

Respuestas a observaciones del Consejo de Pueblos Atacameños

**Programa de cumplimiento presentado por
SQM el 30 de noviembre de 2020
Procedimiento sancionatorio F-041-2016**

Respuestas a observaciones del Consejo de Pueblos Atacameños

GEOBSQMINF100.REVB.07102021 - GEOBSQM641.INF20.REVO

SOPORTE TÉCNICO PROGRAMA DE CUMPLIMIENTO SQM SALAR

Rev.	Id	Ejecutor	Revisor	Aprueba	Descripción
0	Nombre	CP			Informe técnico Rev.(B)
	Fecha	07.10.2021			

Contenido

Respuesta a observaciones efectuada por el Consejo de Pueblos Atacameños Carta
21.09.2021.

- El modelo conceptual de la vegetación ocupado por SQM Salar por más de 14 años para evaluar la profundidad del nivel freático en relación al desarrollo de franjas de vegetación (páginas de 15-17), presenta errores de planteamiento que no resuelve en el tiempo, los impactos que tienen las variaciones del nivel freático sobre el comportamiento de las plantas y formación de vegetación hidromorfa, aquella conectada al acuífero y la vegetación desconectada al acuífero.

Tal como ha sido señalado en el Apéndice 1.6 del Programa de Cumplimiento (Dinámica de la biota terrestre y acuática en el Borde Este del Salar de Atacama, geobiota, 2020) el modelo conceptual —que sustenta el uso de la profundidad de raíces para calcular cual es la profundidad máxima de la napa que no genera efectos negativos en la vegetación— se funda en la física de la absorción de agua por las plantas. Este modelo, ampliamente conocido y empíricamente comprobado, explica la fotosíntesis en función del estado hídrico de la planta y, con ello, su crecimiento y desarrollo. Si bien el estado hídrico de la planta depende de la disponibilidad de agua en el suelo, no todas las especies necesitan la misma cantidad de agua para crecer y desarrollarse. Esto explica que las especies se distribuyan geográficamente según su desempeño diferencial a las condiciones climáticas del territorio. De esta manera, en las zonas húmedas dominan especies que requieren una disponibilidad de agua superior a las que habitan las zonas áridas.

El modelo suelo agua planta y su aplicación al Borde Este del Salar de Atacama se presentó en el Apéndice 6, de Programa de Cumplimiento y se resume a continuación.

En una planta sin déficit hídrico existe un continuo de agua líquida que se extiende desde la raíz hasta las hojas. Esta agua está contenida en una estructura denominada Xilema. Esta estructura es un conducto lignificado que transporta agua desde la raíz hasta las hojas de la planta. El movimiento de agua a través de la planta, desde la interfaz Suelo–Raíz hasta la interfaz Hoja–Atmósfera, es un fenómeno pasivo que se explica por la existencia de gradientes de potencial hídrico entre el suelo y la atmósfera. Esto es, las diferencias de potencial hídrico entre el suelo, la raíz, el xilema, la hoja y la atmósfera, explican la absorción y movimiento del agua en la planta. El agua se moverá sólo si se mantiene este gradiente de potencial hídrico. Para que ello ocurra, se requiere que el suelo tenga la suficiente agua para que su potencial hídrico sea mayor al de la atmósfera, es decir, el suelo debe estar adecuadamente aprovisionado de agua. En la Figura 3.9 del Apéndice 1.6 se presenta el esquema simplificado del fenómeno físico de movimiento de agua en las plantas (ver Figura 1 a continuación).

Sobre el acuífero aluvial del Borde Este se desarrollan franjas vegetacionales representadas principalmente por a) vegetación hidromorfa y b) formación Brea-Atriplex (Figura 2). Su principal fuente de abastecimiento de agua es el acuífero aluvial del Borde Este (en la zona somera). Este acuífero es recargado por precipitaciones que recibe directamente y de las que ocurren en las partes más altas de la cuenca. El agua subterránea fluye desde el este al oeste hacia la parte más baja de la cuenca, lugar donde se interdigita con depósitos salinos de distintas características, que pueden generar distintos niveles acuíferos.

La vegetación Hidromorfa está conformada por especies que son capaces de vivir con las raíces en zonas saturadas de agua y con cierto contenido de sales. Por ello se encuentran ubicadas en la parte más baja del borde este, donde la napa es somera y se encuentra en superficie.

Figura 1. Esquema simplificado del fenómeno físico de movimiento de agua en las plantas (Según Figura. 3.9, Apéndice 1.6, Programa de Cumplimiento, 2020)

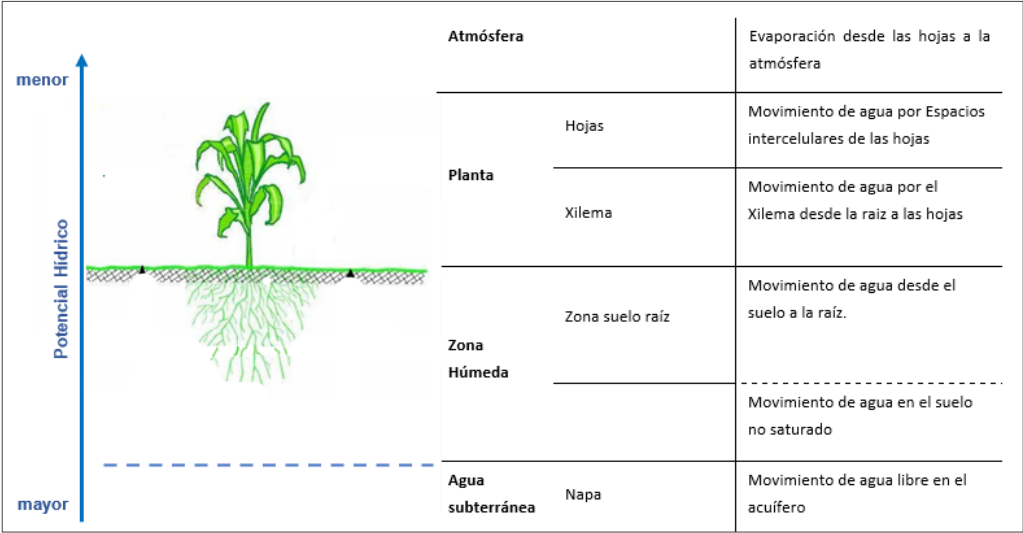
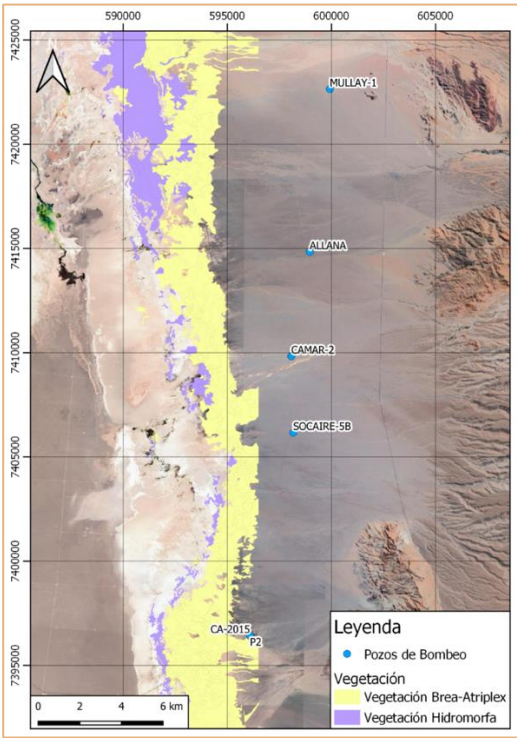


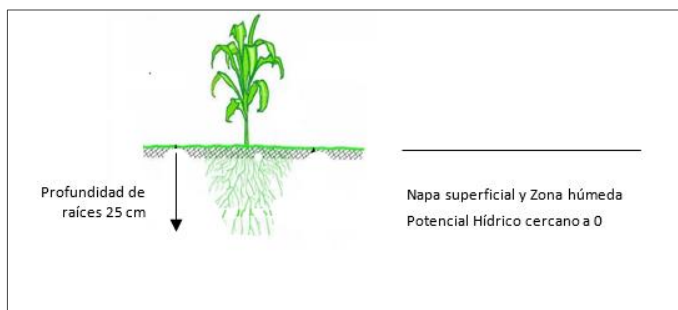
Figura 2. Distribución de la vegetación en el Borde Este. Según Figura. 3.9, Apéndice 1.6, Programa de Cumplimiento, 2020.



El informe “Estudio de profundidad de raíces en *Tessaria absinthioides* y *Atriplex atacamensis*, en sector oriental del Borde Este del Salar de Atacama¹” indica que la vegetación hidromorfa posee una longitud de raíces promedio de 30 cm de profundidad y, por ello, se acepta un descenso máximo de 25 cm en pozos de observación ubicados en el borde del pajonal. Se considera además que los requerimientos hídricos de la vegetación hidromorfa del Borde Este podrían ser menores, debido a que gran parte de ésta se desarrolla por sobre la napa subterránea.

El modelo conceptual de la vegetación Hidromorfa indica que si la profundidad de la napa desciende más de 25 cm ocurre lo siguiente (Figura 3): a) se produce un descenso de la Zona Húmeda del suelo; b) la Zona Interfaz Suelo-Raíz queda fuera de la zona húmeda; c) se interrumpe el aprovisionamiento de agua a la Interfaz Suelo-Raíz y d) la absorción de agua por la raíz se ve interrumpido porque el gradiente de potencial hídrico entre el suelo y la raíz no es suficiente para permitir el movimiento del agua desde el suelo a la planta.

Figura 3. Utilización de la profundidad de raíces para establecer profundidad máxima permisible de la napa que garantice la no afectación hídrica de las plantas (Según Figura 3.10, Apéndice 1.6, Programa de Cumplimiento, 2020)



La formación Brea-Atriplex conectada con el acuífero. Corresponde a una parte de la formación Brea-Atriplex que potencialmente puede estar conectada con el acuífero del Borde Este. La delimitación espacial de esta zona se efectuó considerando la extensión de las raíces de la formación Brea-Atriplex y el espesor de la zona húmeda, conforme a la siguiente información:

- Máxima extensión de raíces formación Brea-Atriplex. Esta variable se determinó empíricamente y se reportó en el informe “Estudio de profundidad de raíces en *Tessaria absinthioides* y *Atriplex atacamensis*, en sector oriental del Borde Este del Salar de Atacama”. Los resultados de dicho estudio indican que la profundidad de las raíces de estas especies varía entre 1 y 3 m, siendo su valor promedio de 2 m.
- Espesor de la zona húmeda. Esta zona representa el sector de suelo que se encuentra humedecido por agua proveniente desde el acuífero aluvial debido a fuerzas capilares (contenido de humedad entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente).

El espesor de la zona húmeda se determinó en función de la textura del subsuelo, descrito en estudio de profundidad de raíces, que indicó que la textura más frecuente corresponde a la franco-arcillosa. La información de textura fue ingresada al programa Hydrus-1D, que resuelve la ecuación que describe el flujo en la zona no saturada en una dimensión. Esta metodología permitió determinar cuánto se extiende la zona húmeda,

¹ Estudio de profundidad de raíces en *Tessaria absinthioides* y *Atriplex atacamensis*, en sector oriental del Borde Este del Salar de Atacama. Pramar ambiental consultores, 2005. Estudio de Impacto Ambiental Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama, Anexo IV, Adenda 2.

desde la napa, considerando como límite la humedad aprovechable por las plantas, es decir, la succión en el punto de marchitez permanente (PMP), definido en 15 atm o 15.500 centímetros de columna de agua. La Figura 4 presenta el perfil de la succión calculada para un suelo franco-arcilloso y una napa a 6 m de profundidad. Se observa que a los 6 m de profundidad el valor de la succión presenta un valor de 0 cm, representando correctamente la ubicación de la napa. A partir de este punto, la succión aumenta (significa que disminuye el contenido de humedad) muy lentamente hasta los 250 cm de profundidad para, después, aumentar rápidamente hasta alcanzar el PMP (15.500 cm) a los 200 cm de profundidad. En función de estos resultados se puede concluir que la zona húmeda se extiende 4 m sobre el nivel del acuífero.

Dado que: a) las raíces presentan una extensión en profundidad máxima de 3 m, b) que el espesor de la zona húmeda es de 4 m desde el acuífero (sube) y, c) que las raíces necesitan estar rodeadas de humedad para llevar a cabo el proceso de absorción de agua, se determinó que el punto donde se conecta la vegetación con el acuífero es donde la napa se ubica a 6 m de profundidad.

La Figura 5 presenta esquemáticamente lo señalado: a) se observa que la raíz presenta una profundidad máxima de 3 m, desde la superficie del suelo, b) que la zona húmeda se proyecta desde el acuífero hacia la superficie por 4 m, es decir, alcanza los 2 m de profundidad desde la superficie del suelo, c) luego, en la zona de conexión, las raíces se encuentran con la zona húmeda entre los 2 y 3 m de humedad. Más abajo existe humedad, pero las raíces no tienen la extensión suficiente para absorberla, y sobre los 2 m se ha supuesto que no existe humedad, ya que la estimación se realizó bajo condiciones conservadoras, es decir, sin precipitaciones.

Figura 4. Perfil de succión calculado por el programa Hydrus-1D. (Según Figura 3.11, Apéndice 1.6, Programa de Cumplimiento, 2020)

Perfil de la succión calculada para un suelo franco-arcilloso y una napa a 6 m de profundidad.

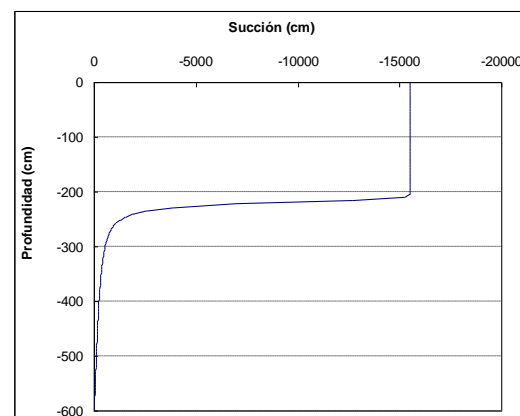
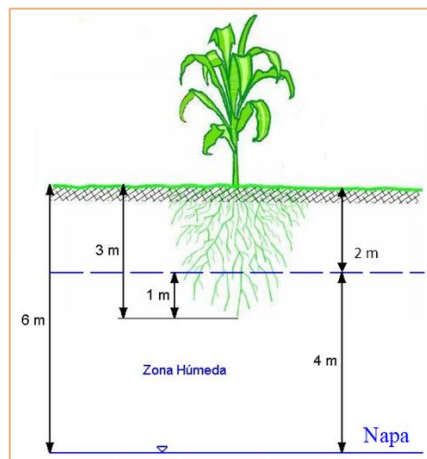


Figura 5. Perfil vertical esquemático del límite oriental de la zona de conexión vegetación-acuífero. (Según Figura 3.12, Apéndice 1.6, Programa de Cumplimiento, 2020)

Se observa que la raíz presenta una profundidad máxima de 3 m, desde la superficie del suelo; la zona húmeda se proyecta desde el acuífero hacia la superficie por 4 m, alcanzando los 2 m de profundidad desde la superficie del suelo. Mientras que en la zona de conexión las raíces se encuentran con la zona húmeda entre los 2 y 3 m de profundidad.



Esta relación Suelo–Agua–Planta condiciona la distribución espacial de la vegetación, dando origen a franjas vegetacionales que se distribuyen de Norte a Sur (Figura 6 y Figura 7) cuyo ancho (Este–Oeste) está asociado al nivel de conexión de las plantas con el acuífero, esto es:

- Vegetación hidromorfa:** conformada por especies capaces de vivir en suelos saturados de agua que se abastecen del acuífero somero. Sector poniente del Borde Este, cercano al núcleo.
- Vegetación conectada al acuífero:** compuesta por especies que se desarrollan en la zona de conexión vegetación-acuífero, es decir, en la zona donde la profundidad de la napa se encuentra entre 6 y 0 m de profundidad aproximadamente y, por lo tanto, también se abastecen del acuífero. Sector central del borde este, donde la napa se encuentra entre 6 m de profundidad y la zona somera.
- Vegetación desconectada del acuífero:** conformada por especies que se distribuyen mayoritariamente fuera de la zona de conexión vegetación-acuífero, es decir, en sectores donde la profundidad de la napa es superior a los 6 m, por lo tanto, se abastecen del agua proveniente de las precipitaciones y su escurrimiento superficial. Sector Oriente del Borde Este.

Figura 6 Perfil vertical esquemático de la distribución de la vegetación respecto del nivel de conexión de las plantas con el acuífero. (Según Figura 3.13, Apéndice 1.6, Programa de Cumplimiento, 2020)

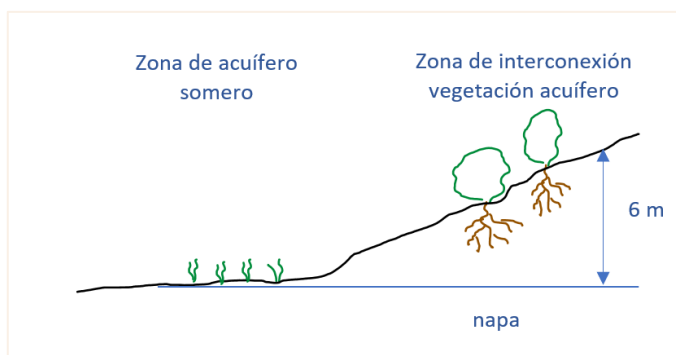
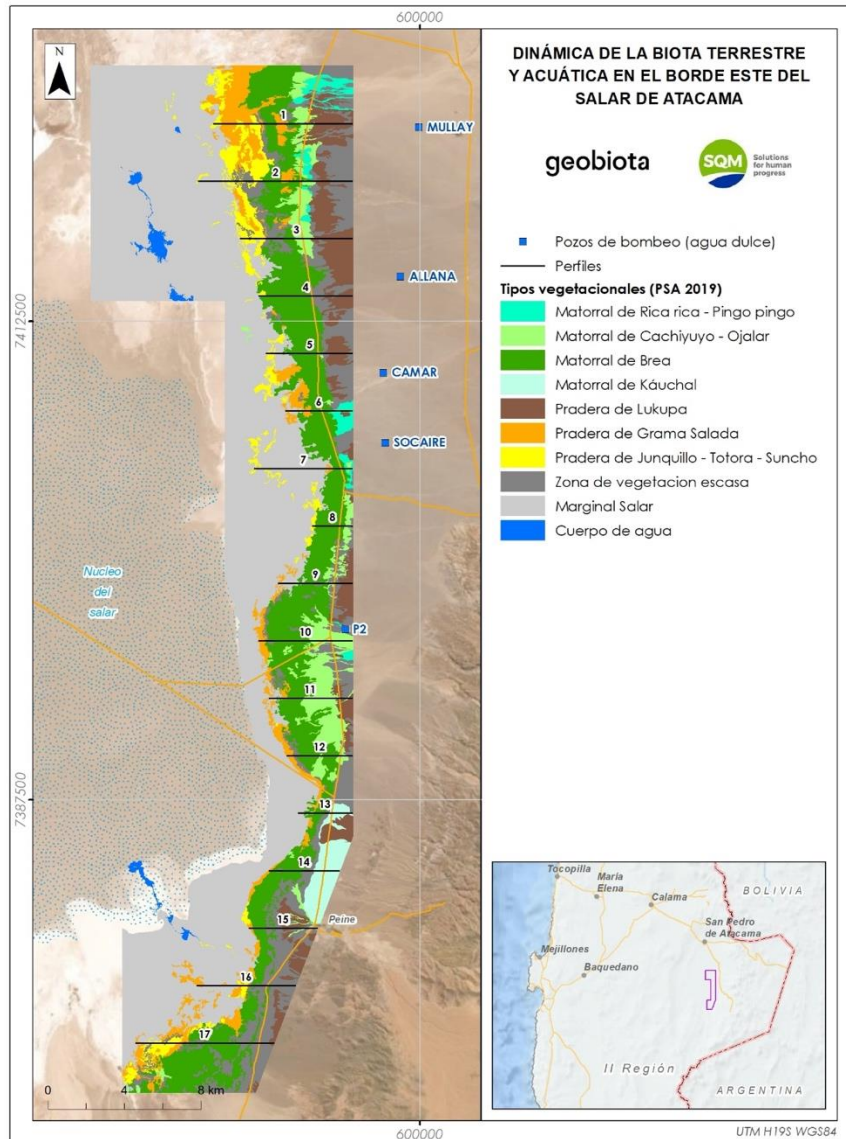


Figura 7. Distribución de la vegetación y de los perfiles vegetacionales en el borde este del Salar de Atacama Según Figura 3.14, Apéndice 1.6, Programa de Cumplimiento, 2020)



- Una de las bases del modelo es el estudio de 1996 sobre la respuesta al stress hídrico de las plantas del sector sur del Salar de Atacama, donde concluye que las plantas podrían soportar una disminución en el nivel freático de 25 cm., y que esta disminución traería además un descenso de la zona húmeda, se interrumpiría el potencial hídrico entre el suelo y la raíz, lo que sería insuficiente para el movimiento desde el suelo a la planta (página 16).

Efectivamente, y tal como ha sido señalado en el Apéndice 1.6 y reproducido en la aclaración precedente, el modelo conceptual de la vegetación Hidromorfa indica que si la profundidad de la napa desciende más de 25 cm ocurre lo siguiente (Figura 3): a) se produce un descenso de la Zona Húmeda del suelo; b) la Zona Interfaz Suelo-Raíz queda fuera de la zona húmeda; c) se interrumpe el aprovisionamiento de agua a la Interfaz Suelo-Raíz y d) la absorción de agua por la raíz se ve interrumpido porque el gradiente de potencial hídrico entre el suelo y la raíz no es suficiente para permitir el movimiento del agua desde el suelo a la planta.

- El modelo no considera que las vegetaciones toleran cambios mayores a 25 cm establecidos, y dependerá básicamente de la planta y de el largo de raíces que llegan a decenas de metros, por tanto, una disminución de 0,25 m no genera grandes cambios en su metabolismo (Henseleit, 2013; Granados et al. 2012)

Efectivamente, el umbral utilizado en el Plan de Alerta temprana es conservador. Los monitoreos reportados a la autoridad no muestran menoscabo en la vegetación en general ni la vegetación hidromorfa en particular.

- El modelo de SQM Salar (página 17) expresa que la zona húmeda (desde la napa a la superficie), considera como límite humedad aprovechable por las plantas, es decir, hasta en el punto de marchites permanente (15 atmósferas) y que por tanto las plantas tendrían un espacio húmedo aprovechable de 4 m sobre el nivel del acuífero.

Efectivamente y tal como se señala en la figura 5 de este documento, la raíz presenta una profundidad máxima de 3 m desde la superficie del suelo; la zona húmeda se extiende desde el acuífero hacia la superficie por 4 m, alcanzando los 2 m de profundidad desde la superficie del suelo. Entre los 2 y 3 m de profundidad las raíces se encuentran con la zona húmeda. Por esta razón, el límite máximo al cual puede descender la napa es de 6 m. Este número se compone de los 4 m que se extiende la zona húmeda más los 2 m de la zona de raíces cuya profundidad fue empíricamente medida en el Estudio de profundidad de raíces en *Tessaria absinthioides* y *Atriplex atacamensis*, en sector oriental del Borde Este del Salar de Atacama. Pramar ambiental consultores, 2005. Estudio de Impacto Ambiental Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama, Anexo IV, Adenda 2.

- Aquí se presentan dos errores en el modelo, primero en una matriz de un suelo el agua se puede retener ya sea por infiltración, por fuerzas de capilaridad matricial, por fuerzas químicas y también puede hacerlo por procesos osmótico (importantes en suelos salinos) variables que no están incluidas en el modelo; segundo, cuando el suelo contiene una cantidad máxima de agua, estamos en lo que se conoce como Capacidad de Campo (CC) y las raíces de las plantas tiene disponibilidad de absorción sin mayor dificultad.

Efectivamente. Es lo que indica el modelo utilizado. Los valores umbral corresponden a la profundidad en la cual se rompe la continuidad hidráulica del suelo y se presume que se podría afectar la vegetación. Esto es, potenciales menores a 15 atm (punto de marchitez permanente). Tal como lo señala en las observaciones anteriores se han utilizado valores umbral muy conservadores. Se están efectuando estudios de campo orientados a elaborar curvas características que permitan conocer con mayor exactitud el potencial hídrico del suelo.

- La capacidad de rebajar el potencial hídrico radicular es muy desigual, así, las plantas hidrófilas (suelos siempre húmedo), no superan normalmente 10 bar (1Mpa o 9,8 Atmósfera); la mayoría de las plantas de cultivo oscilan entre 10 y 20 bar (1 y 2 Mpa o 9,8 y 19,7 Atmósfera), 30 bar (3 Mpa o 2,9 atmósfera) es el límite para los árboles, pero para las plantas xerófitas pueden reducirlo hasta 60 bar (6 Mpa o 5,9 atmósferas), es decir la vegetación es menos sensible a los cambios de humedad de suelo y por tanto no genera cambios drástico en su metabolismo (Granados et al., 2012). c) El modelo también descarta vegetación que es considerada freatófitas, Nilsen et al. (1986) y Hernández (2006), refieren a que algunas especies perennes leñosas, como los *Prosopis* spp., que se encuentran presentes en lado sur del Salar de Atacama a lo largo del perfil vegetación desde número 6 hasta el 15, alrededores de Peine, tienen la capacidad de aprovechar la humedad de las capas profundas (nivel freático) del suelo

Efectivamente. Los umbrales utilizados en el Plan de Alerta temprana son conservadores. Los monitoreos reportados a la autoridad no muestran menoscabo en la vegetación en general ni la vegetación hidromorfa en particular.