Corporación Nacional del Cobre de Chile
Casa Matriz
Huérfanos 1270
Casilla 150-D
Santiago, Chile
www.codelco.com

OF. DE PARTES RECIBIDO
16 OCT 2018
SERVICIO DE EVALUACION AMBIENTAL

Al
25145

Santiago, 16 de octubre de 2018
GSRI- 138 /2018

Señor
Andrés León Riquelme
Jefe (S) División de Evaluación Ambiental y Participación Ciudadana
Servicio de Evaluación Ambiental
Miraflores N° 222, piso 19
Santiago

Ref.: Carta N° 181171, de 16 de agosto de 2018.

Mat: Atiende requerimiento y adjunta antecedentes solicitados.

De nuestra consideración:

Mediante la carta señalada en la referencia, se nos ha requerido presentar antecedentes adicionales en el marco del proceso administrativo de revisión de la RCA N° 2.603/2005 que calificó favorablemente al Proyecto "Suministro, Construcción y Operación, Aducción de Agua Pampa Puno", otorgándose plazo hasta el día 16 de octubre para dichos efectos, de acuerdo a la prórroga oportunamente concedida.

Atendiendo al referido requerimiento, vengo en acompañar Informe que contiene las respuestas fundadas a cada uno de los planteamientos formulados y presenta los antecedentes adicionales solicitados, todos los cuáles se adjuntan a esta comunicación en soporte digital.

Sin otro particular, le saluda atentamente,

Jorge Lagos Rodríguez
Gerente de Sustentabilidad y Relaciones Institucionales
CODELCO Chile

Corporación Nacional del Cobre de Chile
Casa Matriz
Huérfanos 1270
Casilla 150-D
Santiago, Chile
www.codelco.com

Incl: 2 CD con los siguientes antecedentes:

- INFORME RESPUESTA A CARTA N°181171/2018 DE LA DIRECCIÓN EJECUTIVA DEL SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL (SEA) PROCESO DE REVISIÓN RCA N°2603 DE 2005 "SUMINISTRO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN ADUCCIÓN DE AGUA PAMPA PUNO""
- Anexo 1. Detalle Cobertura de los Transectos vega Sapunta
- Anexo 2. KMZ COT y Transectos
- Anexo 3. Informes vegetación vega Sapunta
- Anexo 4. Modelo Hidrogeológico Conceptual y Numérico de Detalle Sistema Vertiente Sapunta
- Anexo 5. Informe técnico Modelo Integrado Puno Sapunta
- Anexo 6. Metereología

Distribución:

- Sr. Jefe División de Evaluación Ambiental y Participación Ciudadana SEA
- Sr. Gerente General DMH
- Sr. Gerente de Sustentabilidad y R. Institucionales Distrito Norte
- Archivo GSRI

INFORME RESPUESTA A CARTA N°181171/2018 DE LA DIRECCIÓN EJECUTIVA DEL SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL (SEA)

PROCESO DE REVISIÓN RCA N°2603 DE 2005

"SUMINISTRO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN ADUCCIÓN DE AGUA PAMPA PUNO"

El presente documento da respuesta a las observaciones emanadas de la Carta N°181171/2018 de la Dirección Ejecutiva del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), en el marco del proceso de revisión conforme al artículo 25 quinquies de la Ley N° 19.300, de la RCA N°2603 del 2005 que calificó ambientalmente el proyecto "Suministro, Construcción y Operación Aducción de Agua Pampa Puno", y entrega los antecedentes adicionales requeridos.

Las respuestas se desarrollan atendiendo a cada uno de los requerimientos contenidos en la Carta citada, en el mismo orden en que han sido formulados.

1. ***Respecto al documento "Plan de seguimiento del componente flora y vegetación en la vega Sapunta-Pampa Puno, Julio de 2017 (Rev C)", se estima necesario reiterar al titular que presente y precise los siguientes antecedentes:***

   a) Método de muestreo.

      i) Superficie del área de estudio: verificar las dimensiones por las que se obtiene el área que abarca la vega Sapunta, en donde se incluya la parte alta de la vega.

Respuesta:

De acuerdo a lo solicitado en esta observación, se realizó una redefinición de los límites del sector vega Sapunta, estableciendo una nueva máscara de corte circunscrita entre el ingreso sur-occidental de vega Sapunta y la ubicación de la poza N°2.

En consecuencia, la nueva superficie del área de estudio corresponde a **2,33 ha**, aumentando en 1,241 ha la superficie respecto de la máscara antigua establecida el año 2012 de 1,089 ha, e incluyendo la parte alta de la vega (ver **Figura 1**).

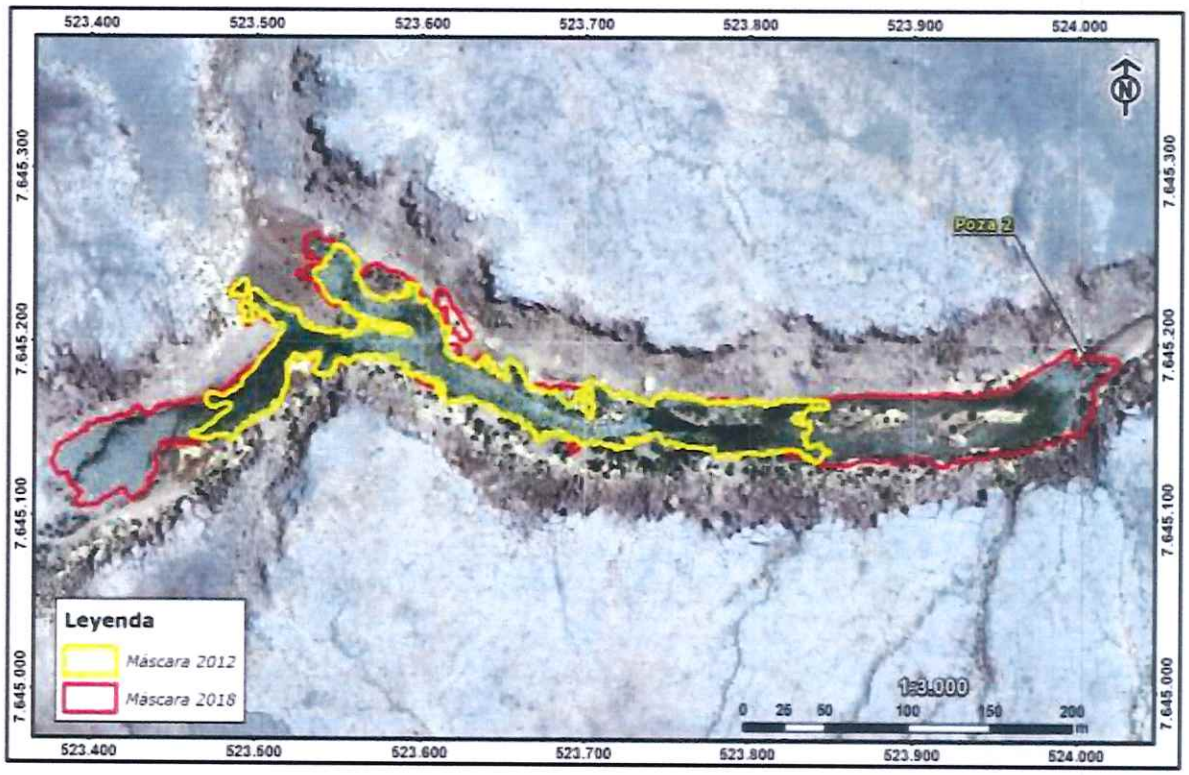

Figura 1. Área de estudio con la nueva máscara de corte (línea roja) vs la máscara utilizada desde el año 2012 (línea amarilla) (Datum WGS84, Huso 19 Sur).

Fuente: Elaboración propia, 2018

A partir de esta redefinición del área estudio y mediante un reprocesamiento de la información espacial, basado en técnicas de percepción remota[1] y en la información derivada del muestreo de campo[2], se realizó una extrapolación de las variables analizadas en el área de estudio desde el verano 2011 al verano 2018 y se revisó la base de datos de la cobertura vegetacional presente, validando cada uno de los cálculos, verificando que las mediciones sean representativas, e incluyendo todos los elementos evaluados en terreno (p.e. vegetación, suelo desnudo, mantillo, rastrojos, agua e intrusiones salinas) (ver **Anexo 1**).

Con lo anterior, se pudo definir la nueva distribución de las formaciones vegetacionales, esto conforme a su cobertura, estructura y composición vegetacional, mediante un reprocesamiento de la información espacial (shapefiles) de las formaciones vegetacionales generada para los monitoreos anteriores. Este reprocesamiento se basa en técnicas de percepción remota, es decir, revisando las imágenes satelitales históricas y con el apoyo de la información derivada del muestreo de campo (muestreos históricos), se realizó una nueva fotointerpretación sobre las nuevas áreas definidas por la máscara 2018 (áreas no cubiertas por la máscara antigua, que es más pequeña).

Con todo ello, se realizó una extrapolación de las variables estudiadas (cobertura, estructura y composición vegetacional) en el área de estudio desde el verano 2011 al verano 2018.

[1] Análisis de imágenes satelitales 2011 al 2018.

[2] Información de terreno de transectos para la serie temporal.

ii) ***Unidades muéstrales: falta indicar las coordenadas de inicio y final de cada transecta y especificar las variables o parámetros a monitorear en ellas, además de la vegetación, para este tipo de seguimiento debe utilizarse un método que permita identificar cubrimientos de 5% para cada elemento presente en la unidad.***

Respuesta:

Atendiendo a la solicitud de antecedentes, a continuación se presenta el conjunto de unidades muestrales (transectos) implementadas como parte del plan de seguimiento ambiental de la vega Sapunta, la metodología de medición y de análisis de datos, las variables y parámetros a monitorear y el detalle de la ubicación de los transectos.

- Unidades muestrales (transectos permanentes)

Para los efectos de los monitoreos de flora y vegetación efectuados en la vega Sapunta, se han implementado tres series de transectos de muestreo permanentes:

1. Set de transectos implementados en el Verano del 2005 (n=3)
2. Set de transectos implementados en el Verano del 2011 (n=18)
3. Set de transectos implementados en la Primavera 2017 (n=3)

Todos los transectos se encuentran fijados con georreferencia espacial (coordenada UTM) y estacas de PVC en terreno (inicio-final).

La primera serie de transectos (verano 2005), correspondió a un estudio focalizado exclusivamente en la vegetación azonal con presencia de especies estrictamente hidrófilas. De acuerdo con lo anterior, la distribución de estos transectos sólo se realizó en "parches" que tuvieran este tipo de vegetación. El largo de estos transectos fue de 15 metros.

Por su parte, la segunda serie de transectos (verano del 2011), que complementa a la anterior, incorporó parches mixtos de vegetación azonal, en la que se incluyeron elementos transicionales como especies vegetales no necesariamente hidrófilas (ej *Parastrephia lucida*), y cuyo propósito fue incorporar un enfoque general que pudiera esbozar la dinámica natural de la vegetación y/o sucesión vegetacional. El largo de estos transectos de muestreo fue de 10 metros.

Finalmente, la serie establecida en primavera del 2017 viene a robustecer la base de datos temporal de los muestreos históricos de la vegetación de la vega Sapunta, permitiendo de esta forma determinar las variaciones no monitoreadas, con el fin de establecer un punto de control, respecto de su dinámica y variación temporal. Al igual que los transectos de verano del 2010, el largo de estos transectos fue de 10 metros.

A las unidades muestrales establecidas en la vega Sapunta, se agregó una serie de transectos en el sector vega Yusinta, definida como vega de control, como sigue:

- Set de transectos implementados en la Primavera 2017 (n=9)

Con la instalación de estas unidades muestrales, se definió un punto de control para analizar y evaluar las variaciones de la vegetación, respecto de su dinámica y variación temporal, considerando para ello que en el radio cercano a la vega Yusinta no existen extracciones de agua. El largo de estos transectos fue de 10 metros.

- Metodología de medición de transectos permanentes

Cada transecto está delimitado por el largo de una cinta métrica en una dimensión de 10 y 15 metros, según detalle indicado anteriormente. Sobre la base teórica que determina que la probabilidad que un taxón intercepte una cinta métrica es función de la cobertura vegetal (Mueller-Dumbois & Ellemberg 1974[3], **"método del intercepto de puntos"**), se registró cada especie cuyo tejido vegetacional fotosintéticamente activo es interceptado por una aguja que se mueve a lo largo de una cinta métrica, en intervalos cada 0,1 metros, con lo cual se procedió a realizar las siguientes estimaciones:

$$\textit{Cobertura absoluta de una especie (\%)} = \frac{\text{Total de veces que una especie intercepta la huincha en un punto determinado en un transecto}}{\text{Nº de puntos de muestreo por transecto (n = 41[4] o 61[5])}} \times 100$$

$$\textit{Cobertura absoluta de un transecto (\%)} = \text{Sumatoria de las coberturas absolutas de todas las especies presentes en un transecto determinado}$$

A partir de esta estimación y del protocolo de medición establecido, se logra un cubrimiento más intensivos que un 5% para un determinado elemento presente en la unidad muestral. En efecto, el 5% de los 10 metros (1000 cm) correspondería a un muestreo cada 50 cm, que tendría un total de 21 puntos de muestreo, y bajo la presente metodología con muestreo cada 25 cm, se obtienen 41 puntos de muestreo para los transectos de 10 metros y 61 puntos de muestreo para los transectos de 15 metros, de modo que se logra un cubrimiento más intensivo que el planteado en esta observación.

- Variables o parámetros a monitorear

Respecto de los elementos o parámetros a monitorear en los transectos, además de la vegetación, se incluye suelo desnudo, mantillo, rastrojos, agua e intrusiones salinas (ver **Anexo 1**).

---

[3] MUELLER-DUMBOIS, D. y ELLEMBERG H. (1974). Aims and Methods of Vegetation Ecology. Wiley International Edition.

[4] Este valor se obtiene al considerar un transecto de 10 metros de largo y observaciones cada 25 centímetros.

[5] Este valor se obtiene al considerar un transecto de 15 metros de largo y observaciones cada 25 centímetros.

- Ubicación de las unidades muestrales (transectos)

Las coordenadas de los puntos de inicio y fin de cada uno de los transectos establecidos en la vega Sapunta se indican en la **Tabla 1**, mientras que la distribución espacial de los transectos de muestreo se muestran en la **Figura 2**.

Tabla 1. Ubicación geográfica de los transectos de muestreo de vega Sapunta (Coordenadas UTM, WGS84, 19S)

Fecha de implementación	Transectos	Inicio		Fin (*)	
		Norte (m)	Este (m)	Norte (m)	Este (m)
Verano 2005	Transecto T1	7.645.162	523.491	7.645.162	523.492
	Transecto T2	7.645.158	523.898	7.645.152	523.909
	Transecto T3	7.645.166	523.994	7.645.183	523.986
Verano 2011	Transecto P1-A	7.645.244	523.570	7.645.236	523.569
	Transecto P1-B	7.645.244	523.573	7.645.232	523.575
	Transecto P1-C	7.645.244	523.585	7.645.232	523.582
	Transecto P2-A	7.645.170	523.604	7.645.173	523.609
	Transecto P2-B	7.645.168	523.609	7.645.175	523.613
	Transecto P2-C	7.645.164	523.613	7.645.172	523.616
	Transecto P3-A	7.645.171	523.734	7.645.157	523.734
	Transecto P3-B	7.645.171	523.739	7.645.158	523.739
	Transecto P3-C	7.645.171	523.744	7.645.164	523.742
	Transecto P4-A	7.645.169	523.843	7.645.156	523.837
	Transecto P4-B	7.645.169	523.846	7.645.160	523.839
	Transecto P4-C	7.645.168	523.851	7.645.160	523.848
	Transecto P5-A	7.645.149	523.943	7.645.145	523.941
	Transecto P5-B	7.645.156	523.948	7.645.147	523.946
	Transecto P5-C	7.645.156	523.948	7.645.147	523.951
	Transecto P6-A	7.645.184	524.005	7.645.180	524.009
	Transecto P6-B	7.645.188	524.009	7.645.186	524.010
	Transecto P6-C	7.645.189	524.017	7.645.184	524.021
Primavera 2017	Transecto P7-A	7.645.118	523.417	7.645.126	523.411
	Transecto P7-B	7.645.120	523.421	7.645.129	523.416
	Transecto P7-C	7.645.123	523.425	7.645.132	523.420

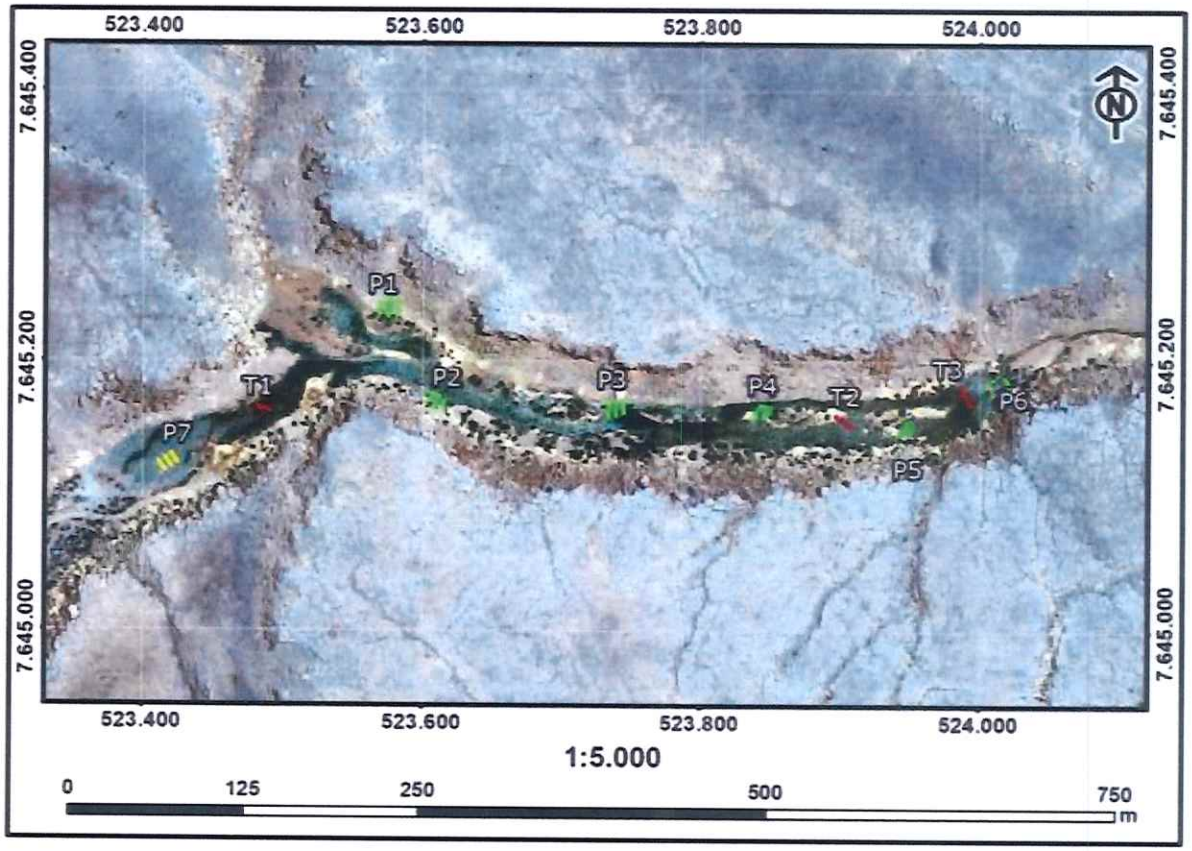

Figura 2. Distribución espacial de los transectos instalados en la vega Sapunta (Datum WGS84, Huso 19 Sur). Transectos en color rojo implementados en verano 2005; transectos en color verde implementados en verano 2011; transectos en color amarillo implementados en primavera 2017.

Fuente: Elaboración propia, 2018

Por su parte, en la **Tabla 2** se presentan las coordenadas de los puntos de inicio y fin de cada uno de los transectos establecidos en vega Yusinta (vega de control).

Tabla 2. Ubicación geográfica de los transectos de muestreo de vega Yusinta (Coordenadas UTM, WGS84, 19S)

Fecha de implementación	Transectos	Inicio		Fin (*)	
		Norte (m)	Este (m)	Norte (m)	Este (m)
Primavera 2017	Transecto P1-A	7.655.261	519.753	7.655.253	519.747
	Transecto P1-B	7.655.258	519.758	7.655.251	519.752
	Transecto P1-C	7.655.255	519.762	7.655.247	519.756
	Transecto P2-A	7.655.295	519.624	7.655.286	519.628
	Transecto P2-B	7.655.294	519.620	7.655.285	519.623
	Transecto P2-C	7.655.292	519.615	7.655.283	519.619
	Transecto P3-A	7.655.284	519.430	7.655.274	519.431
	Transecto P3-B	7.655.284	519.425	7.655.274	519.426
	Transecto P3-C	7.655.284	519.420	7.655.275	519.421

A continuación, se presenta la distribución espacial de los transectos instalados en el sector de la vega Yusinta (**Figura 3**).

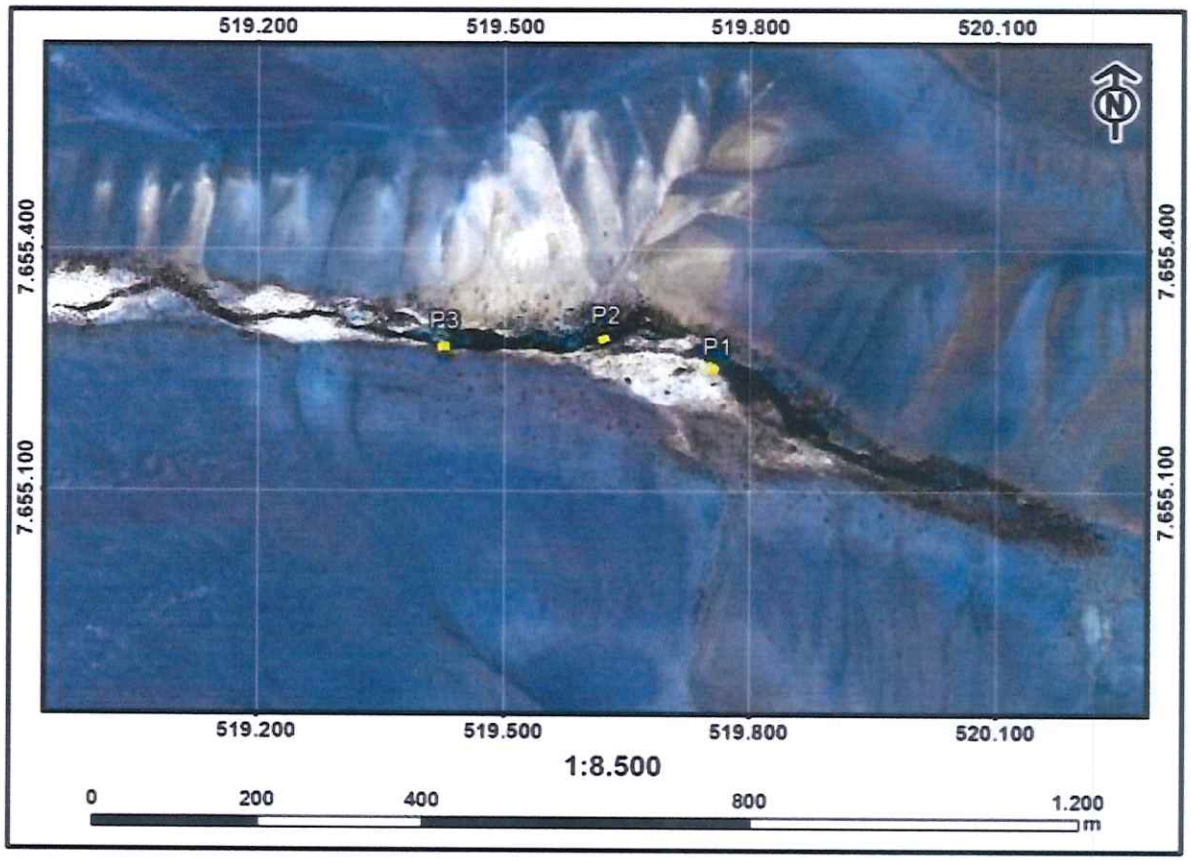

Figura 3. Distribución espacial de los transectos instalados en vega Yusinta (Datum WGS84, Huso 19 Sur)

Fuente: Elaboración propia, 2018.

iii) ***Superficie de las formaciones vegetacionales: se describe la metodología utilizada para la medición de la superficie, sin precisar la superficie de cada formación vegetacional, la que debe ser presentada como situación base, las que se deben mantener como unidades que son caracterizadas por alguna de las transectas. Se sugiere utilizar la metodología Point-Quadrat.***

Al respecto, se debe presentar un mapa que incluya la ubicación georeferenciada de las transectas de muestreo y de las formaciones vegetacionales, que serán referenciales para el plan de seguimiento de las medidas de mitigación que se establezcan en la resolución de revisión del proyecto y mencionando todas las variables sujetas de seguimiento.

Respuesta:

De acuerdo a lo solicitado, en la **Tabla 3** se entrega la superficie de cada formación vegetacional presente en la vega Sapunta, en base a la nueva máscara de corte.

Tabla 3. Superficie de las formaciones vegetacionales de vega Sapunta, para la nueva máscara 2018.

Formación vegetacional	Tipo de Vegetación	Superficie (ha)
Pajonal	Azonal	1,78
Vega		0,08
Matorral	Zonal	0,41
Suelo desnudo (*)	No Aplica	0,06
Total		**2,33**

Fuente: Elaboración propia, 2018

(*) Considera todos los elementos medidos en terreno que no son vegetación: suelo desnudo, mantillo, rastrojos, agua e intrusiones salinas.

Respecto de la mantención de las formaciones vegetacionales como unidades que son caracterizadas por alguna de las transectas, se confirma que dichas formaciones serán usadas como situación base, y que serán caracterizadas por los transectos permanentes establecidos, utilizando el "método del intercepto de puntos" (también denominado Point Quadrat), descrito en la respuesta al punto ii) de la presente observación.

La distribución espacial de dichas formaciones vegetacionales y los transectos de muestreo se muestran en la **Figura 4**.

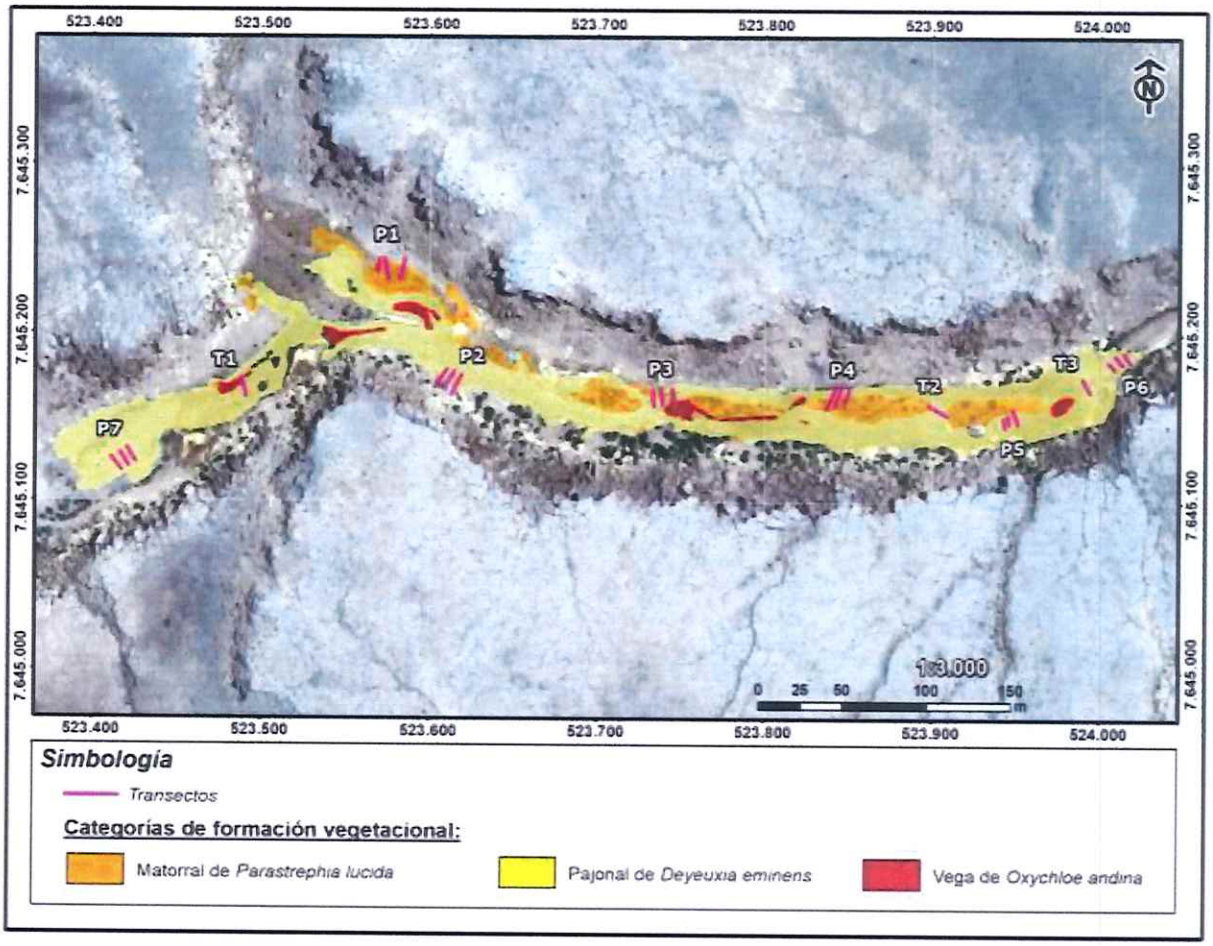

Figura 4. Formaciones vegetacionales de vega Sapunta y transectos de muestreo (Datum WGS 84, Huso 19 Sur).

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En el **Anexo 2** del presente documento se incluye la cartografía en formato KMZ, con la ubicación de los transectos de muestreo y de las formaciones vegetacionales presentes en el área de estudio.

b) Límite comprometido de variación:

El titular compromete la condición de presencia de la especie dominante en cada formación azonal, lo que se considera insuficiente, ya que debe caracterizar la participación porcentual de todos los elementos que conforman las diferentes unidades. Lo anterior, en el entendido de que se esté aplicando suministro artificial y que en función del caudal y tiempo de entrega de éste puede modificar la composición de la unidad y estos cambios no necesariamente se expresan en las especies dominantes, ya que pueden aparecer especies nuevas o bien aumentar otras variables de sitio, como es el caso de afloramiento salinos.

Respuesta:

La definición de un límite de variación asociado a la condición de presencia de la especie dominante en cada formación azonal, se sustenta en la itinerancia de las especies presentes en la vega Sapunta, la cual se encuentra directamente relacionada con el ciclo de vida o temporalidad de las mismas (Bewley y Black, 1982[6]; Olivares *et al,* 1990[7]; Armesto *et al,* 1993[8]; Cartav, et al, 2018[9]).

En la Tabla 4 se muestran las especies presentes en la vega Sapunta.

Tabla 4. Especies vegetacionales presentes en la vega Sapunta.

Nombre Científico	Familia	Nombre Común	Forma de Crecimiento
Arenaria rivularis Phil [(a)]	Caryophyllaceae	-	Hierba perenne
Astragalus arequipensis Vogel [(z)]	Fabaceae	-	Hierba perenne
Caiophora rosulata (Wedd.) Urb. & Gilg [(z)]	Loasaceae	-	Hierba perenne
Deyeuxia eminens J.Presl [(a)]	Gramineae	Sora	Hierba perenne
Lobelia oligophylla (Wedd.) Lammers [(a)]	Cyperaceae	-	Hierba perenne
Oxychloe andina Phil. [(a)]	Juncaceae	Pak'o	Hierba perenne
Parastrephia lucida (Meyen) Cabrera[(z)]	Asteraceae	Pulika	Arbusto
Phylloscirpus acaulis (Phil.) Goetgh. & D.A.Simpson[(z)]	Cyperaceae	-	Hierba Perenne
Ranunculus aff. cimbalaria [(a)]	Ranunculaceae	Oreja de gato	Hierba Perenne
Senecio aff. Volekmannii [(a)]	Asteraceae	-	Hierba perenne

Las especies con forma de crecimiento herbáceo o también conocidas como hierbas, corresponden a especies cuyos tejidos no están lignificados (no son leñosos), con tallos ricos

[6] Physiology and Biochemistry of Seeds in Relation to Germination. Vol. 2. Viability, dormancy and environmental control. Springer-Verlag, NY. 347p.

[7] Efecto de la temperatura en la germinación de siete especies de la pradera anual mediterránea y caracterización de su emergencia. Simiente 60: 123-131.

[8] Plant strategies in the Chilean coastal desert. Revista Chilena Historia Natural 66: 271-282.

[9] Effect of fire-derived chemicals on germination and seedling growth in Mediterranean plant species. Basic and Applied Ecology. 65-75.

en clorofila y fotosintéticos. Estas especies herbáceas poseen distintos ciclos de vida: anual, bianual y perenne.

Las especies herbáceas del tipo perenne o vivaces, al cual pertenecen las especies presentes en la vega Sapunta, florecen y dan semilla varias veces a lo largo de su vida, sin embargo, suelen perder la parte aérea en periodos de receso vegetativo, pero las raíces sobreviven, las que vuelven a rebrotar y florecen en la siguiente temporada de condiciones favorables, repitiéndose el ciclo vegetativo.

Por otra parte, y en términos más específicos, la flora presente en la vega Sapunta se caracterizó de dos tipos: azonal y zonal. La flora azonal es aquella cuya presencia se encuentra determinada por la disponibilidad de agua del sustrato en niveles superficiales o subsuperficiales, mientras que la vegetación de tipo zonal, se encuentra relacionada principalmente por las condiciones climáticas del área (Walter, 1970[10]; Faúndez, 2006[11]; Vila *et al.*, 2006[12]; Box, 2016[13]).

En el caso de las especies herbáceas azonales, a pesar que su presencia se encuentra directamente relacionada con la disponibilidad de agua en el sustrato, por corresponder a especies perenne o vivaces, es decir que a pesar que las raíces permanecen vivas, la parte aérea de las plantas se encuentra en un receso vegetativo, de modo que en ciertas épocas del año no son relevadas florísticamente (no es posible observarlas en terreno).

En el caso de las especies herbáceas zonales, su ausencia en algunas épocas del año converge principalmente en el receso vegetativo de las mismas, y en temporadas más favorables vuelven a brotar y desarrollar la parte aérea de sus estructuras (Fisher y Turner, 1978[14]; Lack y De Evans, 2001[15]; Luebert yPliscoff, 2006[16]; Squeo et al, 2008[17]). La referencia a temporadas favorables se debe a que por condiciones climáticas específicas (ausencia del efecto del fenómeno de El Niño), existen años de escasas precipitaciones, en que la presencia de las especies en meses posteriores a la época de verano (precipitaciones estivales) se torna cada vez más improbable.

Por su parte, la especie arbustiva *Parastrephia lucida* es una especie de tejidos lignificados o leñosos, cuyo tamaño no pasa los dos metros de altura, que corresponde a una especie zonal,

---

[10] Vegetation und Klimazonen. Uni-Taschenbu¨cher. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 382pp.

[11] Estudio de los sistemas vegetacionales azonales hídricos del Altiplano. Gobierno de Chile, Servicio agrícola y ganadero. 47pp.

[12] Macrófitas y vertebrados de los sistemas límnicos de Chile. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. 186 pp.

[13] Box, E., 2016. Vegetation Structure and Function at Multiple Spatial, Temporal and Conceptual Scales. Geography. University of Georgia Athens, Georgia. USA.

[14] Plant Productivity in the Arid and Semiarid Zones. Annual Review of Plant Physiology. 29. 277-317.

[15] Plant Biology. Springer-Verlag, NY 332 p

[16] Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile,

[17] El desierto florido en la Región de Atacama. Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su conservación. La Serena, Chile. 285-291.

por lo que su presencia en el sector se debe más bien a condiciones climáticas y no directamente a la disponibilidad hídrica del sustrato superficial. Ello, porque su sistema radicular (raíces) alcanza mayores profundidades que las herbáceas, abasteciéndose de agua en las capas subterráneas (napas), lo que genera su permanencia en el tiempo, pues estos abastecimientos son de mayor permanencia y no se encuentran limitados por altas temperaturas que ocurren en la superficie y que provocan una mayor evaporación.

Sobre la base de los antecedentes descritos, se considera adecuado un límite de variación no mayor al 30% en la cobertura vegetacional promedio, medida en las unidades muestrales establecidas en campo (Parcelas de muestreo[18] P1, P2, P3, P4, P5, P6 y P7), de los elementos que conforman las diferentes unidades como sistema en su conjunto, ya que las especies que conforman las diferentes unidades presentan características fisiológicas diferentes entre sí, las que responden a una serie de factores además del agua; como son las horas de luz, temperatura y temporalidad.

El 30% de variación propuesto como límite, se sustenta en el cálculo de la cobertura vegetacional promedio histórica de las parcelas permanentes de vega Sapunta, registrada entre los períodos de Verano 2011 y Verano 2018, que se grafica en la Figura 5 y la Tabla 5 siguientes, y cuyos informes se adjuntan en **Anexo 3**.

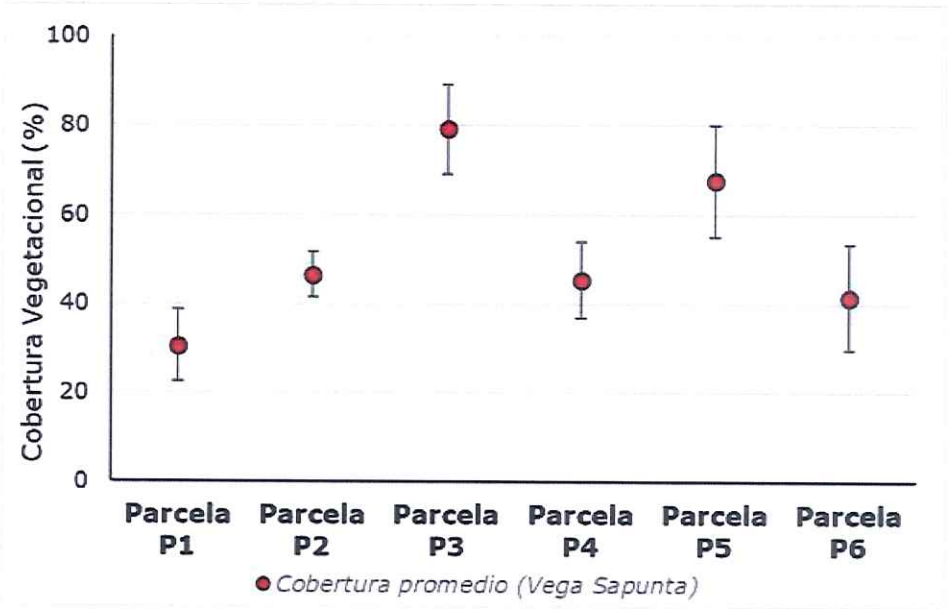

Figura 5. Resumen de las coberturas de las parcelas permanentes de vega Sapunta (verano 2011 – verano 2018).

[18] Cada parcela está constituida por 3 transectos de muestreo.

Tabla 5. Resumen de las coberturas de las parcelas permanentes de Vega Sapunta (verano 2011 – verano 2018).

ITEM	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Cobertura Promedio (2011 – 2018)	30,7	46,6	79,1	45,5	67,6	41,6
Desviación Estándar	8,1	5,1	10,0	8,4	12,5	11,7

A partir de dicho cálculo, se procedió a graficar las coberturas vegetacionales anuales promedio, medidas en las Parcelas de muestreo P1, P2, P3, P4, P5, P6, obteniendo la siguiente gráfica:

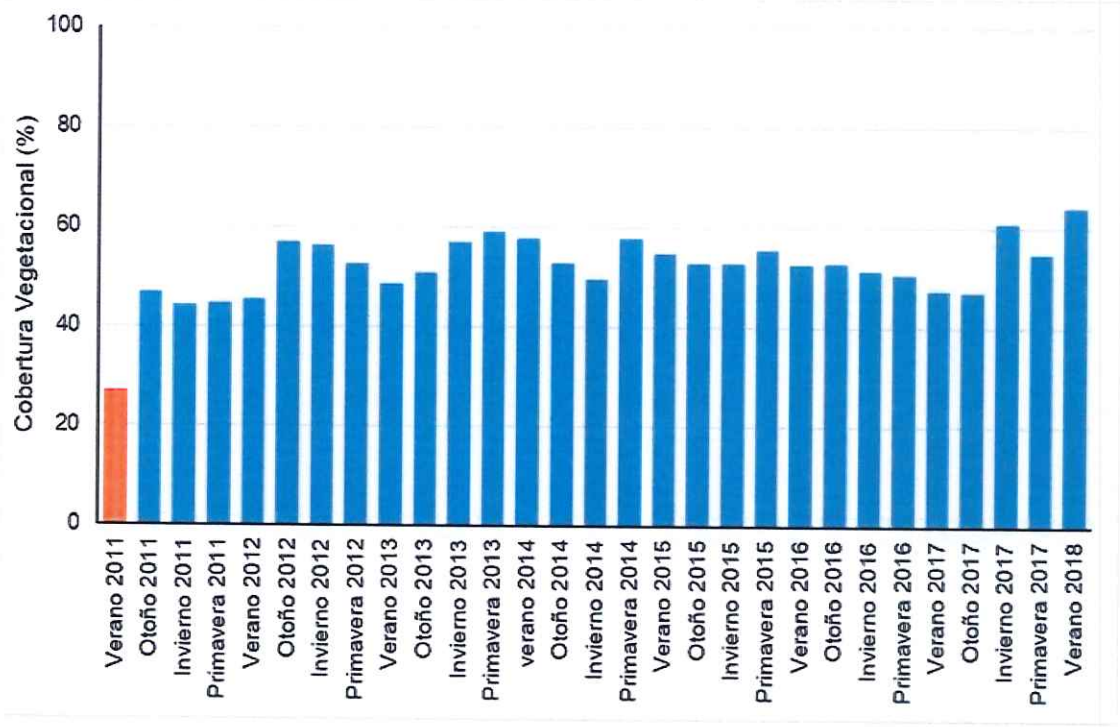

Figura 6. Gráfica de las coberturas vegetacionales anuales promedio en las Parcelas de muestreo P1, P2, P3, P4, P5, P6

Lo anterior permitió obtener los siguientes resultados:

Tabla 6. Resumen de las coberturas totales considerando las 29 temporadas.

Promedio de cobertura vegetacional	51,8
Desviación Estándar	6,8
Mínimo histórico	27,0
Máximo histórico	64,0

Como se aprecia en la Figura 6 y en la Tabla 6, las coberturas históricas han presentado un comportamiento más bien homogéneo a lo largo del tiempo, no mostrando diferencias significativas, salvo en el verano 2011 (primer muestreo, destacado en color naranjo en la Figura 6), en que previo al inicio de la operación del proyecto, se registró una cobertura vegetacional total del 27%, lo cual puede responder a una serie de factores naturales (algunos de ellos son: precipitaciones, fenómeno del niño, cambio climático, romaneo de la fauna del sector).

Con el fin de evaluar a una mayor escala los factores naturales que pudiesen afectar a la vega Sapunta, se estableció la vega Yusinta como "Vega Control", dado que reúne características similares a la vega Sapunta (acceso a alimentación de fauna, vegetación), y especialmente, porque no está sometida a las presiones antrópicas de extracción de agua. En la Tabla 7 se presentan las características del muestreo a considerar:

Tabla 7. Monitoreos vega Sapunta y vega Yusinta.

Unidad muestral	Cantidad de transectos	Inicio del muestreo	Periodos muestreados
Vega Sapunta (Vega de estudio)	18	Verano 2011	29
Vega Yusinta (Vega Control)	9	Primavera 2017	2

No obstante, la información actualmente disponible a partir de los diversos estudios realizados en ambas vegas, resulta insuficiente para realizar un análisis estadístico comparativo entre dichas unidades, dado que la muestra colectada en la unidad de control (vega Yusinta) es demasiado acotada, en términos de tiempo y periodos muestreados. En este sentido, se realizarán nuevas campañas de muestreo, por un periodo de dos años, considerando para ello, un muestreo por temporada (4 campañas anuales), con el objeto de caracterizar la variabilidad interanual y así robustecer la base de datos, y con ello, caracterizar las singularidades del sistema vegetacional y su respuesta a los diversos factores del ambiente, para luego establecer indicadores cuantificables asociados al plan de seguimiento.

Cabe considerar, además de lo ya expuesto, que los ecosistemas altoandinos en particular no sólo responden a factores puntuales (p.e. agua, temperatura, otros), sino que también a una serie de otras variables del ecosistema (p.e. presión de herbívora, humedad relativa, pH del suelo, características físico químicas del agua, cantidad de horas sol, etc.), situación que se vuelve aún más sensible al considerar las particularidades de los eventos climáticos de esta zona, que se caracterizan por el ingreso de un sistema de altas presiones proveniente de la amazonia.

2. ***En relación a la propuesta del plan de trabajo para la Vega Sapunta, se solicita al titular referirse a la composición específica de cada formación vegetacional afectada y de la recarga que se ha efectuado a la fecha. Lo anterior dado que, al no contar con parámetros asociados a la biota asociada a la vega, no es posible evaluar si la propuesta presentada se hace cargo de la recuperación de la vegetación y por ende de las condiciones de hábitat para fauna.***

Respuesta:

Los registros/antecedentes del seguimiento del sistema vega Sapunta a la fecha no han mostrado un deterioro de la vegetación que compone ambas formaciones vegetacionales (vega y pajonal). Por lo tanto, la propuesta de plan de trabajo no tiene por objeto la recuperación de la vegetación, sino que se focaliza en asegurar la recarga hídrica al sistema, junto con el seguimiento de los niveles freáticos locales, con el objetivo de mantener las condiciones de la vega Sapunta.

En cuanto a la recarga, se realiza tanto de forma subsuperficial como superficial, ambas con el propósito de mantener la condición hídrica del sistema, específicamente en cuanto a los niveles de la napa freática de los cuerpos y cursos de agua superficial. Esta condición hídrica permite la disponibilidad del agua para la vega, y con ello, mantener la riqueza y cobertura de las formaciones vegetacionales. Además, la mantención de la condición de los cuerpos de agua superficiales (pozas y escurrimientos desde pequeñas vertientes) asegura la disponibilidad de las fuentes de agua para uso de la fauna silvestre que utiliza el sistema.

El agua utilizada para la recarga antes descrita, proviene del mismo acuífero de Pampa Puno, por lo que mantiene las características físico-químicas del sector.

Esta recarga hídrica fue implementada en octubre del año 2015, en respuesta a la disminución de los niveles freáticos y como parte de las medidas de mitigación indicadas en la RCA asociada. Esta recarga se ha mantenido hasta la fecha en forma permanente, como se observa en las Figura 7 y 9 para los pozos SAP y en las 8 y 10 para las vertientes superficiales. Los resultados de la recarga son seguidos a través de mediciones permanentes de los niveles freáticos, de los niveles en pozas superficiales y de la humedad de suelo en la vega Sapunta.

En el caso del seguimiento de la vegetación, su condición es determinada mediante el monitoreo de la actividad fotosintética (por medio del índice NDVI); de la cobertura por cada una de las formaciones existentes, a través de transectos vegetacionales); y de la riqueza específica de una de ellas, por medio de transectos y parcelas.

Con el aseguramiento de las condiciones hídricas en el sistema y por ende de la mantención de la riqueza y composición de la vegetación, ambos elementos fundamentales en la conformación del hábitat de fauna, la propuesta presentada se hace cargo del sostenimiento adecuado de la vegetación y por ende, de mantener las condiciones idóneas de hábitat para la fauna en vega Sapunta.

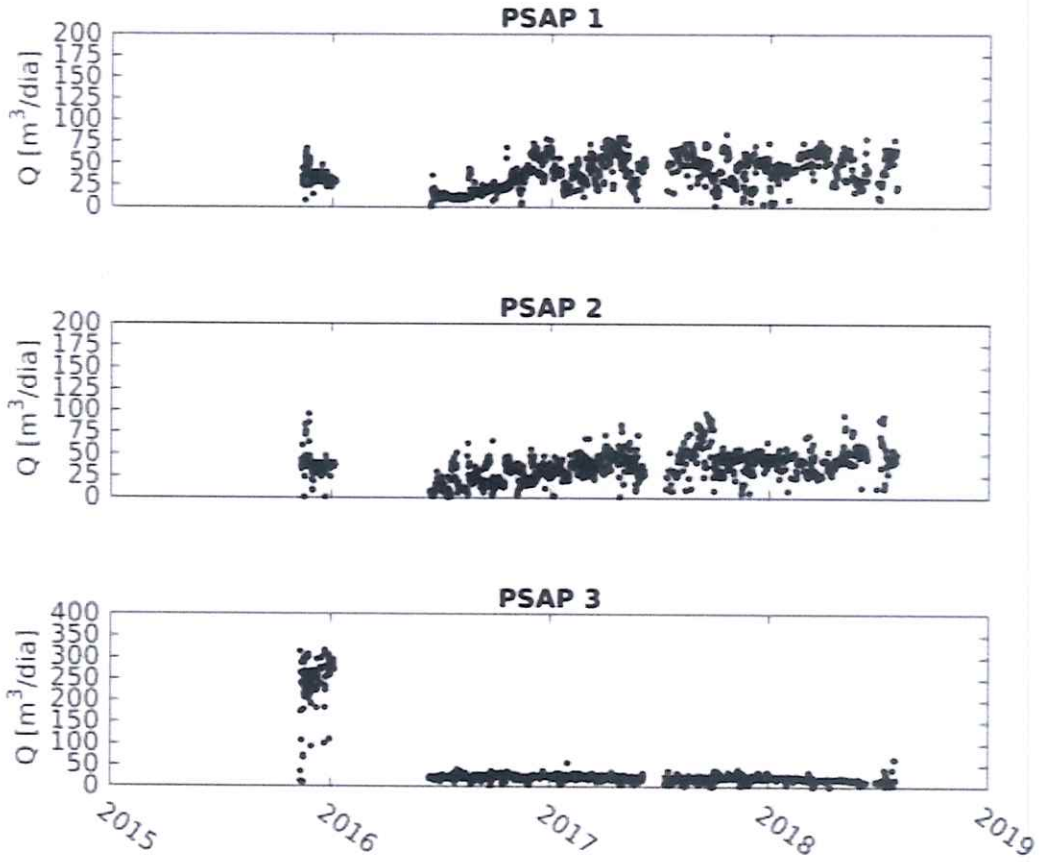

Figura 7. Caudales de recarga aplicados en pozos SAP 1, 2 y 3, desde año 2015 a la fecha en vega Sapunta.

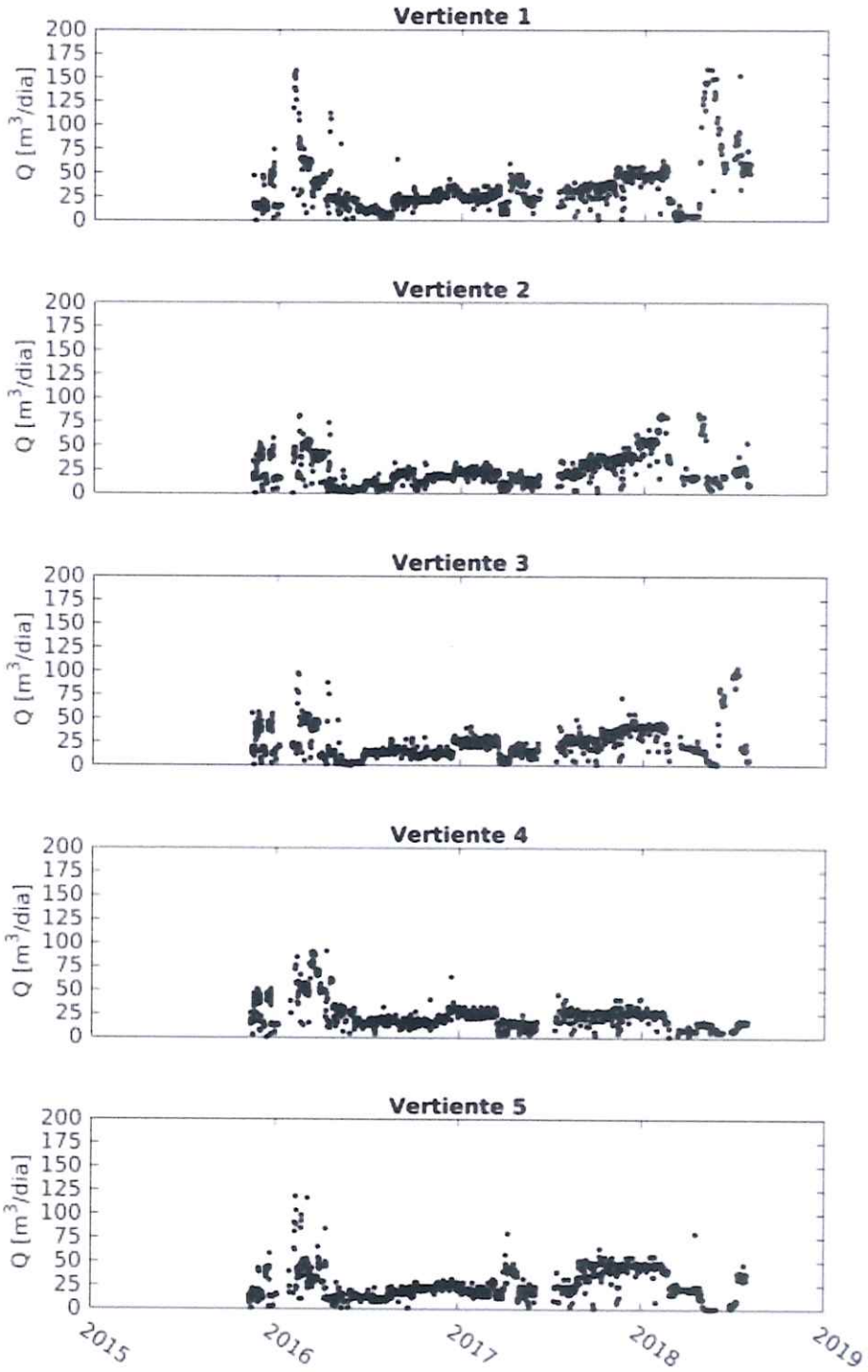

Figura 8. Caudales de recarga aplicados en vertientes superficiales 1, 2, 3, 4 y 5, desde año 2015 a la fecha en vega Sapunta.

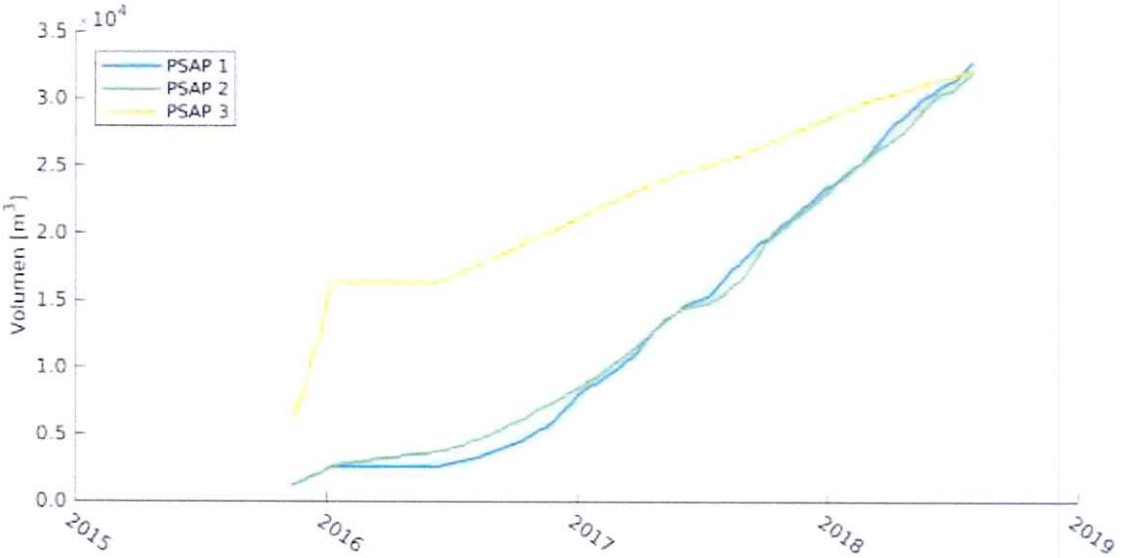

Figura 9. Volumen acumulado de recarga aplicado en pozos SAP 1, 2 y 3, desde año 2015 a la fecha en vega Sapunta.

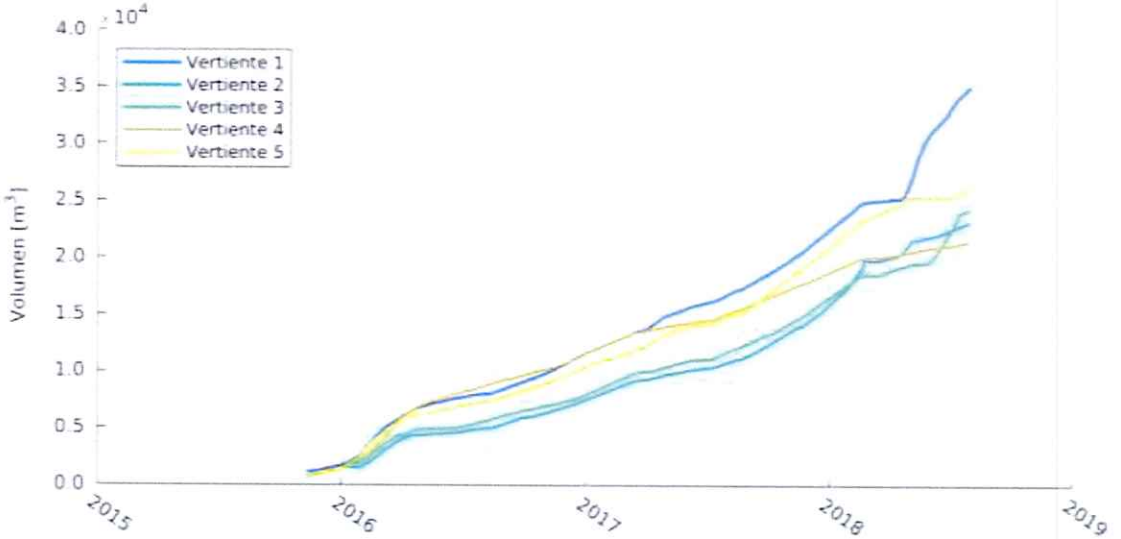

Figura 10. Volumen acumulado de recarga aplicado en vertientes superficiales 1, 2, 3, 4 y 5, desde año 2015 a la fecha en vega Sapunta.

3. ***Se solicita incorporar mejoras a la herramienta predictiva en el marco del proceso de revisión de la RCA N° 2603/2005 y actualizar las predicciones futuras reportadas, la cual permita anticipar una eventual activación de umbrales en el objeto de protección. El contar con un modelo que represente la situación de afectación observada en el objeto de protección resulta fundamental para acreditar la idoneidad de las medidas que el titular ha propuesto para revertir dicha situación.***

Respuesta:

En respuesta a esta solicitud, se han implementado una serie de mejoras en el modelo que permiten representar con un mejor ajuste el comportamiento del acuífero, y por lo tanto, la efectividad de la medida de mitigación propuesta.

En concreto, se ha rediseñado el modelo del acuífero Pampa Puno con un refinamiento en la zona del sistema vega Sapunta. La base para este modelo Pampa Puno- Sapunta, corresponde al modelo 2017 entregado durante este proceso de revisión (ACTUALIZACIÓN MODELO NUMÉRICO PAMPA PUNO Montgomery & Asociados 2017), al que se le incorporó la información de detalle en el sector de la vega Sapunta obtenida desde el estudio realizado por Arcadis "MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL Y NUMÉRICO DE DETALLE SISTEMA VERTIENTE SAPUNTA" (Ver **Anexo 4**).

Con estos antecedentes se llevó a cabo la optimización del modelo numérico, implementándose las siguientes adecuaciones a la plataforma y al código de modelación para la construcción del modelo refinado Pampa Puno-Sapunta.

- El modelo base (Montgomery 2017), que fue construido y simulado en la plataforma numérica o software Visual MODFLOW (versión 4.6), se migró a la plataforma Groundwater Vistas (versión 7) dadas sus ventajas de soporte, interfaz gráfica y accesibilidad a los principales desarrollos del código MODFLOW, entre otros.
- Adicionalmente, el código de modelación del modelo base se migró de Modflow-NWT a MODFLOW-USG debido, entre otras consideraciones, a que se trata de una versión más reciente y robusta, que permite refinamientos localizados de grilla de forma más eficiente.
- Dadas las ventajas que presenta MODFLOW-USG en la adopción de refinamientos locales, la malla fue re-definida en el sector de Sapunta con celdas cuadradas de hasta 3,125 m de resolución en el eje X-Y (planta), manteniendo las celdas cuadradas de 100 m para el resto del dominio del modelo.
- La re-definición de la malla del modelo Pampa Puno generó un número total de celdas de 179.208, de las cuales 117.819 (66%) son celdas activas, compuesto por 3 capas de espesor variable.

Las mejoras realizadas en el modelo Puno-Sapunta se ven reflejadas en el grado de ajuste de los niveles de los piezómetros ubicados en la vega Sapunta, PSAP-1 ,2 y 3, en los que se pasó

de tener niveles residuales de 2,5 m, 2,5 m y 2 m al inicio del periodo de calibración, a residuales máximos de 30 cm, 50 cm y 38 cm respectivamente. Por otro lado, desde el 2015 en adelante se observan residuales menores a los 10 cm con el modelo refinado Pampa Puno - Sapunta, en los pozos PSAP. Esta mejora también se refleja en los pozos de observación de Pampa Puno, pudiéndose observar mejoras en los valores residuales desde 2,5 metros a 0,5 metros.

A título ilustrativo, en las Figuras 11, 12, 13, 14, 15 y 16 siguientes se presentan grafican algunas de estas mejoras.

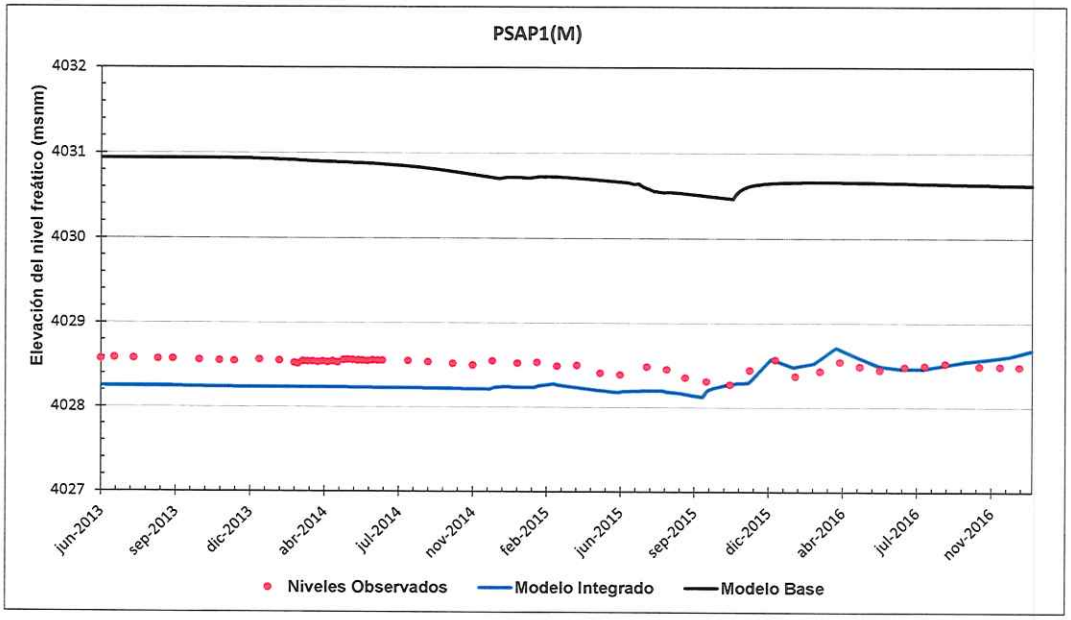

Figura 11. Resultados ajuste PSAP 1

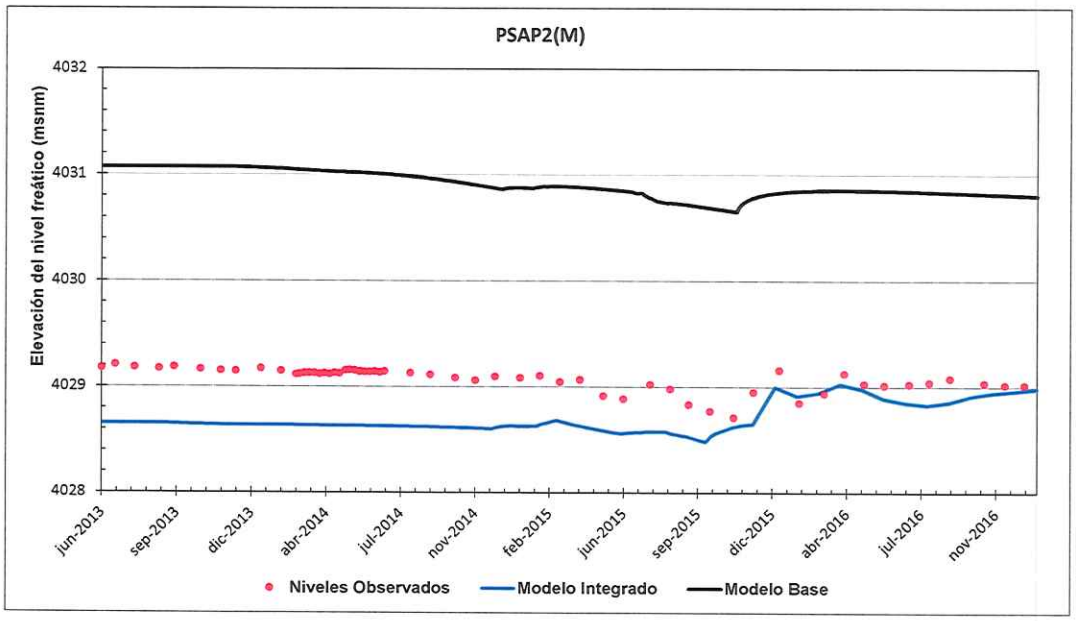

Figura 12. Resultados ajuste PSAP 2

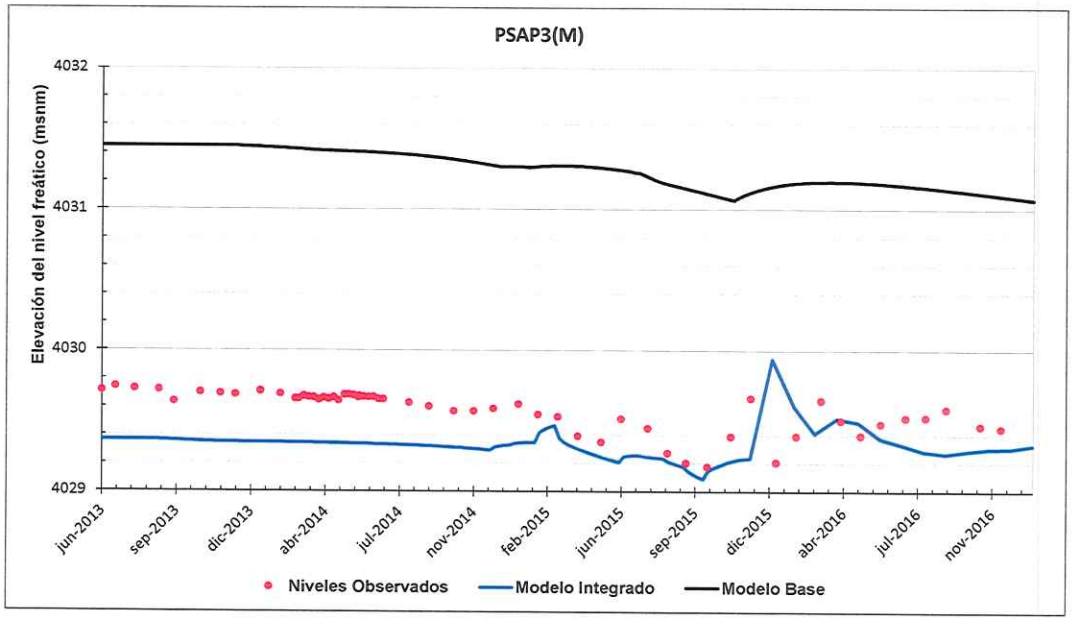

Figura 13. Resultados ajuste PSAP 3

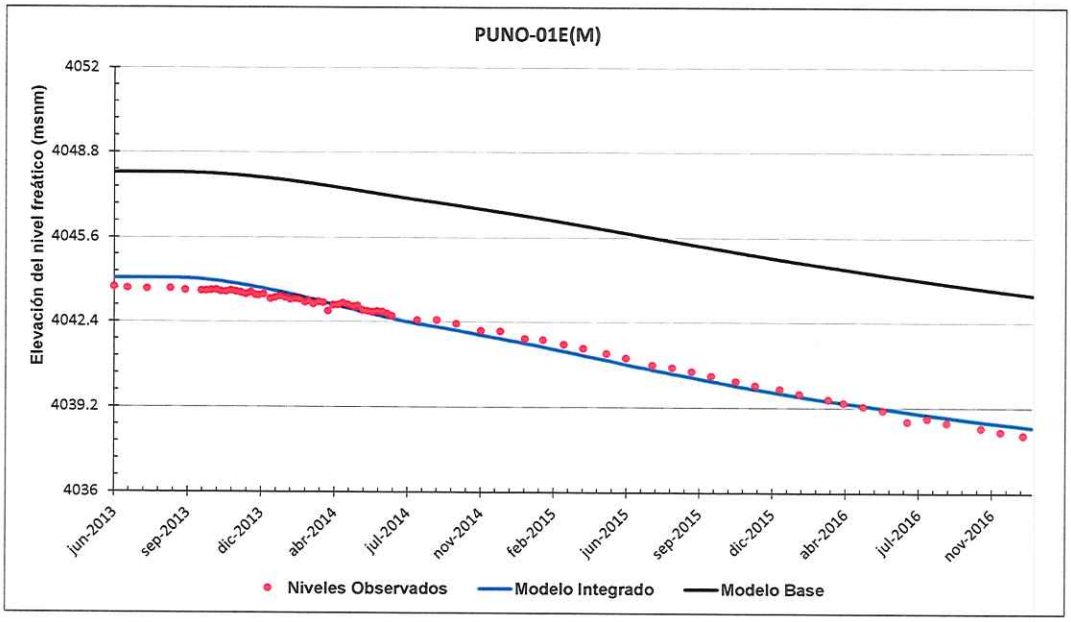

Figura 14. Resultados ajuste pozo PUNO-01E

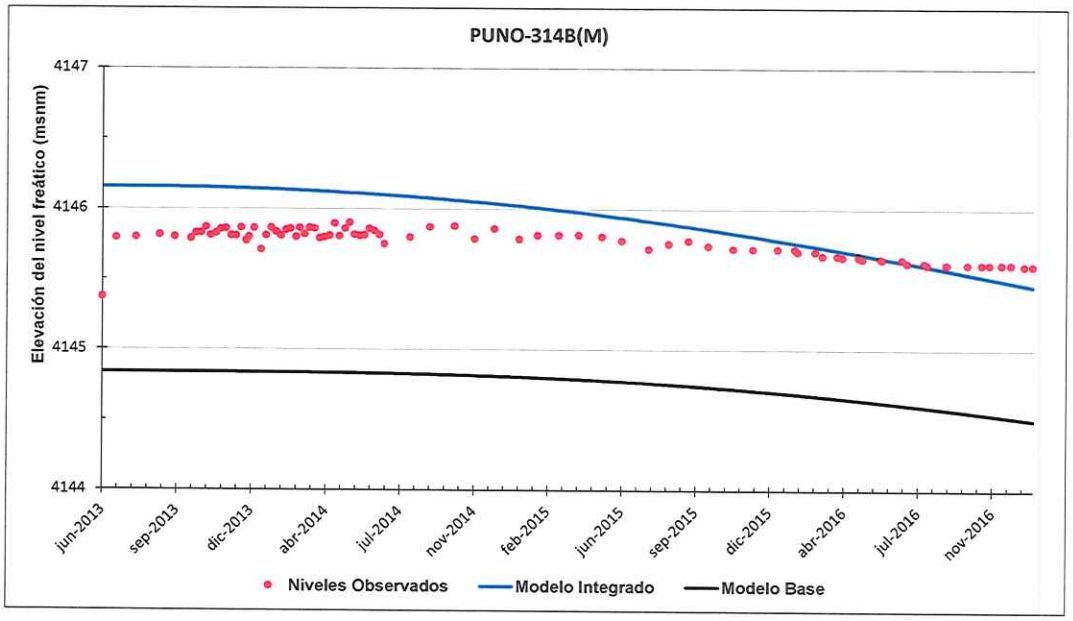

Figura 15. Resultados ajuste pozo PUNO-314B.

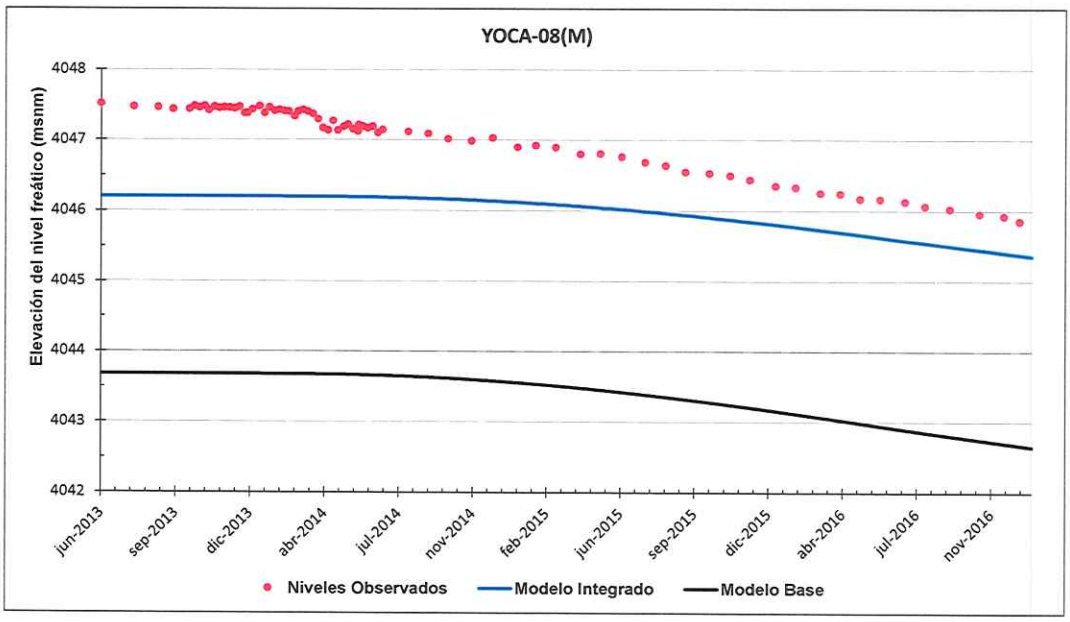

Figura 16. Resultados ajuste pozos YOCA-8.

En los **Anexos 4 y 5** se adjuntan Informe técnico y código numérico del modelo refinado Pampa Puno - Sapunta Pampa Puno –Sapunta, documentos que consideran los siguientes temas:

- Construcción de modelo
- Refinamiento local de la malla
- Ajuste Datum Geodésico
- Topografía de terreno y espesores en sector de Sapunta
- Descarga lateral subterránea de Sapunta
- Descarga debido a afloramientos superficiales
- Recarga superficial
- Calibración del modelo integrado
- Balance de masas
- Estadígrafos
- Hidrogramas
- Simulaciones predictivas
- Conclusiones

4. ***Los antecedentes revisados no son consistentes en cuanto a la descripción de la medida "recarga artificial" no existiendo certeza acerca de los caudales de recarga y su duración en el tiempo, así como tampoco del método de aplicación (subsuperficial a través de drenes y/o superficial mediante riego por aspersión). Por lo anterior, se solicita que el titular aclare la configuración de la medida. De igual manera, y entendiendo que este Servicio ha requerido mejorar el ajuste del modelo numérico, se solicita utilizar la herramienta matemática corregida para evaluar la efectividad de la recarga artificial en el tiempo. En particular, se requiere que el titular entregue los antecedentes para asegurar la recuperación de los niveles y el flujo subsuperficial en la vega, de manera de generar las condiciones hídricas para sustentar la recuperación de la vegetación y hábitat para la fauna, como destaca el Servicio Agrícola Ganadero (SAG) en su Oficio Ord. N°830/2018.***

Respuesta:

Como se indicó anteriormente, los registros/antecedentes del seguimiento del sistema vega Sapunta a la fecha no han mostrado un deterioro de la vegetación que compone ambas formaciones vegetacionales (vega y pajonal), por lo cual la propuesta de plan de trabajo se focaliza en poder continuar con la recarga hídrica al sistema, junto con el seguimiento de los niveles freáticos locales y de las características y condiciones de la vegetación existente.

El Sistema de Riego fue originalmente diseñado con tres subsistemas: riego por vertientes, riego por infiltración y riego por aspersión. De estos tres, solo se han utilizado dos (Infiltración y vertientes), siendo el tercero desmantelado (aspersión).

Por lo tanto, el sistema de riego o recarga artificial de la vega Sapunta contempla actualmente y para el futuro, un subsistema de aplicación de agua subsuperficial a través de drenes, y otro de aplicación de agua superficial a través de vertientes, y requiere de un caudal variable que puede fluctuar entre los 3 y los 6 L/s, para asegurar el mantenimiento de los niveles freáticos en el entorno de la vega.

El sistema de recarga o riego es operado mediante válvulas, que se programan diariamente considerando un conjunto de variables. Entre los factores considerados en la elaboración del programa diario para el correcto funcionamiento del sistema destacan temperatura, ramoneo de la fauna existente, humedad, condición del viento, saturación del suelo, estacionalidad (invierno, otoño, verano, primavera), precipitaciones. Dada la oscilación de estas variables, no es posible generar con antelación un plan detallado del caudal a utilizar, sino que el caudal de operación se debe definir diariamente evaluando las condiciones en la vega Sapunta.

Como se explicó en la pregunta 2, el objetivo de la medida es mantener la condición hídrica del sistema, tanto en los niveles de la napa freática como en los cuerpos y cursos de agua superficial. Esta condición hídrica permite la disponibilidad del agua para la vegetación existente, y con ello poder mantener la estructura de las formaciones vegetacionales. Además, la mantención de la condición de los cuerpos de agua superficiales (pozas y escurrimientos desde pequeñas vertientes) asegura la disponibilidad de las fuentes de agua de bebida para la fauna que utiliza el sistema. De este modo, con el aseguramiento de las condiciones hídricas en el sistema, tanto para la mantención de la vegetación como de la fuente de agua de bebida,

ambos elementos fundamentales en la conformación del hábitat de fauna, la propuesta presentada se hace cargo del sostenimiento adecuado de la vegetación y por ende de las mejores condiciones de hábitat para la fauna en vega Sapunta.

Por otra parte, en el contexto explicado y considerando las simulaciones realizadas con el modelo numérico refinado Pampa Puno – Sapunta, se ha determinado que la recuperación de la conexión hídrica natural entre el acuífero de Pampa Puno y la vega Sapunta se logra con una recarga artificial que combina el riego de la vega en la forma descrita precedentemente, con una medida de inyección, mediante pozos, en la cabecera de la quebrada.

El modelo numérico entrega el marco proyectado para la recuperación de los niveles en la vega, definiendo la configuración de inyección y riego que generaría la condición necesaria para que el sistema logre mantenerse en forma natural a partir del año 2037, es decir 17 años después del cese del bombeo productivo.

Como se ha indicado en la respuesta N° 3, se ha realizado la mejora en la herramienta numérica y se ha evaluado la efectividad de la medida con el modelo refinado. La simulación en el modelo refinado Pampa Puno- Sapunta del escenario con riego e inyección, permite la recuperación de los niveles a su condición natural 17 años después del cese del bombeo comprometido en este proceso de revisión (2020 cese bombeo productivo, recuperación natural 2037), los detalles de esta modelación y sus resultados se entregan en el **Anexo 5**.

Respecto de los caudales de recarga artificial (riego e inyección), se ha considerado que la fuente que alimentaría el caudal a recargar en la zona de Sapunta provendrá desde el campo de pozos de Pampa Puno, y ascendería a 10 L/s, con una disminución gradual en el tiempo de acuerdo a la configuración más eficiente para la recuperación de la vega Sapunta.

En la Figura 17 se presenta el programa secuencial de bombeo y recarga optimizado, donde se observa que el período comprendido entre Enero-2020 a Diciembre-2022 se extraería un caudal de 10 L/s desde el campo de pozos Pampa Puno para sustentar la recarga de la vega, de los cuales 5 L/s se inyectan a través de cinco pozos ,1 L/s por pozo, (pozos que se construirían una vez aprobada esta medida), y los 5 L/s restantes mediante riego entorno a los tres pozos PSAP-1, 2 y 3. Para el período comprendido entre Enero-2023 a Diciembre-2028, el caudal para inyección y riego disminuye 1 L/s cada 3 años. Posteriormente, para el período comprendido entre Enero-2029 a Diciembre-2037, la recarga se efectúa solo por inyección con un caudal total de 5 l/s, disminuyendo 1 L/s cada 3 años desde el 2029, para llegar a 3 L/S en el periodo final 2035 -2037 mediante inyección en los pozos de inyección.

Es importante resaltar que el bombeo desde el campo de pozos va disminuyendo con la misma tasa de disminución que se considera para el riego e inyección. Es decir el año 2020 se parte con una explotación para riego e inyección de 10 l/s y se termina con una explotación de 3 L/s en el periodo 2035 -2037, para bajar a cero desde el 2038.

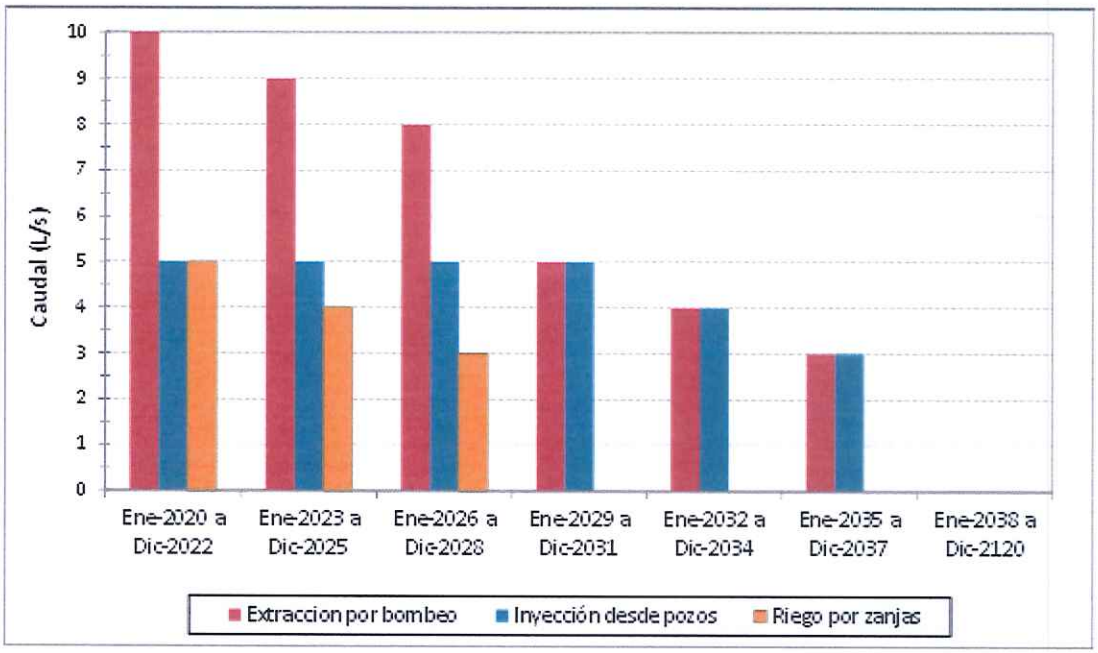

Figura 17. Configuración del bombeo y recarga propuestos para la recuperación de la condición hídrica de la vega Sapunta.

Según los antecedentes anteriores, las simulaciones realizadas y la data histórica de riego permiten estimar que los caudales necesarios para la recuperación hídrica natural de la vega se sitúan en torno a los 10 l/s por un periodo de 17 años desde el cese del bombeo productivo (2020), con una disminución gradual. Sin embargo, se debe precisar que la simulación del caudal de recarga de la vega es un valor medio estimado y que el caudal efectivo necesariamente debe definirse a diario sobre la base múltiples variables y según las necesidades de la vega, pudiendo eventualmente requerirse un caudal superior al proyectado por el modelo.

Como se advierte, el potencial requerimiento de un caudal mayor al estimado obedecería principalmente de la demanda para el mantenimiento de la vegetación y hábitat para la fauna en la vega Sapunta, ya que el caudal diario efectivo que se requerirá para dichos efectos debe ajustarse a las necesidades que presente la vega en cada momento y a la evaluación de un conjunto de variables que inciden en sus condiciones.

Considerando que el objetivo principal de la medida es la recuperación de la condición hídrica de la vega y la mantención de las condiciones que permiten el sostenimiento de la vegetación y hábitat para fauna, se considera necesario establecer un rango dentro del cual pueda ajustarse el caudal de recarga (riego e inyección) que permita aplicar los caudales necesarios e idóneos para lograr dichos objetivos, todo ello en función del monitoreo permanente de la condición de la vega. Para estos efectos, se propone establecer un rango de caudales para la operación conjunta del riego e inyección de entre 5 y 15 L/s.

Adicionalmente, a través del seguimiento de las medidas para la recuperación de la condición hídrica de la vega, se realizarán revisiones y eventuales ajustes a la herramienta numérica, lo que permitirá perfeccionarla y, eventualmente, reevaluar y/o reajustar los tiempos propuestos para la recuperación de la condición hídrica de la vega, pudiendo estos disminuir o aumentar, dependiendo principalmente de los resultados de la medida.

5. ***En base al análisis efectuado, el estudio técnico para la recuperación de la condición hídrica de la vega Sapunta no respalda suficientemente la efectividad de las medidas propuestas por el titular, a saber, reducción del caudal de bombeo desde el campo de pozos en Pampa Puno, cese del bombeo en el año 2020 y la implementación de recarga en el sector de vega Sapunta. Los distintos antecedentes aportados por el titular describen distintas reglas de extracción y recarga, no siendo posible establecer que la recuperación de los niveles freáticos y el flujo en el sector de la vega Sapunta se producirá dentro de un plazo tal que posibilite las condiciones hídricas para la recuperación de la vegetación y hábitat para la fauna, como se destaca en el Ord. SAG N°830/2018. Al respecto se solicita entregar los antecedentes técnicos para respaldar y complementar, si corresponde, su propuesta de medidas utilizando para ello el modelo numérico corregido que se solicita en este documento.***

Respuesta:

En los **Anexos 4 y 5** se adjuntan los antecedentes técnicos que respaldan la recuperación de los niveles en el sector de la vega Sapunta a partir del año 2037.

Como se ha indicado en respuestas anteriores, se ha corregido el modelo y los resultados obtenidos de la calibración del modelo numérico refinado Pampa Puno – Sapunta muestran que, en general, se lograron mejoras considerables en el ajuste de los niveles simulados respecto de los niveles observados en comparación al modelo base. Así, por ejemplo, los máximos residuales de los pozos de monitoreo de Sapunta, PSAP-1, PSAP-2 y PSAP-3 obtenidos con el modelo base se ubicaban en torno a los ~2,5 m, mientras que con el modelo refinado Pampa Puno - Sapunta los residuales se disminuyeron a ~30 cm. Este nivel de ajuste permite que el modelo refinado Pampa Puno - Sapunta logre reproducir de manera más representativa la variación de niveles freáticos, mejora que también se distingue en los pozos de observación del acuífero Pampa Puno.

6. ***Se concluye que las medidas propuestas por el titular no logran que los niveles de aguas subterráneas vuelvan a situarse por sobre los umbrales de la RCA en al menos 3 pozos de observación. Al margen de las necesarias mejoras que se han relevado sobre las medidas propuestas por el titular, se estima necesario que el modelo numérico a corregir en este proceso sea el insumo técnico para redefinir fundadamente los valores umbrales en los pozos de observación del acuífero, manteniendo en cualquier caso la no generación de impactos significativos sobre el acuífero de Pampa Puno, la vega Sapunta y el rio Loa ,así como para confirmar si las medidas correctivas de la RCA hoy vigente son idóneas, asuntos que se espera sean analizados en este proceso y que el titular no ha abordado. Se debe enfatizar que esta necesidad ya fue expresada por la Dirección General de Aguas, en el Oficio Ord. DGA-DCPRH N°79 de Septiembre de 2016 (página 3, pie de página n°4). A mayor detalle, se destaca que el modelo numérico actualizado debe permitir redefinir los umbrales dados por los descensos máximos de 50 y 5 metros señalados en el Considerando 7.9, valores que fueron estimados con el modelo hidrogeológico del proceso de evaluación del EIA "Suministro, Construcción y Operación Aducción de Agua Pampa Puno". Como ha documentado el propio titular en la revisión de RCA en curso, dicha herramienta ha sufrido modificaciones importantes en el tiempo particularmente en cuanto a su conceptualización. A partir de esta re-definición, y de manera análoga a la verificación efectuada por DGA en la Tabla 1 y en el Anexo 1 de este documento, Ud. deberá demostrar que los niveles futuros en todos los pozos de observación del acuífero logran situarse por sobre los nuevos umbrales a consignar, esto en un plazo inferior a 100 años contados desde el inicio de la operación del campo de pozos (año 2113). En caso de no lograrse este objetivo, deberá complementar su propuesta con medidas adicionales.***

Respuesta:

El requerimiento planteado en esta observación parte del supuesto de que los niveles de aguas subterráneas en al menos 3 pozos de observación no volverían a situarse por sobre los umbrales de la RCA, lo que no se condice con los umbrales y descensos autorizados en la RCA, ni con los niveles observados en dichos pozos –que no han superado dichos umbrales-, ni con los niveles en los que se situarán al término de las medidas propuestas en este proceso de acuerdo a las simulaciones realizadas.

Para atender fundadamente este requerimiento, por lo tanto, es necesario precisar cuáles son los umbrales definidos en la RCA y los descensos autorizados, lo que a su vez, permite constatar que aquellos no se na superado durante la ejecución del proyecto.

- Umbrales fijados en la RCA para los pozos de observación.

Dos son los elementos que permiten explicar claramente la forma en que la RCA determinó los umbrales de afección para el campo de pozos.

El primer elemento lo constituye la RCA N° 2.603/2005, en función de lo que disponen los considerandos 7.11.2 y 7.9, secciones estas que son necesariamente complementarias entre sí. En efecto, por una parte, el considerando 7.9 de la RCA establece el descenso máximo aprobado ambientalmente, en los siguientes términos:

> *"Impacto asociado a la extracción del Recurso Hídrico en el acuífero de Pampa Puno*
>
> *Descenso de aguas subterráneas en campo de pozos en el sector Pampa Yocas y en el sector de Yusinta-Pitausa,*

- *No superar los 50 metros de depresión del acuífero en el sector de los pozos de explotación.*
- *No superar 5 metros de descenso en los pozos Yocas".*

Luego, en el considerando 7.11.2, la RCA establece unos umbrales para el acuífero Pampa Puno que corresponden a la condición inicial, en los siguientes términos:

> *"En el evento de que verifique un descenso sostenido durante 3 (tres) meses consecutivos de los niveles estáticos de cualquiera de los pozos de observación, por sobre los siguientes umbrales:*

	PUNO 314B	PUNO 5E	PUNO 11B	PUNO 11E	PUNO 1E	PUNO 6B	PUNO 7B	PUNO 2B
Promedio	4.145,40	4.058,21	4.045,54	4.047,40	4.043,74	4.045,21	4.045,07	4.044,69
Desv. est. (m)	0,63	0,70	0,07	1,81	0,27	0,46	0,44	0,65
Umbral	4.144,48	4.056,66	4.045,44	4.045,62	4.042,46	4.042,80	4.043,10	4.040,95

	PUNO 2E	PUNO 3E	PUNO 8B	PUNO 4B	PUNO 4E	PUNO 10E	PUNO 10B	PUNO 9B	YOCAS 10
Promedio	4.044,62	4.040,73	4.031,56	4.031,37	4.031,46	4.031,97	4.032,02	4.032,54	3.961,79
Desv. est. (m)	0,60	0,39	0,36	0,47	0,43	0,13	0,09	0,39	0,08
Umbral	4.043,60	4.039,90	4.030,37	4.030,34	4.030,48	4.031,70	4.031,71	4.031,27	3.961,69

Umbrales de afectación del acuífero de Pampa Puno.

> *Se considerará que hay afección sobre el acuífero debido al proyecto. Por lo que el titular deberá dar inicio al proceso de mitigación establecido para tales efectos."*

El segundo elemento a tener en cuenta en la definición de los umbrales y descensos autorizados para el campo de pozos, es el pronunciamiento de la Dirección General de Aguas vertido en el contexto del procedimiento de evaluación de impacto ambiental del Proyecto, al emitir su opinión sobre la Adenda N° 2 (Ord. Nº 655 de 2005). En este señala que la condición inicial de los pozos en el área del proyecto se encuentra representada por los mismos valores que se transcriben como umbrales en el considerando 7.11.2 de la RCA, concluyendo que "los impactos tolerables sobre el acuífero a partir de la condición inicial antes indicada, serán: Descenso máximo de 50 m del nivel de agua subterránea en área del campo de pozos de Pampa Puno."; y "Descenso máximo de 5 m del nivel de agua subterránea en el sector de Pampa Yocas.".

De la lectura armónica de los considerandos 7.11.2 y 7.9 de la RCA, así como del pronunciamiento emitido por la DGA en el contexto del procedimiento de evaluación de impacto ambiental del Proyecto, queda ratificado que los umbrales establecidos en el considerando 7.11.2 de la RCA representan la condición inicial desde donde se deben medir los 50 metros (pozos Pampa Puno) y los 5 metros (pozos Yocas) de descenso permitidos por la RCA en el considerando 7.9.

Expuesto lo anterior, es necesario indicar que la explotación del campo de pozos de Pampa Puno no ha generado descensos mayores a los umbrales y descensos autorizados en la RCA. Los mayores descensos alcanzados por los pozos de observación , que son los que dan cuenta del estado general del acuífero, corresponde al alcanzado por el pozo de observación PUNO-2E con 15,1 metros, como consta en los informes PAT e informes RCA entregados a la autoridad y en la documentación de origen de este procedimiento administrativo.

De este modo, el descenso de niveles en el campo de pozos debido a la explotación del acuífero no ha alcanzado los 50 metros de descenso máximo señalado en el considerando 7.9, corroborándose que la estimación realizada mediante el modelo hidrogeológico presentado en la calificación ambiental de Pampa Puno es correcta, así como los umbrales que en esa fecha se establecieron.

Ahora bien, utilizando el modelo refinado Pampa Puno – Sapunta se obtiene que el máximo descenso que se alcanzaría en el acuífero Pampa Puno, sería en el pozo Puno-2E y llegaría a 16.3 m (aproximadamente) a fines del 2020. Por otro lado, el descenso máximo remanente al año 2050 ascendería a 3.8 m aproximadamente y estaría asociado al pozo Puno-3EA.

De acuerdo a la herramienta predictiva, al año 37 después de detenida la operación del campo de pozos Pampa Puno y con la aplicación de las medidas de mitigación de inyección y riego en ejecución, los pozos de observación más cercanos al campo de pozos alcanzarían una recuperación de entre un 50 y un 70% del descenso provocado por la explotación del campo de pozos.

Es necesario precisar que conceptualmente, la descarga subterránea hacia el sector de Sapunta no cambia la conceptualización de modelo hidrogeológico desde el punto de vista del reservorio, ya que la descarga hacia Sapunta oscila entre 2 a 3 l/s, lo que representa aproximadamente un 1.6% del flujo del balance general, y casi la totalidad de la descarga natural del acuífero se produce hacia el sector de Yocas (98.4%). El modelo refinado Puno – Sapunta no genera cambios en cuanto al funcionamiento del acuífero (flujo subterráneo).

Por otra parte, como se ha indicado, el año 2020 se dejará de explotar definitivamente el campo de pozos con fines productivos, y por lo tanto, no se hace necesaria una redefinición de umbrales que busque regular los descensos, pues a partir de ese año todos los pozos comienzan un proceso de recuperación de niveles.

7. ***En atención a los nuevos datos que dispone el titular acerca de la magnitud de las precipitaciones y las recargas en la cuenca de Pampa Puno, se solicita entregar todos los antecedentes técnicos para evaluar los efectos de las medidas propuestas en un escenario conservador desde el punto de vista de la recarga natural (recarga reducida), toda vez que el informe "Análisis de Sensibilidad Modelo Hidrogeológico de Sapunta" muestra una dependencia importante entre el flujo desde Pampa Puno hacia la vega Sapunta y la recarga natural en la cuenca. Así también, se reitera la solicitud de aportar todos los datos meteorológicos y estudios de recarga que ha llevado a cabo en esta materia con la finalidad de concluir si las medidas propuestas son idóneas para hacerse cargo de los efectos observados en la vega. Se destaca la importancia de aclarar si la nueva estimación de recarga por 40 l/s responde a una condición más desfavorable o a una corrección a considerar en el balance hídrico del modelo conceptual.***

La recarga reducida que se ha considerado en los análisis de sensibilidad del modelo hidrogeológicos entregado en el proceso de revisión de la RCA, corresponde a la evaluación de un escenario desfavorable y no constituye una corrección a considerar en el balance hídrico del modelo conceptual.

La diferencia entre el referido escenario desfavorable y la recarga calculada utilizada para el acuífero de Pampa Puno (Ingeorec 2001, SWS 2010, Hidromas 2014 y M&A 2017) se produce porque en la actualidad se cuenta con dos estaciones adicionales instaladas por Codelco en el área de Pampa Puno y en la quebrada de Sapunta, con 11 y 4 años de registros de precipitaciones respectivamente. Los valores entregados por estas estaciones no se consideraron en los estudios previos ya sea porque no se contaban al momento de realizar los estudios (Ingeorec 2001), o tenían aún menos datos que en la actualidad (SWS 2010, Hidromas 2014).

Si bien la información de estas dos estaciones se ha utilizado para realizar una sensibilización de la recarga (M&A 2017), se considera que esta data no es suficiente ni concluyente, porque no permite reflejar todos los periodos climáticos de la zona, para lo que se considera un período de 30 años (comprende más de un ciclo climático). Es por ello que esta información se considera solo como un dato referencial dentro del análisis de sensibilidad del modelo numérico.

La recarga que considera el balance hídrico del modelo refinado Pampa Puno - Sapunta corresponde a una recarga de 120 l/s, que cuenta con el respaldo de información de estaciones con data incluso sobre 30 años:

N°	Nombre	Código BNA	UTM Este (m)	UTM Norte (m)	Elevación (msnm)	Periodo de Datos	N° Años Completos
1	Guatacondo	02113050-8	495.262	7.685.876	2.460	1977-2014	34
2	Lequena	02112051-0	535.065	7.605.259	3.320	1973-2014	38
3	Ollague	02000050-3	577.892	7.652.920	3.700	1972-2014	22
4	Ujina	01080050-1	538.722	7.680.944	4.300	1974-2014	23

Fuente: Elaboración Propia a Partir de DGA (2014)

Se hace presente que los datos meteorológicos solicitados y los estudios de recarga de que dispone el titular formaron parte de los antecedentes presentados mediante carta GSRI-131 de

fecha 8 de septiembre de 2017 (Anexo 6), los que se adjuntan nuevamente a la presente en **Anexo 6**.

8. ***El titular deberá presentar un Plan de actualización del modelo según las principales incertidumbres identificadas antes y durante el proceso de revisión de la RCA N° 2605/2005; i) informar oportunamente los datos, indicadores y criterios que utilizará el titular para orientar la operación y toma de decisiones de la medida recarga artificial en la vega Sapunta. ii) contar con la validación de la autoridad ambiental antes de entregar una siguiente versión actualizada del modelo numérico; y iii) a partir del cese del bombeo, considerar 4 años (en lugar de 2 años) como frecuencia de entrega de las sucesivas versiones de la herramienta matemática. Finalmente, se solicita al titular remitir los antecedentes señalados el día 26 de septiembre de 2018.***

Respuesta:

Según se ha detallado precedentemente, se ha realizado la actualización del modelo atendiendo las observaciones emitidas durante el proceso de revisión de la RCA N° 2605/2005, lográndose, como resultado de la calibración del modelo numérico refinado Pampa Puno – Sapunta, mejoras considerables en el ajuste de los niveles simulados respecto de los niveles observados en comparación al modelo base.

Sin perjuicio de ello, y acogiendo el requerimiento de la presente observación, durante la ejecución de las medidas que se establezcan en el proceso de revisión se desarrollará una actualización periódica de la herramienta predictiva, cada dos años en un primer período, y cada cuatro años a partir del cese del bombeo productivo.

El modelo actualizado será presentado tanto a la Superintendencia del Medio Ambiente, a través de la plataforma de seguimiento de RCA, como a la Dirección General de Aguas, para su revisión y eventuales observaciones.

En lo que respecta a la operación de la medida para la vega Sapunta (riego e inyección), en el numeral 4 de este informe se han aportado los antecedentes y estimaciones de caudales y tiempos necesarios para la recuperación de la condición hídrica natural. También se han explicitado los elementos y variables que impiden determinar un programa anticipado de la operación de la medida, principalmente asociados a las condiciones y requerimientos específicos de la vega Sapunta, que deben evaluarse diariamente para definir el caudal adecuado de riego que permita la sostenibilidad de su vegetación.

En el contexto señalado, la operación de la medida de recarga se ajustará a los siguientes indicadores y criterios:

- El caudal total a utilizar en la recarga, sumando el riego y la inyección, se situará en un rango de entre 5 y 15 L/s.
- El caudal diario efectivo que se utilizará en el riego será definido por especialistas destacados en la vega, sobre la base de la evaluación de las siguientes variables: temperatura, ramoneo de la fauna existente, humedad, condición del viento, saturación del suelo, estacionalidad (invierno, otoño, verano, primavera), y precipitaciones.
- Los caudales efectivamente aplicados serán informados anualmente.

- Junto con cada actualización del modelo numérico se analizarán e informarán los resultados de la aplicación de la medida de recarga, y se confirmarán o ajustarán las proyecciones del tiempo de aplicación de la misma, así como las reducciones progresivas estimadas para los caudales que se aplicarán al riego y la inyección, dentro del rango establecido.