

geobiota

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

Programa de Cumplimiento

Programa de Seguimiento de Flora y vegetación de la quebrada de Camar Región de Antofagasta



geobiota

Anexo 09. Informes trimestrales Potencial hídrico y Conductancia estomática. Universidad de Chile.
GEOB.SQMSL913.INFO26.ANX09.rev(A)

Programa de Cumplimiento: Programa de Seguimiento de Flora y vegetación de la quebrada de Camar. Región de Antofagasta

Rev.	Id	Ejecutor	Revisor	Aprueba	Descripción
A	Nombre	CA			Anexo 09. Informes trimestrales Potencial hídrico y Conductancia estomática. Universidad de Chile.
	Fecha	15.12.2025			



Contenido

- 1.1 Informe de estado hídrico en algarrobo de la quebrada de Camar – julio 2025 1
- 1.2 Informe de estado hídrico en algarrobo de la quebrada de Camar – octubre 2025.....39

1.1 Informe de estado hídrico en algarrobo de la quebrada de Camar - julio 2025



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

Julio 2025

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	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. Análisis de varianza 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	30
4. Análisis de varianza sobre conductancia estomática entre Serie A y Serie B-C.....	31
5. Modelo lineal generalizado sobre potencial hídrico de pre-alba entre árboles aguas arriba y abajo	31
6. Análisis de varianza sobre potencial hídrico de mediodía entre árboles aguas arriba y abajo.....	31
7. Modelo lineal generalizado 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	32

9.	Análisis de varianza sobre potencial hídrico de mediodía entre árboles con y sin riego	33
10.	Análisis de varianza sobre conductancia estomática entre árboles con y sin riego	33
11.	Resultados de Potencial hídrico en pre-alba	33
12.	Resultados de Potencial hídrico en mediodía.....	34
13.	Resultados de Conductancia estomática.....	35
14.	Profesionales involucrados en el desarrollo del informe.....	37

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.....	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 2025.....	16
Figura 6.	Evolución temporal, potencial hídrico de mediodía de las series A y B, desde 2020 a 2025.....	17
Figura 7.	Evolución temporal, conductancia estomática para las series A y B, desde 2020 a 2025.....	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 N°226/2006.

Para dar cumplimiento con el objetivo propuesto, se realizó en el mes de julio 2025 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 resultados obtenidos para este periodo (julio 2025), indicaron que los valores más bajos de potencial hídrico en mediodía y conductancia estomática se presentaron en los árboles de la serie B-C con respecto a los árboles de la serie A, y en los árboles sin riego respecto a los con riego. Por otra parte, el potencial hídrico en pre-alba no mostró diferencias en ninguna de las comparaciones realizadas. Al comparar los algarrobos en relación con su ubicación respecto de la tubería, no se observaron diferencias en ninguna variable.

Al analizar la dinámica temporal, el potencial hídrico de las campañas de octubre fueron los más altos de cada año, lo que fue especialmente notorio en la serie A. Se observó un efecto de la aplicación del riego en los árboles de la serie A, mostrando un mayor potencial hídrico y conductancia estomática que la serie B, en la mayoría de las evaluaciones realizadas desde que comenzó el riego (enero 2023) hasta la actualidad. Por otro lado, se observó que en julio los valores de potencial hídrico de pre-alba y la conductancia estomática son los más bajos de cada año. Finalmente, existen siete árboles que no presentan ramillas ni hojas para medir desde abril de 2024.

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 N°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*, a *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 N°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 hay un 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 Agustín Fuenzalida (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 N°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

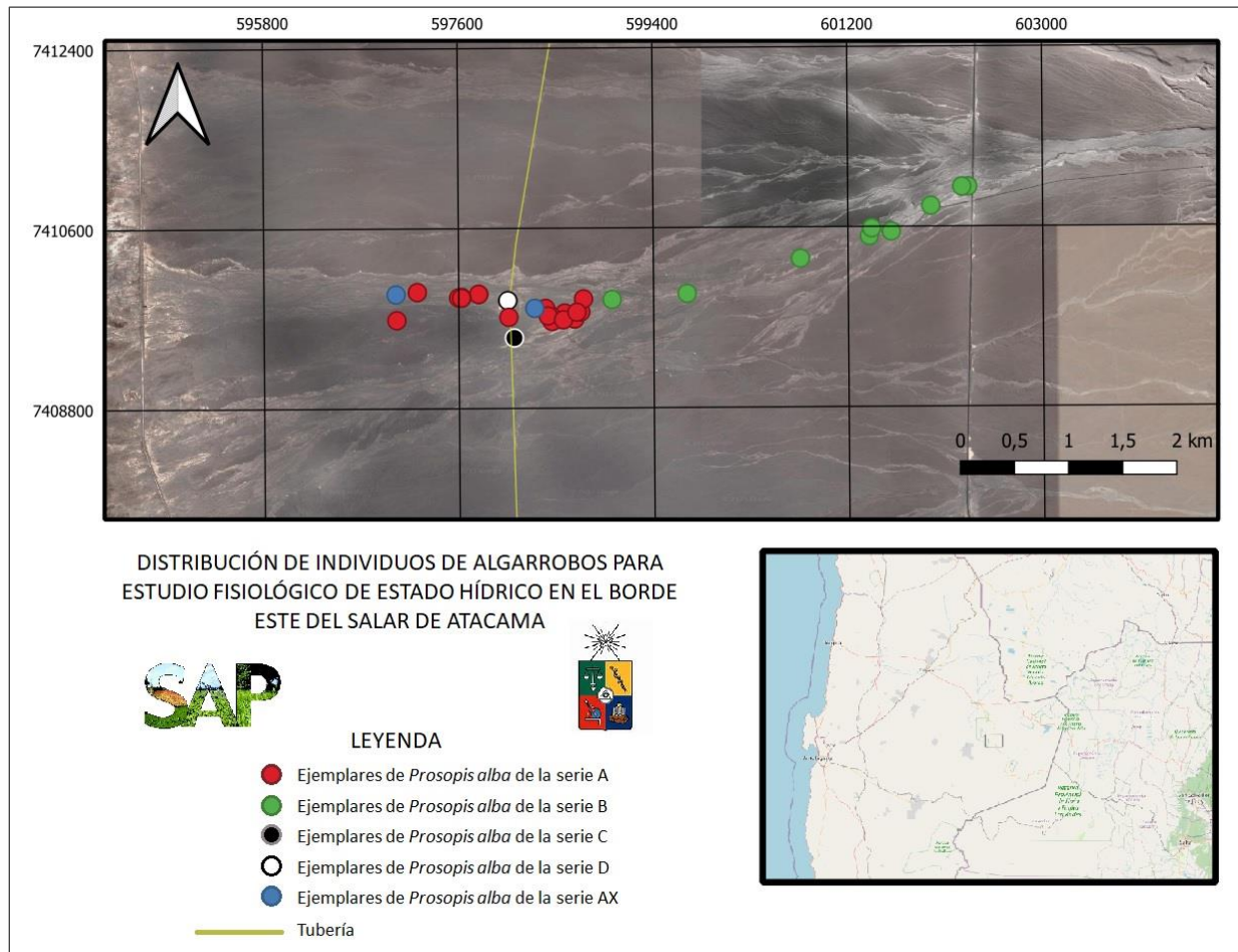
- Medir el potencial hídrico Ψ (MPa) de 31 individuos en muestras vegetales (ramillas) con cámara de presión tipo Scholander en dos momentos, pre-alba y mediodía.
- Medir la conductancia estomática g_s ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de 31 individuos a través de un porómetro de flujo estacionario, 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 50,8 mm, mientras que, la temperatura media anual es de 16,2 °C (INIA, 2025).

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 23 y 25 de julio de 2025. 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

enfoco 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 23 y 25 de julio de 2025.

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

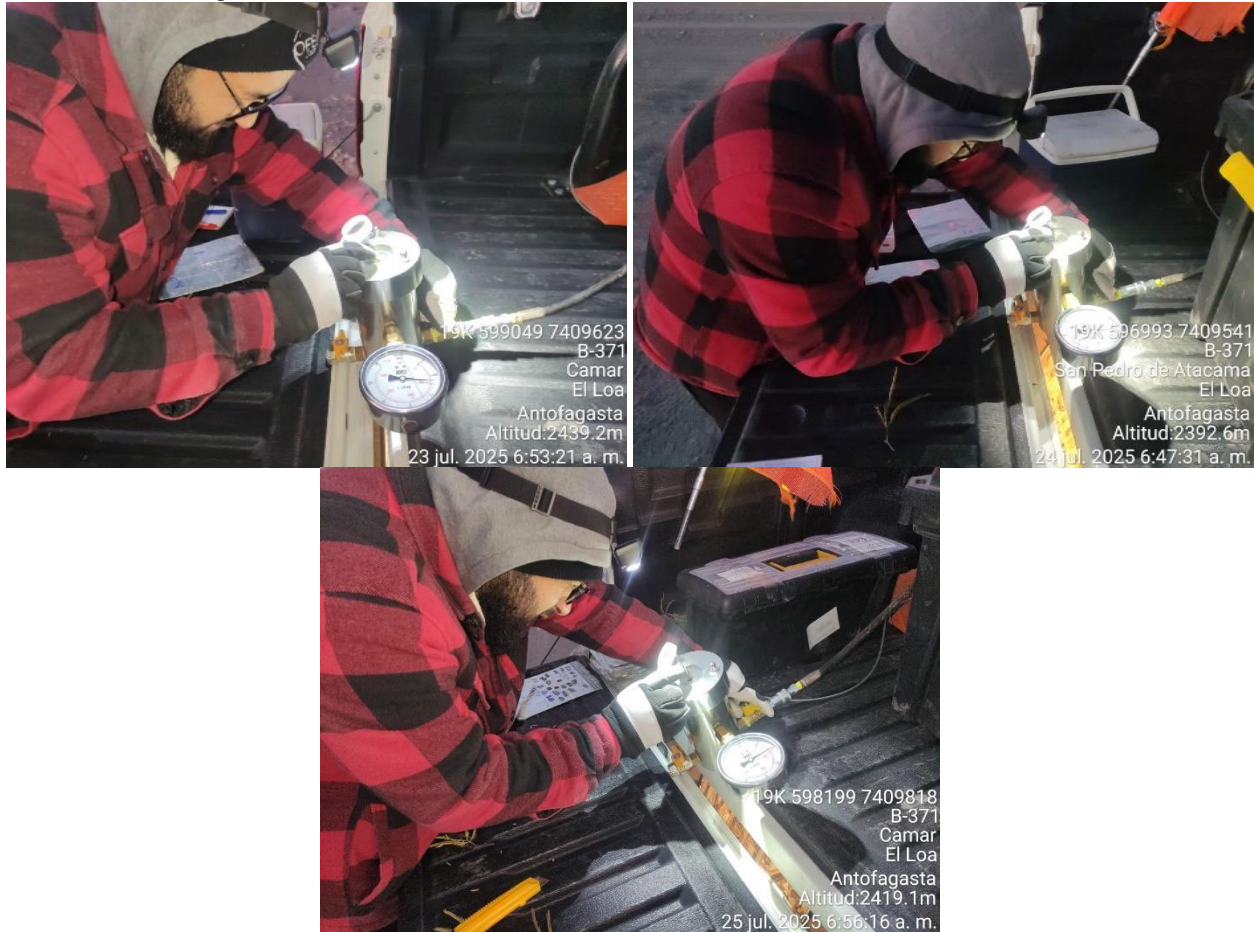


Figura 3. Registro fotográfico mediciones de potencial hídrico de mediodía.



- **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 (g_s) 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 CO_2 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 aproximadamente. 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 23 y 25 de julio de 2025.

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 realizó 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 (Di Rienzo *et al.*, 2011), al 5-10% de probabilidad de error lo que es igual a un nivel de confianza del 95-90%.

Se verificó que se cumpliera con los supuestos de normalidad y homocedasticidad de la varianza. Cuando no se cumplió con el supuesto de normalidad se transformaron los datos a su valor inverso, y cuando no se cumplió con el supuesto de homocedasticidad de la varianza se usó un modelo lineal generalizado heterocedástico. 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 julio de 2025 (Tabla 2). Los valores de la población objetivo (serie A) fluctuaron entre -1,95 y -3,8 MPa en pre-alba (Ψ_{pa}), entre -2,65 y -3,8 MPa en mediodía (Ψ_{md}), y entre 125,15 y 241,033 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en conductancia estomática.

Tabla 2. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (gs) medidos en julio de 2025 en algarrobos de la Quebrada de Camar.

Árbol	Ψ_{pa} (MPa)	Ψ_{md} (MPa)	gs ($\text{mmol/m}^2 \text{s}^{-1}$)	Serie	Posición*	Riego
A04	-3,80	-3,80	151,025	A	Abajo	Si
A07	-1,95	-2,95	183,750	A	Abajo	Si
A12	-2,50	-3,50	241,033	A	Abajo	Si
A17	-	-	125,150	A	Abajo	Si
A21	-	-	-	A	Abajo	Si
A22	-	-	-	A	Abajo	Si
A30	-	-	-	A	Abajo	Si
A31	-	-	-	A	Abajo	Si
A33	-2,50	-3,00	204,300	A	Arriba	Si
A36	-2,30	-3,40	188,900	A	Arriba	Si
A37	-2,35	-2,65	184,350	A	Arriba	Si
A38	-	-	-	A	Arriba	Si
A40	-2,10	-2,65	190,750	A	Arriba	Si
A41	-	-	-	A	Arriba	Si
A43	-3,80	-	227,767	A	Arriba	Si
A44	-2,40	-3,15	196,350	A	Arriba	Si
A47	-2,25	-2,75	166,000	A	Arriba	Si
A58	-2,05	-2,85	183,100	A	Arriba	Si
B02	-	-	212,033	B	Arriba	No
B03	-3,05	-3,90	157,467	B	Arriba	No
B04	-3,30	-3,75	194,900	B	Arriba	No
B09	-2,70	-3,40	171,600	B	Arriba	No
B10	-2,70	-3,75	110,450	B	Arriba	No
B11	-2,45	-3,55	116,125	B	Arriba	No
B17	-2,45	-2,95	183,375	B	Arriba	No
B20	-2,40	-3,25	175,500	B	Arriba	No
B21	-2,40	-3,30	117,125	B	Arriba	No
C58	-	-	135,150	C	Arriba	No
D28	-	-	105,200	D	Abajo	No
AX01	-4,00	-3,80	166,475	AX	Arriba	Si
AX02	-	-	-	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, B02, C58, D28 y AX02 no pudieron ser medidos en pre-alba y mediodía por falta de ramillas, mientras que el árbol A43 no pudo ser medido en mediodía. Por otra parte, no se pudo medir la conductancia estomática en los árboles A21, A22, A30, A31, A38, A41 y AX02.

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 julio de 2025 para los árboles de la serie A y de las series B-C (Tabla 3). Se encontraron diferencias significativas en potencial hídrico de mediodía ($p=0,0279$) y en la conductancia estomática ($p=0,0518$), con los valores más bajos en los árboles de las series B-C ($-3,48$ MPa y $157,37$ $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Por el contrario, no hubo diferencias al comparar el potencial hídrico en pre-alba ($p=0,3041$), alcanzando una media de $-2,60$ MPa.

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 julio de 2025 en algarrobos de la Quebrada de Camar.

Serie	Ψ_{pa} (MPa)	Ψ_{md} (MPa)	gs ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
A	$-2,55 \pm 0,19$ a	$-3,07 \pm 0,12$ a	$186,87 \pm 8,95$ a
B-C	$-2,68 \pm 0,12$ a	$-3,48 \pm 0,11$ b	$157,37 \pm 11,36$ b
Promedio	$-2,60 \pm 0,12$	$-3,25 \pm 0,10$	$173,46 \pm 7,64$

Valores promedio corresponden a las medias ± 1 Error Estándar. Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% (Ψ_{pa} y Ψ_{md}) y 90% (gs) según el test DGC 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 julio de 2025 para los árboles ubicados aguas arriba de la tubería y aguas abajo (Tabla 4). No se encontraron diferencias en ninguna variable, alcanzando valores promedio de $-2,67$ MPa en potencial hídrico en pre-alba ($p=0,9575$), $-3,28$ MPa en potencial hídrico de mediodía ($p=0,5536$) y $170,33$ $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en conductancia estomática ($p=0,5481$).

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 julio de 2025 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	$-2,66 \pm 0,14$ a	$-3,26 \pm 0,11$ a	$172,72 \pm 7,55$ a
Aguas abajo	$-2,75 \pm 0,55$ a	$-3,42 \pm 0,25$ a	$161,23 \pm 23,90$ a
Promedio	$-2,67 \pm 0,13$	$-3,28 \pm 0,10$	$170,33 \pm 7,54$

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 g_s medidos en julio de 2025 para los árboles con y sin riego (Tabla 5). Se encontraron diferencias en potencial hídrico de mediodía ($p=0,0718$) y en conductancia estomática ($p=0,0274$), con los valores más bajos en los algarrobos sin riego ($-3,48$ MPa y $152,63$ $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ respectivamente). No se encontraron diferencias en potencial hídrico en pre-alba ($p=0,9533$), con una media de $-2,67$ MPa.

Tabla 5. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), potencial hídrico de ramilla de mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (g_s) promedios para individuos con y sin riego, medidos en julio de 2025 en algarrobos de la Quebrada de Camar.

Riego	Ψ_{pa} (MPa)	Ψ_{md} (MPa)	g_s ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
Con riego	$-2,67 \pm 0,21$ a	$-3,14 \pm 0,13$ a	$185,30 \pm 8,38$ a
Sin riego	$-2,68 \pm 0,12$ a	$-3,48 \pm 0,11$ b	$152,63 \pm 11,32$ b
Promedio	$-2,67 \pm 0,13$	$-3,28 \pm 0,10$	$170,33 \pm 7,54$

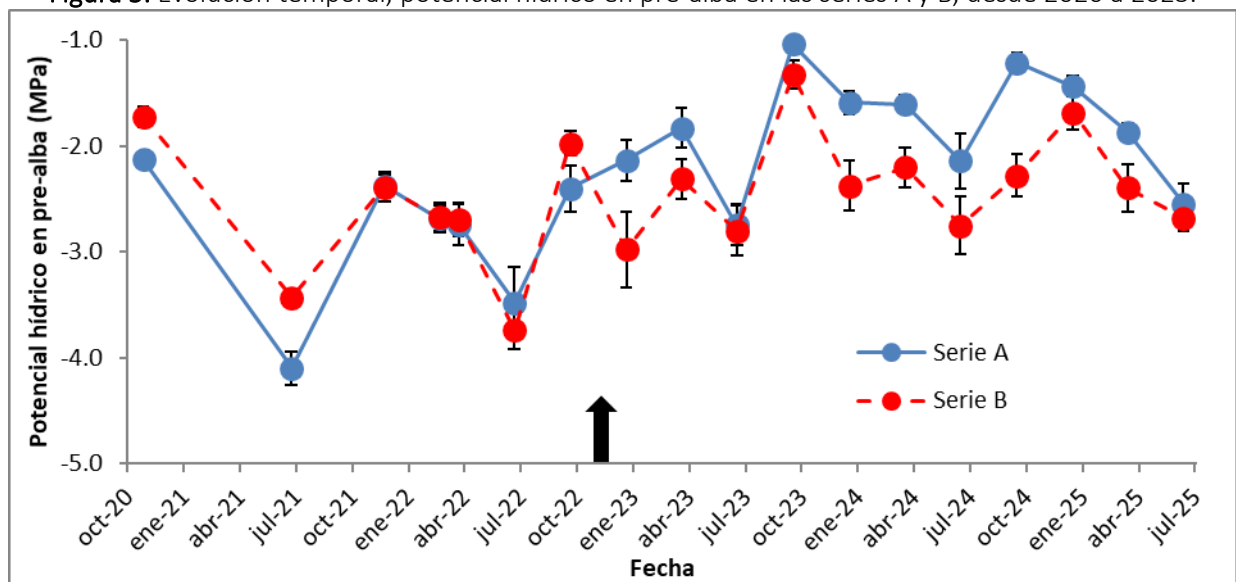
Valores promedio corresponden a las medias ± 1 Error Estándar. Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% (Ψ_{pa} y g_s) y 90% (Ψ_{md}) según el test DGC de separación de medias.

DISCUSIÓN

En las Figuras 5 y 6 se observa la evolución en el tiempo del potencial hídrico en los árboles de la serie A y B (pre-alba y mediodía, respectivamente), desde noviembre de 2020 a julio de 2025. En estas figuras se observa comportamientos similares en ambas mediciones, con valores más altos en potencial de pre-alba. En todos los meses de octubre se alcanzaron los valores más altos de potenciales hídricos de pre-alba de cada año, tanto en la serie A como en la serie B, siendo más notorio en la serie A (regada). Por otra parte, en las campañas de julio se observaron los valores más bajos de potencial hídrico de pre-alba de cada año, tanto en la serie A como en la serie B. Este comportamiento en el potencial hídrico también se presentó en las mediciones realizadas al mediodía en los primeros dos años (2021 y 2022) y en 2025, sin embargo, en 2023 y 2024 este patrón temporal no es tan evidente.

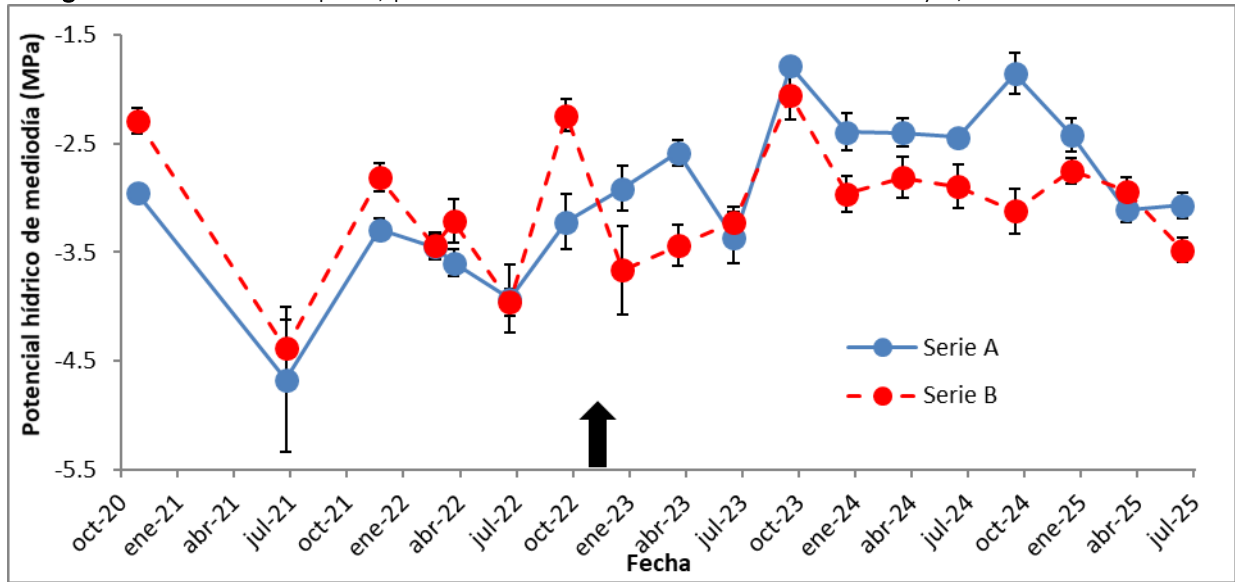
Por otro lado, antes de la aplicación de riego (diciembre 2022) la serie B tuvo valores de potencial hídrico (pre-alba y mediodía) superiores o similares a los de la serie A, lo que se da por el mejor estado hídrico de los árboles B11, B17, B20 y B21. Estos árboles se encuentran distribuidos cercanos 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. Al iniciar el riego de los árboles de la serie A, estos alcanzaron valores superiores a los de la serie B en todas las campañas posteriores, excepto en las mediciones de mediodía de julio de 2023 y abril de 2025, lo que fue provocado por condiciones ambientales de mayor humedad relativa y menor temperatura del aire.

Figura 5. Evolución temporal, potencial hídrico en pre-alba en las series A y B, desde 2020 a 2025.



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.

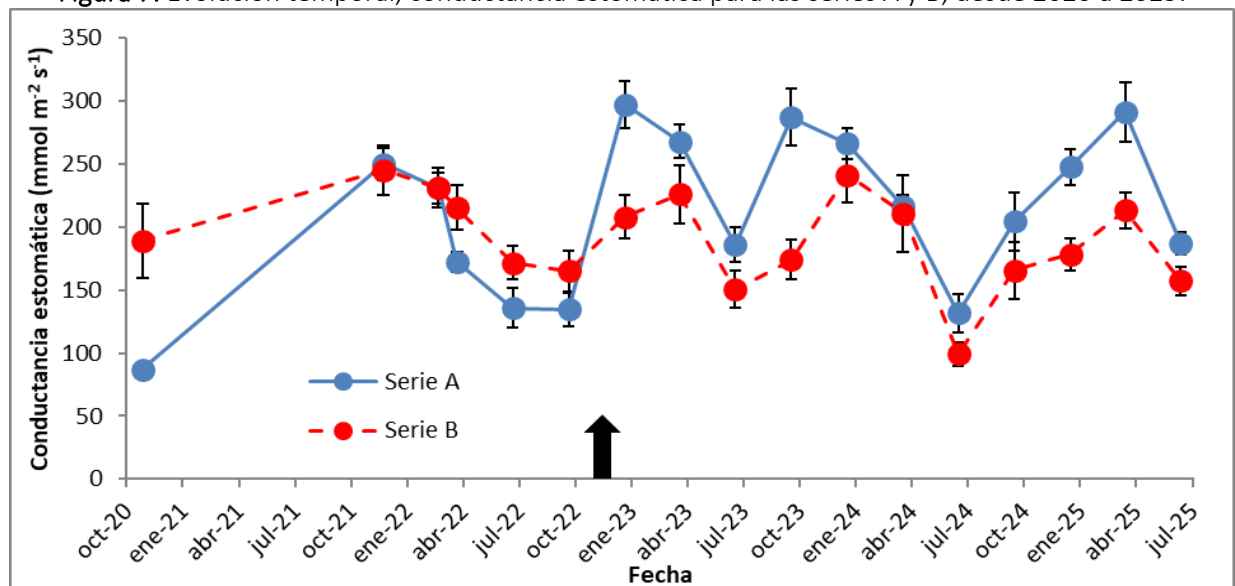
Figura 6. Evolución temporal, potencial hídrico de mediodía de las series A y B, desde 2020 a 2025.



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 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 mar22) a los de la serie A, mientras que, en las últimas once campañas, con la aplicación del riego en la serie A, esta alcanza valores superiores o similares (abr24) a los de la serie B. Los valores de la serie A de enero y octubre de 2023 y abril 2025, son los valores más altos del seguimiento. En 2024 se redujo la diferencia entre la serie A y B, manteniendo la tendencia de mayor conductancia en la serie A, y en 2025 se vuelven a diferenciar. Se observa la tendencia de menor conductancia estomática en las campañas de julio, alcanzando los valores más bajos de cada año.

Figura 7. Evolución temporal, conductancia estomática para las series A y B, desde 2020 a 2025.



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 las tres variables medidas, se observó un cambio en su tendencia después del inicio de la aplicación de riego, observándose que la serie regada (serie A) aumenta su potencial hídrico y su conductancia estomática. Estas diferencias son consistentes con lo observado por Giordano *et al.* (2011), donde árboles de algarrobo con mayor acceso al agua (ubicados en zona de valle) presentan valores más altos de potencial hídrico y de conductancia estomática, diferenciándose de árboles con menor acceso al agua (ubicados sobre duna).

En julio de 2025 los algarrobos ubicados en las proximidades del Ex. pozo Camar-2 presentan una menor cobertura y hojas senescentes, respecto de la campaña anterior, como suele suceder en la época invernal. De esta forma aumentó la cantidad de árboles con baja o nula cobertura (Anexo 1. Registro fotográfico). Esto provocó que en esta campaña existieran individuos de algarrobo que no fueron posibles de evaluar por la inexistencia de ramillas medibles (árboles A17, A21, A22, A30, A31, A38, A41, B02, C58, D28 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 (que se pudo observar en esta campaña), y/o 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}). Es importante señalar, que los árboles A17 y C58 nunca se han podido medir, desde que inició su seguimiento en enero de 2023, debido a su tamaño y escasa o nula producción de ramillas. Así mismo, el árbol AX02 solo ha sido posible medir en dos campañas (abril y julio de 2023). El resto de árboles anteriormente mencionados, presentan varias campañas sin ser medidos, siendo su última medición en julio de 2023 (A22), octubre de 2023 (A21 y A30), enero de 2024 (A31, A38 y A41) y abril de 2025 (B02 y D28).

Por otra parte, en esta campaña se observó una ausencia total de hojas en los árboles, A21, A22, A30, A31, A38, A41 y AX02, lo que imposibilitó la medición de conductancia estomática, lo que se ha repetido en las últimas campañas. La última medición de todos estos árboles se realizó en abril de 2024. Este grupo de árboles serían los que están en mayor riesgo de muerte, al no tener ningún tipo de regeneración, ni de ramillas ni de hojas, como se puede observar en el anexo fotográfico. La mayoría de estos árboles se ubican en el sector aguas abajo de la tubería que atraviesa el área de estudio, por lo que dificulta las comparaciones respecto a este factor.

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 explicaría la falta de hojas observadas en algarrobos en los meses de julio, pero no en los meses de la época estival, lo que podría estar asociado a otros factores, como la escases hídrica o la muerte de los ejemplares.

Al analizar las variables medidas, se observaron diferencias estadísticas en potencial hídrico en mediodía y en conductancia estomática. Esto se observó en las comparaciones entre las series A y B-C y entre los árboles regados y no regados, donde los valores más bajos se presentaron en los árboles de la serie B-C (no regados), con valores de $-3,48$ MPa y $155,00 \pm 2,4$ mmol m⁻² s⁻¹,

respectivamente. Esto demuestra el efecto que tiene la aplicación del riego en las variables al momento de existir una mayor demanda atmosférica.

Por otro lado, en esta campaña no se observaron diferencias respecto de la ubicación de la tubería que cruza la quebrada de norte a sur como se observa en campañas anteriores. Es importante señalar que de los árboles ubicados aguas abajo, solo se pudo medir tres de los diez árboles presentes, lo que dificulta tener una visión más certera del estado hídrico en este sector.

Al observar todos los valores de esta campaña de potencial hídrico en pre-alba, los árboles de la serie A (-2,55 MPa) y con riego (-2,67 MPa), así como los de la serie B-C y sin riego (-2,68 MPa) alcanzaron valores dentro del rango para *Neltuma flexuosa* en zonas de duna, con menor acceso al agua, según lo reportado por Giordano *et al.* (2011). En cuanto a la conductancia estomática, todos los valores observados tanto en las series A y B-C, y en los árboles con o sin riego (entre 152,6 y 186,9 mmol m⁻² s⁻¹), alcanzan un valor cercano al promedio entre lo observado en *Neltuma flexuosa* en zonas de valle y duna, según Giordano *et al.* (2011). Es importante hacer notar que los valores mencionados por dichos autores corresponden a datos tomados en la época estival, los cuales tienden a ser mayores que los valores tomados en el periodo invernal.

Tal y como sucede en campañas anteriores se observan los valores más bajos y más altos de cada año, tanto en potencial hídrico y conductancia estomática, en los meses de julio y octubre, respectivamente. Este cambio temporal es similar al observado en otras especies freatófitas del Desierto de Atacama *Strombocarpa tamarugo* (SAP, 2024) y *Strombocarpa burkartii* (Carevic et al., 2017). El bajo potencial hídrico de julio puede deberse a las bajas temperaturas a las que están sometidos los árboles ese mes, generando alteraciones en el grado de control estomático y a la disminución de la conductividad hidráulica de las raíces (Allen y Ort, 2001), como también mostrar una caída en el potencial hídrico y en el contenido relativo de agua (Vernieri et al., 2001), además puede provocar cavitación del xilema (Hacke y Sauter, 1996) y 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), que pueden provocar pérdidas en el porcentaje de conductividad hidráulica de la planta (Carevic et al., 2017).

CONCLUSIONES

En la campaña de julio de 2025, se evidencia que:

- Se observaron diferencias en potencial hídrico de mediodía y en conductancia estomática al comparar entre las series A y B-C y entre los árboles con y sin riego, con los valores más bajos en la serie B-C y sin riego.
- Al comparar los algarrobos en relación con su ubicación respecto de la tubería no se observaron diferencias.
- El potencial hídrico en pre-alba no muestra diferencias en ninguno de los análisis realizados.

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, lo que es especialmente notorio en la serie A.
- Se observa un efecto de la aplicación del riego en los árboles de la serie A, mostrando un mayor potencial hídrico y conductancia estomática que la serie B, en la mayoría de las evaluaciones realizadas desde que comenzó el riego (enero 2023) hasta la actualidad.
- En julio los valores de potencial hídrico de pre-alba y la conductancia estomática son los más bajos de cada año.
- Los árboles A21, A22, A30, A31, A38, A41 y AX02 no presentan ramillas ni hojas para medir, situación que se repite desde abril de 2024.

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). 2025. Agrometeorología, Red Agrometeorológica INIA, Estación Camar, San Pedro de Atacama. Consultado el 4 de enero de 2025.
- Laboratorio de Relación Suelo-Agua-Planta (SAP). 2024. Informe Proyecto Pampa Hermosa Llamara 2023. 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.

Vernieri, P., Lenzi, A., Figaro, M., Tognoni, F. and Pardossi, A. 2001. How the roots contribute to the ability of *Phaseolus vulgaris* L. to cope with chilling-induced water stress. J. Exp. Bot., 52(364): 2199-2206.

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 julio de 2025.

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. Análisis de varianza sobre potencial hídrico de pre-alba entre Serie A y Serie B-C

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
INV PHpa	19	0.06	0.01	17.21

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.01	1	0.01	1.12	0.3041
Grupo	0.01	1	0.01	1.12	0.3041
Error	0.08	17	4.7E-03		
Total	0.08	18			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.0683

Error: 0.0047 gl: 17

Grupo Medias n E.E.

B -0.38 8 0.02 A

A -0.41 11 0.02 A

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

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	18	0.27	0.22	11.02

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.75	1	0.75	5.85	0.0279
Grupo	0.75	1	0.75	5.85	0.0279
Error	2.06	16	0.13		
Total	2.81	17			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.3582

Error: 0.1285 gl: 16

Grupo Medias n E.E.

A -3.07 10 0.11 A

B -3.48 8 0.13 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	22	0.18	0.13	19.21

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4746.95	1	4746.95	4.28	0.0518
Grupo	4746.95	1	4746.95	4.28	0.0518
Error	22199.15	20	1109.96		
Total	26946.10	21			

Test:DGC Alfa=0.10 PCALT=24.5013

Error: 1109.9576 gl: 20

Grupo Medias n E.E.

A 186.87 12 9.62 A

B 157.37 10 10.54 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.10$)

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
INV PHpa	20	1.6E-04	0.00	19.62

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.7E-05	1	1.7E-05	2.9E-03	0.9575
Posición c/respecto tuberí..	1.7E-05	1	1.7E-05	2.9E-03	0.9575
Error	0.11	18	0.01		
Total	0.11	19			

Test:DGC Alfa=0.10 PCALT=0.0899

Error: 0.0058 gl: 18

Posición c/respecto tuberí.. Medias n E.E.

aguas arriba -0.39 17 0.02 A

aguas abajo -0.39 3 0.04 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	19	0.02	0.00	12.86

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.07	1	0.07	0.37	0.5536
Posición c/respecto tuberí..	0.07	1	0.07	0.37	0.5536
Error	3.03	17	0.18		
Total	3.09	18			

Test:DGC Alfa=0.10 PCALT=0.4962

Error: 0.1780 gl: 17

Posición c/respecto tuberí..	Medias	n	E.E.
aguas arriba	-3.26	16	0.11 A
aguas abajo	-3.42	3	0.24 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	24	0.02	0.00	22.00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		522.61	1	522.61	0.37	0.5481
Posición c/respecto tuberí..		522.61	1	522.61	0.37	0.5481
Error		30896.30	22	1404.38		
Total		31418.91	23			

Test:DGC Alfa=0.10 PCALT=33.0026

Error: 1404.3774 gl: 22

Posición c/respecto tuberí..	Medias	n	E.E.
aguas arriba	172.72	19	8.60 A
aguas abajo	161.23	5	16.76 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.000_PHpa_REML<-gls(PHpa~1+Riego
,weights=varComb(varIdent(form=~1|Riego))
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data00)
```

Resultados para el modelo: mlm.modelo.000_PHpa_REML

Variable dependiente: PHpa

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
20	41.84	45.40	-16.92	0.74	1.5E-04	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	667.02	<0.0001
Riego	1	3.5E-03	0.9533

PHpa - Medias ajustadas y errores estándares para Riego

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Riego	Medias	E.E.
si	-2.67	0.21 A
no	-2.68	0.12 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	0.45

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	19	0.18	0.13	11.78

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.55	1	0.55	3.69	0.0718
Riego	0.55	1	0.55	3.69	0.0718
Error	2.54	17	0.15		
Total	3.09	18			

Test:DGC Alfa=0.10 PCALT=0.3181

Error: 0.1494 gl: 17

Riego Medias n E.E.

si	-3.14	11	0.12	A
no	-3.48	8	0.14	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.10$)

10. Análisis de varianza sobre conductancia estomática entre árboles con y sin riego

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
gs	24	0.20	0.17	19.81

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6361.18	1	6361.18	5.58	0.0274
Riego	6361.18	1	6361.18	5.58	0.0274
Error	25057.74	22	1138.99		
Total	31418.91	23			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=28.5737

Error: 1138.9881 gl: 22

Riego Medias n E.E.

si	185.30	13	9.36	A
no	152.63	11	10.18	B

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

11. Resultados de Potencial hídrico en pre-alba

Árbol	Hora	Ψpa 1 (MPa)	Ψpa 2 (MPa)
A04	6:03	-3,8	-
A07	6:36	-1,9	-2,0

Árbol	Hora	$\Psi_{pa} 1$ (MPa)	$\Psi_{pa} 2$ (MPa)
A12	6:28	-2,5	-
A17	-	-	-
A21	-	-	-
A22	-	-	-
A30	-	-	-
A31	-	-	-
A33	6:11	-2,4	-2,6
A36	6:08	-2,5	-2,1
A37	6:05	-2,4	-2,3
A38	-	-	-
A40	6:08	-2,2	-2,0
A41	-	-	-
A43	6:17	-3,8	-
A44	6:14	-2,6	-2,2
A47	6:05	-2,3	-2,2
A58	6:21	-2,0	-2,1
AX01	6:25	-4,0	-4,0
AX02	-	-	-
B02	-	-	-
B03	6:23	-3,2	-2,9
B04	6:15	-3,1	-3,5
B09	6:08	-2,6	-2,8
B10	6:08	-2,8	-2,6
B11	6:05	-2,5	-2,4
B17	6:00	-2,5	-2,4
B20	5:54	-2,2	-2,6
B21	5:52	-2,2	-2,6
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	12:02	-3,8	-
A07	12:10	-2,7	-3,2
A12	12:17	-3,5	-
A17	-	-	-
A21	-	-	-
A22	-	-	-
A30	-	-	-

Árbol	Hora	$\Psi_{md\ 1}$ (MPa)	$\Psi_{md\ 2}$ (MPa)
A31	-	-	-
A33	12:04	-2,8	-3,2
A36	12:07	-3,6	-3,2
A37	12:09	-2,6	-2,7
A38	-	-	-
A40	12:18	-2,7	-2,6
A41	-	-	-
A43	-	-	-
A44	12:22	-3,1	-3,2
A47	12:15	-2,9	-2,6
A58	12:24	-2,8	-2,9
AX01	12:26	-3,8	-
AX02	-	-	-
B02	-	-	-
B03	12:45	-4,0	-3,8
B04	12:43	-3,8	-3,7
B09	12:32	-3,6	-3,2
B10	12:30	-3,8	-3,7
B11	12:29	-3,5	-3,6
B17	12:24	-3,0	-2,9
B20	12:23	-3,1	-3,4
B21	12:21	-3,4	-3,2
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	10:09	156,3	A07	11:04	195,0
		143,1			190,8
		114,6			133,7
		190,1			215,5
A12	10:47	282,7	A17	10:33	142,4
		161,5			107,9
		278,9			-
		-			-
A21	-	-	A22	-	-
		-			-

Árbol	Hora	gs (mmol/m ² s ¹)	Árbol	Hora	gs (mmol/m ² s ¹)
		-			-
		-			-
A30	-	-	A31	-	-
		-			-
		276,8			165,4
A33	11:43	123,9	A36	11:38	185,9
		212,2			191,9
		204,3			212,4
		133,2			-
A37	11:34	165,9	A38	-	-
		202,8			-
		235,5			-
		169,9			-
A40	11:51	193,0	A41	-	-
		188,5			-
		211,6			-
		255,3			241,1
A43	11:58	142,3	A44	11:55	204,2
		285,7			188,5
		-			151,6
		126,2			83,6
A47	11:48	186,4	A58	12:05	270,8
		145,6			156,8
		205,8			221,2
		81,8			-
AX01	12:10	342,2	AX02	-	-
		86,6			-
		155,3			-
		170,6			186,3
B02	11:37	257,9	B03	11:19	125,4
		207,6			160,7
		-			157,5
		219,5			154,4
B04	11:03	198,3	B09	10:51	188,1
		166,9			161,1
		194,9			182,8
B10	10:42	77,6	B11	10:29	93,2

Árbol	Hora	gs (mmol/m ² s ¹)	Árbol	Hora	gs (mmol/m ² s ¹)
		124,2			95,7
		131,4			139,1
		108,6			136,5
		214,8			201,8
B17	10:20	222,2	B20	10:07	162,5
		117,8			170,7
		178,7			167,0
		101,6			128,2
B21	9:59	132,1	C58	10:01	142,1
		110,3			-
		124,5			-
		109,3			
D28	10:18	101,1			
		-			
		-			

-: 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.

Agustín Fuenzalida D.: Ingeniero Agrónomo a cargo de la toma de datos en terreno.

1.2 Informe de estado hídrico en algarrobo de la quebrada de Camar – octubre 2025



FUNDACIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

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

Octubre 2025

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	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. Análisis de varianza 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	30
4. Análisis de varianza 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.....	31
6. Análisis de varianza sobre potencial hídrico de mediodía entre árboles aguas arriba y abajo.....	31
7. Modelo lineal generalizado sobre conductancia estomática entre árboles aguas arriba y abajo ...	32
8. Análisis de varianza sobre potencial hídrico de pre-alba entre árboles con y sin riego	32
9. Análisis de varianza sobre potencial hídrico de mediodía entre árboles con y sin riego.....	33

10.	Análisis de varianza sobre conductancia estomática entre árboles con y sin riego	33
11.	Resultados de Potencial hídrico en pre-alba	33
12.	Resultados de Potencial hídrico en mediodía.....	34
13.	Resultados de Conductancia estomática.....	35
14.	Profesionales involucrados en el desarrollo del informe.....	37

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.	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 2025.	16
Figura 6.	Evolución temporal, potencial hídrico de mediodía de las series A y B, desde 2020 a 2025.	17
Figura 7.	Evolución temporal, conductancia estomática para las series A y B, desde 2020 a 2025.	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 N°226/2006.

Para dar cumplimiento con el objetivo propuesto, se realizó en el mes de octubre 2025 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 resultados obtenidos para este periodo (octubre 2025), indicaron que los valores más bajos de potencial hídrico en pre-alba y conductancia estomática se presentaron en los árboles de la serie B-C con respecto a los árboles de la serie A, y en los árboles sin riego respecto a los con riego. Por otra parte, el potencial hídrico de mediodía no mostró diferencias al comparar entre las series A y B-C, y entre individuos con y sin riego. Al comparar los algarrobos en relación con su ubicación respecto de la tubería, se observaron diferencias en todas las variables, con los valores más bajos en los árboles ubicados aguas arriba de la tubería, sin embargo, cabe destacar que solo el 30% de los árboles aguas abajo contaron con ramas para medir potencial hídrico y el 50% tuvo hojas para la evaluación de conductancia estomática.

Al analizar la dinámica temporal, el potencial hídrico de las campañas de octubre han sido los más altos de cada año, lo que es especialmente notorio en la serie A. Se observa un efecto de la aplicación del riego en los árboles de la serie A, mostrando un mayor potencial hídrico y conductancia estomática que la serie B, en la mayoría de las evaluaciones realizadas desde que comenzó el riego (enero 2023) hasta la actualidad. Por otro lado, se ha observado que en julio los valores de potencial hídrico de pre-alba y la conductancia estomática son los más bajos de cada año. Finalmente, existen siete árboles que no presentan ramillas ni hojas para medir desde abril de 2024.

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 N°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*, a *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 N°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 hay un 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 Agustín Fuenzalida (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 N°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

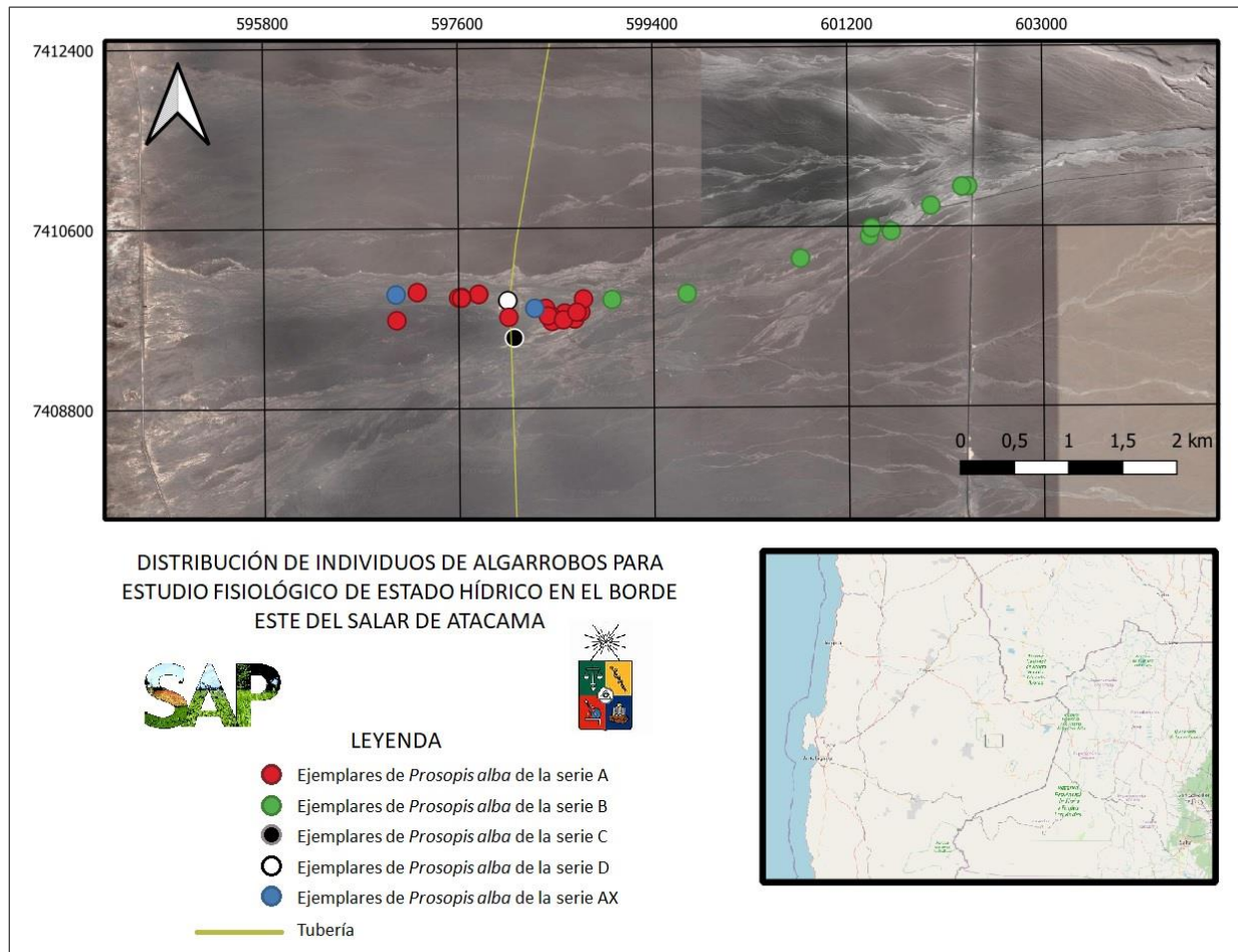
- Medir el potencial hídrico Ψ (MPa) de 31 individuos en muestras vegetales (ramillas) con cámara de presión tipo Scholander en dos momentos, pre-alba y mediodía.
- Medir la conductancia estomática g_s ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de 31 individuos a través de un porómetro de flujo estacionario, 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 50,8 mm, mientras que, la temperatura media anual es de 16,2 °C (INIA, 2025).

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 23 y 25 de julio de 2025. 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 22 y 24 de octubre de 2025.

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

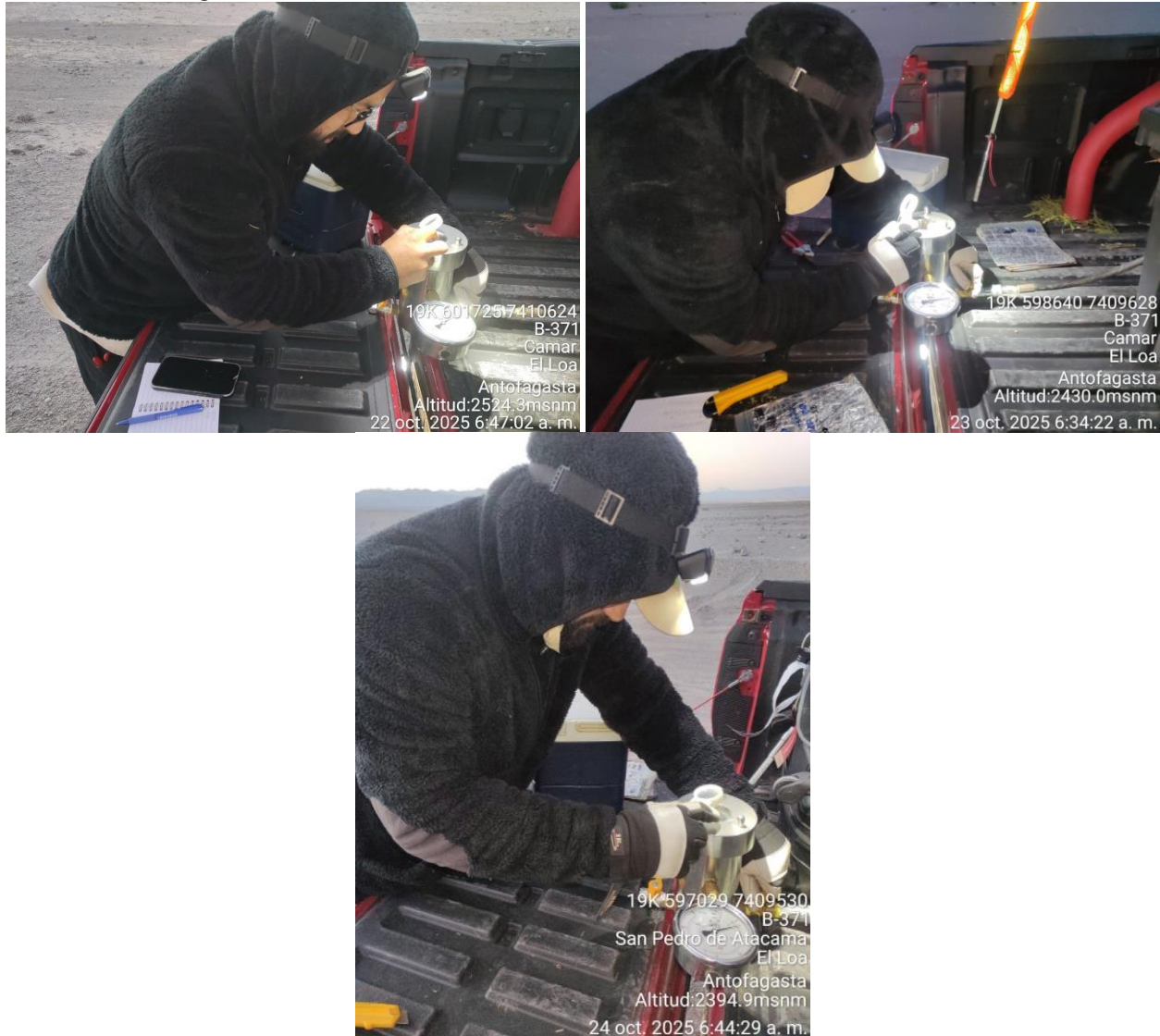


Figura 3. Registro fotográfico mediciones de potencial hídrico de mediodía.



- **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 (g_s) 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 CO_2 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 aproximadamente. 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 22 y 24 de octubre de 2025.

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 realizó 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 LSD-Fisher (Di Rienzo *et al.*, 2011), al 5% de probabilidad de error lo que es igual a un nivel de confianza del 95%.

Se verificó que se cumpliera con los supuestos de normalidad y homocedasticidad de la varianza. Cuando no se cumplió con el supuesto de normalidad se transformaron los datos a su valor inverso, y cuando no se cumplió con el supuesto de homocedasticidad de la varianza se usó un modelo lineal generalizado heterocedástico. 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 octubre de 2025 (Tabla 2). Los valores de la población objetivo (serie A) fluctuaron entre -0,8 y -1,45 MPa en pre-alba (Ψ_{pa}), entre -1,25 y -2,2 MPa en mediodía (Ψ_{md}), y entre 113,425 y 351,925 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en conductancia estomática.

Tabla 2. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (gs) medidos en octubre de 2025 en algarrobos de la Quebrada de Camar.

Árbol	Ψ_{pa} (MPa)	Ψ_{md} (MPa)	gs ($\text{mmol/m}^2 \text{s}^{-1}$)	Serie	Posición*	Riego
A04	-0,95	-1,25	293,625	A	Abajo	Si
A07	-0,80	-1,60	173,200	A	Abajo	Si
A12	-0,90	-1,25	321,525	A	Abajo	Si
A17	-	-	351,925	A	Abajo	Si
A21	-	-	-	A	Abajo	Si
A22	-	-	-	A	Abajo	Si
A30	-	-	-	A	Abajo	Si
A31	-	-	-	A	Abajo	Si
A33	-1,45	-2,20	199,175	A	Arriba	Si
A36	-1,35	-1,95	134,175	A	Arriba	Si
A37	-1,25	-2,15	113,425	A	Arriba	Si
A38	-	-	-	A	Arriba	Si
A40	-1,15	-1,90	192,375	A	Arriba	Si
A41	-	-	-	A	Arriba	Si
A43	-0,90	-1,70	224,425	A	Arriba	Si
A44	-1,25	-2,15	144,925	A	Arriba	Si
A47	-1,25	-2,05	187,800	A	Arriba	Si
A58	-1,35	-1,90	118,975	A	Arriba	Si
B02	-1,70	-1,80	142,300	B	Arriba	No
B03	-1,80	-3,00	99,675	B	Arriba	No
B04	-1,85	-1,85	97,350	B	Arriba	No
B09	-1,60	-1,85	135,700	B	Arriba	No
B10	-2,05	-2,65	94,000	B	Arriba	No
B11	-1,60	-1,90	78,200	B	Arriba	No
B17	-1,60	-1,75	170,225	B	Arriba	No
B20	-1,55	-1,75	179,300	B	Arriba	No
B21	-1,55	-1,90	149,050	B	Arriba	No
C58	-	-	-	C	Arriba	No
D28	-	-	186,075	D	Abajo	No
AX01	-1,50	-1,60	185,175	AX	Arriba	Si
AX02	-	-	-	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, C58, D28 y AX02 no pudieron ser medidos en pre-alba y mediodía por falta de ramillas. Por otra parte, no se pudo medir la conductancia estomática en los árboles A21, A22, A30, A31, A38, A41, C58 y AX02.

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 octubre de 2025 para los árboles de la serie A y de las series B-C (Tabla 3). Se encontraron diferencias significativas en potencial hídrico de pre-alba ($p < 0,0001$) y en la conductancia estomática ($p = 0,0140$), con los valores más bajos en los árboles de las series B-C ($-1,70$ MPa y $127,31 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Por otra parte, no hubo diferencias al comparar el potencial hídrico de mediodía ($p = 0,2240$), alcanzando una media de $-1,93$ MPa.

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 octubre de 2025 en algarrobos de la Quebrada de Camar.

Serie	Ψ_{pa} (MPa)	Ψ_{md} (MPa)	gs ($\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
A	$-1,15 \pm 0,07$ a	$-1,83 \pm 0,10$ a	$204,63 \pm 22,91$ a
B-C	$-1,70 \pm 0,06$ b	$-2,05 \pm 0,15$ a	$127,31 \pm 12,07$ b
Promedio	$-1,40 \pm 0,08$	$-1,93 \pm 0,09$	$171,49 \pm 16,22$

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 DGC 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 octubre de 2025 para los árboles ubicados aguas arriba de la tubería y aguas abajo (Tabla 4). Se encontraron diferencias en Ψ_{pa} ($p = 0,0016$), Ψ_{md} ($p = 0,0001$) y gs ($p = 0,0048$), alcanzando los valores más bajos en los árboles ubicados aguas arriba ($-1,49$ MPa, $-2,00$ MPa y $147,01 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente).

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 octubre de 2025 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	$-1,49 \pm 0,07$ b	$-2,00 \pm 0,08$ b	$147,01 \pm 9,90$ b
Aguas abajo	$-0,88 \pm 0,04$ a	$-1,37 \pm 0,12$ a	$265,27 \pm 36,21$ a
Promedio	$-1,40 \pm 0,07$	$-1,91 \pm 0,09$	$172,72 \pm 14,81$

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 (Ψ_{pa} y Ψ_{md}) y LSD-Fisher (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 octubre de 2025 para los árboles con y sin riego (Tabla 5). Se encontraron diferencias en potencial hídrico de pre-alba ($p < 0,0001$) y en conductancia estomática ($p = 0,0153$), con los valores más bajos en los algarrobos sin riego ($-1,70$ MPa y $133,19$ $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ respectivamente). No se encontraron diferencias en potencial hídrico de mediodía ($p = 0,1721$), con una media de $-1,91$ MPa.

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 octubre de 2025 en algarrobos de la Quebrada de Camar.

Riego	Ψ_{pa} (MPa)	Ψ_{md} (MPa)	gs ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
Con riego	$-1,18 \pm 0,07$ a	$-1,81 \pm 0,10$ a	$203,13 \pm 21,13$ a
Sin riego	$-1,70 \pm 0,06$ b	$-2,05 \pm 0,15$ a	$133,19 \pm 12,29$ b
Promedio	$-1,40 \pm 0,07$	$-1,91 \pm 0,09$	$172,72 \pm 14,81$

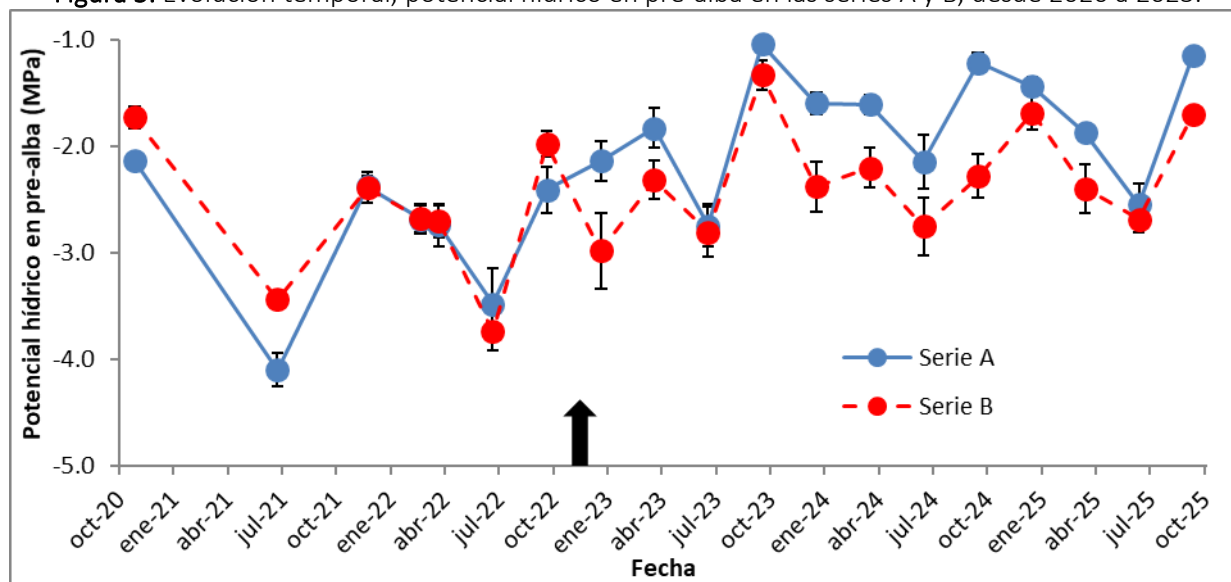
Valores promedio corresponden a las medias ± 1 Error Estándar. Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% según el test DGC de separación de medias.

DISCUSIÓN

En las Figuras 5 y 6 se observa la evolución en el tiempo del potencial hídrico en los árboles de la serie A y B (pre-alba y mediodía, respectivamente), desde noviembre de 2020 a octubre de 2025. En estas figuras se observa comportamientos similares en ambas mediciones, con valores más altos en potencial de pre-alba. En todos los meses de octubre se alcanzaron los valores más altos de potenciales hídricos de pre-alba de cada año, tanto en la serie A como en la serie B, siendo más notorio en la serie A (regada). Por otra parte, en las campañas de julio se observaron los valores más bajos de potencial hídrico de pre-alba de cada año, tanto en la serie A como en la serie B. Este comportamiento en el potencial hídrico también se presentó en las mediciones realizadas al mediodía en los primeros dos años (2021 y 2022) y en 2025, sin embargo, en 2023 y 2024 este patrón temporal no es tan evidente.

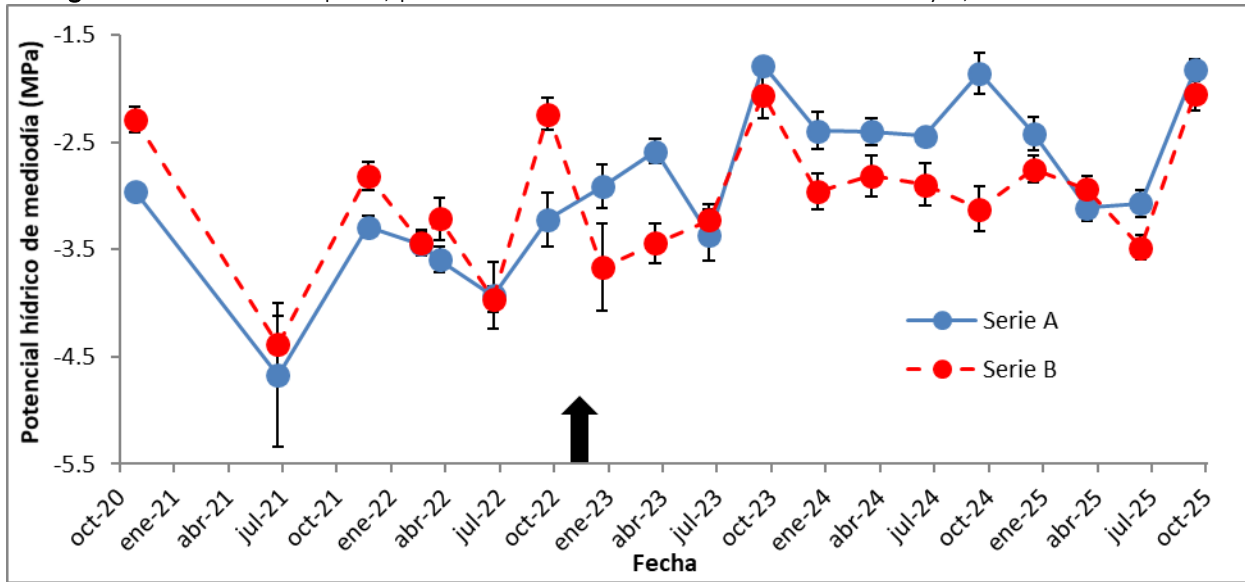
Por otro lado, antes de la aplicación de riego (diciembre 2022) la serie B tuvo valores de potencial hídrico (pre-alba y mediodía) superiores o similares a los de la serie A, lo que se da por el mejor estado hídrico de los árboles B11, B17, B20 y B21. Estos árboles se encuentran distribuidos cercanos 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. Al iniciar el riego de los árboles de la serie A, estos alcanzaron valores superiores a los de la serie B en todas las campañas posteriores, excepto en las mediciones de mediodía de julio de 2023 y abril de 2025, lo que fue provocado por condiciones ambientales de mayor humedad relativa y menor temperatura del aire.

Figura 5. Evolución temporal, potencial hídrico en pre-alba en las series A y B, desde 2020 a 2025.



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.

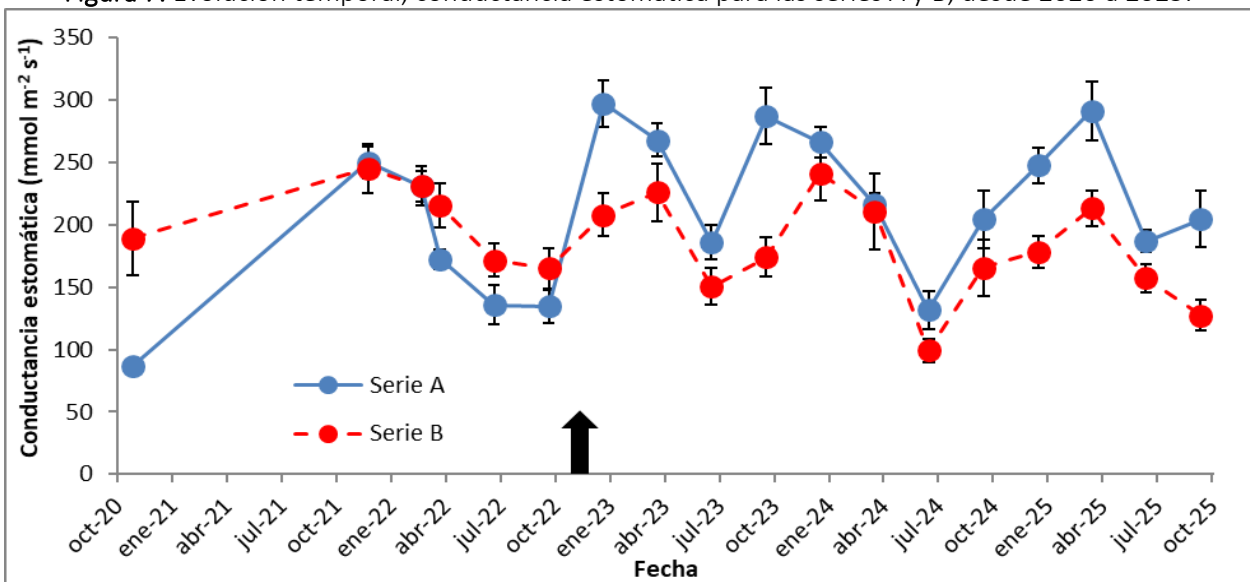
Figura 6. Evolución temporal, potencial hídrico de mediodía de las series A y B, desde 2020 a 2025.



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 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 mar22) a los de la serie A, mientras que, en las últimas doce campañas, con la aplicación del riego en la serie A, esta alcanza valores superiores o similares (abr24) a los de la serie B. Los valores de la serie A de enero y octubre de 2023 y abril 2025, son los valores más altos del seguimiento. En 2024 se redujo la diferencia entre la serie A y B, manteniendo la tendencia de mayor conductancia en la serie A, y en 2025 se vuelven a diferenciar. Se observa la tendencia de menor conductancia estomática en las campañas de julio (excepto en 2025 en la serie B), alcanzando los valores más bajos de cada año.

Figura 7. Evolución temporal, conductancia estomática para las series A y B, desde 2020 a 2025.



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 las tres variables medidas, se observó un cambio en su tendencia después del inicio de la aplicación de riego, observándose que la serie regada (serie A) aumenta su potencial hídrico y su conductancia estomática. Estas diferencias son consistentes con lo observado por Giordano *et al.* (2011), donde árboles de algarrobo con mayor acceso al agua (ubicados en zona de valle) presentan valores más altos de potencial hídrico y de conductancia estomática, diferenciándose de árboles con menor acceso al agua (ubicados sobre duna).

En octubre de 2025 los algarrobos ubicados en las proximidades del Ex. pozo Camar-2 presentan una mayor cobertura, respecto de la campaña anterior, como suele suceder en el mes de octubre. De esta forma disminuyó la cantidad de árboles con baja o nula cobertura (Anexo 1. Registro fotográfico). Sin embargo, igual existieron individuos de algarrobo que no fue posible evaluar por la inexistencia de ramillas medibles (árboles A17, A21, A22, A30, A31, A38, A41, C58, D28 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/o 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}). Es importante señalar, que los árboles A17 y C58 nunca se han podido medir, desde que inició su seguimiento en enero de 2023, debido a su tamaño y escasa o nula producción de ramillas. Así mismo, el árbol AX02 solo ha sido posible medir en dos campañas (abril y julio de 2023). El resto de los árboles anteriormente mencionados, presentan varias campañas sin ser medidos, siendo su última medición en julio de 2023 (A22), octubre de 2023 (A21 y A30), enero de 2024 (A31, A38 y A41) y abril de 2025 (D28).

Por otra parte, en esta campaña se observó una ausencia total de hojas en los árboles, A21, A22, A30, A31, A38, A41, C58 y AX02, lo que imposibilitó la medición de conductancia estomática, lo que se ha repetido en las últimas campañas. La última medición de todos estos árboles se realizó en abril de 2024 (excepto C58 que se realizó en julio de 2025). Este grupo de árboles serían los que están en mayor riesgo de muerte, al no tener ningún tipo de regeneración, ni de ramillas ni de hojas, como se puede observar en el anexo fotográfico. La mayoría de estos árboles se ubican en el sector aguas abajo de la tubería que atraviesa el área de estudio, por lo que dificulta las comparaciones respecto a este factor.

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 explicaría la falta de hojas observadas en algarrobos en los meses de julio, pero no en los meses de la época estival, lo que podría estar asociado a otros factores, como la escases hídrica o la muerte de los ejemplares.

Al analizar las variables medidas, se observaron diferencias estadísticas en potencial hídrico en pre-alba y en conductancia estomática. Esto se observó en las comparaciones entre las series A y B-C y entre los árboles regados y no regados, donde los valores más bajos se presentaron en los árboles de la serie B-C (no regados), con valores de $-1,70$ MPa y $130,25 \pm 2,9$ mmol m⁻² s⁻¹,

respectivamente. Esto demuestra el efecto que tiene la aplicación del riego, lo que se expresa en el momento en que el potencial hídrico xilemático está en equilibrio con el potencial hídrico del suelo, y en el intercambio gaseoso. Sin embargo, estas diferencias no se expresan al momento de mayor demanda atmosférica.

Contrario a lo observado en campañas anteriores, en esta campaña se observaron diferencias respecto de la ubicación de la tubería que cruza la quebrada de norte a sur. Es importante señalar que de los árboles ubicados aguas abajo, solo se pudo medir el potencial hídrico en tres de los diez árboles presentes y solo en cinco árboles se pudo medir la conductancia estomática, lo que dificulta tener una visión más certera del estado hídrico en este sector.

Al observar todos los valores de esta campaña de potencial hídrico en pre-alba, los árboles de la serie A (-1,15 MPa) y con riego (-1,18 MPa), alcanzaron valores inferiores a lo observado en *Neltuma flexuosa* en zonas de valle, por lo que tendría un mejor estado hídrico que el señalado por Giordano *et al.* (2011). Mientras que los valores de la serie B-C y sin riego (-1,70 MPa) alcanzaron valores dentro del rango para *Neltuma flexuosa* en zonas de valle, según lo reportado por Giordano *et al.* (2011). Esto indica que el riego generó un buen estado hídrico en el mes de octubre. En cuanto a la conductancia estomática, todos los valores observados tanto en las series A y B-C, y en los árboles con o sin riego (entre 127,3 y 204,6 mmol m⁻² s⁻¹), alcanzan un valor cercano al promedio entre lo observado en *Neltuma flexuosa* en zonas de valle, según Giordano *et al.* (2011). Es importante hacer notar que los valores mencionados por dichos autores corresponden a datos tomados en la época estival.

Al poner atención a la dinámica temporal, se observan los valores más bajos y más altos de cada año, tanto en potencial hídrico y conductancia estomática, en los meses de julio y octubre, respectivamente. Este cambio temporal es similar al observado en otras especies freatófitas del Desierto de Atacama *Strombocarpa tamarugo* (SAP, 2024) y *Strombocarpa burkartii* (Carevic et al., 2017). El bajo potencial hídrico de julio puede deberse a las bajas temperaturas a las que están sometidos los árboles ese mes, generando alteraciones en el grado de control estomático (Allen y Ort, 2001) como también mostrar una caída en el potencial hídrico (Vernieri et al., 2001). Las bajas temperaturas también podrían provocar una disminución de la conductividad hidráulica de las raíces (Allen y Ort, 2001), y una caída en el contenido relativo de agua (Vernieri et al., 2001), además puede provocar cavitación del xilema (Hacke y Sauter, 1996) y 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), que pueden provocar pérdidas en el porcentaje de conductividad hidráulica de la planta (Carevic et al., 2017).

CONCLUSIONES

En la campaña de octubre de 2025, se evidencia que:

- Se observan diferencias en potencial hídrico en pre-alba y en conductancia estomática entre las series A y B-C y entre los árboles con y sin riego, con los valores más bajos en la serie B-C y sin riego.
- Al comparar los algarrobos en relación con su ubicación respecto de la tubería, se observaron diferencias en todas las variables, con los valores más bajos en los árboles ubicados aguas arriba de la tubería, sin embargo, cabe destacar que solo el 30% de los árboles aguas abajo contaron con ramas para medir potencial hídrico y el 50% tuvo hojas para la evaluación de conductancia estomática.

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, lo que es especialmente notorio en la serie A.
- Se observa un efecto de la aplicación del riego en los árboles de la serie A, mostrando un mayor potencial hídrico y conductancia estomática que la serie B, en la mayoría de las evaluaciones realizadas desde que comenzó el riego (enero 2023) hasta la actualidad.
- En julio los valores de potencial hídrico de pre-alba y la conductancia estomática son los más bajos de cada año.
- Los árboles A21, A22, A30, A31, A38, A41 y AX02 no presentan ramillas ni hojas para medir, situación que se repite desde abril de 2024.

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). 2025. Agrometeorología, Red Agrometeorológica INIA, Estación Camar, San Pedro de Atacama. Consultado el 4 de enero de 2025.
- Laboratorio de Relación Suelo-Agua-Planta (SAP). 2024. Informe Proyecto Pampa Hermosa Llamara 2023. 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.

Vernieri, P., Lenzi, A., Figaro, M., Tognoni, F. and Pardossi, A. 2001. How the roots contribute to the ability of *Phaseolus vulgaris* L. to cope with chilling-induced water stress. J. Exp. Bot., 52(364): 2199-2206.

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 octubre de 2025.

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. Análisis de varianza sobre potencial hídrico de pre-alba entre Serie A y Serie B-C

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
PHpa	20	0.68	0.66	14.31

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.52	1	1.52	38.20	<0.0001
Grupo	1.52	1	1.52	38.20	<0.0001
Error	0.72	18	0.04		
Total	2.24	19			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.1876

Error: 0.0398 gl: 18

Grupo Medias n E.E.

A -1.15 11 0.06 A

B -1.70 9 0.07 B

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

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	0.08	0.03	20.41

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.25	1	0.25	1.59	0.2240
Grupo	0.25	1	0.25	1.59	0.2240
Error	2.79	18	0.15		
Total	3.03	19			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.3697

Error: 0.1548 gl: 18

Grupo Medias n E.E.

A -1.83 11 0.12 A

B -2.05 9 0.13 A

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	21	0.28	0.24	37.79

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	30744.42	1	30744.42	7.32	0.0140
Grupo	30744.42	1	30744.42	7.32	0.0140
Error	79801.99	19	4200.10		
Total	110546.41	20			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=60.8913

Error: 4200.1048 gl: 19

Grupo Medias n E.E.

A 204.63 12 18.71 A

B 127.31 9 21.60 B

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

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	21	0.42	0.38	18.80

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.93	1	0.93	13.49	0.0016
Posición c/respecto tuberí..	0.93	1	0.93	13.49	0.0016
Error	1.32	19	0.07		
Total	2.25	20			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.3838

Error: 0.0692 gl: 19

Posición c/respecto tuberí.. Medias n E.E.

aguas abajo -0.88 3 0.15 A

aguas arriba -1.49 18 0.06 B

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
INV PHmd	21	0.56	0.53	13.91

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.14	1	0.14	23.96	0.0001
Posición c/respecto tuberí..	0.14	1	0.14	23.96	0.0001
Error	0.11	19	0.01		
Total	0.25	20			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.1103

Error: 0.0057 gl: 19

Posición c/respecto tuberí..	Medias	n	E.E.	
aguas arriba	-0.51	18	0.02	A
aguas abajo	-0.74	3	0.04	B

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

7. Modelo lineal generalizado sobre conductancia estomática entre árboles aguas arriba y abajo

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.001_gs_REML<-glS(gs~1+Posicion.c.respecto.tuberia
,weights=varComb(varIdent(form=~1|Posicion.c.respecto.tuberia))
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data00)
```

Resultados para el modelo: mlm.modelo.001_gs_REML

Variable dependiente: gs

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
23	234.31	238.49	-113.16	80.97	0.49	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	264.46	<0.0001
Posicion.c.respecto.tuberi..	1	9.92	0.0048

gs - 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	265.27	36.21	A
aguas arriba	147.01	9.90	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	0.52

8. Análisis de varianza sobre potencial hídrico de pre-alba entre árboles con y sin riego

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
PHpa	21	0.63	0.61	14.95

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.42	1	1.42	32.35	<0.0001
Riego	1.42	1	1.42	32.35	<0.0001

Error 0.83 19 0.04
 Total 2.25 20

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.1967

Error: 0.0438 gl: 19

Riego Medias n E.E.

si -1.18 12 0.06 A

no -1.70 9 0.07 B

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

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

Análisis de la varianza

Variable N R² R² Aj CV
 PHmd 21 0.10 0.05 20.20

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.30	1	0.30	2.01	0.1721
Riego	0.30	1	0.30	2.01	0.1721
Error	2.83	19	0.15		
Total	3.13	20			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.3629

Error: 0.1492 gl: 19

Riego Medias n E.E.

si -1.81 12 0.11 A

no -2.05 9 0.13 A

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

10. Análisis de varianza sobre conductancia estomática entre árboles con y sin riego

Análisis de la varianza

Variable N R² R² Aj CV
 gs 23 0.25 0.21 36.46

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	27652.30	1	27652.30	6.97	0.0153
Riego	27652.30	1	27652.30	6.97	0.0153
Error	83259.22	21	3964.72		
Total	110911.52	22			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=56.0057

Error: 3964.7247 gl: 21

Riego Medias n E.E.

si 203.13 13 17.46 A

no 133.19 10 19.91 B

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

11. Resultados de Potencial hídrico en pre-alba

Árbol	Hora	Ψpa 1 (MPa)	Ψpa 2 (MPa)
A04	6:10	-1,0	-0,9
A07	6:37	-0,9	-0,7

A12	6:28	-0,9	-
A17	-	-	-
A21	-	-	-
A22	-	-	-
A30	-	-	-
A31	-	-	-
A33	6:43	-1,5	-1,4
A36	6:41	-1,3	-1,4
A37	6:38	-1,4	-1,1
A38	-	-	-
A40	6:29	-1,2	-1,1
A41	-	-	-
A43	6:20	-0,9	-
A44	6:17	-1,1	-1,4
A47	6:32	-1,2	-1,3
A58	6:10	-1,4	-1,3
AX01	6:06	-1,5	-
AX02	-	-	-
B02	6:07	-1,7	-
B03	6:15	-1,8	-1,8
B04	6:23	-1,9	-1,8
B09	6:30	-1,6	-1,6
B10	6:30	-2,1	-2,0
B11	6:33	-1,5	-1,7
B17	6:38	-1,6	-1,6
B20	6:44	-1,7	-1,4
B21	6:42	-1,7	-1,4
C58	-	-	-
D28	-	-	-

-: medición no realizada por falta de ramillas.

12. Resultados de Potencial hídrico en mediodía

Árbol	Hora	Ψ_{md} 1 (MPa)	Ψ_{md} 2 (MPa)
A04	12:26	-1,3	-1,2
A07	11:58	-1,7	-1,5
A12	12:10	-1,3	-1,2
A17	-	-	-
A21	-	-	-
A22	-	-	-
A30	-	-	-
A31	-	-	-

A33	12:15	-2,1	-2,3
A36	12:18	-1,8	-2,1
A37	12:20	-2,0	-2,3
A38	-	-	-
A40	12:30	-1,9	-1,9
A41	-	-	-
A43	12:34	-1,8	-1,6
A44	12:33	-2,1	-2,2
A47	12:26	-2,1	-2,0
A58	12:35	-2,0	-1,8
AX01	12:37	-1,6	-
AX02	-	-	-
B02	12:41	-1,8	-
B03	12:34	-3,0	-3,0
B04	12:34	-1,8	-1,9
B09	12:23	-1,8	-1,9
B10	12:21	-2,7	-2,6
B11	12:20	-1,9	-1,9
B17	12:15	-1,6	-1,9
B20	12:14	-1,7	-1,8
B21	12:13	-2,0	-1,8
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)
		320,8			180,6
A04	10:15	257,3	A07	11:09	136,4
		322,8			186,6
		273,6			189,2
		197,5			337,4
A12	10:52	391,9	A17	10:41	312,6
		352,8			410,6
		343,9			347,1
		-			-
A21	-	-	A22	-	-
		-			-
		-			-
A30	-	-	A31	-	-

		-			-
		-			-
		-			-
		223,7			175,7
A33	10:58	139,7	A36	11:07	143,5
		220,5			110,8
		212,8			106,7
		137,5			-
A37	11:15	124,5	A38	-	-
		85,9			-
		105,8			-
		155,5			-
A40	10:39	174,0	A41	-	-
		197,5			-
		242,5			-
		249,1			121,2
A43	10:28	211,1	A44	10:21	175,0
		174,6			167,8
		262,9			115,7
		216,5			159,5
A47	10:47	193,0	A58	10:13	119,6
		210,3			109,3
		131,4			87,5
		173,7			-
AX01	10:05	152,8	AX02	-	-
		234,8			-
		179,4			-
		138,2			90,8
B02	11:45	155,1	B03	11:28	95,5
		139,8			71,5
		136,1			140,9
		113,9			172,0
B04	11:18	59,4	B09	11:05	146,3
		93,4			118,4
		122,7			106,1
		103,3			109,4
B10	10:59	82,2	B11	10:50	78,5
		101,6			51,2
		88,9			73,7

		180,7			205,0
		183,5			207,8
B17	10:38	205,9	B20	10:28	108,0
		110,8			196,4
<hr/>					
		92,6			-
B21	10:20	129,9	C58	-	-
		176,8			-
		196,9			-
<hr/>					
		115,5			
D28	10:24	245,7			
		262,8			
		120,3			
<hr/>					

-: 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.

Agustín Fuenzalida D.: Ingeniero Agrónomo a cargo de la toma de datos en terreno.