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

OF. DE PARTES RECIBIDO
29 ENE 2020
SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL

PB
2471

Santiago, 29 de enero de 2020
CJ- 021/2020

Señora
María Loreto Grasset
Jefe Depto. Soporte a la Evaluación de Proyectos Complejos
División de Evaluación Ambiental y Participación Ciudadana
Dirección Ejecutiva Servicio de Evaluación Ambiental
Miraflores N° 222, piso 19
Santiago

Ref.: Proceso de Revisión de la RCA N° 2.603/2005 del Proyecto "Suministro, Construcción y Operación, Aducción de Agua Pampa Puno".

Mat: Solicita tener presente antecedentes complementarios que indica y dar curso progresivo al expediente.

De nuestra consideración:

En el marco del proceso de revisión indicado en la Referencia, se ha tomado conocimiento del Oficio Ord. N° 5256/2018 del Servicio Agrícola y Ganadero, que plantea observaciones y consultas en relación con las medidas propuestas por el titular para la mantención de las condiciones de la vega Sapunta. Del mismo modo, en reunión sostenida con el Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos de la Dirección General de Aguas, se tomó conocimiento de algunas inquietudes que dicho organismo mantendría respecto de los antecedentes hasta ahora presentados en el expediente.

Atendido lo anterior, con el objeto de atender los referidos planteamientos, vengo en acompañar Informe denominado "Antecedentes Complementarios", que contiene una explicación fundada para cada uno de ellos y presenta los antecedentes adicionales de respaldo, todos los cuáles se adjuntan a esta comunicación en soporte digital, junto con la copia de la escritura en que consta el poder de representación de la suscrita.

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

En consecuencia, solicito a Ud. tener presente los antecedentes complementarios para la resolución del proceso de revisión, dando curso progresivo al mismo.

Sin otro particular, le saluda atentamente,

M. Susana Rioseco Zorn
Abogada Senior Consejería Jurídica
CODELCO Chile

Incl: 1 pen-drive con los siguientes antecedentes:

- INFORME "ANTECEDENTES COMPLEMENTARIOS" PROCESO DE REVISIÓN RCA N°2603 DE 2005 PROYECTO "SUMINISTRO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN ADUCCIÓN DE AGUA PAMPA PUNO"
- Anexo 1: Consolidado COT
- Anexo 2: ConsolidadoTransectos
- Anexo 3: Hidrogramas Calibración Pampa Puno
- Anexo 4: Sensibilización escenarios de recarga 2019

Distribución:

- Sr. Gerente Desarrollo Sustentable
- Sr. Gerente General DMH
- Sr. Gerente de Sustentabilidad y R. Institucionales Distrito Norte
- Archivo CJ

INFORME "ANTECEDENTES COMPLEMENTARIOS"

PROCESO DE REVISIÓN RCA N°2603 DE 2005

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

I. RESPECTO DE LAS OBSERVACIONES Y CONSULTAS DEL OFICIO ORD. N° 5256/2018 DEL SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO.

1. Caracterización de formaciones vegetacionales.

1.1 "El titular debe entregar el archivo base de datos, con el cual determina la superficie y caracterización de cada una de las formaciones vegetacionales presentes en el área de la vega Sapunta (superficie, porcentaje de cobertura, caracterización de la vegetación presente, participación específica)".

En la Resolución de Calificación Ambiental N° 2603/05 que aprobó ambientalmente el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) del Proyecto "Suministro, Construcción y Operación Aducción de Agua Pampa Puno" (en adelante "RCA 2603/2005"), se estableció la necesidad de desarrollar un programa de seguimiento de avances y retrocesos de la vega Sapunta, a través de la metodología Carta de Ocupación de Tierras (en adelante "COT").

Si bien la referida metodología permite caracterizar la vegetación en términos de superficie, porcentaje de cobertura y participación específica, estas últimas se expresan en rangos y con énfasis en las especies dominantes, respectivamente.

Dado lo anterior, en forma complementaria a los resultados de la metodología COT, se presentan las estimaciones de cobertura vegetacional y de participación específica obtenidas a través de la metodología de transectos que se aplica desde los estudios de línea base en el área de estudio.

De acuerdo con lo anterior, son dos los archivos de base de datos que se entregan anexos a esta respuesta:

- Anexo 1, archivos digitales (shape) de las COT.
- Anexo 2, excel consolidado de resultados de transectos.

1.2 "la información debe considerar todos los componentes que forman parte de la unidad, identificando los componentes vegetacionales como aquellos elementos que no corresponde a vegetación, tales como suelo desnudo, rastrojo, mantillo, entre otros".

El Anexo 2, que contiene los resultados reportados en los Informes que históricamente se han presentado a la autoridad, cuenta con información vegetacional de las especies presentes en cada transecto y su participación porcentual, información que no da cuenta de otros elementos tales como rastrojo, mantillo, entre otros, los cuales se registran bajo una categoría genérica denominada "suelo desnudo".

En el contexto descrito, con la información disponible no es posible realizar estimaciones retroactivas de los referidos indicadores, proponiéndose para futuras campañas, un ajuste metodológico que considera la desagregación de la categoría "Suelo Desnudo" y el registro separado de los elementos vegetacionales y no vegetacionales (mantillo, rastrojo, suelo desnudo, afloramientos salinos, entre otros).

En el Anexo 3 se entregan mayores detalles del ajuste propuesto.

1.3 "Estos datos deben ser analizados de acuerdo a su variación y el efecto de la vegetación al iniciar la extracción de agua, año 2013, e iniciar del riego artificial, año 2015, considerando el tipo de riego y caudal utilizado. Es importante que se analice la evolución histórica, tanto previo como posterior al inicio de extracción de agua, para ver la consistencia de la información presentada, especialmente considerando que las diferentes especies presentan variaciones entre una estación del año y otra que no se condicen con su arquitectura de crecimiento".

Como ya se mencionó, si bien la metodología COT permite estimar las variables cobertura y participación específica, estas últimas se expresan en rangos y con énfasis en las especies dominantes, respectivamente. Por lo anterior, las fuentes de información de este análisis corresponden a resultados complementarios de dos metodologías (COT y transectos), la cual se analiza de forma independiente:

- análisis de superficies con los resultados de los monitoreos trimestrales de metodología COT con el informe Carta de Ocupación de Tierras (COT) Quebrada de Vega de Sapunta y
- análisis de participación específica y cobertura mediante transectos, con el informe de Monitoreo Trimestral de Flora y Vegetación Terrestre.

Ambos análisis se realizan de forma comparativa entre el año 2013 (inicio de extracción de agua) y el año 2015 (inicio de riego), considerando el caudal del riego aplicado.

i) Análisis de evolución histórica de superficies (COT)

En la RCA 2603/05 y el Plan de Alerta Temprana (PAT) presentado en el respectivo EIA, el cual forma parte además de la Resolución DGA Nº 859/2002 que otorga los derechos de agua al Proyecto, se

estableció la necesidad de desarrollar un programa de seguimiento de avances y retrocesos de la vega Sapunta, a través de la metodología COT.

La referencia específica es del siguiente tenor: *"Adicionalmente al monitoreo de la vega y sus estacas, se ha implantado un monitoreo trimestral de flora y vegetación que generará una Carta de Ocupación de Tierras (COT) en verano del 2006 cuando se disponga de los registros de las cuatro estaciones del año. La COT se mantendrá durante toda la etapa de operación y será complementada con el seguimiento de imágenes satelitales de este sector".*

El programa de seguimiento de avances y retrocesos de la vega Sapunta se realiza mediante la comparación a través del tiempo de una COT anual, contrastando los resultados de la etapa de bombeo, con la COT construida en la etapa de pre-bombeo. Debido a que la operación del proyecto comenzó con el pre-bombeo EN el año 2013, se considera como condición base del área de estudio, la COT construida entre otoño de 2012 y verano de 2013. Esta aproximación está respaldada por el pronunciamiento de CONAF en su ORD N° 385/2012, donde se señala que, al no iniciar las operaciones de aducción del proyecto, la información recabada de forma previa a la operación (bombeo) constituye un complemento a la línea base. Es decir, no se consideró como condición basal, aquellas campañas realizadas durante la línea base (campañas invierno 98, primavera 2002, verano 2003, verano 2004), ni aquellas realizadas durante la aprobación de la RCA y el inicio de la fase de operación del proyecto (Monitoreos internos desarrollados por Codelco entre otoño 2005 y primavera 2010), sino el ciclo anual inmediatamente anterior al pre-bombeo.

Desde el inicio de la fase de operación (año 2013) se han entregado informes que dan cuenta a la fecha, de la ejecución de 28 campañas de monitoreo a través de esta metodología (7 ciclos anuales de otoño a verano, incluyendo periodo referencial). En este contexto, y con el objetivo de dar respuesta a la solicitud de evaluar la variación en estos datos al iniciar la extracción de agua (año 2013) y posteriormente al riego artificial (año 2015), se realizó una comparación entre las superficies del ciclo anual 2013 y 2015.

El ciclo anual de referencia consideró las campañas de otoño, invierno, primavera 2012 y verano 2013, por lo que los años 2013 y 2015 también se analizarán mediante este rango trimestral para sus ciclos anuales. El ciclo anual 2013, está compuesto por las campañas de otoño, invierno, primavera 2013 y verano 2014[1], mientras que el ciclo anual 2015[2] está compuesto por las campañas de otoño, invierno y primavera 2015 y verano 2016.

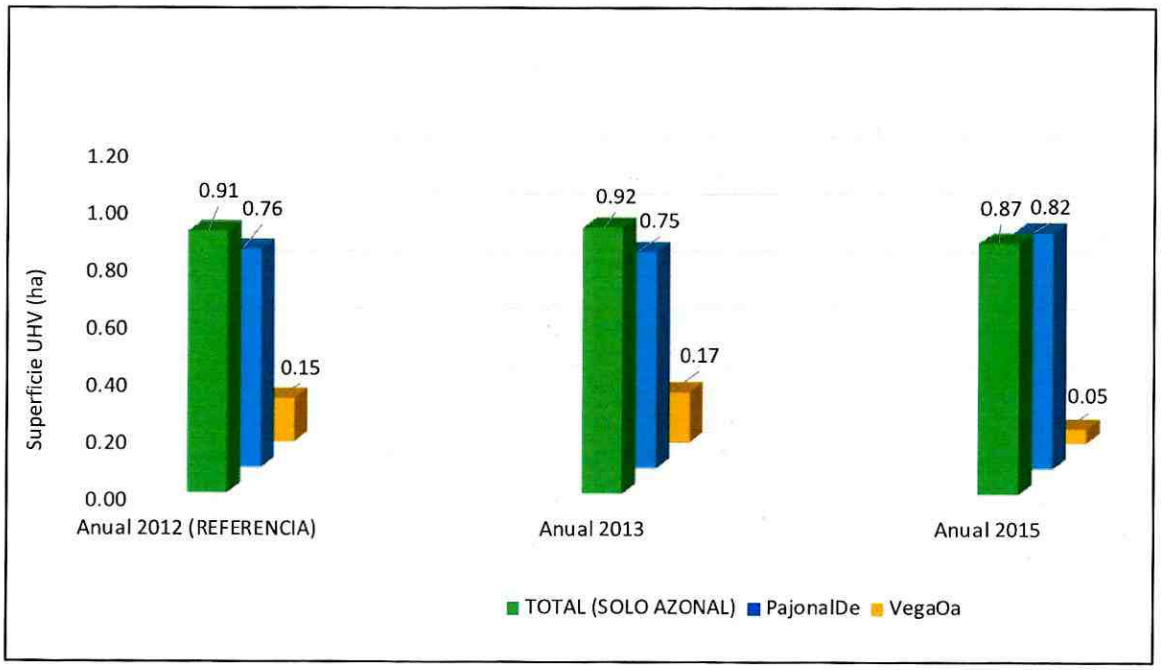
---

[1] Se consideran superficies informadas en informe "Carta de Ocupación de Tierras (COT) Quebrada de Vega de Sapunta 2013", Código 21358, entregado a la SMA el 07-05-2014.

[2] Se consideran superficies calculadas en informe "Carta de Ocupación de Tierras (COT) Quebrada de Vega de Sapunta 2015", Código 45751, entregado a la SMA el 10-05-2016.

La gráfica a continuación (Figura 1) presenta la comparación de superficies entre el ciclo anual 2013 y el ciclo anual 2015, que considera la variación de la vegetación azonal (UHV pajonal dominada por la especie Deyeuxia eminens (PajonalDe) y UHV vega dominada por la especie Oxychloe andina (VegaOa)), ya que esta última contiene la vegetación hidrófila presente en el área de estudio, y que constituye el objeto de protección.

Figura 1. Comparación de superficies inicio bombeo (2013) e inicio de riego (2015)



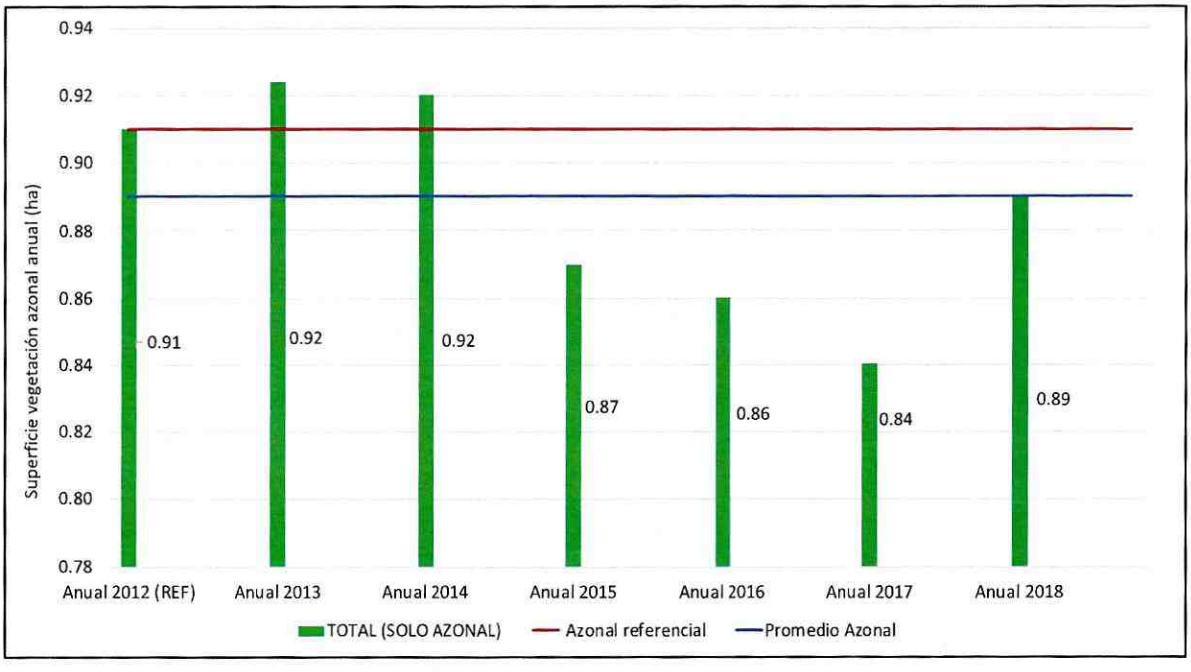
Fuente: Elaboración propia. Base de cálculo informe COT anual.

Respecto de la COT de referencia, se evidencia que la vegetación azonal está dominada por el pajonal, representando un 84% de la superficie total, mientras que la vega sólo representa un 16%. Lo anterior resulta relevante a la hora de analizar la evolución histórica, toda vez que un cambio de igual magnitud absoluta (superficie) para una u otra UHV, redunda en un peso relativo diferente.

En cuanto a la evolución histórica, se observa que la superficie total de la vegetación azonal mantiene su valor relativamente constante, sin embargo, las UHV que la componen (pajonal y vega) presentan variación en su superficie. Al inicio del bombeo (año 2013), el pajonal de Deyeuxia eminens registró una superficie de 0,75 ha, la cual aumentó a 0,82 ha al iniciarse el riego (año 2015). Por su parte, comparando la evolución de la vega de Oxychloe andina en el mismo periodo, se evidencia una disminución de su superficie desde 0,174 ha a 0,05 ha.

Con el objetivo de comprender la variación de las superficies a una macro escala, se grafica a continuación la variación de superficies calculadas en la totalidad de campañas realizadas a la fecha. Mediante este análisis, es posible observar que la superficie de la vegetación azonal es estable en el tiempo (Figura 2), con un valor mínimo de 0,84 hectáreas (ciclo anual 2017), un valor máximo de 0,92 hectáreas (ciclo anual 2013 y 2014), y un promedio de siete ciclos anuales (incluyendo año referencial) de 0,89 hectáreas .

Figura 2. Evolución histórica de superficie azonal en Vega de la Quebrada Sapunta



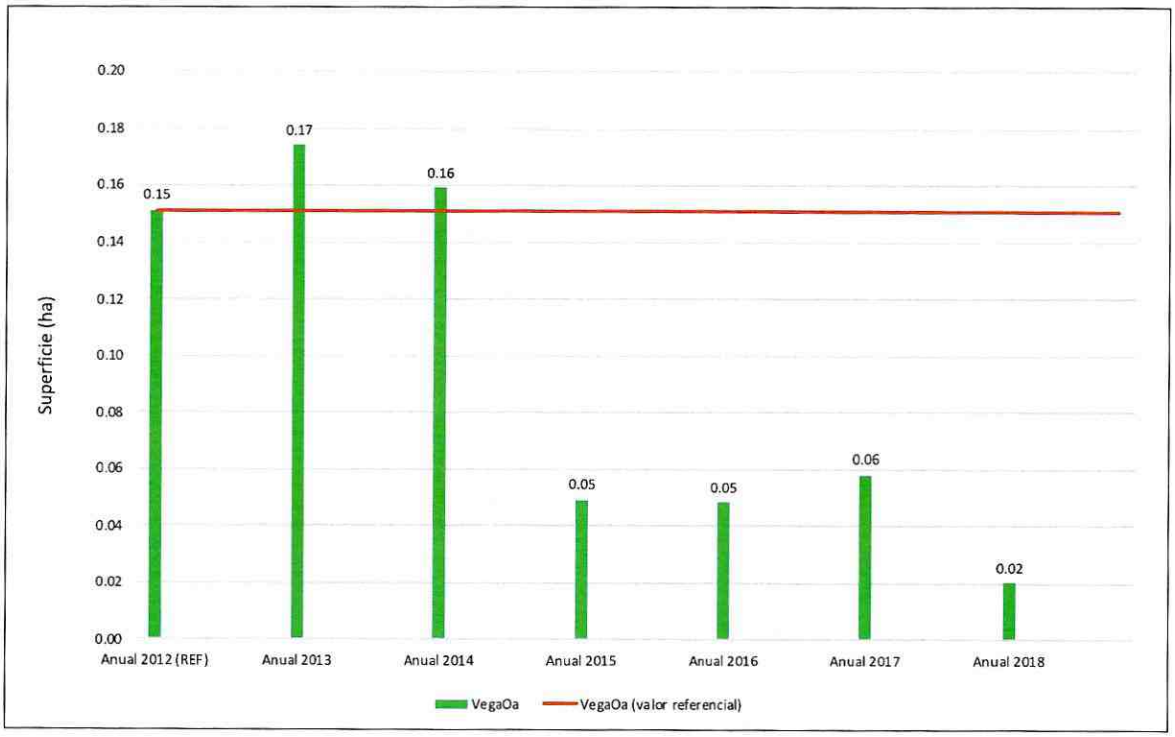
Fuente: Elaboración propia. Valores de informe Carta de Ocupación de Tierras (COT) anual.

A continuación se analiza la evolución de la superficie de cada una de las unidades que componen la vegetación azonal.

a) Evolución de superficie para UHV Vega.

La Figura 3 muestra la variación de la superficie vegetacional para vegetación azonal tipo Vega, la cual presenta el mayor requerimiento hídrico de las UHV (sustrato parcial o totalmente anegado). El valor de referencia de la superficie para esta UHV (ciclo anual 2012) fue de 0,15 ha, evidenciándose un incremento hasta el ciclo anual 2013 (0,17 ha); posteriormente se observa un retroceso progresivo, siendo 0,02 ha el mínimo valor registrado en el ciclo anual 2018. Lo anterior se expone a continuación.

Figura 3. Comportamiento anual de superficie UHV Vega de Oxychloe andina (VegaOa)

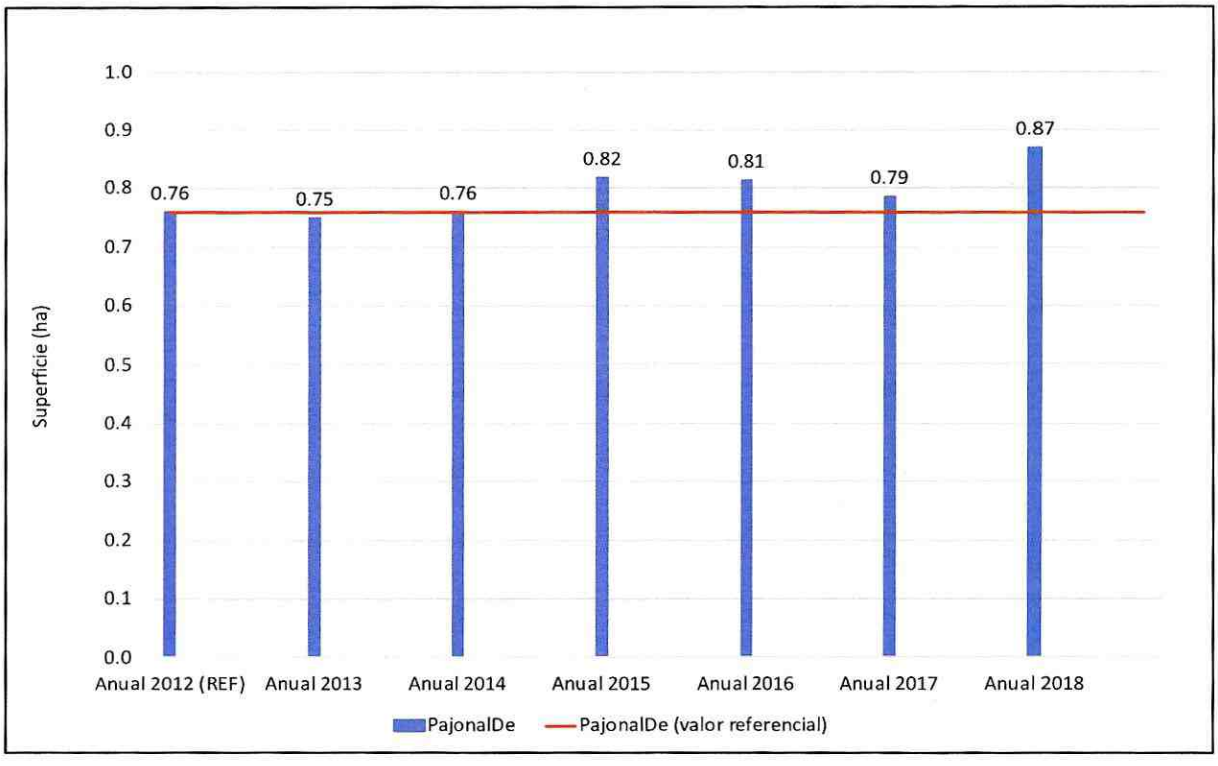


Fuente: Elaboración propia. Valores de informe Carta de Ocupación de Tierras (COT) anual.

b) Evolución de superficie para UHV Pajonal

La Figura 4 muestra la variación de la cobertura vegetacional para Vegetación Azonal tipo Pajonal. De acuerdo al valor, la superficie de referencia (ciclo anual 2012) de la UHV pajonal fue de 0,76 ha. Al inicio del riego (año 2015) se evidenció una disminución en la superficie reportada, la cual comienza a incrementar gradualmente, para llegar a alcanzar en el ciclo anual 2018 un valor de 0,87, como se expone a continuación.

Figura 4. Comportamiento anual de superficie UHV Pajonal de Deyeuxia eminens (PajonalDe)

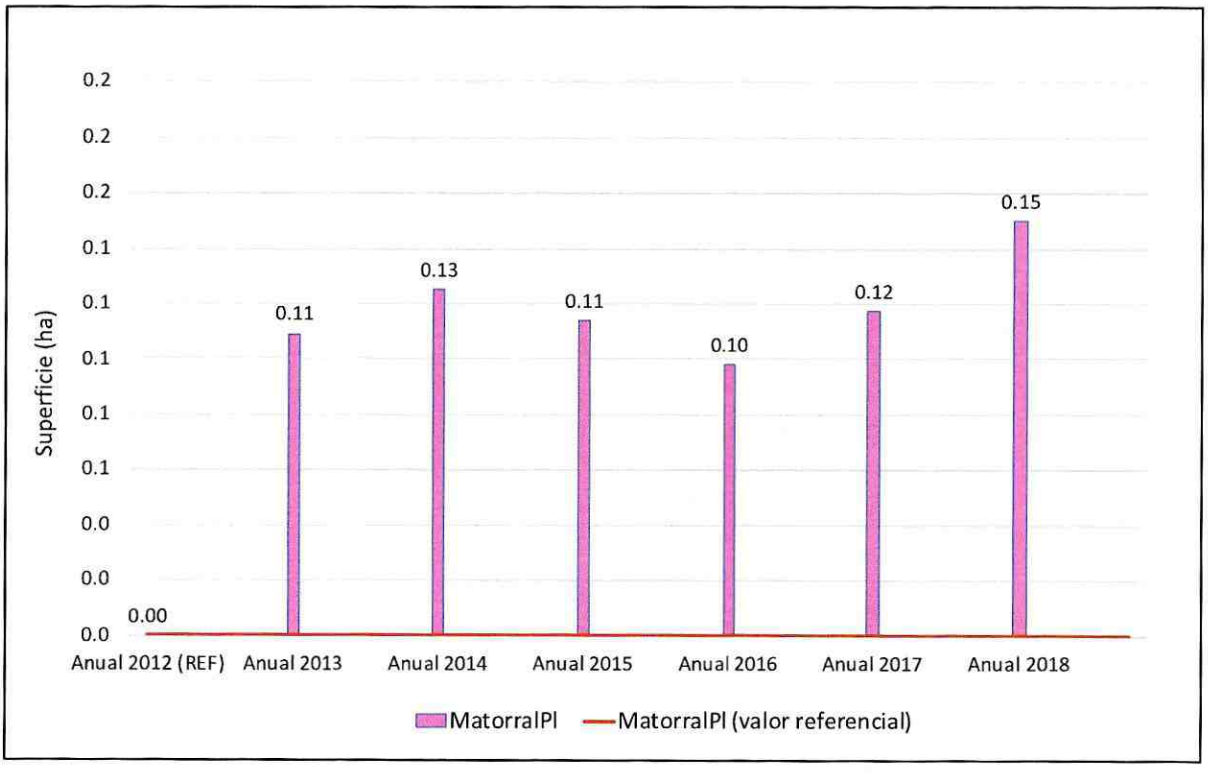


Fuente: Elaboración propia. Valores de informe Carta de Ocupación de Tierras (COT) anual.

c) Evolución de superficie para UHV Matorral

Para esta UHV no se estimó superficie en periodo de referencia (ciclo anual 2012), ya que no se consideró dentro del estudio vegetación del tipo zonal, pues no corresponde al objeto de protección. Sin embargo, se cuenta con información a partir de los monitoreos posteriores. La Figura 5 a continuación grafica la evolución histórica desde el periodo anual 2013 al 2018.

Figura 5. Comportamiento anual de superficie UHV Matorral de Parastrephia lucida (Matorral Pl)

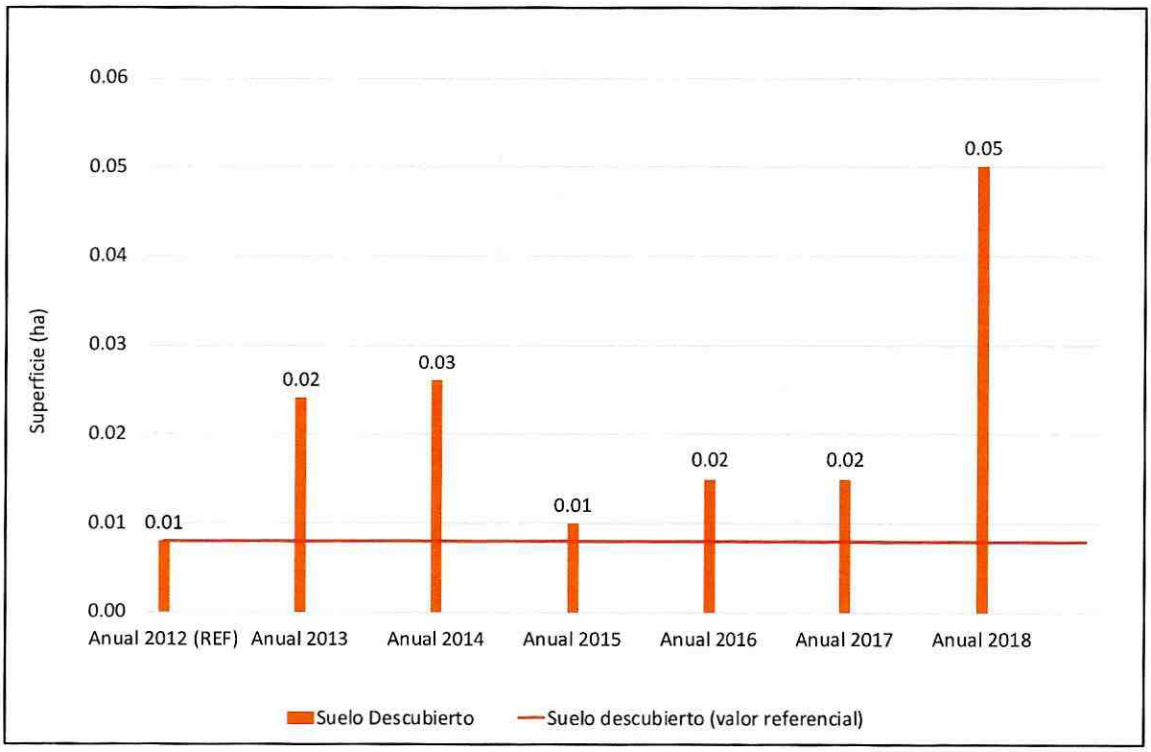


Fuente: Elaboración propia. Valores de informe Carta de Ocupación de Tierras (COT) anual.

d) Evolución de superficie para Suelo descubierto

La Figura 6 muestra la variación de la superficie estimada para suelo descubierto, que como ya se dijo, engloba todos los componentes que no corresponden a vegetación -suelo desnudo, rastrojo, mantillo, cuerpos de agua, formaciones salinas-. La superficie de referencia (ciclo anual 2012) es de 0,01 ha, mientras que para el ciclo anual 2018 se obtuvo un valor de 0,05.

Figura 6. Comportamiento anual de superficie de Suelo descubierto (sueldo descubierto)



Fuente: Elaboración propia. Valores de informe Carta de Ocupación de Tierras (COT) anual.

ii) Análisis de caracterización de la vegetación y evolución histórica de cobertura y participación específica (transectos) evolución histórica de superficies (COT).

Como ya se mencionó, si bien la metodología COT permite estimar las variables cobertura y participación específica, estas últimas se expresan en rangos y con énfasis en las especies dominantes, respectivamente. En virtud de ello, y a mayor abundamiento, se presentan los resultados de la metodología de transectos, que dan cuenta de la evolución de la cobertura relativa en cada unidad vegetacional (matorral, pajonal, vega) y la participación específica de especies vegetales. Al respecto, durante el periodo de línea base (1998-2012) se han implementado 3 transectos estacados (denominados transectos históricos) que evalúan estos parámetros (desde verano de 2005 en adelante).

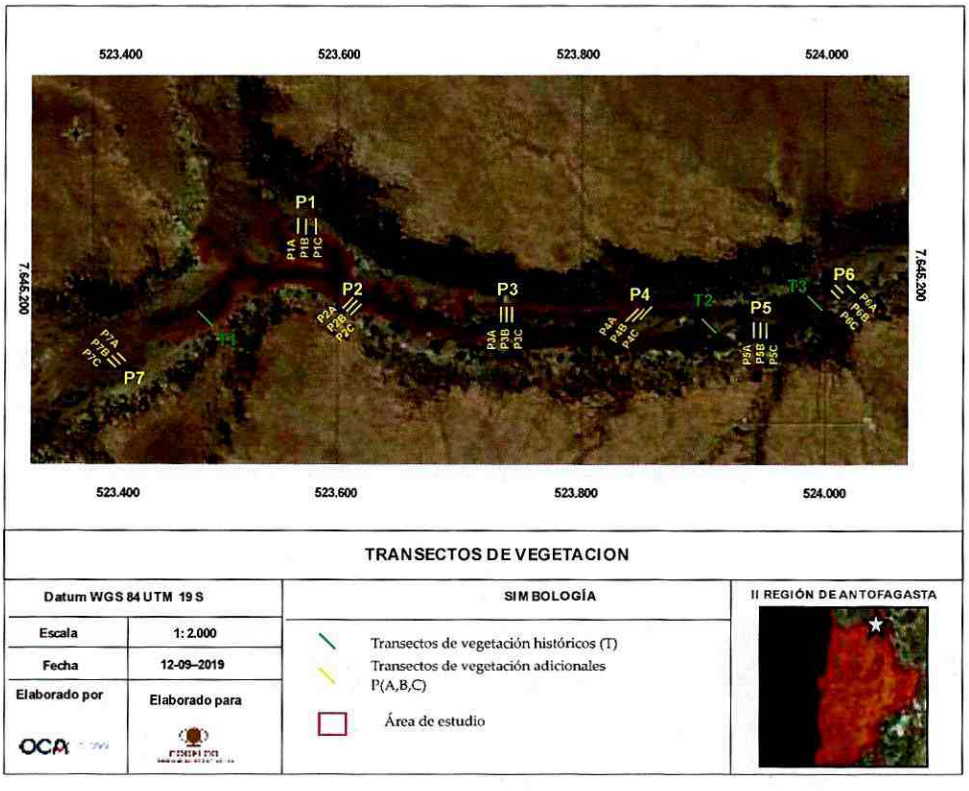
Codelco, en función de su compromiso ambiental respecto a mejorar continuamente las metodologías de monitoreo del área de estudio, implementó a partir de verano de 2011 una complementación metodológica que considero incluir de 18 transectos adicionales, distribuidos en 6

parcelas (P1, P2, P3, P4, P5 y P6), asignando 3 transectos por cada parcela incorporada (A, B y C), totalizando así 21 transectos.

A lo largo de la implementación de estos transectos, se ha recopilado información sobre las especies presentes en cada uno de ellos y la participación porcentual (en términos de cobertura) de cada una de éstas.

A continuación, se presenta una comparación entre las coberturas calculadas para las especies registradas en las unidades vegetacionales que componen la vegetación azonal, es decir, pajonal y vega[3] para transectos que contengan ambas unidades (T1, T3, P3 (P3A, P3B, P3C)). En cada gráfico se separa la cobertura por especies que componen la vegetación azonal, por lo que es posible observar además, la evolución de la participación específica en cada transecto. La **Figura 3** corresponde a la distribución espacial de los transectos sobre el área de estudio.

Figura 3. Distribución espacial de transectos de vegetación en Quebrada Sapunta



Fuente: Elaboración propia

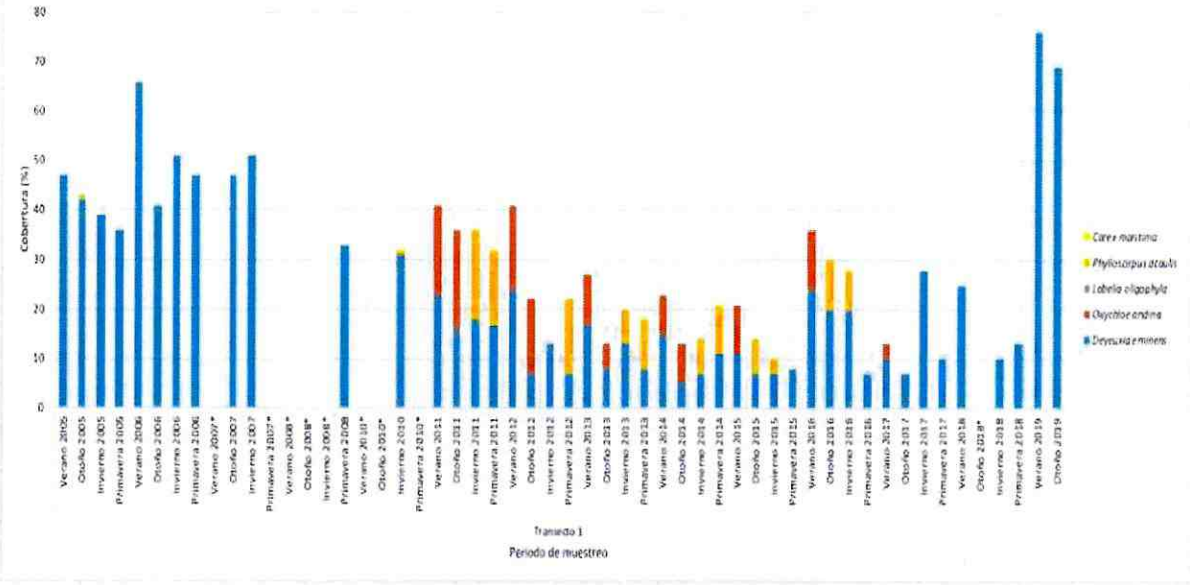
[3] No se considera comparaciones de riqueza, dado que la riqueza siempre se ha reportado para el total de la vegetación azonal y no por separado para las unidades de pajonal y vega que la componen.

De la totalidad de transectos implementados en el área de estudio, se tomaron 5 para el análisis histórico, dado que son aquellos que se ubican en áreas con presencia de vegetación azonal. De éstos, dos corresponden a unidades de muestreo implementadas trimestralmente desde el año 2005 (Monitoreo Estacional de Flora y Vegetación Terrestre, Vega Sapunta, Otoño 2005), transectos 1 (T1) y Transecto 3 (T3). Por otra parte, se utilizaron los tres transectos ubicados en la Parcela 3 (P3), correspondientes a los transectos P3A, P3B y P3C, los cuales fueron implementados en terreno e incorporados al monitoreo en el año 2011 (Monitoreo Estacional de Flora y Vegetación Terrestre, Vega Sapunta, Verano 2011). A continuación se describen los resultados del análisis en los transectos T1 y T3:

a) Transecto 1

A partir del análisis histórico de la cobertura vegetacional del transecto 1, según la gráfica de la Figura 8, se observa un cambio en la composición de especies, dominando en el tiempo, tanto en riqueza como en abundancia, la especie Deyeuxia eminens (Pajonal).

Figura 8. Cobertura anual histórica Transecto 1



Fuente: Elaboración propia. (*) No se cuenta con registro trimestral de cobertura.

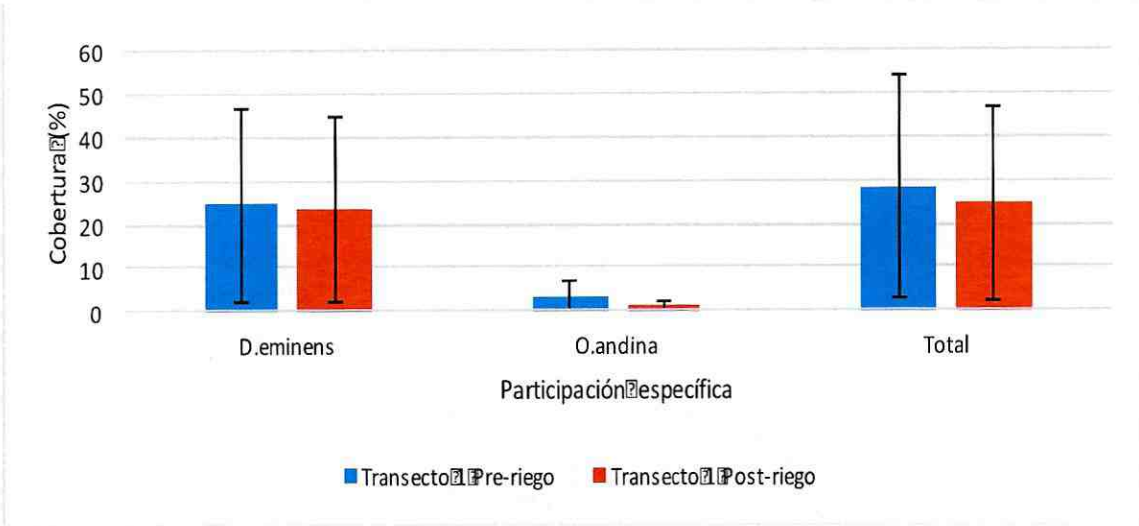
Para complementar el análisis anterior, se realizó un estudio de la evolución de la cobertura a nivel de vega azonal y también a nivel específico de cada unidad homogénea de vegetación (UHV) y sus especies dominantes. Ello, con el objetivo de comprender la posible respuesta de unidades con diferente hidromorfismo a lo largo de la construcción y operación del proyecto.

En un primer período, durante la etapa de línea base y construcción del proyecto (2005-2014), la cobertura vegetal tuvo un valor promedio de 28,26% (ds: 16,14), mientras que después de la operación del proyecto (2015-2019) varió a un promedio de 24,43% (ds: 22,14).

A nivel específico de Pajonal, esta unidad ha variado de 25,67% (ds: 17,4) promedio de cobertura a 23,36% (ds: 22,04) promedio de cobertura, entre la etapa sin riego y con riego, respectivamente.

A nivel específico de Vega, esta unidad ha variado de 3,58% (ds: 6,31) promedio de cobertura a 1,07% (ds: 3,25) promedio de cobertura, entre la etapa sin riego y con riego, respectivamente. A continuación, la Figura 9 contiene el análisis según etapa de riego expuesta anteriormente.

Figura 9. Cobertura vegetacional pre-riego y post-riego Transecto 1

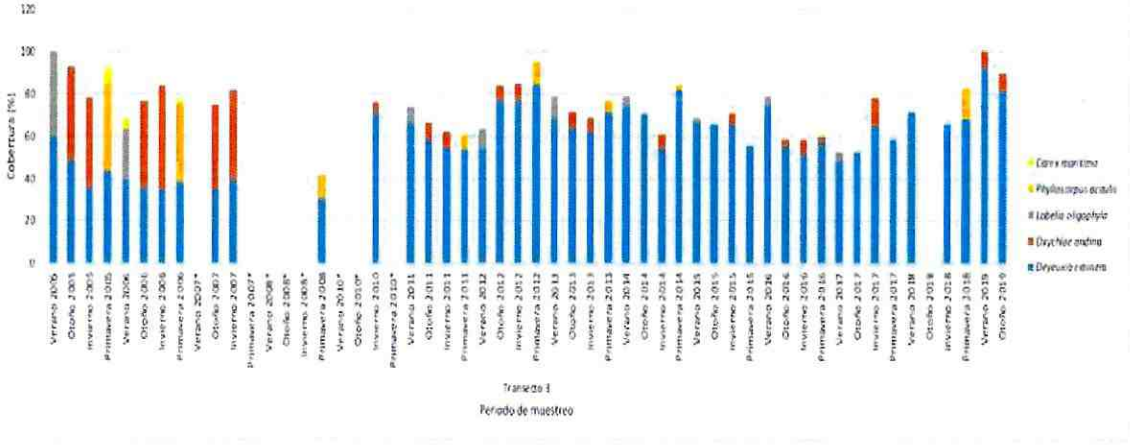


Fuente: Elaboración propia. Valores correspondientes al promedio de cobertura de transecto pre y post riego.

b) Transecto 3

A partir del análisis histórico de la cobertura vegetacional del transecto 3, se observa un cambio en la composición de especies, dominando en el tiempo, tanto en riqueza como en abundancia, la especie Deyeuxia eminens (Pajonal). Respecto de la especie Oxychloe andina, su presencia ha sido intermitente a lo largo del tiempo, incluso dentro de un mismo ciclo anual, como se evidencia en la etapa de pre bombeo (2005-2006) y según se muestra en la Figura 10.

Figura 10. Cobertura anual histórica Transecto 3

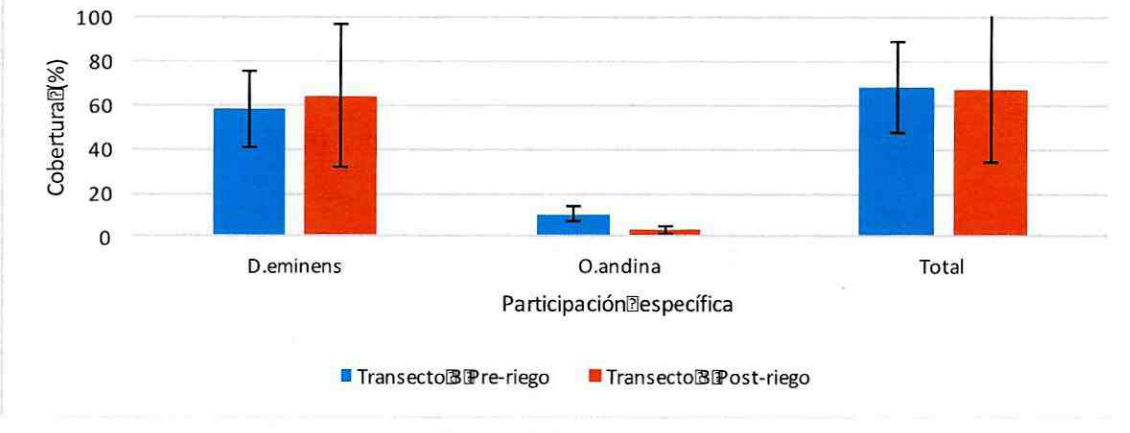


Fuente: Elaboración propia

En un primer período, durante la etapa de línea base y construcción del proyecto (2005-2014), la cobertura vegetal tuvo un valor promedio de 68,1% (ds: 14,84), mientras que luego de la operación del proyecto (2015-2019) varió a un promedio de 67,29% (ds:14,5). A nivel específico de Pajonal, esta unidad ha variado de 57,77% (ds: 15,72) promedio de cobertura a 64,14% (ds:12,42) promedio de cobertura, entre la etapa sin riego y con riego, respectivamente. A nivel específico de Vega, esta unidad ha variado de 10,32% (ds: 16,62) promedio de cobertura a 3,14% (ds: 4,45) promedio de cobertura, entre la etapa sin riego y con riego, respectivamente.

A continuación, en la Figura 11 se grafican estos resultados.

Figura 11. Cobertura vegetacional pre-riego y post-riego Transecto 3

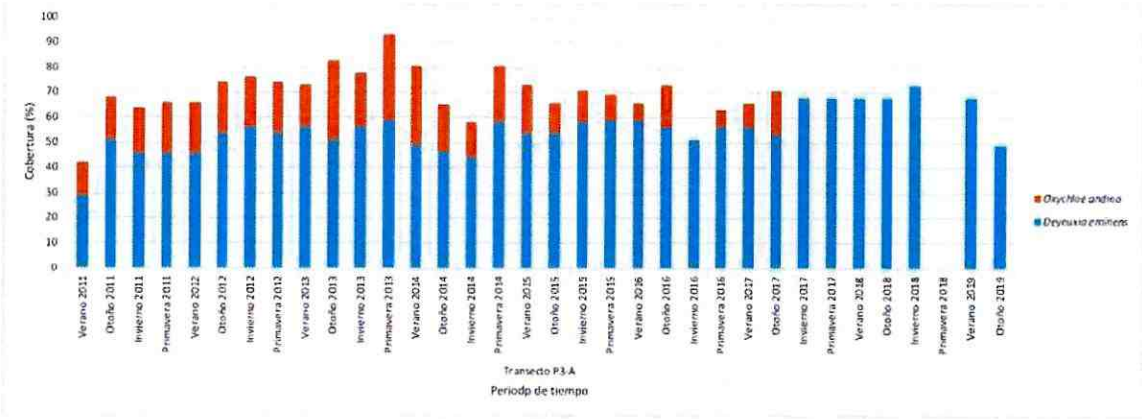


Fuente: Elaboración propia. Valores correspondientes al promedio de cobertura de transecto pre y post riego.

c) Parcela 3, P3A

A partir del análisis histórico de la cobertura vegetacional del transecto P3A, como se muestra en la Figura 12, se observa un cambio en la composición de especies, dominando en el tiempo, tanto en riqueza como en abundancia, la especie Deyeuxia eminens (Pajonal).

Figura 12. Cobertura anual histórica Transecto P3A



Fuente: Elaboración propia

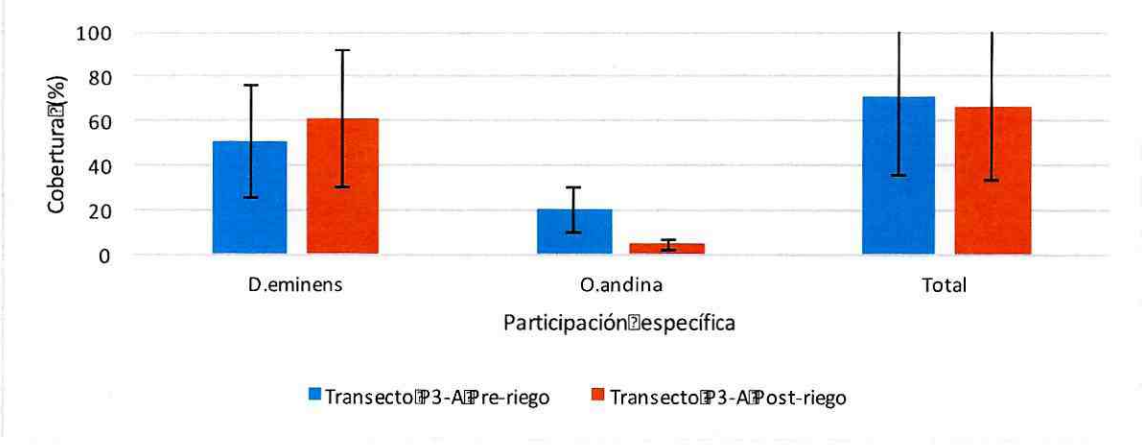
En una primera etapa, durante la fase de línea base y construcción del proyecto (2005-2014), la cobertura vegetal tuvo un valor promedio de 71,13% (ds: 10,71), mientras que luego de la operación del proyecto (2015-2019) varió a un promedio de 66,98% (ds: 6,6).

A nivel específico de Pajonal, esta unidad ha variado de 50,96% (ds: 7,16) promedio de cobertura a 60,9% (ds: 7,69) promedio de cobertura, entre la etapa sin riego y con riego, respectivamente.

A nivel específico de Vega, esta unidad ha variado de 20,18% (ds:6,25) promedio de cobertura a 4,86% (ds:6,49) promedio de cobertura, entre la etapa sin riego y con riego, respectivamente.

La Figura 13 continuación, grafica los resultados recién expuestos.

Figura 13. Cobertura vegetacional pre-riego y post-riego Parcela 3, Transecto 3A

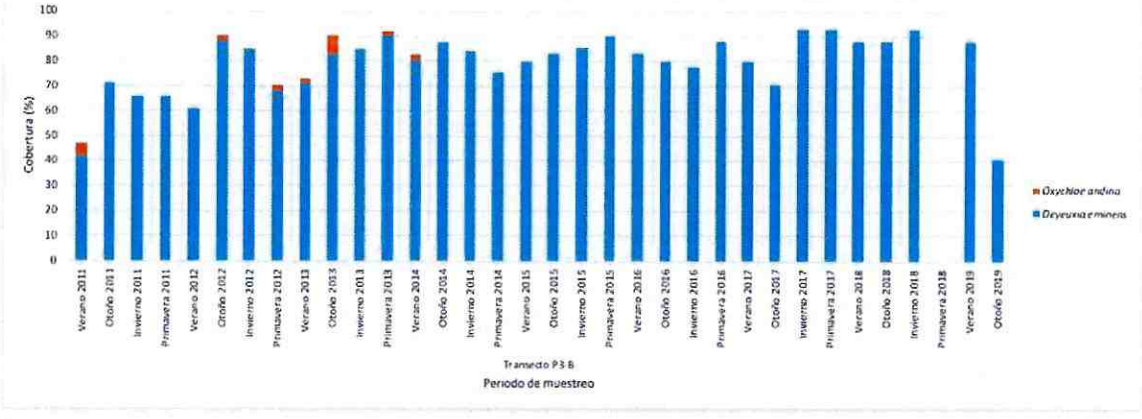


Fuente: Elaboración propia. Valores correspondientes al promedio de cobertura de transecto pre y post riego.

d) Parcela 3, P3B

A partir del análisis histórico de la cobertura vegetacional del transecto P3B, se observa un cambio en la composición de especies, dominando en el tiempo, tanto en riqueza como en abundancia, la especie Deyeuxia eminens (Pajonal). Al igual que en casos anteriores, se evidencia una presencia errática de la UHV Vega, previo al inicio del bombeo, como se muestra en la Figura 14.

Figura 14. Cobertura anual histórica Transecto P3B



Fuente: Elaboración propia

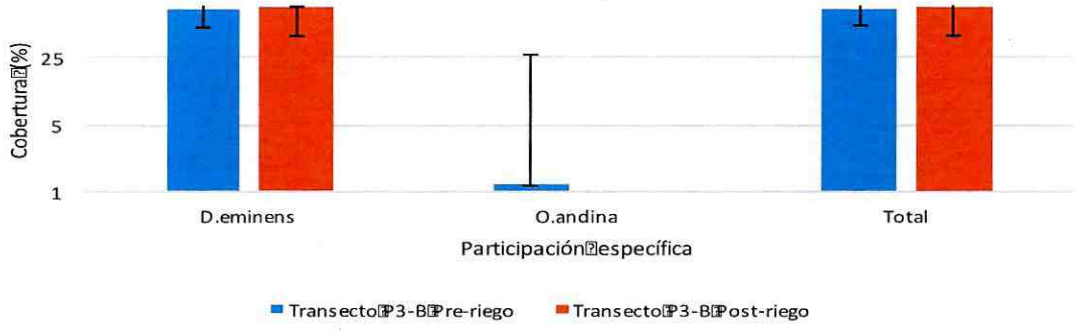
En un principio, durante la etapa de línea base y construcción del proyecto (2005-2014), la cobertura vegetal tuvo un valor promedio de 77,65% (ds:11,81), mientras que luego de la operación del proyecto (2015-2019) varió a un promedio de 82,41% (ds:13,59).

A nivel específico de Pajonal, esta unidad ha variado de 76,46% (ds: 12,08) promedio de cobertura a 82,41% (ds:13,59) promedio de cobertura, entre la etapa sin riego y con riego, respectivamente.

A nivel específico de Vega, esta unidad ha variado de 1,19%(ds:2,01) promedio de cobertura a 0% promedio de cobertura, entre la etapa sin riego y con riego, respectivamente.

En la Figura 15 a continuación, se grafican estos resultados.

Figura 15. Cobertura vegetacional pre-riego y post-riego Parcela 3, Transecto 3B

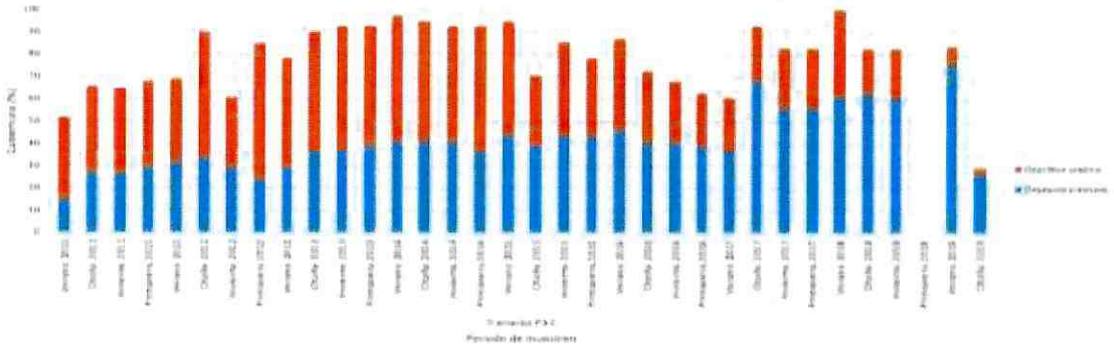


Fuente: Elaboración propia. Valores correspondientes al promedio de cobertura de transecto pre y post riego.

e) Parcela 3, P3C

A partir del análisis histórico de la cobertura vegetacional del transecto P3C, se observa que la composición de especies cambió, dominando en el tiempo, tanto en riqueza como en abundancia, la especie Deyeuxia eminens (Pajonal). Respecto a Oxychloe andina, si bien sigue presente en el área de estudio, se ha evidenciado un retroceso progresivo. A continuación en la Figura 16 se grafican estos resultados.

Figura 16. Cobertura anual histórica Transecto P3C



Fuente: Elaboración propia

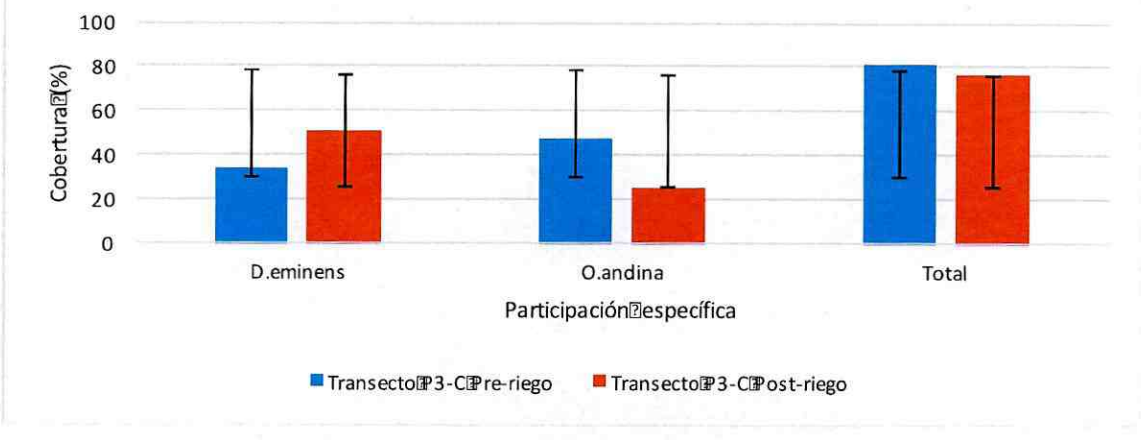
En un primer tramo, durante la etapa de línea base y construcción del proyecto (2005-2014), la cobertura vegetal tuvo un valor promedio de 81,05% (ds: 14,11), mientras que luego de la operación del proyecto (2015-2019) varió a un promedio de 76,26% (ds: 17,35).

A nivel específico de Pajonal, esta unidad ha variado de 34,03% (ds: 7,74) promedio de cobertura a 51,09% (ds: 14,02) promedio de cobertura, entre la etapa sin riego y con riego, respectivamente.

A nivel específico de Vega, esta unidad ha variado de 47,02% (ds: 9,4) promedio de cobertura a 25,17% (ds: 10,39) promedio de cobertura, entre la etapa sin riego y con riego, respectivamente.

A continuación, se grafican estos resultados.

Figura 17. Cobertura vegetacional pre-riego y post-riego Parcela 3, Transecto 3C



Fuente: Elaboración propia. Valores correspondientes al promedio de cobertura de transecto pre y post riego.

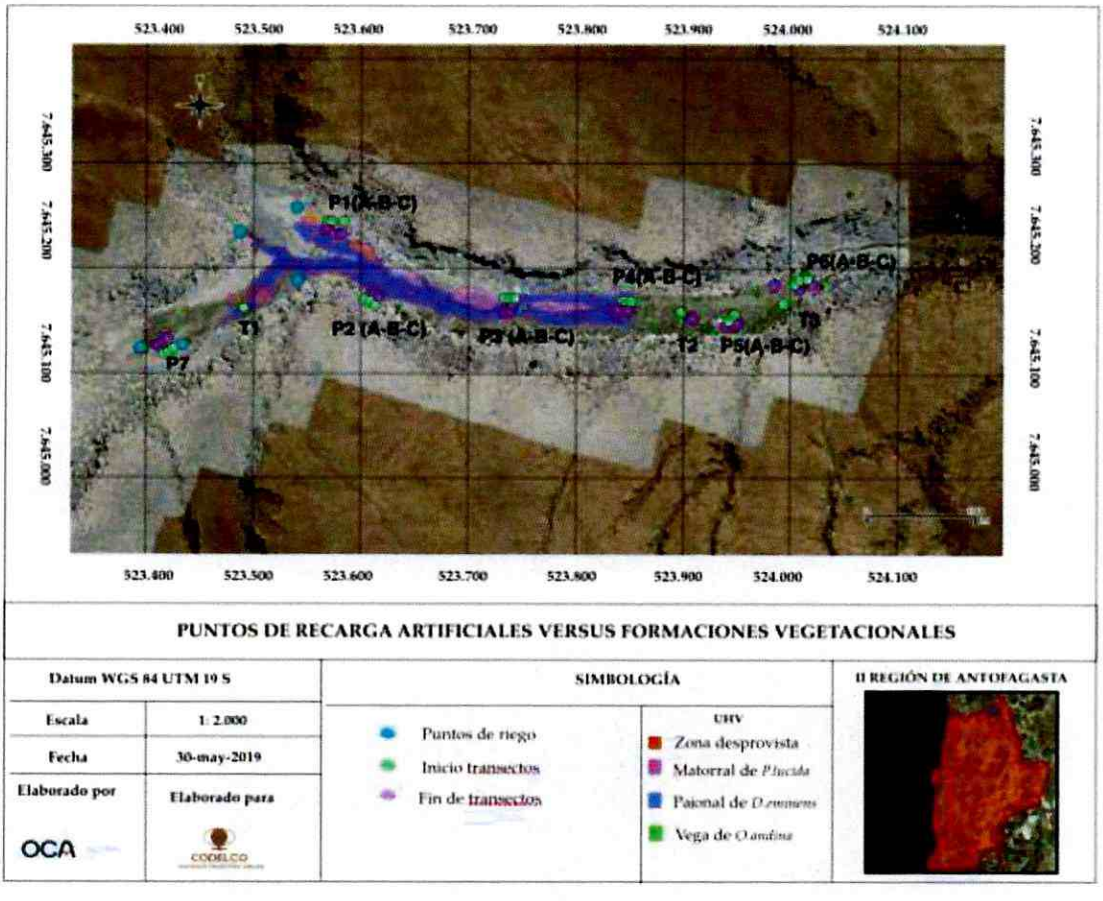
A la luz de los resultados históricos, es posible evidenciar que la cobertura de la vegetación azonal tipo Vega refleja una condición similar a lo reportado en resultados de superficie (COT).

El análisis antes expuesto, evidencia un comportamiento errático tanto de la cobertura como de la composición de especies dentro de los transectos durante la fase de pre bombeo, incluso durante un mismo ciclo anual. Lo anterior da indicios de variaciones naturales que podrían asociarse a diversos factores como podrían ser el cambio climático, la ocurrencia de aluviones, herbívora, u otras, independientes de la extracción de agua.

1.4 "Esta información debe ser contrastada con un mapa, donde se identifiquen las diferentes formaciones vegetacionales y los puntos de recarga utilizados".

Para dar respuesta a esta pregunta, se elaboró la siguiente cartografía:

Figura 18. Puntos de recargas artificiales y Unidades Homogéneas de Vegetación invierno 2019



2. Límite de variación cobertura vegetacional.

2.1 "El titular propone como límite de variación un 30% en la cobertura vegetacional, valor que a juicio de esta Servicio es demasiado amplio. El valor propuesto debe estar respaldado con la identificación de la abundancia de cada una de las especies presentes en la vega, porque la variación debe ser medida no solo en forma global, sino que debe demostrar que no se ha afectado la estructura del sistema en cuanto a las especies que lo forman, por lo que debe separar las variaciones de acuerdo al requerimiento hídrico de cada especie, agrupándolos desde especies propias de características más hidromórficas a las de menor hidromorfismo".

En la carta N° 181171, el 16 de agosto de 2018, el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) solicitó proponer un límite comprometido de variación para la superficie del área.

En respuesta a dicha solicitud, se analizó la variación natural estimada para la cobertura global de cada transecto[4] (Parcelas de muestreo P1, P2, P3, P4, P5 y P6) en etapa de pre bombeo, obteniendo un valor de 30%.

Considerando la solicitud de reevaluación y propuesta de límite de variación, se analizó nuevamente la evolución de la cobertura vegetacional, esta vez evaluando la evolución de la cobertura de cada especie que conforma el sistema. Este análisis fue presentado en respuesta a la pregunta N° 1 del presente documento "(ii) Análisis de caracterización de la vegetación y evolución histórica de cobertura y participación específica (transectos)".

Los resultados obtenidos evidencian que las especies que componen la vegetación azonal presentan una variación natural de un 30% en su cobertura, resultado consistente con lo propuesto por este titular.

Por otra parte, debido a que el análisis presentado anteriormente sólo consideró las parcelas permanentes monitoreadas entre los años 2011 y 2018, se realizó una comparación complementaria entre los transectos T1, T2 y T3, considerando que estos transectos se monitorean desde el año 2005 (Tabla 1).

---

[4] "Carta GSRI-138-2018, de 16 de octubre de 2018 adjunta antecedentes"

Tabla 1. Variación en cobertura de transectos durante periodo de línea base

∫	Estación	Cobertura (%)	Estación	Cobertura (%)	Rango de variación	
					Rango por estación	Rango promedio
T1	V2005	47	V2011	41	-6	-13
	O 2005	42	O 2011	36	-6	
	I 2005	39	I 2011	18	-21	
	P 2005	36	P 2011	17	-19	
T2	V2005	87	V2011	59	-28	-29.5
	O 2005	84	O 2011	31	-53	
	I 2005	37	I 2011	29	-8	
	P 2005	58	P 2011	29	-29	
T3	V2005	60	V2011	67	7	-6.25
	O 2005	93	O 2011	67	-26	
	I 2005	78	I 2011	62	-16	
	P 2005	44	P 2011	54	10	

Fuente: Elaboración propia.

A partir de este análisis, fue posible determinar la variación natural en la cobertura vegetacional (vegetación azonal) para cada transecto (T1, T2 y T3) entre el año 2005 y 2011, para establecer que el rango de variación permitido refleje esta variabilidad natural.

El transecto T1 presentó un rango de variación máximo (entre monitoreos) de 30%, mientras que los transectos 2 y 3, un rango máximo de 13% y 7%, respectivamente.

De esta forma, si se define un umbral de variación, éste debiese ser el rango natural máximo histórico, correspondiente a un 30% de cobertura vegetacional.

2.2 "Este Sistema, como bien lo señala el titular en los antecedentes entregados, responde a determinadas características, siendo una de ellas el tipo de suministro hídrico, como escorrentía o poza, esto determina las especies que se encontrarán, es por esto que es indispensable tener la composición especifíca de los distintos ambientes presentes en la vega, agrupados por nivel de hidromorfismo del sitio.".

Para abordar esta pregunta se elaboró la Tabla 2 siguiente, indicando la composición específica de los distintos ambientes definidos en los monitoreos que se realizan en el área de estudio y el promedio de cobertura obtenido bajo tres escenarios: i) periodo de línea base; ii) fase de operación previa a la implementación de riego; y iii) fase de operación del proyecto con la implementación de riego.

Tabla 2. Cobertura promedio de las especies presentes en la vegetación azonal de la Vega Sapunta

Ambiente	Tipo de vegetación	Especie	Promedio cobertura LdB (%)[1]	Promedio cobertura pre-riego (%)[2]	Promedio cobertura riego (%)[3]
Vega	Azonal	*Oxychloe andina*	21	23	17
Vega	Azonal	*Phylloscirpus acaulis*[*]	13	8	13
Vega	Azonal	*Lobelia olygophylla*	10	4	5
Vega	Azonal	*Arenaria rivularis*	-	-	6
Pajonal hídrico	Azonal	*Deyeuxia eminens*	38	45	46
Matorral	Zonal	*Parastrephia lucida*	19	18	26
Matorral	Zonal	*Phacelia setigera*	10	-	-
Matorral	Zonal	*Descurainia myriophylla*	3	-	-
Matorral	Zonal	*Astragalus arequipensis*	2	-	-
Matorral	Zonal	*Caiophora rosulata*	-	-	2
Vega-Pajonal-Matorral	Azonal-Zonal	Mantillo	-	-	12

Fuente: Elaboración propia. (1): Condición de Línea de Base, desde Otoño 2011 a Verano 2013.; (2): Inicio operación proyecto pre-riego, desde Otoño 2013 a Invierno 2015.; (3): Etapa operación proyecto y riego desde Primavera 2015 al presente (Invierno 2019).; (-): Sin registros.; (*): Sinonimia Scirpus atacamensis.

A partir de este análisis se observó que el área de estudio cuenta con una riqueza de 10 especies. De ellas, cinco corresponden a especies de vegetación azonal, que se encuentran presentes en unidades de vega y pajonal hídrico. Con respecto a la unidad de vega, 3 especies han estado presentes desde la condición de línea de base hasta invierno de 2019, y una especie ha estado presente entre primavera 2015 e invierno 2019 durante la etapa de operación del proyecto, mientras se realiza el riego de la vega.

Respecto a las variaciones de cobertura vegetacional de las especies azonales, se observa que Oxychloe andina, obtuvo una cobertura promedio del 21% durante la condición de línea de base, aumentando en un 9,5% en la etapa de operación del proyecto sin riego, y disminuyendo en un 19% respecto de su condición original luego del inicio del riego.

Para Phylloscirpus acaulis, su promedio de cobertura ha variado de un 13% durante la etapa de línea de base a un 8% durante el inicio de operación del proyecto (disminución de un 38,5%), para luego de

iniciado el riego y hasta invierno de 2019, mantenerse en su condición inicial de un promedio de 13% de cobertura.

En el caso de Lobelia olygophylla, mantenía una cobertura vegetacional del 10% durante la condición de línea de base, mientras que durante el pre-riego disminuyó su cobertura a 4%, presentando una variación negativa de un 60%, para situarse durante el riego en un 5% de cobertura (50% de su cobertura original).

Respecto a la cobertura de la especie Arenaria rivularis, esta ha estado presente únicamente en el periodo de riego en la vega Sapunta, con un promedio de cobertura del 6%.

Finalmente, la especie de ambiente de pajonal Deyeuxia eminens ha ido aumentando su cobertura en la vega, comenzando con un promedio de 38%, para aumentar al 45% en la etapa de operación sin riego, lo que corresponde a una variación de un 18% respecto de su condición de línea de base. Luego, durante la etapa de riego alcanza 46% de cobertura, lo que corresponde a una variación de un 21% respecto a la inicial.

Si bien el umbral propuesto de 30% para variación en la cobertura de la vegetación azonal se estima de forma global para las especies que componen esta formación, se pone a prueba este umbral de forma especie específica para evaluar si la variación ante escenarios de operación del proyecto con y sin riego, lo han sobrepasado.

Como se observa en la Tabla 3, sólo las especies Phylloscirpus acaulis y Lobelia Olygophylla han presentado rangos de cobertura con una variación mayor al 30%. Mientras que las especies dominantes de cada unidad azonal, es decir, O. andina en vega y D. eminens en pajonal, no han sobrepasado este umbral.

Tabla 1. Cobertura promedio de las especies presentes en la vegetación azonal de la Vega Sapunta

Ambiente	Tipo de vegetación	Especie	Promedio cobertura LdB (%)	Rango propuesto de variación de cobertura (30%)	Promedio cobertura pre-riego (%)	Promedio cobertura riego (%)
Vega	Azonal	*Oxychloe andina*	21	14,7-27,3	23	17
Vega	Azonal	*Phylloscirpus acaulis**	13	9,1-16,9	8	13
Vega	Azonal	*Lobelia olygophylla*	10	7-13	4	5
Vega	Azonal	*Arenaria rivularis*	0	0	-	6
Pajonal hídrico	Azonal	*Deyeuxia eminens*	38	26,6-49,4	45	46

Fuente: Elaboración propia. (*): sinonimia *Scirpus atacamensis*.

3. **Límite de variación cobertura vegetacional.**

- **"Respecto al límite propuesto, 30% en la cobertura vegetacional, representa un valor elevado, con el cual no es posible asegurar la no afectación al Sistema Vegetacional presente en la vega, la propuesta debe ser un valor más restringido, el cual de cuenta tanto de la variación de la cobertura vegetacional como de su estructura y composición, respecto a la vegetación presente en la vega antes del inicio del bombeo del campo de pozos de producción. Los límites además deben considerar variaciones de otros componentes de la unidad como porcentaje de rastrojo, mantillo, afloramientos salinos, entre otros"**

En la respuesta a la pregunta N°2 se analizó la variación natural de cobertura determinada a través de transectos, considerando dos grupos de transectos complementarios: i) los transectos originales o "históricos" monitoreados desde línea base (2005) y ii) los transectos incorporados al monitoreo en 2011. En ambos casos, la variación resultó de 30%.

Tal como se indicó en las respuestas a las preguntas 1 y 2, la vegetación azonal se ha mantenido estable en el área de estudio, con cambios únicamente en la distribución espacial de las unidades que la componen, es decir, la proporción de superficie utilizada por vega y pajonal.

Respecto a otros componentes de la unidad -rastrojo, mantillo y afloramientos salinos-, no se cuenta con información sobre su variabilidad ya que no fue un parámetro incluido en los monitoreos hasta ahora desarrollados.

En virtud de lo anterior, se propone una revisión y ajuste de la variación comprometida (30%) luego del levantamiento de una línea de base en condiciones actuales, vegas control de similares características, y a través de una metodología integral y multicriterio. Más antecedentes de lo introducido, se presentan en la Respuesta N° 5 y Anexo 2.

4. **Imagen objetivo formaciones vegetacionales.**

- **"El análisis de los datos entregados en el anexo 1, evidencia un cambio en el comportamiento de las especies presentes en la vega Sapunta desde el año 2014 en adelante, por lo que se debe considerar para definir la imagen objetivo para cada formación vegetal, en términos de cobertura y participación específica".**

Los cambios mencionados y que se evidencian en las respuestas 1 y 2 del presente documento, corresponden principalmente a una redistribución de las unidades específicas que componen la vegetación azonal (i.e. Vega y Pajonal).

Por lo tanto, se acoge la solicitud de la autoridad; para el desarrollo del Plan de Seguimiento[5] se considerará en la definición de la imagen objetivo de cada formación vegetal, la caracterización de la cobertura y participación específica.

5. Definición de umbrales de afección.

- **"Dentro del proceso de evaluación el titular señala que el Sistema que compone la vega Sapunta no se verá afectado, por lo tanto, aun cuando el objetivo de la modificación de RCA sea "asegurar la recarga hídrica del sistema" el titular debe considerar, en el Plan de Trabajo, la recuperación y/o no afectación de la vegetación presente en la vega que considere umbrales máximos de cambio respecto de: disminución de cobertura, aumento de rastrojo y/o mantillo, aumento de afloramiento salino, entre otras.".**

El desarrollo del Plan de Trabajo[6] considerará, en una primera instancia, la implementación de un sistema de riego y manejo asistido, que permita configurar la cobertura y participación específica de especies de la vegetación azonal, en condiciones asimilables a las registradas en fase de pre bombeo (año base 2011)[7]. Una vez configurada la estructura del sistema, y hasta que se reestablezca la conexión natural entre el acuífero, el riego será mantenido, luego de lo cual será desconectado permitiendo la evolución natural del sistema.

En este contexto, para la definición de umbrales máximos de disminución en cobertura, variaciones en composición, aumento de rastrojo y/o mantillo, aumento de afloramiento salino, y suelo desnudo, debe considerarse que:

a) Los transectos del año de referencia no registraron componentes no vegetacionales -mantillo, rastrojo y/o afloramiento salino- individualmente, sino genéricamente "suelo desnudo", por lo que no es posible definir umbrales de variación sobre la base de los antecedentes disponibles.

b) Como se analizó en las respuestas N°2 y N°3, el valor máximo de 30% de variación de cobertura propuesto, se sustenta en el análisis de la información histórica de los transectos existentes. Sin embargo, es preciso un ajuste basado en información actual, considerando que numerosos factores exógenos podrían haber influido sobre el desarrollo del sistema, tales como efectos aluvionales, cambio climático, entre otros.

Considerando los puntos antes expuestos, se propone para el establecimiento de umbrales de variación solicitados, el levantamiento de una línea de base por un plazo de dos años, de al menos un sistema

---

[5] Se refiere al Plan de Seguimiento solicitado en la Carta N° 17067 del Servicio de Evaluación Ambiental

[6] Idem.

[7] Lo anterior, dado que los resultados evidencian cambios netamente de estructura que hasta ahora no fueron objeto de monitoreo, no así de superficie de la vegetación azonal, objeto de protección.

control en una vega de similares características[8], a través de un complemento metodológico -COT, transectos, NDVI-, que permita una definición basada en información integral y multicriterio.

Cabe destacar que si bien se comenzará a levantar la línea de base en paralelo a la implementación del sistema de riego y manejo asistido, es posible que se llegue a una estructura asimilable a la de la fase de prebombeo antes de los dos años; en tal caso, se tomará como umbrales de variación el 30%, que como ya se explicó, representa la variación natural.

6. Detalle de las transectas.

- **"El titular entrega el detalle de las transectas, pero no realiza el análisis con el cual permite identificar las distintas formaciones vegetacionales, diferenciando cobertura vegetal y su composición, superficie afectada todo lo anterior asociado al inicio de la extracción y recarga del sistema. Esta información es indispensable para realizar el seguimiento, de acuerdo a los requisitos mencionados en los puntos anteriores".**

El análisis de la evolución histórica previo y posterior a la extracción de agua, en términos de superficie, se entrega en la respuesta a la pregunta Número 1 de este documento, ítem "Análisis de superficies". Por su parte, el análisis respecto a composición y cobertura vegetal se describe en ítem 2 "Análisis de caracterización de la vegetación, cobertura y participación específica".

[8] En Carta GRI 018/2018 se propuso Vega de Yusinta para tal fin

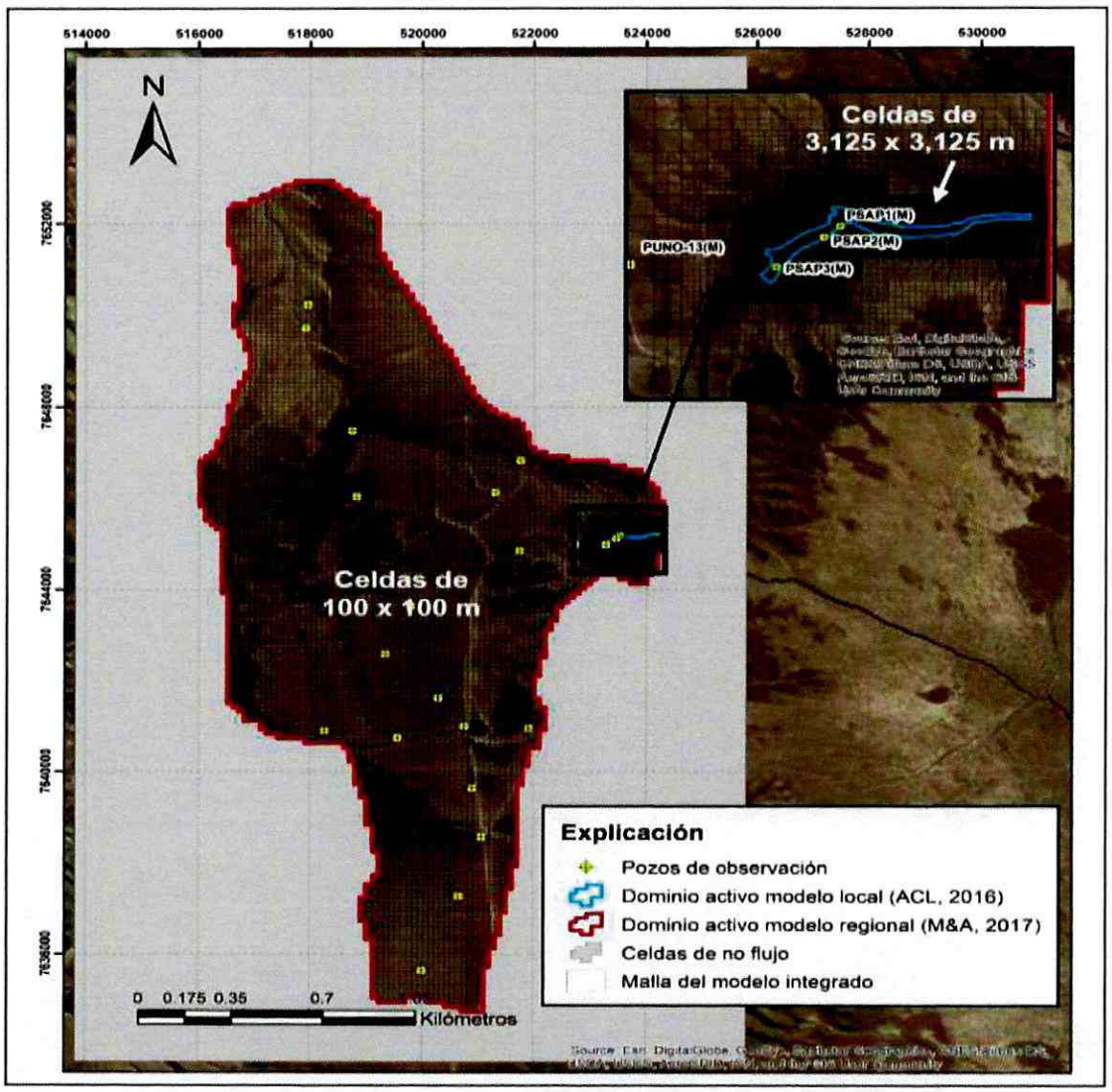
II. RESPECTO DE LOS PLANTEAMIENTOS DEL DEPTO. DE CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS.

1. Ajuste del modelo numérico en el sector vega Sapunta.

Respecto de la nueva presentación del modelo hidrogeológico del sector vega Sapunta (Arcadis, 2016) y modelo integrado Puno-Sapunta (Montgomery, 2018), se hace notar que los niveles simulados de los pozos PUNO 3E, PUNO 17, YOCA 10 y PUNO 5E se encuentran aproximadamente 2.5 metros por sobre los niveles observados, subestimando los descensos, de modo que estos pozos no permitirían anticipar una eventual activación de umbral en el objeto de protección.

Como se puede advertir en la imagen siguiente (Figura 19), el refinamiento del modelo (Montgomery 2018) se realizó en la zona más crítica para la evaluación de las medidas propuestas, que corresponde a la conexión vega Sapunta – acuífero Pampa Puno, obteniéndose diferencias entre el nivel observado y el nivel modelado que no superan los 38 cm. Este ajuste se considera adecuado y suficiente para anticipar el comportamiento de la vega Sapunta, así como la recuperación del abastecimiento hídrico natural del objeto de protección, que es precisamente el sistema de la vega.

Figura 19. Detalle refinamiento Modelo Montgomery 2018



Fuente: Elaboración propia

Según se muestra en la siguiente imagen (Figura 20), los 4 pozos en los que se advierten diferencias de un máximo de 2.5 metros entre el nivel modelado y observado no se encuentran en la vega Sapunta, sino que se ubican en los bordes norte (YOCA 10, PUNO 5E) y sur (PUNO 3EA y PUNO17) del campo de pozos del acuífero Pampa Puno.

Figuras 20. Ubicación pozos Pampa Puno

Fuente: Elaboración propia

El umbral máximo de descenso establecido en la RCA 2603/2005 para estos pozos, con la finalidad de resguardar el objeto de protección "acuífero", corresponde a 50 metros desde el nivel histórico pre bombeo, línea base 2005. Por su parte, los descensos reales medidos en estos pozos se encuentran muy lejos del umbral de 50 metros establecido:

- YOCA 10 descenso a septiembre 2019: 0.59 metros
- PUNO 5E descenso a septiembre 2019: 0.22 metros
- PUNO 3E descenso a septiembre 2019: 0.77 metros
- PUNO 17 descensos a septiembre 2019: 7.72 metros

Se adjuntan a este Informe, en Anexo 3, las gráficas correspondientes a estos pozos con sus descensos reales a la fecha, los descensos simulados 2017 (modelo base) y los descensos simulados 2018 (modelo de detalle-integrado), donde puede constatarse que en la última actualización se logró una mejor aproximación entre lo observado y lo modelado en todos ellos.

Con ello también se confirma que el modelo hidrogeológico se ha llevado a un mejor nivel de precisión y que la desviación de un máximo de 2.5 metros entre los niveles observados y modelados en los 4 pozos individualizados, no interfiere con la adecuada anticipación del comportamiento del objeto de protección vega Sapunta.

2. Análisis de sensibilidad de la recarga.

También en relación con la nueva presentación del modelo hidrogeológico (Arcadis, 2016) y del modelo integrado Puno-Sapunta (Montgomery, 2018), se ha hecho notar que no se incluyó un análisis de sensibilidad del parámetro Recarga Natural, a pesar que según la información proporcionada existen estaciones meteorológicas que han registrado una precipitación de 40 L/s, que es considerablemente menor (120 L/s) a la simulada en el modelo integrado y en los escenarios de simulación.

Efectivamente, la recarga directa del modelo original tiene un valor de 120 (L/s). Sin embargo, dada la inquietud planteada, se desarrollaron dos escenarios adicionales, considerando una recarga directa natural de 40 (L/s) y 80 (L/s) respectivamente.

Para la realización de estos análisis se consideraron los siguientes parámetros:

- Se busca determinar la configuración y el tiempo en que debe operar el sistema de inyección y riego de la vega, hasta que el sistema se sustente por sí mismo.
- Considera una recarga total por riego e inyección de hasta 10 (L/s), de acuerdo a la configuración más conveniente, disminuyendo paulatinamente los caudales del riego en una primera fase y de la inyección en una segunda fase.
- El bombeo para abastecer el riego y la inyección se realiza desde el pozo de producción PUNO 2B.
- El criterio para definir los escalones de disminución y el cese de la inyección y riego fue el umbral máximo de descenso de 0,25 m (valor mínimo a alcanzar en la recuperación).
- Se consideran como niveles originales, los niveles registrados en el periodo anterior al bombeo, que para efectos del modelo numérico es el periodo en régimen permanente.
- Se considera que se mantiene el régimen de bombeo actual hasta el año 2020.

En Anexo 4 se adjunta el desarrollo de estos tres escenarios de recarga.

3. **Regla de operación de la medida de recarga artificial.**

Respecto de la medida recarga artificial y su regla de operación, se hacen notar aparentes inconsistencias en la descripción de la medida propuesta para mantener el sistema vega Sapunta hasta la recuperación de la condición hídrica natural, inconsistencias que impedirían tener certeza de la regla de operación, así como del caudal o rango de caudales de la recarga artificial comprometida que permitirán el sostenimiento de la vegetación y hábitat para fauna. En particular, se advierte que si los caudales de riego e inyección son superiores a los modelados, se deberían realizar nuevas simulaciones predictivas.

A fin de aclarar y explicitar los caudales definitivos comprometidos en la medida denominada recarga artificial, y despejar eventuales o aparentes contradicciones entre los diferentes documentos presentados a lo largo de este proceso, a continuación se precisa el objetivo y características de la medida, así como su regla de operación, la que es consistente con las simulaciones predictivas efectuadas y que constan en el expediente de revisión.

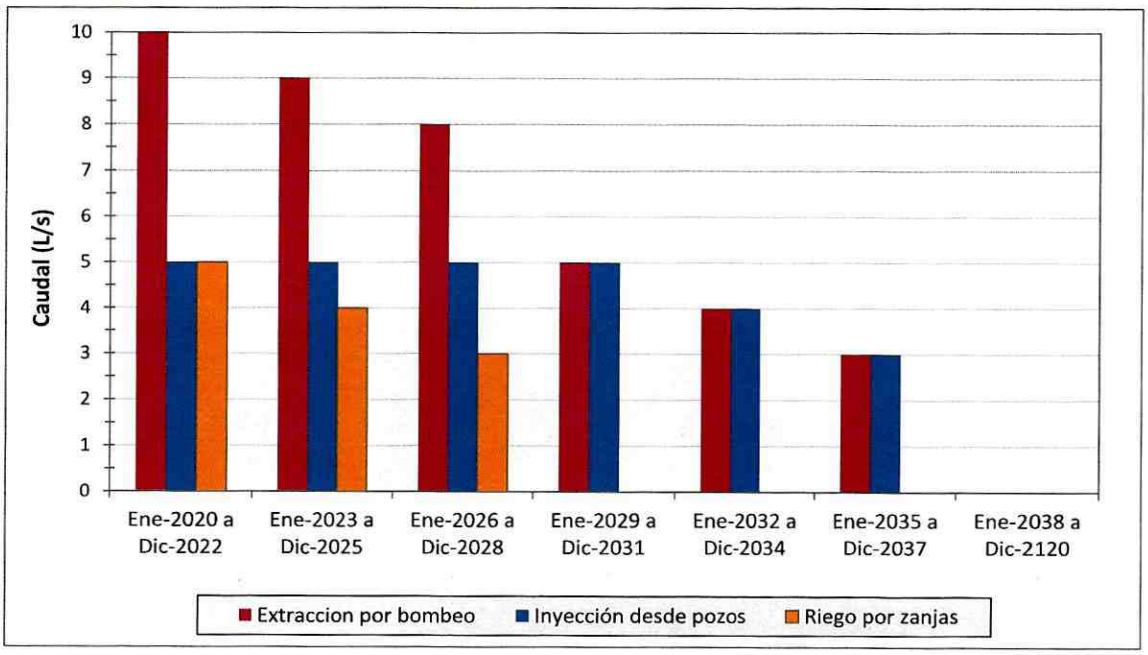
- Descripción de la medida: la medida propuesta y evaluada en su efectividad, tiene por objeto la recuperación de la condición hídrica natural de la vega Sapunta a través de un sistema temporal de inyección en el sector de descarga desde el acuífero Pampa Puno hacia el sistema de la vega Sapunta, y de riego en la zona de desarrollo de la vega, con agua extraída desde el campo de pozos de Pampa Puno, con un caudal total que no superará los 10 L/s en ninguna etapa del proceso de recuperación.
- La regla de operación propuesta corresponde a:
  - a) Detención de la explotación productiva del campo de pozos en diciembre del 2020.
  - b) La medida consta de dos actividades:
    - i) Riego en la vega, mediante vertientes artificiales y zanjas de infiltración.
    - ii) Inyección mediante punteras en el sector de descarga del acuífero hacia el sistema de la vega Sapunta.
  - c) Para la medida de riego e inyección se considera un caudal total máximo de 10 L/s que se extraerá desde el acuífero Pampa Puno, específicamente desde el pozo PUNO 2B u otro de los pozos existentes en el campo de pozos. No se efectuará una extracción mayor a 10 L/s desde el campo de pozos Pampa Puno.
  - d) Los escenarios modelados para la recuperación de la condición hídrica natural de la vega Sapunta (Montgomery, 2018) y la sensibilización de escenarios de recarga 2019 (Anexo 4), indican que la medida de riego e inyección no requiere de más de 10 L/s.

e) El escenario modelado de la recuperación de la condición hídrica natural de la vega Sapunta para una recarga de 120 L/s, indica que la condición hídrica natural se recupera en el año 2037, a 17 años desde el cierre del campo de pozos.

f) La inyección y riego se realizarán con un control permanente, de manera tal de ir evaluando la efectividad de la medida. Asimismo, Codelco ha propuesto entregar una actualización del modelo cada 4 años para verificar y ajustar el grado de predicción de éste, además de los reportes de niveles comprometidos en los PAT y RCA.

En el gráfico siguiente (Figura 21) se muestra la evolución de los caudales que se extraerán desde el campo de pozos Pampa Puno para abastecer la medida de riego e inyección, la distribución de dicho caudal entre ambas actividades y su evolución en el tiempo, de acuerdo al escenario modelado.

Figura 21. Caudales para abastecer medida de riego e inyección vega Sapunta



Fuente: Elaboración propia

4. Nivel de referencia inicial para evaluar recuperación de la condición hídrica natural de la vega Sapunta.

Los resultados de las simulaciones predictivas muestran la efectividad de la medida de inyección y riego propuesta, pues permite que los pozos de monitoreo de la vega Sapunta alcancen una cota

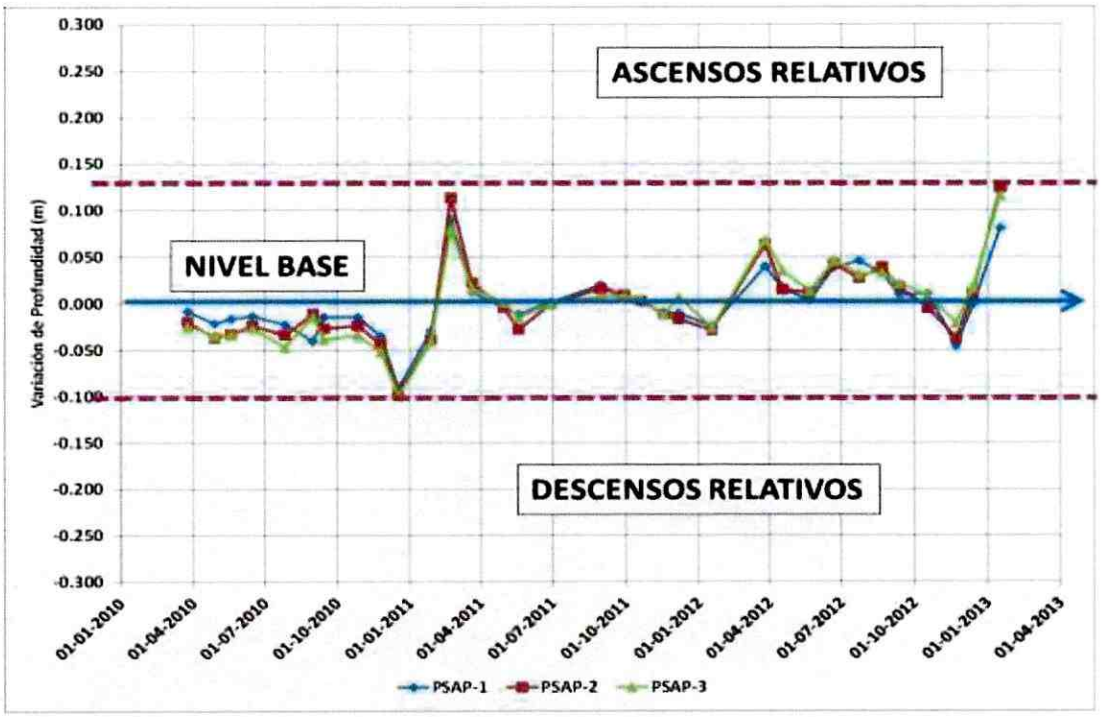
por sobre los niveles iniciales representativos de la condición sin bombeo, en junio de 2013. Sin embargo, se cuestiona que el nivel referencial a junio de 2013 corresponde al nivel simulado y no al nivel observado, lo que impactaría en la evaluación de la efectividad de la medida.

Los niveles iniciales de los PSAP de la vega Sapunta que resultan representativos de la condición sin bombeo a junio de 2013 son tomados desde el modelo, porque ellos permiten considerar la variabilidad natural de la vega y la coherencia con el comportamiento del acuífero Pampa Puno, aspectos que no se reflejan adecuadamente en un nivel puntual registrado en un determinado mes del año 2013.

En cambio, considerando el nivel de refinamiento y precisión obtenido en el modelo para el sector de conexión del acuífero con la vega (deviación máxima de 38 cm), que permite una muy buena reproducción del comportamiento natural total de sistema acuífero –vega, el valor inicial de referencia proporcionado por el modelo si resulta representativo de la condición pre bombeo de la vega, incluyendo su variabilidad natural.

Si se considerara como nivel de referencia inicial el nivel real de los PSAP en junio del 2013, no se reflejaría la variabilidad natural de la vega, evidenciada en la figura siguiente, donde se observa que en junio del 2013 el nivel freático en la vega alcanzó su máximo valor registrado.

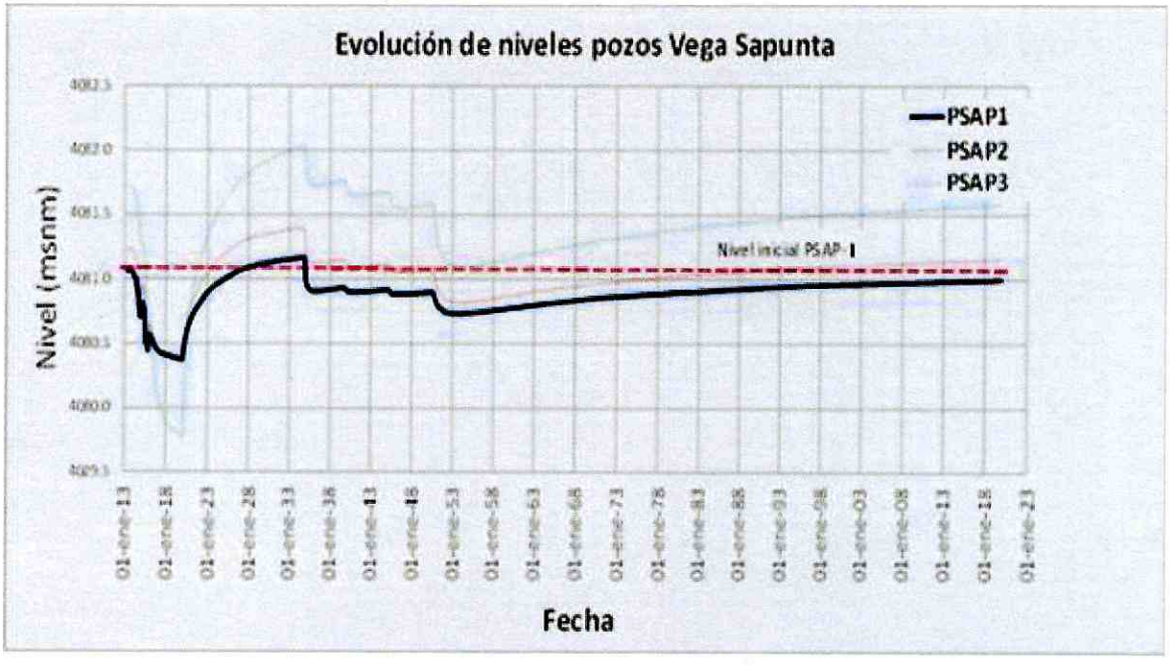
Figura 22. Variabilidad natural vega Sapunta.



Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, si este nivel natural puntual del 2013 fuese el valor objetivo y, como se observa en las gráficas de riego e inyección contenidas en la siguiente figura, en el proceso de recuperación se producirá una fuerte alza inicial de los niveles que luego irá disminuyendo y permeando hacia el medio, se corre el riesgo de inundar la vega y que el tiempo de descenso natural hacia el medio no sea suficiente, gatillando la pérdida por anegamiento de la vega.

Figura 23. Evolución niveles de pozos vega Sapunta.



Fuente: Elaboración propia

Según lo expuesto, el valor inicial del nivel freático de la vega tomado desde el modelo es el que considera la variabilidad natural y la coherencia con el comportamiento del acuífero Pampa Puno, es decir, la reproducción del comportamiento total de sistema acuífero –vega. Por lo tanto, se estima que las simulaciones predictivas realizadas son correctas y que permiten evaluar adecuadamente la efectividad de la medida de riego e inyección propuesta. Los resultados del modelo con la medida de riego e infiltración (máximo 10 L/s), en el escenario de la recarga natural de 120 L/s, muestran una recuperación de la condición natural de la vega, manteniendo los niveles sin riego y sin infiltración desde el año 2037. La medida de éxito de la medida aplicada fue que los niveles superaran el valor umbral para cada piezómetro de la vega.

No obstante lo señalado, en consideración a que estos resultados siguen siendo predicciones de un modelo y que siempre podrán existir errores numéricos asociados (a pesar que los niveles de error

logrados se sitúan entre 0,05 metros como mínimo y 0,38 m como máximo en la reproducción de los niveles de los piezómetros Sapunta), Codelco ha indicado que la medida será constantemente evaluada, antes del cambio de cada etapa gradual prevista: riego + inyección, solo inyección, y cese total del aporte de agua, informando a la autoridad el progreso efectivo de la medida adoptada. Adicionalmente, también se comprometió la entrega de la actualización del modelo para revisar y validar el comportamiento a futuro de los niveles una vez aplicada la medida de riesgo e inyección.

III. ANEXOS.

Se adjuntan al presente informe, en formato digital, los siguientes Anexos:

- Anexo 1: Consolidado COT.zip
- Anexo2: ConsolidadoTransectos.xslx
- Anexo 3: Hidrogramas Calibración Pampa Puno
- Anexo 4: Sensibilización escenarios de recarga 2019