

Anexo 06 .Informes trimestrales Potencial hidrico y conductancia estomatica de Algarrobos U. CHILE. Anexos fotograficos y resultados estadisticos 2do Semestre 2022.

## **Programa de seguimiento Flora y Vegetación de la quebrada de Camar Región de Antofagasta**

Anexo 2. Base de datos de terreno de vegetación – 2° semestre 2022  
GEOB.SQMSL740.INFO22.ANX010. Programa de Seguimiento de Flora y Vegetación de la quebrada de Camar

Rev.	Id	Ejecutor	Revisor	Aprueba	Descripción
B	Nombre	IJ	IZ	IZ	Anexo 2 Rev. (B)
	Fecha	16.02.2023	20.02.2023	20.02.2023	
0	Nombre				Anexo 2 Rev. (0)
	Fecha				

## Contenido

1. Análisis de varianza sobre potencial hídrico de pre-alba en Área de Estudio ... ¡Error! Marcador no definido.
2. Análisis de varianza sobre potencial hídrico de mediodía en Área de Estudio . ¡Error! Marcador no definido.
3. Análisis de varianza sobre conductancia estomática en Área de Estudio..... ¡Error! Marcador no definido.
4. Prueba de Kruskal Wallis sobre potencial hídrico de pre-alba entre grupos..... ¡Error! Marcador no definido.
5. Modelo lineal generalizado sobre potencial hídrico de mediodía entre grupos ¡Error! Marcador no definido.
6. Análisis de varianza sobre conductancia estomática entre grupos ....¡Error! Marcador no definido.
7. Resultados de Potencial hídrico en pre-alba .....¡Error! Marcador no definido.
8. Resultados de Potencial hídrico en mediodía .....¡Error! Marcador no definido.
9. Resultados de Conductancia estomática .....¡Error! Marcador no definido.



Anexo 06 .Informes trimestrales Potencial hidrico y conductancia estomatica de Algarrobos U. CHILE.  
Anexos fotograficos y resultados estadisticos 2do Semestre 2022.

## Tabla de contenidos

RESUMEN .....	6
INTRODUCCIÓN .....	7
Objetivos.....	8
MATERIALES Y MÉTODOS .....	9
Equipos disponibles .....	10
Medición del estado hídrico de las plantas.....	10
• Potencial hídrico en pre-alba y mediodía .....	10
• Conductancia estomática .....	11
Análisis estadístico.....	11
RESULTADOS.....	13
Potencial hídrico en pre-alba.....	13
Potencial hídrico en mediodía .....	14
Conductancia estomática .....	16
DISCUSIÓN .....	18
CONCLUSIONES .....	20
BIBLIOGRAFÍA .....	21
APÉNDICES.....	23
1. Certificado de calibración de porómetro.....	23
ANEXOS .....	24
1. Registro fotográfico .....	24
2. Potencial hídrico de pre-alba y mediodía, y conductancia estomática medidos en 4 árboles fuera del Área de Estudio, con buena disponibilidad hídrica.....	28
4. Análisis de varianza sobre potencial hídrico de pre-alba en Área de Estudio.....	30
5. Prueba de Kruskal Wallis sobre potencial hídrico de mediodía en Área de Estudio .....	30

6.	Análisis de varianza sobre conductancia estomática en Área de Estudio.....	30
7.	Prueba de Kruskal Wallis sobre potencial hídrico de pre-alba entre grupos .....	31
8.	Prueba de Kruskal Wallis sobre potencial hídrico de mediodía entre grupos.....	31
9.	Análisis de varianza sobre conductancia estomática entre grupos .....	31
10.	Resultados de Potencial hídrico en pre-alba.....	31
11.	Resultados de Potencial hídrico en mediodía.....	32
12.	Resultados de Conductancia estomática .....	33
13.	Profesionales involucrados en el desarrollo del informe .....	34

## 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 tiene por objetivo caracterizar el estado fisiológico de la población de los algarrobos que se encuentran en la Quebrada de Camar y que son parte del seguimiento ambiental en el marco de la RCA 226/2006, identificados como serie A.

Para dar cumplimiento con el objetivo propuesto, se realizó en el mes de julio 2022, 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 y que están distribuidos en los sectores reconocidos como cauce norte/centro-sur, en torno al pozo de extracción Camar-2. Complementariamente, se tomaron muestras en cuatro (4) ejemplares pertenecientes a la serie B, y que se encuentran ubicados hacia el Este de los individuos objeto de estudio.

La campaña estuvo asociadas al estado hídrico de algarrobo en la Quebrada de Camar en el Salar de Atacama. Se trabajó con 18 individuos de algarrobo distribuidos en el Área de Estudio, en torno al pozo de extracción Camar-2, ubicados sobre dos cauces (cauce norte/centro-sur).

En julio de 2022:

- No se observó efecto del cauce para la variable potencial hídrico en pre-alba, alcanzando un valor promedio para los árboles en estudio de -3,48 MPa.
- No se observó efecto del cauce para la variable potencial hídrico en mediodía, alcanzando un valor promedio para los árboles en estudio de -3,93 MPa.

- No se observó un efecto del cauce para la variable conductancia estomática, alcanzando un valor promedio para los árboles en estudio de  $135,6 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

Los valores de potencial de esta campaña son más negativos que los registrados en la época estival, lo que puede estar provocado por las bajas temperaturas, que podrían inducir una disminución del flujo xilemático en los tallos y defoliación de los árboles. Adicionalmente, al comparar los algarrobos del área en estudio con individuos de la misma especie (fuera del área de estudio), se observan valores similares de potencial hídrico, sin embargo, en conductancia estomática hay leves diferencias en comparación con los algarrobos de Camar, los cuales presentan valores un poco menores.

## INTRODUCCIÓN

En el borde Este del Salar de Atacama, Región de Antofagasta, específicamente en el sector correspondiente a la Quebrada de Camar, se data la existencia de una población de Algarrobos identificados preliminarmente como *Prosopis flexuosa* (RCA 226/2006), especie freatofita de la familia fabaceae. Posteriormente, en 2019, y en base a estudios taxonómicos específicos, estos mismos individuos serían identificados como *Prosopis alba* (Ibañez, 2019).

Entorno a esta población de Algarrobos, la empresa SQM Salar S.A. dispuso de un pozo de extracción de agua, conocido como Camar-2 autorizado por la RCA 226/2006, definiéndose un Área de Estudio con el objeto de realizar el seguimiento a los ejemplares cercanos, correspondiendo a los Algarrobos que se encontraban bajo la infraestructura del Pozo Camar-2.

Posteriormente y en el contexto del cargo 2 de la Res.Ex.N°4/ROL F-041-2016 ((rectificado por Res. Ex. N°4/Rol F-041-2016) y aprobado mediante Resolución N° 38 el 29 de agosto de 2022 por la Superintendencia del Medio Ambiente)) relacionado con la afectación progresiva del estado vital y sanitario de los algarrobos objeto de seguimiento, se desarrollaron estudios que permitieron evaluar las posibles causas que incidieron en esta afectación y establecer las medidas correspondientes para controlar, mitigar y compensar los efectos generados, dentro de los cuales se indica la implementación de un Plan de Seguimiento de Flora y Vegetación para la Quebrada de Camar, en el cual se medirán en la población de Algarrobos, variables hídricas, entre otras variables. En este mismo contexto, y como parte de las medidas establecidas en el Plan de Cumplimiento, se comprometió la implementación de un programa de riego de los Algarrobos que forman parte del monitoreo comprometido en la RCA 226/2006.

Cabe destacar que, en el año 2008 se registra un cambio en el escurrimiento superficial, donde aproximadamente 1200 metros aguas arriba del pozo Camar-2, el escurrimiento se desborda de su cauce principal. De esta forma, antes del 2008, el escurrimiento era conducido mayoritariamente por el cauce norte, y después de ese año el escurrimiento presentó un flujo mayor hacia el cauce sur. De esta forma, un total de 13 árboles quedaron

ubicados en el cauce centro-sur y los 5 restantes en el cauce norte. El cambio en la dirección del escurrimiento de agua podría afectar el estado hídrico de los árboles en el área de estudio.

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, distribuidos en las proximidades del pozo Camar-2a través de variables como el potencial hídrico en pre alba y mediodía, y la conductancia estomática. La muestra para pre-alba ( $\Psi_{pa}$ ) para el periodo julio 2022, es de  $n=15$ , debido a que tres individuos, no tuvieron las condiciones para la toma de muestra, para el análisis del medio día ( $\Psi_{md}$ ) dos individuos no fueron muestreados.

Se ha observado que cuando un árbol tiene estrés por falta de agua, presenta valores más negativos de potencial hídrico. Giordano et al. (2011) menciona potenciales de pre-alba de entre -1,3 y -3,8 MPa para individuos de *Prosopis flexuosa* con acceso restringido a la napa, medidos entre los meses de diciembre y marzo, siendo más negativo en la medida que se reduce la oferta de agua. Al mediodía se esperaría registrar valores más negativos de potencial hídrico, en comparación con la pre-alba, debido a que en ese momento del día se produce el mayor déficit de presión de vapor, por lo que la columna de agua está 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).

## Objetivos

Caracterizar el estado fisiológico de la población de los algarrobos de Camar objeto de seguimiento ambiental en el marco de la RCA 226/2006, mediante la medición de variables que permiten determinar el estado hídrico de una muestra de ( $n=18$ ) individuos de *Prosopis alba*, distribuidos en las proximidades del pozo Camar-2, y comparar las muestras con los individuos testigos ( $n=4$ ) ubicados en la cercanía del pueblo de Camar, en donde la disponibilidad hídrica es favorable.

## Objetivos específicos

- Medir el potencial hídrico  $\Psi_{pa}$  (MPa) de 22 individuos con cámara de presión y muestras vegetales (ramillas) en dos fases, pre alba y medio día.
- Calcular la conductancia estomática  $gs$  ( $mmol/m^2 s^{-1}$ ) de 22 individuos a través de porómetro de flujo estacionario, con muestras vegetales (hojas).



- Realizar un análisis estadístico con ambas muestras y variables.

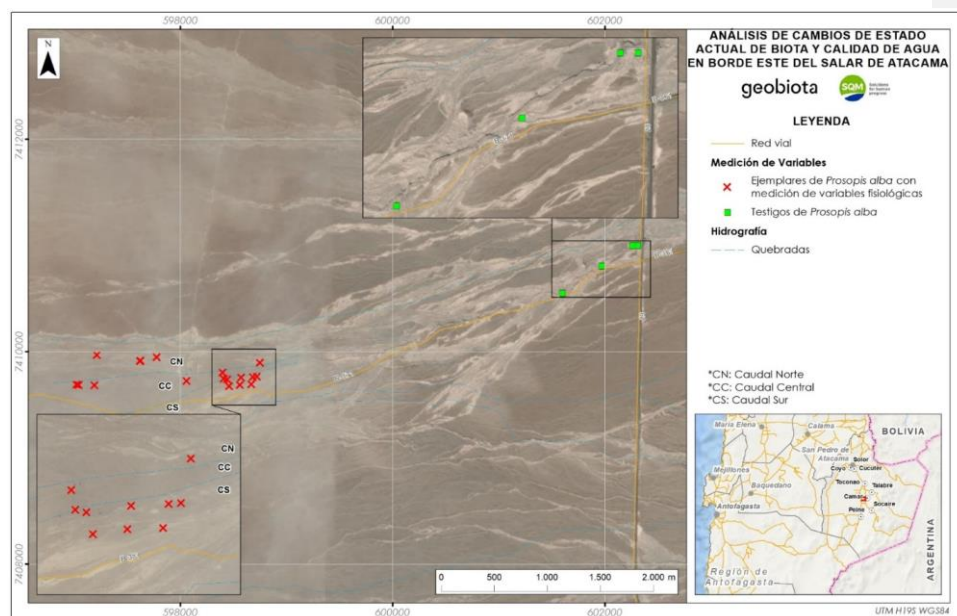
## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron mediciones del estado hídrico en ejemplares de algarrobo ubicados en las proximidades del pozo Camar-2 de la empresa SQM Salar S.A., en el Salar de Atacama, específicamente en la Quebrada de Camar. Los árboles del Área de Estudio se encuentran a menos de 1,1 km del pozo Camar-2, y se consideró un grupo de 18 árboles. Estos árboles están distribuidos en el cauce norte y centro-sur de la quebrada Camar, como se indican en la tabla 1. Las mediciones fueron realizadas entre los días 26 y 28 de julio de 2022. Cabe destacar, que también se considera un grupo de ejemplares, constituido por cuatro individuos, los cuales corresponden a estaciones testigos (Figura 1).

**Tabla 1.** Ubicación de los árboles y su ubicación respecto del cauce (coordenadas fueron tomadas en el sistema de coordenadas geográfico mundial WGS84).

Grupo	Árbol	Coordenada Este	Coordenada Norte	Cauce
Área de Estudio	A04	598063	7409715	Centro-Sur
	A07	597028	7409687	Centro-Sur
	A08	597049	7409688	Centro-Sur
	A11	597198	7409686	Centro-Sur
	A12	597220	7409970	Norte
	A21	597629	7409910	Norte
	A22	597631	7409916	Norte
	A30	597785	7409947	Norte
	A33	598756	7409897	Norte
	A36	598729	7409760	Centro-Sur
	A37	598695	7409761	Centro-Sur
	A38	598674	7409690	Centro-Sur
	A40	598571	7409688	Centro-Sur
	A41	598466	7409672	Centro-Sur
	A43	598429	7409729	Centro-Sur
	A44	598446	7409735	Centro-Sur
	A47	598578	7409753	Centro-Sur
	A58	598404	7409802	Centro-Sur
Fuera del área de estudio	B11	601603	7410548	Testigo
	B17	601972	7410806	Testigo
	B20	602261	7410998	Testigo
	B21	602313	7410998	Testigo

Figura 1 Ubicación puntos de medición variables fisiológicas.



Fuente: Geobiota 2022

## Equipos disponibles

Variable	Materiales y/o equipos
Potencial hídrico de ramilla	Cámara de presión tipo Scholander. No requiere de calibración.
Conductancia estomática	Porómetro Meter SC-1. Certificado de calibración (Apéndice 1).

## 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) utilizando 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 7:00 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) durante 1 hora aproximadamente, para equilibrar el potencial hídrico foliar y xilemático. Posteriormente se midió el potencial hídrico entre las 12:00 y 14:00 horas, de la misma forma que se describió para la medición de pre-alba.

- **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, y determina la facilidad con que las hojas transpiran. Si los estomas se cierran, la conductancia estomática disminuirá y el flujo de vapor de agua se reducirá.

La conductancia estomática (gs) es el principal factor limitante para la fotosíntesis y es sensible al estado del agua en la planta. Evaluar con precisión el comportamiento de la conductancia estomática, sobre todo en individuos bajo estrés por déficit de agua, en zonas desérticas o xerofíticas, es esencial para entender el flujo del agua en las especies y serían un indicador de su producción y biomasa. (Doudou Li et al., 2022). Para su medición, se usa un porómetro de flujo estacionario marca Meter, modelo SC-01, el que se calibra cada día antes de las mediciones, 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, a partir de las 10:00 am.

### **Análisis estadístico**

Las variables se analizaron a través de un análisis de varianza considerando como factor fijo la ubicación respecto del cauce al que pertenece. Cuando no se cumplió con el supuesto de normalidad de la varianza, se transformaron los datos, y en caso de persistir se usó un análisis de varianza no paramétrico.

El modelo del análisis de varianza utilizado fue el siguiente,  $N R^2 R^2 A_j CV$  (Anexo 3)

### Unidad experimental

Se utilizaron dos grupos de muestras, N=18 correspondiente a 18 individuos de Algarrobos *Prosopis alba* (Ibañez, 2019). posicionados en las proximidades del pozo Camar 2 y una muestra de N = 4 correspondientes a 4 individuos de la especie Algarrobo *Prosopis alba* (Ibañez, 2019). posicionados fuera del área de estudio. De la muestra N=18 se diferenciaron geográficamente los individuos correspondientes a los sectores Cause centro sur y Cause norte.

Para el análisis del potencial hídrico ( $\Psi_{pa}$ ) pre-alba, se consideró una muestra de 15 individuos N=15.

Las variables se analizaron a través de un análisis de varianza considerando como factor fijo la ubicación respecto del cauce al que pertenece y una muestra total de N=18 para el análisis de grupos individuales. Se realizó un análisis comparativo, entre grupos en donde la muestra contempla un N=22 Anexo 6 y 7.

Las distintas variables fueron evaluadas por medio de análisis de varianza utilizando el programa estadístico y 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, Guzmán y Casanoves); (Di-Rienzo et al., 2011), al 5% de probabilidad de error lo que es igual a un nivel de confianza del 95%.

Cuando no se cumplió con el supuesto de normalidad de la varianza, se transformaron los datos a su logaritmo natural.

**Comentado [NVU1]:** Citar literatura que sostenga la transformación de datos. Que se entienda que no es una decisión aleatoria.

## RESULTADOS

### Potencial hídrico en pre-alba

La tabla 2 muestra los valores de potencial hídrico de ramilla en pre-alba ( $\Psi_{pa}$ ) medidos en julio de 2022 en el área de estudio. La población de algarrobos medida alcanzó valores de potencial entre -2,5 y <-4,2 MPa. El valor de <-4,2 se obtiene en tres árboles (A43, A58 y A22). Se alcanza un valor promedio de -3,48 MPa, con un Error Estándar de 0,34, y no se encuentran diferencias significativas con respecto al cambio de cauce ( $p=0,1557$ ). Tres árboles no pudieron ser medidos en pre-alba por falta de ramillas.

**Tabla 2.** Potencial hídrico de ramilla en pre-alba ( $\Psi_{pa}$ ) medido en julio de 2022.

Cauce	Árbol	$\Psi_{pa}$ (MPa)
Cauce Centro-Sur	A04	-3,40
	A07	-3,15
	A08	-
	A11	-2,95
	A36	-2,50
	A37	-3,20
	A38	-3,50
	A40	-3,20
	A41	-4,20
	A43	<-4,20
	A44	-3,10
	A47	-2,85
	A58	<-4,20
Promedio		-3,37±0,30 a
Cauce Norte	A12	-4,10
	A21	-
	A22	<-4,20
	A30	-
	A33	-3,40
Promedio		-3,90±0,97 a
Promedio Total		-3,48±0,34

Valores Promedio corresponden a las medias  $\pm 1$  Error Estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% según el test DGC de separación de medias.

### Potencial hídrico en mediodía

La tabla 3 muestra los valores de potencial hídrico de ramilla en mediodía ( $\Psi_{md}$ ) medidos en julio de 2022 en el área de estudio. La población de algarrobos medida alcanzó valores de potencial entre -3,0 y <-4,2 MPa. El valor de <-4,2 se obtiene en diez árboles (A04, A11, A36, A38, A41, A43, A58, A12, A21 y A22). Se alcanza un valor promedio de -3,93 MPa, con un Error Estándar de 0,31, no se encontraron diferencias significativas en los valores de  $\Psi_{md}$  registrados para las distintas ubicaciones respecto del cauce ( $p=0,5549$ ). Dos árboles no pudieron ser medidos en mediodía por falta de ramillas.

**Tabla 3.** Potencial hídrico de ramilla en mediodía ( $\Psi_{md}$ ) medido en julio de 2022.

Cauce	Árbol	$\Psi_{md}$ (MPa)
Cauce Centro-Sur	A04	<-4,20
	A07	-3,90
	A08	-
	A11	<-4,20
	A36	<-4,20
	A37	-3,30
	A38	<-4,20
	A40	-3,50
	A41	<-4,20
	A43	<-4,20
	A44	-3,00
	A47	-3,60
	A58	<-4,20
Promedio		-3,89±0,32 a
Cauce Norte	A12	<-4,20
	A21	<-4,20
	A22	<-4,20
	A30	-
	A33	-3,60
Promedio		-4,05±0,82 a
Promedio Total		-3,93±0,31

Valores Promedio corresponden a las medias  $\pm 1$  Error Estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% según el test Kruskal Wallis de separación de medias.

### Potencial hídrico de pre-alba y mediodía, medidos en 4 árboles fuera del Área de Estudio, con buena disponibilidad hídrica

La tabla 4 muestra los valores de potencial hídrico de ramilla en pre-alba ( $\Psi_{pa}$ ) y medio día ( $\Psi_{md}$ ) medidos en julio 2022, fuera del área de estudio. La población de algarrobos medida en pre.alba alcanzó valores de potencial entre -3,45 y -4,20 MPa, obteniendo un valor promedio de -3,74 MPa, el promedio al medio día fue de -3,96 MPa, ambos con un error estándar de 0,18 y 0,12 respectivamente.

**Comentado [JEJ2]:** se podría mencionar si estos valores se encuentran dentro de los rangos esperables para este tipo de especies y bajo estas condiciones.

**Tabla 1.** Potencial hídrico de ramilla en pre alba ( $\Psi_{pa}$ ) y mediodía ( $\Psi_{md}$ ) medido en julio del 2022.

Árbol	$\Psi_{pa}$ (MPa)	$\Psi_{md}$ (MPa)
B11	-3,85	-4,15
B17	-3,45	-3,75
B20	-4,20	-4,20
B21	-3,45	-3,75
Promedio	-3,74±0,18 a	-3,96±0,12 a



### Conductancia estomática

La tabla 5 muestra los valores de conductancia estomática (gs) medidos en julio de 2022 en el área de estudio. No se observaron diferencias significativas en gs respecto del Cauce ( $p=0,3536$ ). La población de algarrobos medida alcanzó valores entre 82,8 y 197,0  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , y se alcanza un valor promedio de 135,6  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , con un Error Estándar de 16,0. Cinco árboles no pudieron ser medidos por falta de hojas.

**Tabla 5.** Conductancia estomática (gs) medido en julio de 2022.

Cauce	Árbol	gs ( $\text{mmol/m}^2 \text{s}^{-1}$ )
Cauce Centro-Sur	A04	132,7
	A07	197,0
	A08	-
	A11	122,4
	A36	82,8
	A37	119,7
	A38	177,8
	A40	143,7
	A41	-
	A43	144,8
	A44	134,8
	A47	144,5
	A58	131,0
Promedio		139,2 $\pm$ 16,3 a
Cauce Norte	A12	-
	A21	145,3
	A22	-
	A30	-
	A33	86,9
Promedio		116,1 $\pm$ 29,9 a
Promedio Total		135,6 $\pm$ 16,0

Valores Promedio corresponden a las medias  $\pm$  1 Error Estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% según el test DGC de separación de medias.

Conductancia estomática medidos en 4 árboles fuera del Área de Estudio, con buena disponibilidad hídrica.

La tabla 6 muestra los valores de conductancia estomática (gs) medidos en julio del 2022, fuera del área de estudio. La población de algarrobos medida alcanzó valores de conductancia entre 141,6 y 193,8  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , obteniendo un valor promedio de 171,7  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , con un Error Estándar de 13,1.

**Tabla 2.** Conductancia estomática (gs) fuera del área de estudio, medido en julio 2022.

Árbol	gs ( $\text{mmol/m}^2 \text{s}^{-1}$ )
B11	157,8
B17	193,5
B20	141,6
B21	193,8
Promedio	171,7 $\pm$ 13,1 a

## DISCUSIÓN

En la campaña de julio 2022, no se encontraron diferencias en el  $\Psi_{pa}$  entre los cauces centro-sur y norte, observando un valor promedio de -3,48 MPa (Tabla 2), donde los valores individuales por árbol fluctuaron entre -2,5 y <-4,2 MPa. Considerando que durante la pre-alba, el potencial de la ramilla está en equilibrio con el potencial hídrico del suelo (Bucci et al., 2004), y que por lo tanto este es un indicador indirecto del estado hídrico del suelo, se puede deducir que no hay diferencias en el estado hídrico del suelo entre los cauces estudiados. La medición de potencial a mediodía, que refleja el potencial hídrico de la ramilla (Johnson et al., 2018), tampoco mostró diferencias entre los cauces, observándose un valor promedio de -3,93 MPa (Tabla 3), fluctuando entre -3,0 y <-4,2 MPa. El valor de potencial en mediodía es más negativo que el medido en pre-alba, debido al mayor déficit de presión de vapor presente al mediodía, lo que produce una mayor tensión sobre la columna de agua de los árboles. Así mismo, los valores registrados en esta campaña son los más negativos del año 2022.

La mayoría de los árboles en estudio presentan una baja cobertura (Anexo 1), y casi ninguna ramilla que haya crecido en la última temporada, o presentan ramillas demasiado gruesas para la medición en la cámara de presión. Esta falta de ramillas apropiadas para la medición se debe al ramoneo producido por burros que hay en la zona y que se alimentan de individuos de Algarrobos y a escasa regeneración de ramillas que tienen estos árboles, lo que se es agravado por la naturaleza destructiva de esta medición. Debido a esta situación no se pudo seleccionar ninguna ramilla para la medición de potencial de pre-alba y mediodía en los árboles A30 y A08, en el caso del árbol A21 no se encontraron ramillas para la medición en pre-alba. En la gran mayoría de los árboles evaluados las mediciones solo pudieron ser hechas con 1 ramilla, solo los árboles A07, A11 y A47, ubicados en el cauce centro-sur, se pudo medir dos ramillas en pre-alba, mientras que en la medición de potencial hídrico en mediodía, solo en los árboles A07, A12 y A47 se pudo extraer dos ramillas.

Otros algarrobos medidos fuera del área de estudio, con buena disponibilidad hídrica, evaluados en la Quebrada de Camar en la misma fecha que los de este estudio, tuvieron un valor promedio de -3,74 MPa en pre-alba y -3,96 MPa a mediodía (Anexo 2). Tanto en pre-alba y mediodía los valores son similares a los del área de estudio ( $p=0,2926$  en pre-alba y  $p=0,6047$  en mediodía). La ausencia de diferencias puede ser efecto de la variación estacional, donde es posible encontrar valores bajos de potencial en todos los árboles durante el invierno, a pesar de que los árboles fuera del área de estudio sean de mayor tamaño (anexo 1) y tengan acceso a una fuente hídrica.

Los valores de potencial hídrico de pre-alba y mediodía obtenidos en los meses de julio 2021 y 2022, son los más bajos observados en este grupo de Algarrobos (Tabla 7). Este cambio temporal de potenciales coincide con lo evaluado en *Prosopis tamarugo*, donde se observa un patrón de menor potencial hídrico de pre-alba en la época de invierno (SAP, 2021).

**Tabla 7.** Potencial hídrico de pre-alba, potencial hídrico de mediodía y conductancia estomática medidos entre 2017 y 2022 en árboles en el Área de Estudio

Año	Mes	$\Psi_{pa}$ (MPa)	$\Psi_{md}$ (MPa)	gs (mmol/m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )
2017	Enero	-1,69±0,10	-2,54±0,22	53,6±4,6
2020	noviembre	-2,13±0,06	-2,95±0,07	87,1±3,8
2021	Julio	-4,10±0,16	-4,68±0,67	-
2021	diciembre	-2,38±0,10	-3,29±0,10	250,0±13,0
2022	Marzo	-2,68±0,13	-3,45±0,11	230,9±12,3
2022	Abril	-2,74±0,19	-3,60±0,12	172,5±7,7
2022	Julio	-3,48±0,34	-3,93±0,31	135,6±16,0

El bajo potencial hídrico observado en las campañas de julio puede ser el resultado de bajas temperaturas a las que están sometidos los árboles durante julio. El efecto provocado por bajas temperaturas varía según las especies, tanto en magnitud como en la escala temporal. Se puede observar déficit hídrico asociado a las bajas temperaturas, lo que se debe, entre otras causas, a las alteraciones en el grado de control estomático y a la disminución de la conductividad hidráulica de las raíces (Allen y Ort, 2001). Además, las plantas sometidas a bajas temperaturas muestran una caída en el potencial hídrico y en el contenido relativo de agua (Vernieri et al., 2001).

Por otro lado, la conductancia estomática no muestra diferencias entre los cauces norte y centro-sur, alcanzando un valor promedio de 135,6 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. No se pudieron realizar mediciones en los árboles A08, A12, A22, A30 y A41, debido a la ausencia total de hojas (Anexo 1). Así mismo, se observa en el anexo 2 que los árboles fuera del área de estudio tuvieron un valor de 171,7 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, el que se diferencia significativamente con los árboles en el área de estudio, con un nivel de confianza del 90% ( $p=0,0535$ ), la menor conductancia observada se asociaría a un cierre parcial de estomas que reduciría la transpiración. Respecto a esta variable, Giordano et al. (2011) señalan valores de alrededor de 250 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> para árboles en contacto con la napa freática, y valores inferiores a 60 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> para árboles con dificultad de acceso a la napa freática en el desierto del monte central en Argentina, esto nos da a pensar que los árboles analizados en Camar estarían en una situación hídrica intermedia.

## CONCLUSIONES

En la campaña de julio de 2022, se evidencia que:

- No existen diferencias significativas en potencial hídrico en pre-alba, mediodía y conductancia estomática entre los cauces, observando un valor promedio de -3,48 MPa en pre-alba, -3,93 MPa en mediodía y  $135,6 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  de conductancia estomática.
- Los valores de potencial de esta campaña son más negativos que los registrados en la época estival, lo que puede estar provocado por las bajas temperaturas, que podrían inducir una disminución del flujo xilemático en los tallos y defoliación de los árboles.
- Adicionalmente, al comparar los algarrobos del área en estudio con individuos más grandes y de buena disponibilidad hídrica (fuera del área de estudio), se observa valores similares de potencial hídrico, sin embargo, en conductancia estomática, los algarrobos de Camar presentan valores más bajos, que podría ser efecto de un estado hídrico disminuido.

**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.
- Briner, C. 1985. Caracterización fenotípica de los biotipos de tamarugo en la Pampa del Tamarugal. In: Estado actual del conocimiento sobre *Prosopis tamarugo*. Habit, M. (Eds). Arica, Chile. 11-15 de junio de 1984, FAO: 500.
- 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.
- 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.
- Fundación CRYCIT. 2017. Informe final sobre estudios e investigaciones que intentan explicar el estado actual de ejemplares de algarrobos, en una población ubicada en las proximidades del pozo Camar 2 de SQM, en el Salar de Atacama, Chile. Apéndice 5-C. SQM.
- Garrido, M., Silva, H., Franck, N., Arenas, J. and Acevedo, E. 2018. Evaluation of Morpho-Physiological Traits Adjustent of *Prosopis tamarugo* Under Long-Term Groundwater Depletion in the Hyper-Arid Atacama Desert. *Frontiers in Plant Science* 9: 453. doi:10.3389/fpls.2018.00453
- 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.
- Hidroestudios. 2020. Modelación de la vitalidad y análisis cuantitativo de posibles causas de afectación en algarrobos de Camar. Apéndice 5-D. SQM.

- Ibáñez, S. 2019. Informe taxonómico de identificación de las especies de *Prosopis* en la Quebrada de Camar. Apéndice 4.7-10. SQM.
- Johnson, D., Domec, J.P., Carter, Z., Schwantes, A., Woodruff, D., McCulloh, K., et al. 2018. Co-occurring woody species have diverse hydraulic strategies and mortality rates during an extreme drought: Belowground hydraulic failure during drought. *Plant Cell and Environment* 41(3): 576-588.
- Laboratorio de Relación Suelo-Agua-Planta (SAP). 2021. Informe Proyecto Pampa Hermosa Llamara 2021. SQM.
- 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.
- 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.
- Taiz, L. & Zeiger, E. 2002. *Plant Physiology* (Third Edition). Sinauer Associates, Inc. Sunderland.
- 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.

## 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 2022.

Cauce Centro-Sur



Árbol A04



Árbol A07



Árbol A08



Árbol A11



Árbol A36



Árbol A37



Árbol A38



Árbol A40



Árbol A41



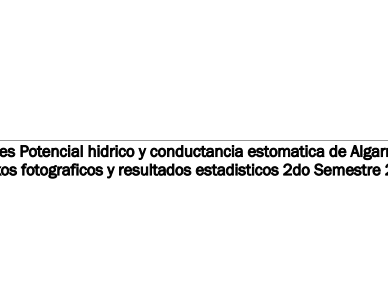
Árbol A43



Árbol A44



Árbol A47





Árbol A58

Cauce norte



Árbol A12



Árbol A21



Árbol A22



Árbol A30



Árbol A33

Fuera del área de estudio



Árbol B11



Árbol B17



Árbol B20



Árbol B21

2. Potencial hídrico de pre-alba y mediodía, y conductancia estomática medidos en 4 árboles fuera del Área de Estudio, con buena disponibilidad hídrica

Árbol	$\Psi_{pa}$ (MPa)	$\Psi_{md}$ (MPa)	$g_s$ (mmol/m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )
B11	-3,85	-4,15	157,8
B17	-3,45	-3,75	193,5
B20	-4,20	-4,20	141,6
B21	-3,45	-3,75	193,8
Promedio	-3,74±0,18 a	-3,96±0,12 a	171,7±13,1 a
Área de Estudio	-3,48±0,34 a	-3,93±0,31 a	135,6±16,0 b

Valores Promedio corresponden a las medias  $\pm 1$  Error Estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% ( $\Psi_{pa} - \Psi_{md}$ ) según test Kruskal Wallis y 90% (gs) según el test DGC de separación de medias.

### 3. Potencial hídrico de pre-alba y mediodía, y conductancia estomática medidos entre 2017 y 2022 en árboles fuera del Área de Estudio, con buena disponibilidad hídrica

Año	Mes	$\Psi_{pa}$ (MPa)	$\Psi_{md}$ (MPa)	gs (mmol/m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )
2017	Enero	-1,51±0,16	-2,86±0,34	39,3±7,2
2020	noviembre	-1,73±0,10	-2,29±0,12	189,4±29,5
2021	Julio	-3,43±0,07	-4,38±0,26	-
2021	diciembre	-2,39±0,14	-2,81±0,13	245,3±19,6
2022	Marzo	-2,68±0,13	-3,44±0,12	231,0±15,7
2022	Abril	-2,70±0,15	-3,21±0,20	215,3±17,7
2022	Julio	-3,74±0,18	-3,96±0,12	171,7±13,1

### 4. Análisis de varianza sobre potencial hídrico de pre-alba en Área de Estudio

#### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
PHpa	15	0.15	0.08	15.65

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.67	1	0.67	2.27	0.1557
Cauce	0.67	1	0.67	2.27	0.1557
Error	3.85	13	0.30		
Total	4.52	14			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.7934

Error: 0.2959 gl: 13

Cauce Medias n E.E.

CS -3.37 12 0.16 A

N -3.90 3 0.31 A

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

### 5. Prueba de Kruskal Wallis sobre potencial hídrico de mediodía en Área de Estudio

#### Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Cauce	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
PHmd	CS	12	-3.89	0.43	-4.20	0.37	0.5549
PHmd	N	4	-4.05	0.30	-4.20		

### 6. Análisis de varianza sobre conductancia estomática en Área de Estudio

#### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
gs	13	0.08	0.00	22.88

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	903.65	1	903.65	0.94	0.3536
Cauce	903.65	1	903.65	0.94	0.3536
Error	10598.31	11	963.48		



Solutions  
for human  
progress



Total 11501.96 12

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=70.3664

Error: 963.4824 gl: 11

Cauce Medias n E.E.

CS 139.20 11 9.36 A

N 116.09 2 21.95 A

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

### 7. Prueba de Kruskal Wallis sobre potencial hídrico de pre-alba entre grupos

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Aguas	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
PHpa	AB	15	-3.48	0.57	-3.40	1.21	0.2926
PHpa	AR	4	-3.74	0.36	-3.65		

### 8. Prueba de Kruskal Wallis sobre potencial hídrico de mediodía entre grupos

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Aguas	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
PHmd	AB	16	-3.93	0.40	-4.20	0.22	0.6047
PHmd	AR	4	-3.96	0.25	-3.95		

### 9. Análisis de varianza sobre conductancia estomática entre grupos

Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
gs	17	0.23	0.17	20.86

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	3969.11	1	3969.11	4.39	0.0535
Aguas	3969.11	1	3969.11	4.39	0.0535
Error	13560.85	15	904.06		
Total	17529.96	16			

Test:DGC Alfa=0.10 PCALT=31.4634

Error: 904.0566 gl: 15

Aguas Medias n E.E.

AR 171.66 4 15.03 A

AB 135.64 13 8.34 B

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

### 10. Resultados de Potencial hídrico en pre-alba

Árbol	Hora	Ψpa 1 (MPa)	Ψpa 2 (MPa)
A04	5:48	-3,4	-
A07	6:50	-2,7	-3,6
A08	-	-	-
A11	6:45	-2,5	-3,4
A12	6:40	-4,1	-
A21	-	-	-



Árbol	Hora	$\Psi_{pa} 1$ (MPa)	$\Psi_{pa} 2$ (MPa)
A22	6:35	<-4,2	-
A30	-	-	-
A33	6:03	-3,4	-
A36	6:08	-2,5	-
A37	6:11	-3,2	-
A38	6:14	-3,5	-
A40	6:17	-3,2	-
A41	6:23	-4,2	-
A43	6:27	<-4,2	-
A44	6:25	-3,1	-
A47	6:20	-2,5	-3,2
A58	6:30	<-4,2	-
B11	6:15	-3,7	-4,0
B17	6:10	-3,3	-3,6
B20	6:05	<-4,2	-
B21	6:00	-3,1	-3,8

#### 11. Resultados de Potencial hídrico en mediodía

Árbol	Hora	$\Psi_{md} 1$ (MPa)	$\Psi_{md} 2$ (MPa)
A04	12:30	<-4,2	-
A07	12:38	-3,8	-4,0
A08	-	-	-
A11	12:35	<-4,2	-
A12	12:44	<-4,2	<-4,2
A21	12:50	<-4,2	-
A22	12:51	<-4,2	-
A30	-	-	-
A33	12:10	-3,6	-
A36	12:13	<-4,2	-
A37	12:14	-3,3	-
A38	12:15	<-4,2	-
A40	12:19	-3,5	-
A41	12:20	<-4,2	-
A43	12:22	<-4,2	-
A44	12:21	-3,0	-
A47	12:17	-3,7	-3,5
A58	12:23	<-4,2	-
B11	13:00	-4,1	<-4,2

Anexo 06 .Informes trimestrales Potencial hídrico y conductancia estomática de Algarrobos U.  
CHILE. Anexos fotograficos y resultados estadísticos 2do Semestre 2022

B17	13:05	-3,7	-3,8
B20	13:11	<-4,2	-
B21	13:13	-3,8	-3,7

## 12. Resultados de Conductancia estomática

Árbol	gs (mmol/m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )	Árbol	gs (mmol/m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )
A04	113,0	A07	208,0
	154,1		224,3
	138,0		176,2
	125,6		179,6
A08	-	A11	133,9
	-		119,3
	-		120,4
	-		116,0
A12	-	A21	155,2
	-		122,8
	-		160,9
	-		142,2
A22	-	A30	-
	-		-
	-		-
	-		-
A33	67,9	A36	78,7
	65,3		94,3
	114,9		84,7
	99,5		73,3
A37	135,6	A38	159,8
	136,3		132,1
	95,5		222,0
	111,4		197,4
A40	115,2	A41	-
	186,0		-
	193,4		-
	80,2		-
A43	177,9	A44	84,9
	130,7		169,0
	158,8		172,7

Árbol	gs (mmol/m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )	Árbol	gs (mmol/m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )
	111,8		112,5
	151,3		103,9
A47	128,5	A58	143,4
	160,0		117,1
	138,3		159,5
	140,3		164,2
B11	146,8	B17	218,6
	163,8		194,9
	180,4		196,1
	138,6		204,2
B20	159,6	B21	209,0
	142,5		171,6
	125,7		190,3

### 13. 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, quien asiste en la toma de datos en terreno y a cargo del análisis de datos y elaboración de informes.

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



Laboratorio de Relación Suelo-Agua-Planta



Anexo 06 .Informes trimestrales Potencial hidrico y conductancia estomatica de Algarrobos U. CHILE. Anexos fotograficos y resultados estadisticos 2do Semestre 2022.

Mandante:  
SQM

**Tabla de contenido**

RESUMEN .....	38
INTRODUCCIÓN .....	39
Objetivo .....	39
Objetivos específicos .....	40
MATERIALES Y MÉTODOS .....	41
Equipos disponibles.....	42
Medición del estado hídrico de las plantas.....	42
• Potencial hídrico en pre-alba y mediodía.....	42
• Conductancia estomática .....	43
Análisis estadístico .....	43
RESULTADOS.....	45
Potencial hídrico en pre-alba .....	45
Potencial hídrico en mediodía.....	46
Potencial hídrico de pre-alba y mediodía en árboles testigos.....	47
Conductancia estomática .....	48
Conductancia estomática en árboles testigos.....	49
DISCUSIÓN .....	50
CONCLUSIONES .....	53
BIBLIOGRAFÍA .....	54
APÉNDICES.....	57
1. Certificado de calibración de porómetro.....	57
ANEXOS.....	58
1. Registro fotográfico .....	58
2. Análisis de varianza sobre potencial hídrico de pre-alba en Área de Estudio.....	62
3. Análisis de varianza sobre potencial hídrico de mediodía en Área de Estudio .....	63
4. Análisis de varianza sobre conductancia estomática en Área de Estudio .....	63

5. Prueba de Kruskal Wallis sobre potencial hídrico de pre-alba entre grupos .....	63
6. Modelo lineal generalizado sobre potencial hídrico de mediodía entre grupos .....	63
7. Análisis de varianza sobre conductancia estomática entre grupos .....	64
8. Resultados de Potencial hídrico en pre-alba.....	65
9. Resultados de Potencial hídrico en mediodía .....	65
10. Resultados de Conductancia estomática.....	66
11. Profesionales involucrados en el desarrollo del informe .....	67

## 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 tiene por objetivo caracterizar el estado fisiológico de la población de los Algarrobos que se encuentran en la Quebrada de Camar y que son parte del seguimiento ambiental en el marco de la RCA 226/2006, identificados como serie A.

Para dar cumplimiento con el objetivo propuesto, se realizó en el mes de octubre 2022, 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 y que están distribuidos en los sectores reconocidos como cauce norte/centro-sur, en torno al pozo de extracción Camar-2. Complementariamente, se tomaron muestras en cuatro ejemplares pertenecientes a la serie B, que están fuera del radio de acción de dicho pozo y que se encuentran ubicados hacia el Este de los individuos objeto de estudio.

Los principales resultados obtenidos para este periodo (octubre 2022), indican que no se observó efecto del cauce para la variable potencial hídrico en pre-alba, alcanzando un valor promedio para los árboles en estudio de -2,40 MPa. Así mismo, para la variable de potencial hídrico de mediodía no se observó efecto del cauce, alcanzando un valor promedio para los árboles en estudio de -3,22 MPa. Tampoco se observó efecto del cauce para la variable conductancia estomática, alcanzando un valor promedio para los árboles en estudio de 134,6  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

Al comparar con Algarrobos fuera del área de estudio (testigos de la serie B), los individuos ubicados en las proximidades del pozo Camar-2 presentan un potencial hídrico en mediodía más bajo, por lo que están sometidos a una condición donde la demanda atmosférica de vapor de agua no es suplida por la disponibilidad hídrica del suelo, produciendo una mayor tensión en la columna de agua a mediodía. Así mismo, la conductancia estomática es más baja en los individuos ubicados en las proximidades del pozo Camar-2, lo que podría ser efecto de un estado hídrico disminuido.

## INTRODUCCIÓN

En el borde Este del Salar de Atacama, Región de Antofagasta, específicamente en el sector correspondiente a la Quebrada de Camar, existe una población de Algarrobos, identificados preliminarmente como *Prosopis flexuosa* (RCA 226/2006), posteriormente, en base a estudios taxonómicos específicos, en 2019 estos mismos individuos fueron identificados como *Prosopis alba* (Ibañez, 2019). Ambas especies son freatófitas de la familia fabaceae.

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

Cabe destacar que en el año 2008 se registra un cambio en el escurrimiento superficial, donde aproximadamente 1200 metros aguas arriba del pozo Camar-2, el escurrimiento se desborda de su cauce principal. De esta forma, antes del 2008, el escurrimiento era conducido mayoritariamente por el cauce norte, y después de ese año el escurrimiento presentó un flujo mayor hacia el cauce sur. De esta forma, de un total de 18 algarrobos seleccionados, 13 árboles quedaron ubicados en el cauce centro-sur y los 5 restantes en el cauce norte. El cambio en la dirección del escurrimiento de agua podría afectar el estado hídrico de los árboles en el área de estudio.

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, distribuidos en las proximidades del pozo Camar-2 a través de variables como el potencial hídrico en pre alba y mediodía, y la conductancia estomática.

Se ha observado que cuando un árbol tiene estrés por falta de agua, presenta valores más negativos de potencial hídrico. Giordano et al. (2011) menciona potenciales de pre-alba de entre -1,3 y -3,8 MPa para individuos de *Prosopis 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 esperaba registrar valores más negativos de potencial hídrico, en comparación con la pre-alba, debido a que en ese momento del día se produce el mayor déficit de presión de vapor, por lo que la columna de agua queda sometida a una mayor tensión. Así mismo, la conductancia estomática también debería disminuir cuando presenta estrés hídrico, como resultado del cierre estomático para disminuir la pérdida de vapor de agua (Taiz y Zeiger, 2002).

### Objetivo

Caracterizar el estado fisiológico de la población de los algarrobos de Camar, objeto de seguimiento ambiental en el marco de la RCA 226/2006, mediante la medición de variables que permiten determinar el estado hídrico de una muestra de (n=18) individuos de *Prosopis alba*, distribuidos en las proximidades del pozo Camar-2, y comparar las muestras con los



individuos testigos (n=4) ubicados en la cercanía del pueblo de Camar, en donde la disponibilidad hídrica es favorable.

**Objetivos específicos**

- Medir el potencial hídrico  $\Psi$  (MPa) de 22 individuos en muestras vegetales (ramillas) con cámara de presión en dos momentos, pre-alba y mediodía.
- Estimar la conductancia estomática  $g_s$  ( $\text{mmol/m}^2 \text{ s}^{-1}$ ) de 22 individuos a través de un porómetro de flujo estacionario, con muestras vegetales (hojas).
- Realizar un análisis estadístico con ambas muestras y variables.

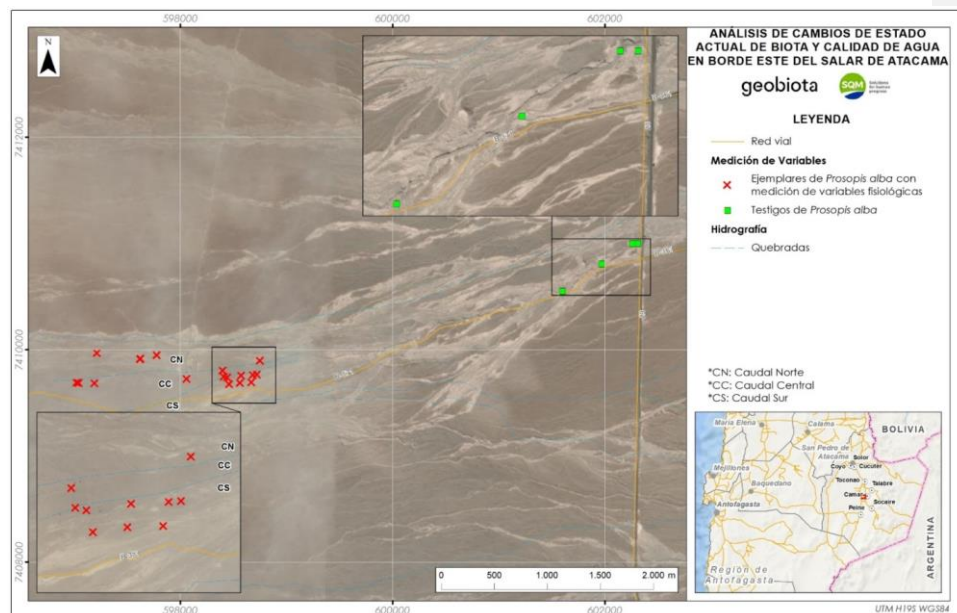
## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron mediciones del estado hídrico en ejemplares de algarrobo ubicados en las proximidades del pozo Camar-2 de la empresa SQM Salar S.A., en el Salar de Atacama, específicamente en la Quebrada de Camar. Los árboles del Área de Estudio se encuentran a menos de 1,1 km del pozo Camar-2, y se consideró un grupo de 18 árboles (serie A). Estos árboles están distribuidos en el cauce norte y centro-sur de la quebrada Camar, como se indican en la Tabla 1, cuya ubicación se puede visualizar en la Figura 1. Las mediciones fueron realizadas entre los días 25 y 27 de octubre de 2022. Cabe destacar, que también se considera un grupo de ejemplares constituidos por cuatro individuos, los que corresponden a árboles testigos (serie B), los que se encuentran fuera del área de estudio, a cuatro kilómetros aguas arriba.

**Tabla 1.** Ubicación de los árboles y su ubicación respecto del cauce (coordenadas fueron tomadas en el sistema de coordenadas geográfico mundial WGS84).

Grupo	Árbol	Coordenada Este	Coordenada Norte	Cauce
Área de Estudio	A04	598063	7409715	Centro-Sur
	A07	597028	7409687	Centro-Sur
	A08	597049	7409688	Centro-Sur
	A11	597198	7409686	Centro-Sur
	A12	597220	7409970	Norte
	A21	597629	7409910	Norte
	A22	597631	7409916	Norte
	A30	597785	7409947	Norte
	A33	598756	7409897	Norte
	A36	598729	7409760	Centro-Sur
	A37	598695	7409761	Centro-Sur
	A38	598674	7409690	Centro-Sur
	A40	598571	7409688	Centro-Sur
	A41	598466	7409672	Centro-Sur
	A43	598429	7409729	Centro-Sur
	A44	598446	7409735	Centro-Sur
	A47	598578	7409753	Centro-Sur
	A58	598404	7409802	Centro-Sur
Fuera del área de estudio	B11	601603	7410548	Testigo
	B17	601972	7410806	Testigo
	B20	602261	7410998	Testigo
	B21	602313	7410998	Testigo

Figura 1. Ubicación puntos de medición variables fisiológicas.



Fuente: Geobiota, 2022.

### Equipos disponibles

Variable	Materiales y/o equipos
Potencial hídrico de ramilla	Cámara de presión tipo Scholander. No requiere de calibración.
Conductancia estomática	Porómetro Meter SC-1. Certificado de calibración (Apéndice 1).

### 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) utilizando 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 7:00 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) durante 1 hora aproximadamente, para equilibrar el potencial hídrico foliar y xilemático. Posteriormente se midió el potencial hídrico entre las 12:00 y 14:00 horas, de la misma forma que se describió para la medición de pre-alba.

- **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. Si los estomas se cierran, la conductancia estomática disminuirá y el flujo de vapor de agua se reducirá.

La conductancia estomática (gs) es el principal factor limitante para la fotosíntesis y es sensible al estado del agua en la planta. Evaluar con precisión el comportamiento de la conductancia estomática, sobre todo en individuos bajo estrés por déficit de agua, en zonas desérticas o xerofíticas, es esencial para entender el flujo del agua en las especies y sería un indicador de su producción y biomasa (Doudou et al., 2022).

La conductancia estomática se mide con un porómetro de flujo estacionario marca Meter, modelo SC-01, el que se calibra cada día antes de las mediciones, 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 11:00 am.

#### **Análisis estadístico**

Se utilizaron dos grupos de muestras, N=18 correspondiente a 18 individuos de Algarrobos *Prosopis alba* (Ibañez, 2019), posicionados en las proximidades del pozo Camar-2 (serie A) y una muestra de N=4 correspondientes a 4 individuos testigos de la especie Algarrobo *Prosopis alba* (Ibañez, 2019) posicionados fuera del área de estudio (serie B). De la muestra N=18 se diferencian geográficamente los individuos correspondientes a los sectores Cauce centro-sur y Cauce norte.

Las variables medidas en el grupo de árboles próximos al pozo Camar-2 se analizaron a través de un análisis de varianza considerando como factor fijo la ubicación respecto del cauce al que pertenece: cauce norte (N=5) y cauce centro-sur (N=13) (Anexos 2, 3 y 4). Posteriormente, se realizó un análisis comparativo entre la serie A y serie B de Algarrobos (N= 18, correspondiente a los individuos próximos al pozo Camar-2 y N=4, correspondiente a individuos testigos) (Anexos 5, 6 y 7).

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, Guzmán y Casanoves) (Di Rienzo et al., 2011), al 5% de probabilidad de error lo que es igual a un nivel de confianza del 95%.

Cuando no se cumplió con el supuesto de normalidad de la varianza, se transformaron los datos a su valor inverso o recíproco (Pérez, 2018) y cuando persistió el problema se usó un análisis de varianza no paramétrico (Kruskal Wallis). 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

### Potencial hídrico en pre-alba

La tabla 2 muestra los valores de potencial hídrico de ramilla en pre-alba ( $\Psi_{pa}$ ) medidos en octubre de 2022 en los algarrobos cercanos al pozo Camar-2. Los valores fluctuaron entre -1,8 y -4,1 MPa. No se encuentran diferencias significativas con respecto al cambio de cauce ( $p=0,4058$ ), observándose un valor promedio de -2,40 MPa y un Error Estándar de 0,22. El individuo A22 no pudo ser medido en pre-alba por falta de ramillas.

**Tabla 2.** Potencial hídrico de ramilla en pre-alba ( $\Psi_{pa}$ ) medido en octubre de 2022 en algarrobos cercanos al pozo Camar-2.

Cauce	Árbol	$\Psi_{pa}$ (MPa)
Cauce Centro-Sur	A04	-2,80
	A07	-1,95
	A08	-1,80
	A11	-2,10
	A36	-2,05
	A37	-2,05
	A38	-4,10
	A40	-2,05
	A41	-3,20
	A43	-1,80
	A44	-1,95
	A47	-2,15
	A58	-2,00
Promedio Centro-Sur		-2,31±0,19 a
Cauce Norte	A12	-3,00
	A21	-4,00
	A22	-
	A30	-1,80
	A33	-2,05
Promedio Norte		-2,71±0,67 a
Promedio Total		-2,40±0,22

Valores Promedio corresponden a las medias  $\pm$  1 Error Estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% según el test DGC de separación de medias.

### Potencial hídrico en mediodía

La tabla 3 muestra los valores de potencial hídrico de ramilla en mediodía ( $\Psi_{md}$ ) medidos en octubre de 2022 en los algarrobos cercanos al pozo Camar-2. Los valores fluctuaron entre -2,2 y <-4,2 MPa. El valor de <-4,2 se obtiene en cinco árboles (A08, A38, A41, A43 y A12). No se encontraron diferencias significativas en los valores de  $\Psi_{md}$  entre los grupos de algarrobos ubicados en distinto cauce ( $p=0,1662$ ), observando un  $\Psi_{md}$  promedio de -3,22 MPa, con un Error Estándar de 0,25. Al igual que en el potencial hídrico de pre-alba el individuo A22 no pudo ser medido en mediodía por falta de ramillas.

**Tabla 3.** Potencial hídrico de ramilla en mediodía ( $\Psi_{md}$ ) medido en octubre de 2022 en algarrobos cercanos al pozo Camar-2.

Cauce	Árbol	$\Psi_{md}$ (MPa)
Cauce Centro-Sur	A04	-2,20
	A07	-2,35
	A08	<-4,20
	A11	-2,40
	A36	-2,75
	A37	-2,80
	A38	<-4,20
	A40	-2,65
	A41	<-4,20
	A43	<-4,20
	A44	-2,75
	A47	-2,45
	A58	-3,00
Promedio Centro Sur		-3,09±0,22 a
Cauce Norte	A12	<-4,20
	A21	-3,80
	A22	-
	A30	-3,80
	A33	-2,80
Promedio Norte		-3,65±0,77 a
Promedio Total		-3,22±0,25

Valores Promedio corresponden a las medias  $\pm 1$  Error Estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% según el DGC de separación de medias.

#### Potencial hídrico de pre-alba y mediodía en árboles testigos

La tabla 4 muestra los valores de potencial hídrico de ramilla en pre-alba ( $\Psi_{pa}$ ) y mediodía ( $\Psi_{md}$ ) medidos en octubre de 2022 en algarrobos testigos ubicados en la cercanía del pueblo Camar. Esta población de algarrobos alcanzó valores de potencial en pre-alba que fluctuaron entre -1,80 y -2,30 MPa, obteniendo un valor promedio de -1,98 MPa y un error estándar de 0,12. Mientras que en mediodía, los valores fluctuaron entre -1,95 y -2,65 MPa, con un valor promedio de -2,24 MPa y un error estándar de 0,15. Solo el potencial hídrico de mediodía presentó diferencias significativas entre el grupo de algarrobos distribuidos en las cercanías del Pozo Camar-2 y el grupo de algarrobos testigo ( $p=0,0006$ ), observándose un menor potencial de medio día en el grupo de árboles cercanos al pozo Camar-2.

**Tabla 4.** Potencial hídrico de ramilla en pre alba ( $\Psi_{pa}$ ) y mediodía ( $\Psi_{md}$ ) medido en octubre de 2022 en algarrobos testigo y comparación con el valor promedio de los algarrobos ubicados en las proximidades del pozo Camar-2.

Árbol	$\Psi_{pa}$ (MPa)	$\Psi_{md}$ (MPa)
B11	-2,30	-2,65
B17	-1,80	-2,15
B20	-1,80	-1,95
B21	-2,00	-2,20
Promedio Testigo	-1,98±0,12 a	-2,24±0,15 a
Promedio Camar-2	-2,40±0,22 a	-3,22±0,25 b

Valores Promedio corresponden a las medias  $\pm$  1 Error Estándar. Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% según el test Kruskal Wallis ( $\Psi_{pa}$ ) y DGC ( $\Psi_{md}$ ) de separación de medias.



### Conductancia estomática

La tabla 5 muestra los valores de conductancia estomática (gs) medidos en octubre de 2022 en los algarrobos cercanos al pozo Camar-2. Los valores fluctuaron entre 93,6 y 183,7 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. No se observaron diferencias significativas en gs respecto del Cauce (p=0,4095), observando un valor promedio de 134,6 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> y un Error Estándar de 13,1. Tres árboles no pudieron ser medidos por falta de hojas (A12, A22 y A38).

**Tabla 5.** Conductancia estomática (gs) medido en octubre de 2022 en algarrobos cercanos al pozo Camar-2.

Cauce	Árbol	gs (mmol/m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )
Cauce Centro-Sur	A04	97,4
	A07	159,5
	A08	93,6
	A11	150,5
	A36	128,8
	A37	118,5
	A38	-
	A40	120,1
	A41	124,3
	A43	147,4
	A44	183,7
	A47	129,8
	A58	131,3
Promedio Centro-Sur		132,1±12,2 a
Cauce Norte	A12	-
	A21	139,0
	A22	-
	A30	144,1
	A33	151,9
Promedio Norte		145,0±35,6 a
Promedio Total		134,6±13,1

Valores Promedio corresponden a las medias ± 1 Error Estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% según el test DGC de separación de medias.

### Conductancia estomática en árboles testigos

La tabla 6 muestra los valores de conductancia estomática (gs) medidos en octubre de 2022 en algarrobos testigo, ubicados cerca del pueblo de Camar. Los valores de conductancia fluctuaron entre 119,0 y 193,5 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, observando un valor promedio de 165,0 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, con un Error Estándar de 16,5.

Hubo diferencias significativas entre el grupo de algarrobos distribuidos en las cercanías del Pozo Camar-2 y el grupo de algarrobos testigo (p=0,0473), observándose una menor conductancia estomática en el grupo de árboles cercanos al pozo Camar-2.

**Tabla 6.** Conductancia estomática (gs) medida en octubre de 2022 en algarrobos testigo y comparación con el valor promedio de los algarrobos ubicados en las proximidades del pozo Camar-2.

Árbol	gs (mmol/m <sup>2</sup> s <sup>1</sup> )
B11	119,0
B17	193,5
B20	183,1
B21	164,4
Promedio Testigo	165,0±16,5 a
Promedio Camar-2	134,6±13,1 b

Valores Promedio corresponden a las medias ± 1 Error Estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% según el test DGC de separación de medias.

## DISCUSIÓN

Los algarrobos ubicados en las proximidades del pozo Camar-2 presentan una baja cobertura y escaso a nulo crecimiento de ramillas (registro fotográfico, Anexo 1), lo cual se refleja en la inexistencia de hojas en los árboles A12, A22 y A38, que imposibilitó la medición de conductancia estomática en estos y a la inexistencia de ramillas en el A22 y la presencia de solo 1 ramilla en los árboles A04, A08, A12, A21, A30, A38, A41 y A43 para la realización de las mediciones de potencial hídrico. Esta falta de ramillas apropiadas para la medición se debe, en parte, a la escasa regeneración de ramillas, al ramoneo producido por burros que hay en la zona y a la naturaleza destructiva de la medición de los potenciales hídricos que corta 4 ramillas por campaña de medición (2 para  $\Psi_{pa}$  y 2 para  $\Psi_{md}$ ).

En esta campaña el árbol A38, presenta el valor más bajo en el potencial de pre-alba y mediodía ( $-4,1$  y  $<-4,2$  MPa, respectivamente), y a su vez presenta una baja cobertura (Anexo 1). Por tanto, este árbol presenta un deficiente desarrollo vegetativo, lo cual representa mayor vulnerabilidad al estrés hídrico, lo que condice con lo señalado por Carevic (2013), quien indica que el potencial hídrico es un inhibidor del crecimiento en altura, y que plantas de *Prosopis* al obtener valores de potencial menores a  $-3,0$  MPa, tienden a poseer menor tamaño.

En la campaña de octubre 2022, no se observaron diferencias estadísticamente significativas, en las variables fisiológicas de estado hídrico, entre los grupos de algarrobos ubicados en los cauces centro-sur y norte del pozo Camar-2. Observándose los siguientes valores promedio en  $\Psi_{pa}$ ,  $\Psi_{md}$  y  $gs$ :  $-2,40$  MPa,  $-3,22$  MPa y  $134,6$   $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente. Por otra parte, los árboles testigo, ubicados fuera del área de influencia del pozo Camar-2 (algarrobos testigo) tuvieron los siguientes valores:  $-1,98$  MPa,  $-2,24$  MPa y  $165,0$   $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente.

Al comparar los valores de estas variables fisiológicas de estado hídrico de los algarrobos, se observan diferencias estadísticamente significativas en el potencial hídrico en mediodía y en la conductancia estomática. Los árboles próximos al pozo Camar-2 tuvieron menor potencial hídrico en mediodía y menor conductancia estomática. Deduciendo que estos árboles tienen un estado hídrico disminuido. Esto se puede deber a que los algarrobos del área de estudio están sometidos a una condición donde la demanda atmosférica de vapor de agua no es suplida por la disponibilidad hídrica a la que acceden estos árboles, observándose a mediodía una mayor tensión de la columna de agua al interior de la planta, y por ende, un potencial hídrico de mediodía más negativo, que a su vez repercute en una menor conductancia estomática debido a cierre parcial de estomas (Taiz y Zeiger, 2002).

Considerando que durante la pre-alba, el potencial de la ramilla está en equilibrio con el potencial hídrico del suelo (Bucci et al., 2004), y que por lo tanto este es un indicador indirecto del estado hídrico del suelo, se puede deducir que no hay diferencias en el estado hídrico del suelo entre los algarrobos próximos al pozo Camar-2 y los testigos. Como estos

algarrobos corresponden a una especie freatófita, las diferencias deben estar en el acceso al agua de la napa freática.

Los valores observados están dentro de los rangos medidos por Giordano et al. (2011) en *Prosopis flexuosa*, sin embargo estos autores describen diferencias en potencial hídrico de pre-alba y conductancia estomática en árboles de valle y duna, que difieren en su acceso al recurso hídrico, señalando valores de entre -1,2 y -2,2 MPa de potencial de pre-alba y conductancia estomática de alrededor de  $250 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , en árboles con acceso al recurso y valores de entre -1,3 y -3,8 MPa de potencial de pre-alba y conductancia estomática de alrededor de  $60 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  en árboles con acceso restringido al recurso hídrico en el desierto del monte central en Argentina, esto nos da a pensar que los árboles analizados en Camar estarían en una situación hídrica intermedia. Sin embargo, se debe considerar que una menor cobertura de copa bajo condiciones de menor disponibilidad de agua, es un ajuste que contribuye a la mantención de funciones asociadas al intercambio gaseoso en niveles compatibles con la sobrevivencia, fenómeno que ha sido descrito en *Prosopis tamarugo* (Garrido et al., 2018).

Los valores de potencial hídrico de pre-alba y mediodía obtenidos en los meses de julio, son los más bajos observados en este grupo de Algarrobos (Tabla 7). Este cambio temporal de potenciales coincide con lo evaluado en *Prosopis tamarugo*, donde se observa un patrón de menor potencial hídrico de pre-alba en la época de invierno, y un mayor valor en la época estival (SAP, 2021). Por otro lado, al comparar las mediciones de esta campaña con las de diciembre de 2021, se observan valores similares en potencial hídrico en pre-alba y mediodía, por lo que la respuesta de los árboles se ha mantenido estables respecto a estas variables.

**Tabla 7.** Potencial hídrico de pre-alba y mediodía y conductancia estomática medidos entre 2017 y 2022 en algarrobos cercanos al pozo Camar-2.

Año	Mes	$\Psi_{pa}$ (MPa)	$\Psi_{md}$ (MPa)	gs ( $\text{mmol/m}^2 \text{ s}^{-1}$ )
2017	Enero	-1,69±0,10	-2,54±0,22	53,6±4,6
2020	noviembre	-2,13±0,06	-2,95±0,07	87,1±3,8
2021	Julio	-4,10±0,16	-4,68±0,67	-
2021	diciembre	-2,38±0,10	-3,29±0,10	250,0±13,0
2022	Marzo	-2,68±0,13	-3,45±0,11	230,9±12,3
2022	Abril	-2,74±0,19	-3,60±0,12	172,5±7,7
2022	Julio	-3,48±0,34	-3,93±0,31	135,6±16,0
2022	Octubre	-2,40±0,22	-3,22±0,25	134,6±13,1

Al observar la evolución de la conductancia estomática en el tiempo, se observa que los valores de esta campaña son más bajos que los observados en diciembre de 2021, lo que se puede deber a que, en octubre, aún se están desarrollando nuevas hojas, y no han alcanzado un nivel completo de desarrollo a hojas adultas y sanas, que es la condición ideal para realizar las mediciones de conductancia. Esta situación se observó en todos los individuos que tenían

hojas, incluyendo los árboles testigos, lo que se observa en la Figura 2, y podría explicar porque en esta campaña se alcanzaron valores más bajos de conductancia estomática con respecto a lo observado en diciembre de 2021.

**Figura 2.** Estado de desarrollo de hojas de Algarrobo en octubre de 2022.



## CONCLUSIONES

En la campaña de octubre de 2022, se evidencia que:

- No existen diferencias significativas en potencial hídrico en pre-alba, mediodía y conductancia estomática entre los cauces, observando un valor promedio de -2,40 MPa en pre-alba, -3,22 MPa en mediodía y  $134,6 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  de conductancia estomática.
- Adicionalmente, al comparar los algarrobos del área en estudio con individuos más grandes y de buena disponibilidad hídrica (testigos, fuera del área de estudio), se observan valores similares de potencial hídrico en pre-alba, sin embargo, en potencial hídrico de mediodía, los algarrobos del área próxima al Pozo Camar-2 presentan valores más bajos, debido a que están sometidos a una condición donde la demanda atmosférica de vapor de agua no es suplida por la disponibilidad hídrica del suelo, produciendo una mayor tensión en la columna de agua a mediodía. Mientras que en conductancia estomática, los árboles del área de estudio presentan valores más bajos, que podría ser efecto de un estado hídrico disminuido.

En relación con las mediciones anteriores, se evidencia que:

- Los valores de potencial de esta campaña son más altos que los registrados en julio, lo que es una respuesta a la variación estacional, en el que se observan los valores más negativos en invierno.
- En esta campaña se observan valores similares de potencial hídrico en pre-alba y mediodía al comparar con las mediciones realizadas en diciembre de 2021, donde los valores promedios de estas campañas no se diferencian en pre-alba (-2,4 y -2,38 MPa para octubre 2022 y diciembre 2021 respectivamente) ni en mediodía (-3,22 y -3,29 MPa para octubre 2022 y diciembre 2021 respectivamente).

## 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.
- Briner, C. 1985. Caracterización fenotípica de los biotipos de tamarugo en la Pampa del Tamarugal. In: Estado actual del conocimiento sobre *Prosopis tamarugo*. Habit, M. (Eds). Arica, Chile. 11-15 de junio de 1984, FAO: 500.
- 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.
- Carevic, F. 2013. Análisis de las respuestas ecofisiológicas de progenies del género *Prosopis* con vistas a la selección temprana por su resistencia a sequías. Informe final proyecto 047/2011. Ministerio de Agricultura.
- 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.
- 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.
- Fundación CRYCIT. 2017. Informe final sobre estudios e investigaciones que intentan explicar el estado actual de ejemplares de algarrobos, en una población ubicada en las proximidades del pozo Camar 2 de SQM, en el Salar de Atacama, Chile. Apéndice 5-C. SQM.

- Garrido, M., Silva, H., Franck, N., Arenas, J. and Acevedo, E. 2018. Evaluation of Morpho-Physiological Traits Adjustent of *Prosopis tamarugo* Under Long-Term Groundwater Depletion in the Hyper-Arid Atacama Desert. *Frontiers in Plant Science* 9: 453. doi:10.3389/fpls.2018.00453
- 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.
- Hidroestudios. 2020. Modelación de la vitalidad y análisis cuantitativo de posibles causas de afectación en algarrobos de Camar. Apéndice 5-D. SQM.
- Ibáñez, S. 2019. Informe taxonómico de identificación de las especies de *Prosopis* en la Quebrada de Camar. Apéndice 4.7-10. SQM.
- Johnson, D., Domec, J.P., Carter, Z., Schwantes, A., Woodruff, D., McCulloh, K., et al. 2018. Co-occurring woody species have diverse hydraulic strategies and mortality rates during an extreme drought: Belowground hydraulic failure during drought. *Plant Cell and Environment* 41(3): 576-588.
- Laboratorio de Relación Suelo-Agua-Planta (SAP). 2021. Informe Proyecto Pampa Hermosa Llamara 2021. SQM.
- 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.
- 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.



- Taiz, L. & Zeiger, E. 2002. Plant Physiology (Third Edition). Sinauer Associates, Inc. Sunderland.
- 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.

## APÉNDICES

## 2. 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

## 14. Registro fotográfico

Se presenta registro fotográfico de los individuos de Algarrobos obtenidos en julio de 2022.

Cauce Centro-Sur



Árbol A04



Árbol A07



Árbol A08



Árbol A11



Árbol A36



Árbol A37



Árbol A38



Árbol A40



Árbol A41



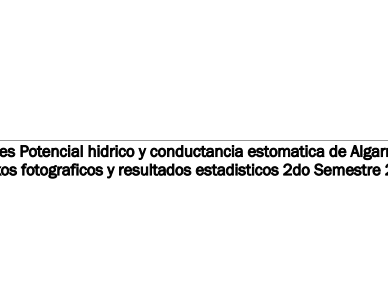
Árbol A43



Árbol A44



Árbol A47





Árbol A58

Cauce norte



Árbol A12



Árbol A21



Árbol A22



Árbol A30



Árbol A33

Fuera del área de estudio (testigos)



Árbol B11



Árbol B17



Árbol B20



Árbol B21

### 15. Análisis de varianza sobre potencial hídrico de pre-alba en Área de Estudio

#### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
INV PHpa	17	0.05	0.00	23.57

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.01	1	0.01	0.73	0.4058
Cauce	0.01	1	0.01	0.73	0.4058
Error	0.17	15	0.01		
Total	0.17	16			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.1352

Error: 0.0110 gl: 15

Cauce Medias n E.E.



N -0.41 4 0.05 A  
CS -0.46 13 0.03 A

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

## 16. Análisis de varianza sobre potencial hídrico de mediodía en Área de Estudio

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
INV PHmd	17	0.12	0.07	22.76

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.01	1	0.01	2.12	0.1662
Cauce	0.01	1	0.01	2.12	0.1662
Error	0.08	15	0.01		
Total	0.10	16			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=0.0960

Error: 0.0056 gl: 15

Cauce Medias n E.E.

N -0.28 4 0.04 A  
CS -0.34 13 0.02 A

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

## 17. Análisis de varianza sobre conductancia estomática en Área de Estudio

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
gs	15	0.05	0.00	17.43

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	400.08	1	400.08	0.73	0.4095
Cauce	400.08	1	400.08	0.73	0.4095
Error	7161.98	13	550.92		
Total	7562.06	14			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=34.2322

Error: 550.9212 gl: 13

Cauce Medias n E.E.

N 144.97 3 13.55 A  
CS 132.06 12 6.78 A

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

## 18. Prueba de Kruskal Wallis sobre potencial hídrico de pre-alba entre grupos

### Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Aguas	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
PHpa	AB	17	-2.40	0.75	-2.05	1.46	0.2218
PHpa	AR	4	-1.98	0.24	-1.90		

## 19. Modelo lineal generalizado sobre potencial hídrico de mediodía entre grupos

### Especificación del modelo en R

mlm.modelo.000\_PHmd\_REML<-glm(PHmd~1+Aguas



```
,weights=varComb(varIdent(form=~1|Aguas))
,method="REML"
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data00)
```

**Resultados para el modelo: mlm.modelo.000\_PHmd\_REML**

Variable dependiente: PHmd

#### Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
21	50.82	54.60	-21.41	0.78	0.24	

AIC y BIC menores implica mejor

#### Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	518.06	<0.0001
Aguas	1	16.81	0.0006

#### Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	503.29	<0.0001
Aguas	1	16.81	0.0006

#### Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
1 Aguas	1	19	16.81	0.0006

#### Estructura de varianzas

Modelo de varianzas: varIdent

Formula: ~ 1 | Aguas

Parámetros de la función de varianza

Parámetro	Estim
AB	1.00
AR	0.38

#### PHmd - Medias ajustadas y errores estándares para Aguas

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Aguas Medias E.E.

AR	-2.24	0.15	A
AB	-3.22	0.19	B

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

## 20. Análisis de varianza sobre conductancia estomática entre grupos

#### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
gs	19	0.21	0.17	17.89

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2909.97	1	2909.97	4.57	0.0473



Solutions  
for human  
progress

Aguas 2909.97 1 2909.97 4.57 0.0473  
 Error 10816.33 17 636.25  
 Total 13726.31 18

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=30.3561

Error: 636.2550 gl: 17

Aguas Medias n E.E.

AR 164.99 4 12.61 A

AB 134.64 15 6.51 B

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

## 21. Resultados de Potencial hídrico en pre-alba

Árbol	Hora	$\Psi_{pa} 1$ (MPa)	$\Psi_{pa} 2$ (MPa)
A04	6:30	-2,8	-
A07	6:40	-2,0	-1,9
A08	6:38	-1,8	-
A11	6:35	-2,2	-2,0
A12	6:30	-3,0	-
A21	6:25	-4,0	-
A22	-	-	-
A30	6:20	-1,8	-
A33	5:55	-2,0	-2,1
A36	5:59	-2,1	-2,0
A37	6:01	-2,2	-1,9
A38	6:04	-4,1	-
A40	6:11	-2,2	-1,9
A41	6:14	-3,2	-
A43	6:21	-1,8	-
A44	6:18	-2,0	-1,9
A47	6:08	-2,1	-2,2
A58	6:24	-2,0	-2,0
B11	6:10	-2,2	-2,4
B17	6:00	-1,8	-1,8
B20	5:53	-1,8	-1,8
B21	5:50	-1,9	-2,1

## 22. Resultados de Potencial hídrico en mediodía

Árbol	Hora	$\Psi_{md} 1$ (MPa)	$\Psi_{md} 2$ (MPa)
A04	12:55	-2,2	-
A07	13:26	-2,2	-2,5
A08	13:27	-4,2	-

Árbol	Hora	$\Psi_{md} 1$ (MPa)	$\Psi_{md} 2$ (MPa)
A11	13:25	-2,3	-2,5
A12	13:35	-4,2	-
A21	13:38	-3,8	-
A22	-	-	-
A30	13:42	-3,8	-
A33	12:40	-3,0	-2,6
A36	12:42	-2,8	-2,7
A37	12:43	-2,8	-2,8
A38	12:44	-4,2	-
A40	12:46	-2,7	-2,6
A41	12:47	-4,2	-
A43	12:49	-4,2	-
A44	12:48	-2,9	-2,6
A47	12:45	-2,4	-2,5
A58	12:50	-3,0	-3,0
B11	13:56	-2,6	-2,7
B17	14:01	-2,1	-2,2
B20	14:07	-1,7	-2,2
B21	14:08	-2,2	-2,2

### 23. Resultados de Conductancia estomática

Árbol	Hora	gs (mmol/m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )	Árbol	Hora	gs (mmol/m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )
A04	10:00	81,2	A07	11:37	157,0
		99,7			137,1
		84,0			148,5
		124,5			195,4
A08	11:31	76,6	A11	11:24	168,0
		111,5			174,2
		79,8			137,1
		106,5			122,8
A12	-	-	A21	11:10	119,9
		-			108,3
		-			141,0
		-			186,6
A22	-	-	A30	10:59	142,0
		-			173,1

Árbol	Hora	gs (mmol/m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )	Árbol	Hora	gs (mmol/m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )
		-			48,8
		-			212,5
A33	10:13	153,6	A36	10:20	113,3
		181,3			139,7
		130,0			132,0
		142,5			130,3
A37	10:25	117,9	A38	-	-
		99,8			-
		123,6			-
		132,6			-
A40	10:39	115,9	A41	10:46	106,9
		111,7			138,3
		140,9			142,2
		112,0			109,6
A43	10:57	176,2	A44	10:52	156,3
		142,7			201,0
		145,4			174,3
		125,1			203,0
A47	10:33	146,6	A58	11:03	127,7
		144,5			133,6
		113,7			138,8
		114,2			124,9
B11	10:38	79,3	B17	10:27	153,4
		112,4			200,0
		195,2			217,7
		89,1			202,7
B20	10:13	135,8	B21	10:02	127,4
		231,2			192,9
		167,4			176,4
		198,1			160,9

#### 24. 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, quien asiste en la toma de datos en terreno y a cargo del análisis de datos y elaboración de informes.



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