.
- Laboratorio de Relación Suelo-Agua-Planta (SAP). 2021. Informe Proyecto Pampa Hermosa Llamara 2021. SQM.
- López, F. y Nobel, P. 1990. Root hydraulic conductivity of two cactus species in relation to root age, temperature, and soil water status. *Journal of Experimental Botany* 42:143-149.
- May, C., Pérez, A., Ruiz, E., Ic, A. y García, A. 2011. Effect of moisture levels on growth and water potential of *Capsicum chinense* Jacq. and their relationship to the development of *Bemisia tabaci* Genn, *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14(2011):1039-1045.
- METER Group. 2020. Manual Porómetro de hoja SC-1. USA.
- Meyer, W.S. & Ritchie, J.T. 1980. Resistance to Water Flow in the Sorghum Plant. *Plant Physiology* 65: 33-39.
- Ministerio de Medio Ambiente (MMA). 2012a. Ficha de antecedentes de especie 582, *Prosopis flexuosa* DC. Clasificación según estado de conservación.
- Ministerio de Medio Ambiente (MMA). 2012b. Ficha de antecedentes de especie 578, *Prosopis alba* Grise. var. alba. Clasificación según estado de conservación.
- Pérez, L. 2018. How do we proceed to violations of parametric methods assumptions? or how to work with non-normal biological variables? *Revista del Jardín Botánico Nacional* 39: 1-12.
- Ramírez, E. 1972. Caracterización climatológica e hidrológica del Salar de Atacama. CORFO.
- Scholander, P., Bradstreet Edda, D., Hemmingsen, E. and Hammel, H. 1965. Sap Pressure in Vascular Plants: Negative hydrostatic pressure can be measured in plants. *Science* 148: 339–346.
- Sellés, V., Ferreyra, E. y Maldonado, P. 2002. Cámara de presión, Instrumento para controlar el riego a través de mediciones del estado hídrico de las plantas. *Aconex* 76:18-22.
- Sellin, A. y Kupper, P. 2007. Temperature, light and leaf hydraulic conductance of little-leaf linden (*Tilia cordata*) in a mixed forest canopy. *Tree Physiology* 27:679-688.
- Taiz, L. & Zeiger, E. 2002. *Plant Physiology* (Third Edition). Sinauer Associates, Inc. Sunderland.
- Tyree, M., Vargas, G., Engelbrecht, B. y Kursar, T. 2002. Drought until death do us part: a case study of the desiccation-tolerance of a tropical moist forest seedling-tree, *Licania platypus* (Hemsl.) Fritsch. *J. Exp. Bot.* 53:2239-2247.

Williams, L. 2001. Irrigation of winegrapes in California. Practical Winery & Vineyard 23:42-55.

APÉNDICES

1. Certificado de calibración de porómetro



METER

METER Group, Inc. USA
Certificate of Quality Assurance

| | | | |
|-----------------------------|----------------------------------|-------------------|---------------|
| Model | Leaf Porometer, SC-1 | Date | July 16, 2021 |
| Order Type | Controller Serial Number: LP4527 | Technician | KH |
| Sensor Serial Number | Calibration Value | | |
| LPS3821 | 2204200 | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

This document is to certify that the instrument indicated above has been tested and approved by the Quality Assurance department at METER Group, Inc. USA , and has shown to function properly and to be free of event flaws or defects.

Manufactured in USA

METER Group, Inc. USA
2365 NE Hopkins Court, Pullman, WA 99163
T 509.332.2756 F 509.332.5158
E info@metergroup.com W metergroup.com

ANEXOS

1. Registro fotográfico

Se presenta registro fotográfico de los individuos de Algarrobos obtenidos en abril de 2024.

Serie A



Árbol A04



Árbol A07



Árbol A12



Árbol A17



Árbol A21



Árbol A22



Árbol A30



Árbol A31



Árbol A33



Árbol A36



Árbol A37



Árbol A38



Árbol A40



Árbol A41



Árbol A43



Árbol A44



Árbol A47



Árbol A58

Serie B



Árbol B02



Árbol B03



Árbol B04



Árbol B09



Árbol B10



Árbol B11



Árbol B17



Árbol B20



Árbol B21

Series C, D y AX



Árbol C58



Árbol D28



Árbol AX01



Árbol AX02

2. Modelo lineal generalizado sobre potencial hídrico de pre-alba entre Serie A y Serie B-C

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.001_PHpa_REML<-glms (PHpa~1+Grupo
,weights=varComb (varIdent (form=~1|Grupo))
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data00)
```

Resultados para el modelo: mlm.modelo.001_PHpa_REML

Variable dependiente: PHpa

Medidas de ajuste del modelo

| n | AIC | BIC | logLik | Sigma | R2 | 0 |
|----|-------|-------|--------|-------|------|---|
| 18 | 25.58 | 28.67 | -8.79 | 0.27 | 0.37 | |

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

| | numDF | F-value | p-value |
|-------------|-------|---------|---------|
| (Intercept) | 1 | 472.63 | <0.0001 |
| Grupo | 1 | 8.34 | 0.0107 |

PHpa - Medias ajustadas y errores estándares para Grupo

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

| Grupo | Medias | E.E. |
|-------|--------|------|
|-------|--------|------|

| | | | |
|---|-------|------|---|
| A | -1.61 | 0.09 | A |
|---|-------|------|---|

| | | | |
|---|-------|------|---|
| B | -2.20 | 0.19 | B |
|---|-------|------|---|

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Estructura de varianzas

Modelo de covarianzas de los efectos aleatorios: varIdent

Formula: ~ 1 | Grupo

Parámetros de la función de varianza

| Param | Estim |
|-------|-------|
| A | 1.00 |

B 1.93

3. Análisis de varianza sobre potencial hídrico de mediodía entre Serie A y Serie B-C

Análisis de la varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| PHmd | 17 | 0.18 | 0.13 | 17.84 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------|------|----|------|------|---------|
| Modelo | 0.72 | 1 | 0.72 | 3.36 | 0.0866 |
| Grupo | 0.72 | 1 | 0.72 | 3.36 | 0.0866 |
| Error | 3.21 | 15 | 0.21 | | |
| Total | 3.93 | 16 | | | |

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.4964

Error: 0.2142 gl: 15

| Grupo | Medias | n | E.E. |
|-------|--------|---|--------|
| B | -2.81 | 8 | 0.16 A |
| A | -2.40 | 9 | 0.15 A |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

4. Modelo lineal generalizado sobre conductancia estomática entre Serie A y Serie B-C

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.002_gs_REML<-glms(gs~1+Grupo
,weights=varComb(varIdent(form=~1|Grupo))
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data02)
```

Resultados para el modelo: `mlm.modelo.002_gs_REML`

Variable dependiente: `gs`

Medidas de ajuste del modelo

| n | AIC | BIC | logLik | Sigma | R2 | 0 |
|----|--------|--------|---------|-------|---------|---|
| 28 | 294.62 | 299.66 | -143.31 | 40.23 | 1.7E-03 | |

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

| | numDF | F-value | p-value |
|-------------|-------|---------|---------|
| (Intercept) | 1 | 568.16 | <0.0001 |
| Grupo | 1 | 0.03 | 0.8660 |

gs - Medias ajustadas y errores estándares para Grupo

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

| Grupo | Medias | E.E. |
|-------|--------|---------|
| A | 216.11 | 9.48 A |
| B | 210.73 | 30.14 A |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Estructura de varianzas

Modelo de covarianzas de los efectos aleatorios: `varIdent`

Formula: `~ 1 | Grupo`

Parámetros de la función de varianza

| Param | Estim |
|-------|-------|
| A | 1.00 |
| B | 2.37 |

5. Análisis de varianza sobre potencial hídrico de pre-alba entre árboles aguas arriba y abajo

Análisis de la varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| PHpa | 18 | 0.20 | 0.15 | 24.49 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|------------------------------|------|----|------|------|---------|
| Modelo | 0.85 | 1 | 0.85 | 4.06 | 0.0611 |
| Posición c/respecto tuberí.. | 0.85 | 1 | 0.85 | 4.06 | 0.0611 |
| Error | 3.36 | 16 | 0.21 | | |
| Total | 4.21 | 17 | | | |

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.6678

Error: 0.2097 gl: 16

| Posición c/respecto tuberí.. | Medias | n | E.E. |
|------------------------------|--------|----|--------|
| aguas arriba | -1.97 | 15 | 0.12 A |
| aguas abajo | -1.38 | 3 | 0.26 A |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

6. Análisis de varianza sobre potencial hídrico de mediodía entre árboles aguas arriba y abajo

Análisis de la varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| PHmd | 17 | 0.10 | 0.04 | 18.72 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|------------------------------|------|----|------|------|---------|
| Modelo | 0.40 | 1 | 0.40 | 1.69 | 0.2134 |
| Posición c/respecto tuberí.. | 0.40 | 1 | 0.40 | 1.69 | 0.2134 |
| Error | 3.54 | 15 | 0.24 | | |
| Total | 3.93 | 16 | | | |

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.8401

Error: 0.2357 gl: 15

| Posición c/respecto tuberí.. | Medias | n | E.E. |
|------------------------------|--------|----|--------|
| aguas arriba | -2.65 | 15 | 0.13 A |
| aguas abajo | -2.18 | 2 | 0.34 A |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

7. Análisis de varianza sobre conductancia estomática entre árboles aguas arriba y abajo

Análisis de la varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| gs | 31 | 0.02 | 0.00 | 28.59 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|------------------------------|---------|----|---------|------|---------|
| Modelo | 2501.10 | 1 | 2501.10 | 0.65 | 0.4263 |
| Posición c/respecto tuberí.. | 2501.10 | 1 | 2501.10 | 0.65 | 0.4263 |

| | | | |
|-------|-----------|----|---------|
| Error | 111413.88 | 29 | 3841.86 |
| Total | 113914.99 | 30 | |

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=48.1554

Error: 3841.8580 gl: 29

| Posición c/respecto tuberí.. | Medias | n | E.E. |
|------------------------------|--------|----|---------|
| aguas abajo | 203.81 | 10 | 19.60 A |
| aguas arriba | 223.03 | 21 | 13.53 A |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

8. Modelo lineal generalizado sobre potencial hídrico de pre-alba entre árboles con y sin riego

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.004_PHpa_REML<-glS(PHpa~1+Riego
,weights=varComb(varIdent(form=~1|Riego))
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data03)
```

Resultados para el modelo: mlm.modelo.004_PHpa_REML

Variable dependiente: PHpa

Medidas de ajuste del modelo

| n | AIC | BIC | logLik | Sigma | R2 | 0 |
|----|-------|-------|--------|-------|------|---|
| 18 | 25.58 | 28.67 | -8.79 | 0.27 | 0.37 | |

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

| | numDF | F-value | p-value |
|-------------|-------|---------|---------|
| (Intercept) | 1 | 472.63 | <0.0001 |
| Riego | 1 | 8.34 | 0.0107 |

PHpa - Medias ajustadas y errores estándares para Riego

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Riego Medias E.E.

| | | | |
|----|-------|------|---|
| si | -1.61 | 0.09 | A |
| no | -2.20 | 0.19 | B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Estructura de varianzas

Modelo de covarianzas de los efectos aleatorios: varIdent

Formula: ~ 1 | Riego

Parámetros de la función de varianza

| Param | Estim |
|-------|-------|
| si | 1.00 |
| no | 1.93 |

9. Análisis de varianza sobre potencial hídrico de mediodía entre árboles con y sin riego

Análisis de la varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| PHmd | 17 | 0.18 | 0.13 | 17.84 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------|------|----|------|------|---------|
| Modelo | 0.72 | 1 | 0.72 | 3.36 | 0.0866 |
| Riego | 0.72 | 1 | 0.72 | 3.36 | 0.0866 |
| Error | 3.21 | 15 | 0.21 | | |
| Total | 3.93 | 16 | | | |

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.4964

Error: 0.2142 gl: 15

Riego Medias n E.E.

no -2.81 8 0.16 A

si -2.40 9 0.15 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

10. Modelo lineal generalizado sobre conductancia estomática entre árboles con y sin riego

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.005_gs_REML<-gls(gs~1+Riego
,weights=varComb(varIdent(form=~1|Riego))
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data05)
```

Resultados para el modelo: mlm.modelo.005_gs_REML

Variable dependiente: gs

Medidas de ajuste del modelo

| n | AIC | BIC | logLik | Sigma | R2 | 0 |
|----|--------|--------|---------|-------|---------|---|
| 31 | 327.77 | 333.24 | -159.88 | 41.12 | 2.1E-03 | |

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

| | numDF | F-value | p-value |
|-------------|-------|---------|---------|
| (Intercept) | 1 | 611.22 | <0.0001 |
| Riego | 1 | 0.04 | 0.8338 |

gs - Medias ajustadas y errores estándares para Riego

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Riego Medias E.E.

si 219.03 9.43 A

no 213.35 25.11 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Estructura de varianzas

Modelo de covarianzas de los efectos aleatorios: varIdent

Formula: ~ 1 | Riego

Parámetros de la función de varianza

| Param | Estim |
|-------|-------|
| si | 1.00 |
| no | 2.12 |

11. Resultados de Potencial hídrico en pre-alba

| Árbol | Hora | $\Psi_{pa} 1$ (MPa) | $\Psi_{pa} 2$ (MPa) |
|-------|------|---------------------|---------------------|
| A04 | 6:08 | -0,9 | -1,6 |
| A07 | 6:36 | -1,7 | -1,5 |
| A12 | 6:26 | -1,3 | - |
| A17 | - | - | - |
| A21 | - | - | - |
| A22 | - | - | - |
| A30 | - | - | - |
| A31 | - | - | - |
| A33 | 6:18 | -2,0 | -1,9 |
| A36 | 6:14 | -1,9 | -1,9 |
| A37 | 6:13 | -1,9 | -1,5 |
| A38 | - | - | - |
| A40 | 6:25 | -2,0 | - |
| A41 | - | - | - |
| A43 | - | - | - |
| A44 | 6:30 | -1,5 | - |
| A47 | 6:23 | -1,5 | -1,5 |
| A58 | 6:33 | -1,4 | -1,3 |
| AX01 | - | - | - |
| AX02 | - | - | - |
| B02 | - | - | - |
| B03 | 6:27 | -2,5 | -2,8 |
| B04 | 6:20 | -2,4 | -2,4 |
| B09 | 6:10 | -2,0 | -1,9 |
| B10 | 6:12 | -2,9 | -3,0 |
| B11 | 6:04 | -2,5 | -2,7 |
| B17 | 5:59 | -2,0 | -1,9 |
| B20 | 5:52 | -1,4 | -1,5 |
| B21 | 5:53 | -2,2 | -1,1 |
| C58 | - | - | - |
| D28 | - | - | - |

-: medición no realizada por falta de ramillas.

12. Resultados de Potencial hídrico en mediodía

| Árbol | Hora | $\Psi_{md} 1$ (MPa) | $\Psi_{md} 2$ (MPa) |
|-------|-------|---------------------|---------------------|
| A04 | 12:09 | -1,9 | -1,7 |
| A07 | 12:17 | -2,5 | -2,6 |
| A12 | - | - | - |

| | | | |
|------|-------|------|------|
| A17 | - | - | - |
| A21 | - | - | - |
| A22 | - | - | - |
| A30 | - | - | - |
| A31 | - | - | - |
| A33 | 12:05 | -2,7 | -2,2 |
| A36 | 12:02 | -3,0 | -2,6 |
| A37 | 12:01 | -2,0 | -1,8 |
| A38 | - | - | - |
| A40 | 12:12 | -2,7 | - |
| A41 | - | - | - |
| A43 | - | - | - |
| A44 | 12:15 | -2,9 | - |
| A47 | 12:11 | -2,3 | -2,3 |
| A58 | 12:17 | -2,2 | -2,2 |
| AX01 | - | - | - |
| AX02 | - | - | - |
| B02 | - | - | - |
| B03 | 12:11 | -2,8 | -2,6 |
| B04 | 12:17 | -3,4 | -3,8 |
| B09 | 12:22 | -2,3 | -2,3 |
| B10 | 12:24 | -2,8 | -3,3 |
| B11 | 12:30 | -3,4 | -3,4 |
| B17 | 12:33 | -2,5 | -2,4 |
| B20 | 12:41 | -2,1 | -2,0 |
| B21 | 12:38 | -3,0 | -2,9 |
| C58 | - | - | - |
| D28 | - | - | - |

-: medición no realizada por falta de ramillas.

13. Resultados de Conductancia estomática

| Árbol | Hora | gs (mmol/m ² s ¹) | Árbol | Hora | gs (mmol/m ² s ¹) |
|-------|-------|--|-------|-------|--|
| A04 | 10:12 | 224,1 | A07 | 11:32 | 147,7 |
| | | 236,7 | | | 243,8 |
| | | 233,3 | | | 188,3 |
| | | 279,9 | | | 279,0 |
| A12 | 11:11 | 248,8 | A17 | 10:58 | 109,8 |
| | | 235,7 | | | 185,1 |
| | | 208,1 | | | - |
| | | 165,3 | | | - |

| | | | | | |
|------|-------|-------|------|-------|-------|
| | | 248,3 | | | 181,7 |
| A21 | 10:53 | 152,9 | A22 | 10:47 | 300,1 |
| | | 98,6 | | | 213,1 |
| | | 158,9 | | | - |
| | | 215,8 | | | 139,7 |
| A30 | 10:37 | 149,7 | A31 | 10:33 | 193,4 |
| | | - | | | 225,0 |
| | | - | | | - |
| | | 164,1 | | | 150,5 |
| A33 | 10:26 | 117,6 | A36 | 10:19 | 187,7 |
| | | 190,7 | | | 264,5 |
| | | 130,9 | | | 202,4 |
| | | 253,4 | | | 268,8 |
| A37 | 10:12 | 261,9 | A38 | 10:04 | 197,1 |
| | | 244,6 | | | 299,0 |
| | | 292,4 | | | 139,2 |
| | | 239,4 | | | 185,3 |
| A40 | 10:43 | 242,9 | A41 | 10:53 | 308,3 |
| | | 173,2 | | | 296,4 |
| | | 166,0 | | | - |
| | | 230,8 | | | 194,7 |
| A43 | 11:06 | 325,8 | A44 | 11:00 | 204,4 |
| | | 239,9 | | | 237,1 |
| | | 273,7 | | | 228,3 |
| | | 226,5 | | | 117,5 |
| A47 | 10:36 | 344,1 | A58 | 11:14 | 221,8 |
| | | 260,1 | | | 258,2 |
| | | 325,9 | | | 290,6 |
| | | 311,1 | | | 216,1 |
| AX01 | 11:23 | 224,1 | AX02 | 11:23 | 190,0 |
| | | 198,4 | | | - |
| | | 352,7 | | | - |
| | | 211,9 | | | 187,2 |
| B02 | 10:17 | 158,8 | B03 | 10:32 | 167,7 |
| | | 138,7 | | | 178,9 |
| | | 152,6 | | | 132,0 |
| | | 180,7 | | | 230,6 |
| B04 | 10:45 | 166,0 | B09 | 11:04 | 269,3 |
| | | 157,4 | | | 272,6 |

| | | | | | |
|-----|-------|-------|-----|-------|-------|
| | | 178,0 | | | 298,7 |
| | | 171,4 | | | 168,0 |
| B10 | 10:56 | 174,0 | B11 | 11:12 | 216,4 |
| | | 121,2 | | | 153,0 |
| | | 107,6 | | | 209,8 |
| | | 339,0 | | | 393,4 |
| B17 | 11:22 | 340,9 | B20 | 11:41 | 393,3 |
| | | 345,9 | | | 334,7 |
| | | 292,5 | | | 372,7 |
| | | 254,5 | | | 51,3 |
| B21 | 11:34 | 259,7 | C58 | 10:02 | - |
| | | 278,2 | | | - |
| | | 216,6 | | | - |
| | | 261,9 | | | |
| D28 | 10:22 | 224,8 | | | |
| | | 215,9 | | | |
| | | 296,9 | | | |

-: medición no realizada por falta de hojas.

14. Profesionales involucrados en el desarrollo del informe

Paola Silva C.: Dra. Mg. Cs. Ing. Agr. Investigadora laboratorio SAP.

José Ayamante M.: Ingeniero en Recursos Naturales Renovables a cargo de la toma de datos en terreno, análisis de datos y elaboración de informes.

Sótero Astaburuaga O.: Ingeniero en Recursos Naturales Renovables a cargo de la toma de datos en terreno.