

**MAT.:** Acompaña informe técnico que indica.

**ANT.:** Res. Ex. N°1/ROL D-099-2020

**REF.:** Expediente Sancionatorio N°D-099-2020.

Sra./Srta. Sigrid Scheel Verbakel  
Fiscal Instructora  
Presente

Junto con saludarla, Hernán Albornoz Godoy, en representación de Minera Escondida Ltda. (en adelante “Escondida”), en el procedimiento sancionatorio rol D-099-2020 de esta Superintendencia del Medio Ambiente (en adelante “SMA”), en conformidad con lo establecido en los artículos 10, 17 f) y 35 todos de la Ley N°19.880, vengo en acompañar el Informe Técnico denominado “Evolución temporal de la vegetación presente en las vegas de Tilopozo” (en adelante el “Informe CEA”), elaborado por el Centro de Ecología Aplicada (en adelante “CEA”), haciendo presente las siguientes consideraciones:

Atendido el cargo formulado en este procedimiento sancionatorio, resulta importante notar que el informe técnico que se acompaña fue realizado por la consultora ambiental independiente que elaboró el informe “Estudio de la Respuesta al Stress Hídrico de las Plantas del Sector Sur del Salar de Atacama” que formó parte del Estudio de Impacto Ambiental que originó la RCA N°1/1997<sup>1</sup> y, en base al cual, se concluyó que una disminución de hasta 25 cm del nivel freático de las vegas de Tilopozo, no afectaría la estabilidad de la flora -en particular de la vegetación particularmente dependiente de dicho nivel o hidrófila- y, consecuentemente de la fauna presente en la misma zona.

Por su parte, también es relevante señalar que el CEA lleva más de 10 años realizando actividades de monitoreo en el sector de las vegas de Tilopozo, cuestión que se manifiesta en el grado de detalle y precisión de los análisis realizados.

En el Informe CEA, se realiza una caracterización de la evolución histórica de las vegas presentes en Tilopozo para analizar posibles cambios en la vegetación de ese sector, en particular de la vegetación hidrófila, que es la que se presenta como estrictamente

---

<sup>1</sup> Expediente EIA, Capítulo X, Apéndice B- Estudio de la Respuesta al Stress Hídrico de las Plantas del Sector Sur del Salar de Atacama, fojas 557 y ss.

dependiente de los niveles freáticos someros del acuífero. Tal análisis se realizó sobre la base de la interpretación de imágenes satelitales y de información del seguimiento que por largo tiempo ha realizado sobre dicho sector.

En complemento de lo anterior, también se analizó la evolución de la fauna, con la información proveniente de los monitoreos realizados desde 1995 hasta el 2019, de modo de determinar eventuales cambios en esta variable ambiental.

En el Informe CEA, se concluye que la vegetación hidrófila presente en las vegas de Tilopozo **no ha presentado cambios significativos en el área con actividad fotosintética desde 1986, así como tampoco en cobertura.** Asimismo, en lo que respecta a fauna, **los valores tanto de riqueza como abundancia han sido en general estables durante todo el período de monitoreo.**

Esta última conclusión, tal y como se aborda en el propio Informe CEA, es concordante con los resultados obtenidos en los informes citados por la SMA en su Informe Técnico de Fiscalización Ambiental (DFZ-2019-309-II-RCA)<sup>2</sup>. En efecto, contrario a lo sostenido por la SMA, aun cuando tales informes se enfocan en áreas muy superiores y pueden incluir parte de la vegetación de características zonales (p.ej. en márgenes fuera del salar), de los mismos se concluye que en lo que respecta al sistema de vegas de Tilopozo, este no muestra actualmente signos de empeoramiento respecto a su condición media histórica. Por el contrario, la vegetación hidrófila estricta de las vegas muestra incluso aumentos de área y vigor.

De este modo, **no se detectan efectos adversos generados por Escondida, ya sea en la vegetación o en la fauna**, ni tampoco se ha ocasionado un daño irreparable al ecosistema tal como menciona la Asociación Indígena Consejo de Pueblos Atacameños (en adelante “CPA”) en su presentación del 7 de septiembre del 2020.

Si bien la SMA, de manera previa a su formulación de cargos, realizó un análisis sobre cambios en la vegetación en las vegas de Tilopozo a partir de la revisión de imágenes satelitales y de la determinación del índice de vegetación de diferencia normalizada, también conocido por sus siglas en inglés como NDVI<sup>3</sup> (en adelante “NDVI”), contenido en el Reporte Humedal Tilopozo<sup>4</sup> (en adelante “Informe SMA”), el análisis

---

<sup>2</sup> Tales informes son: Informe 2018 del Plan de Alerta Temprana para el acuífero Monturaqui-Negrillar-Tilopozo, en particular el Anexo denominado Monitoreo de las Condiciones Hídricas del Sector Sur del Salar de Atacama, Vegas de Tilopozo y Lagunas La Punta y La Brava, Informe de verano año 2018, presentado a la autoridad por Escondida, y el Informe presentado por Albemarle, en particular, Informe Anual N°3 del Plan de Manejo Biótico, invierno 2018-verano 2019.

<sup>3</sup> Este índice es utilizado para estimar la cantidad, calidad y desarrollo vegetacional, en base a la medición por medio de sensores remotos de la intensidad de la radiación de algunas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite y/o refleja.

<sup>4</sup> Contenido en el anexo N°20 del Informe Técnico de Fiscalización Ambiental DFZ-2019-309-II-RCA.

del CEA es más específico, riguroso y completo que el plasmado en el Informe SMA pues, entre otras consideraciones, atiende no solo a las imágenes satelitales, sino que también a información obtenida en terreno por un largo período, reflejando de manera más precisa tanto las características como las variaciones ocurridas en el sector de Tilopozo.

Para efectos de corroborar esto último, nos referiremos sumariamente en esta presentación, en primer lugar, a algunas características de la metodología del Informe CEA (I), en segundo lugar, a algunos puntos de contraste entre ambos informes (II). En específico, en lo que respecta a cómo se delimitaron las zonas de interés (II.1), la extensión del período de análisis (II.2), la segmentación del humedal (II.3), el umbral de corte de NDVI utilizado (II.4), la forma de análisis de las áreas del humedal (II.5) y al análisis de correlación realizado en el Informe SMA (II.6), para finalmente dar cuenta brevemente de las principales conclusiones del Informe CEA y su importancia (III).

## **I. Metodología Informe CEA**

Para la realización de un análisis histórico de la evolución de la vegetación en el sector de Tilopozo, en el Informe CEA:

- (i) Se definieron las áreas de interés en base a la información específica del Sistema de Tilopozo contenida en la Carta de Ocupación de Tierras (“COI”) considerando todas las formaciones vegetacionales azonales.
- (ii) Se obtuvieron todas las imágenes multispectrales disponibles entre los años 1985 y 2020, a las cuales se les realizaron las correcciones necesarias para su utilización en análisis mediante índices para todo el periodo (1985 a 2019).
- (iii) Se trabajó en la reconstrucción de la serie de tiempo histórica mediante 582 imágenes satelitales, de resolución espacial de 30 metros, las que fueron re-escaladas a un píxel de 10 metros para mejorar la delimitación de los parches y el cálculo de áreas, y a fin de conocer la variabilidad del bienestar vegetativo asociado al índice NDVI en el tiempo.
- (iv) Se determinaron los umbrales de corte que representan de mejor manera la superficie de vegetación en los sectores del Sistema de Tilopozo.
- (v) Se complementó el análisis con la información contenida en los monitoreos efectuados mediante 5 transectos en la zona de vegas de Tilopozo, considerando el período de inicio de este monitoreo (1999) hasta el 2019.
- (vi) Se realizó un análisis de la información de los monitoreos de fauna realizado en la zona de vegas de Tilopozo, entre 1995 y 2019.

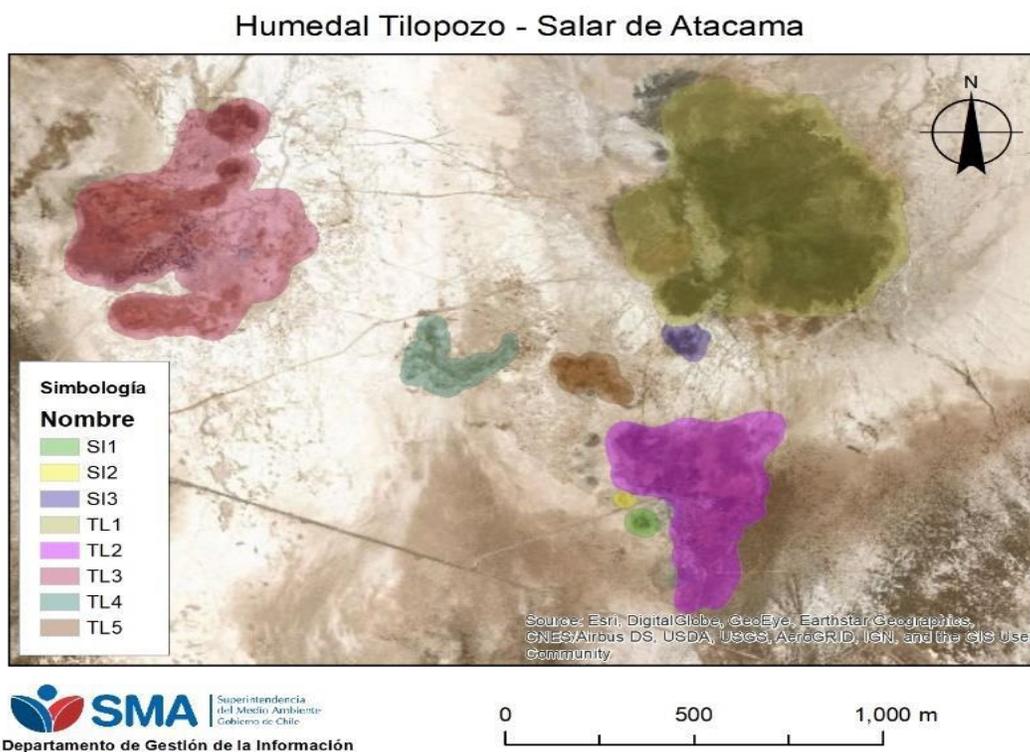
Tales acciones dan cuenta de un riguroso y acabado estudio, que como veremos es técnicamente más preciso que el Informe SMA y posibilita, en definitiva, un mayor entendimiento del sistema biótico que es objeto del análisis.

## II. Comparación entre el Informe CEA con el Informe SMA

Las principales diferencias del Informe SMA respecto del Informe CEA, que dan cuenta de la mayor especificidad de este último son:

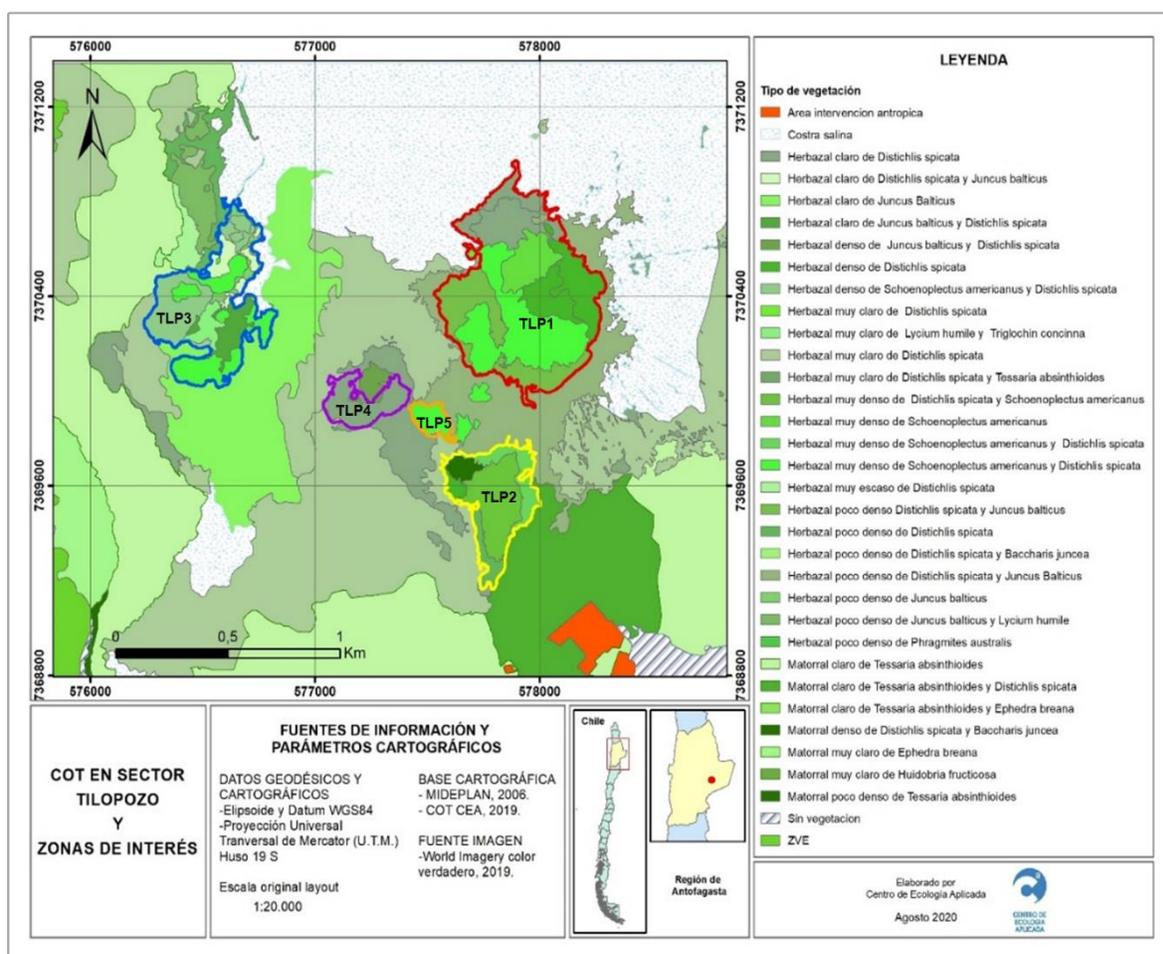
### 1. Delimitación de las zonas de interés

Para la delimitación de las zonas de interés, la SMA utilizó el Catastro de Humedales 2015 del Ministerio del Medio Ambiente. Luego, para incluir en el análisis el área de vegetación que bordea el humedal definido en el catastro, se consideró un *buffer* de 20 metros alrededor de este. Así, se identificaron para el análisis los humedales Tilopozo 1 (TL1), Tilopozo 2 (TL2), Tilopozo 3 (TL3), Tilopozo 4 (TL4), Tilopozo 5 (TL5), dejando fuera 3 humedales de menor tamaño (SI1, SI2 y SI3), tal como se refleja en la siguiente figura:



Fuente: Informe Técnico de Fiscalización Ambiental DFZ-2019-309-II-RCA Figura 1

Por su parte, el CEA definió las zonas de interés basado en información específica del Sistema de Tilopozo contenida en la COT desarrollada por Escondida para el sector sur del Salar de Atacama, considerando todas aquellas formaciones vegetacionales de características azonales, y que por esta condición dependen en gran medida del agua subterránea local. Una vez localizadas las áreas correspondientes a ocupación de vegetación y/o agua, se generó un polígono envolvente de influencia para asegurar que el área de corte espacial incluyese todas las formaciones vegetaciones azonales del sector. Como resultado de dicho proceso se identificaron los siguientes sectores:



Fuente: Informe CEA Figura 4.3 Definición de zonas de interés (control) en base a información de la COT.

Si bien la identificación de las zonas de interés efectuada por la SMA y por el CEA es, a primera vista similar, si se analiza la delimitación en detalle es posible notar que la realizada por el CEA es más precisa. Ello, pues la definición contenida en el Catastro de

Humedales corresponde a polígonos foto interpretados que consideran no solo vegetación, apuntando a la identificación aproximada del humedal. Por tanto, en la identificación realizada en el Informe SMA, se observan formaciones vegetacionales de los bordes (marginales) que resultan cortadas arbitrariamente.

En cambio, en el caso del Informe CEA, se utilizó información de alto detalle levantada en campo y con fines de estudiar los sistemas vegetacionales. Tal información permitió delimitar con mayor exactitud los sectores de interés y así, incluir toda la vegetación de carácter azonal<sup>5</sup> del sector.

En otros términos, la delimitación del CEA incluye efectivamente todas las formaciones vegetacionales del sector cuyo análisis resulta relevante.

## **2. Período de análisis**

El período de análisis es considerablemente más extenso en el Informe CEA que en el Informe SMA.

En efecto, la SMA realizó su análisis del comportamiento de la vegetación del sector de Tilopozo, considerando el período entre 1995 y 2019, conforme al objetivo declarado expresamente en el Informe<sup>6</sup>; por tanto, centró su revisión en el período posterior al inicio de las extracciones en el acuífero, sin incluir o considerar la condición y dinámica anterior<sup>7</sup>.

En cambio, el Informe CEA consideró todas las imágenes disponibles y correspondientes a los sensores Landsat 5TM, Landsat 7 ETM+ y Landsat 8 OLI, entre los años 1985 y 2020, es decir, por un lado, analiza información que es 10 años previa tanto al inicio de las extracciones del acuífero, como al inicio del período de análisis considerado por la SMA. Por el otro, el período considerado por el CEA subsume íntegramente al periodo considerado por la SMA.

A partir de ello se observa que, durante todo el periodo de análisis, es decir, de manera tanto previa al proyecto como posterior a aquél, han existido variaciones interanuales tanto en el total de superficie de vegetación como también entre diferentes categorías y/o umbrales de NDVI. No obstante, la tendencia promedio de todo el periodo es estable. En consecuencia, los cambios observados corresponden a la dinámica propia del sector, tal como se demuestra en el Informe CEA.

---

<sup>5</sup> Vegetación cuyo desarrollo se encuentra altamente vinculado a factores locales del sitio, como lo es en el caso de la vegetación de las vegas de Tilopozo, su dependencia del nivel de agua subterránea local.

<sup>6</sup> Anexo 20 Informe de Fiscalización Ambiental, Reporte Humedal Tilopozo, pág.1.

<sup>7</sup> Entendida como la condición reciente más natural conocida.

Tal análisis y conclusión solo es posible visualizar en la medida que se cuenta con información de un vasto periodo, y en particular, con información suficiente del periodo pre-proyecto, de modo de entender el comportamiento propio del sector y sus variaciones naturales, en condiciones sin intervención. En el caso particular, esto último se logra al considerarse para la revisión del comportamiento de la vegetación una década adicional al lapso de análisis declarado por la SMA.

En síntesis, atendida la significativamente extensa escala temporal considerada en el Informe CEA, resultó posible considerar la dinámica natural del sistema y determinar que los cambios observados se enmarcan en dicha dinámica.

### **3. Segmentación del humedal**

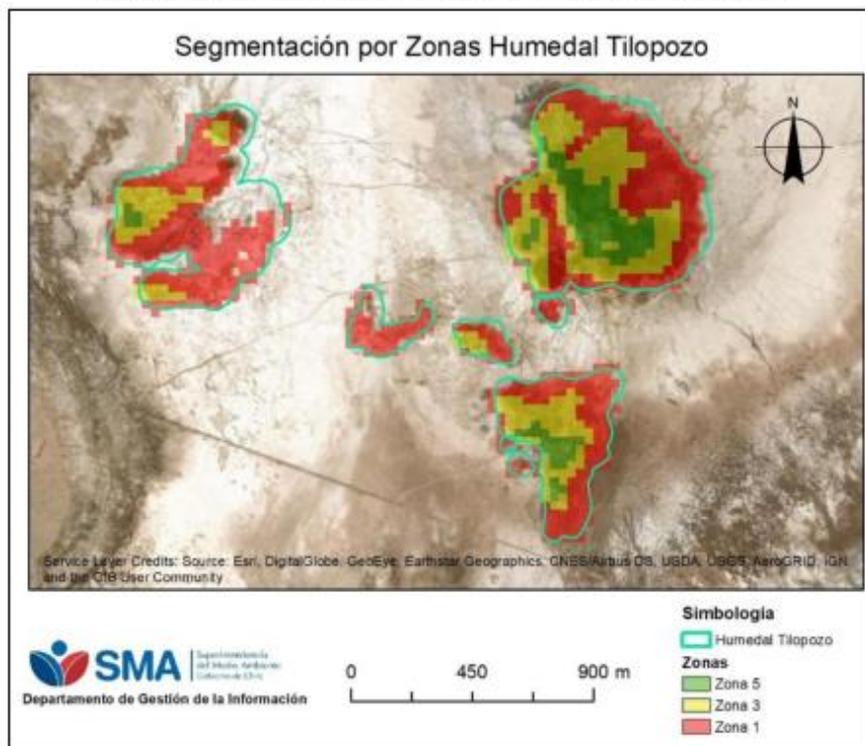
Para efectos del análisis, la SMA utilizó imágenes entre 1990 y 1995 para calcular el percentil 90 del NDVI, con el objetivo de segmentar<sup>8</sup> los humedales (como es denominado por la SMA) de interés (TP1, TP2, TP3, TP4 y TP5) según su nivel de vigor, generando 3 zonas: Zona 5 ( $NDVI > 0.5$ ), Zona 3 ( $0.5 > NDVI > 0.3$ ) y Zona 1 ( $0.3 > NDVI > 0.1$ ), lo que se refleja en la siguiente figura<sup>9</sup>:

---

<sup>8</sup> El término segmentación se refiere a la búsqueda de áreas homogéneas en una imagen y posterior identificación de esta con una clase de información determinada.

<sup>9</sup> Anexo 20 Informe de Fiscalización Ambiental, Reporte Humedal Tilopozo, pág.2.

**Figura 2. Segmentación por zonas según NDVI Humedal Tilopozo.**



Fuente: Informe Técnico de Fiscalización Ambiental DFZ-2019-309-II-RCA Figura 2

Luego, para efectos del análisis del comportamiento de la vegetación en el tiempo, se realizaron series temporales con la media de NDVI para cada zona de interés<sup>10</sup>.

El CEA, en cambio, no realizó una segmentación de las zonas de interés debido a que cada una de las zonas se compone de diferentes formaciones vegetacionales, por lo que la dinámica temporal del humedal corresponde a la suma de las diferentes formaciones, las que podrán (según la fecha de cada imagen) ser levemente distintas entre sí.

Así, se debe considerar que los sistemas vegetacionales son dinámicos en el tiempo y un análisis de índices tipo NDVI, aun cuando permite una comparación entre diferentes capturas, no está ligado solamente al vigor o a la cobertura intra-píxel, sino que corresponde a la suma de ambas propiedades/características. En consecuencia, un análisis de cambio basado en una referencia temporal específica supone erradamente que el sistema no cuenta con más cambios que en el vigor de las especies presentes.

<sup>10</sup> Anexo 20 Informe de Fiscalización Ambiental, Reporte Humedal Tilopozo, pág.2.

En otros términos, a diferencia del Informe CEA, el análisis contenido en el informe de la SMA considera un supuesto de análisis (materializado en su segmentación según zonas) que resulta, en definitiva, impreciso.

#### **4. Umbral de corte del NDVI**

La SMA, para efectos del umbral de corte del NDVI, definió que las zonas con NDVI inferior a 0,1 se consideraran sin vegetación. Sin embargo, no especificó la razón o criterio utilizado para establecer dicho umbral.

En cambio, respecto del umbral de corte del NDVI, el CEA realizó una caracterización específica del sistema que le permitió determinar un umbral que representa de mejor manera lo que en la imagen corresponde a vegetación.

Para determinar el umbral de corte del NDVI se construyó una imagen promedio para todo el periodo en análisis (1985 a 2020), de la cual se obtuvo un histograma que permite analizar la distribución de los valores de NDVI. El análisis de corte de NDVI, calculado mediante la identificación de los puntos de inflexión en la distribución de los NDVI, o los quiebres naturales que permitirían identificar cuando el NDVI comienza a dar cuenta de vegetación fotosintéticamente activa de forma confiable, dio como resultado un valor de corte de 0,08. Es decir, para efectos del análisis de la vegetación y sus cambios, se determinó que las zonas cuyo NDVI fuese inferior a 0,08 representan zonas sin vegetación.

En síntesis, a diferencia del Informe SMA, el umbral de corte del NDVI considerado en el Informe CEA no solo resulta motivado, sino que responde a una caracterización específica de la zona estudiada, permitiendo realizar un análisis más preciso de la evolución de la vegetación del sector.

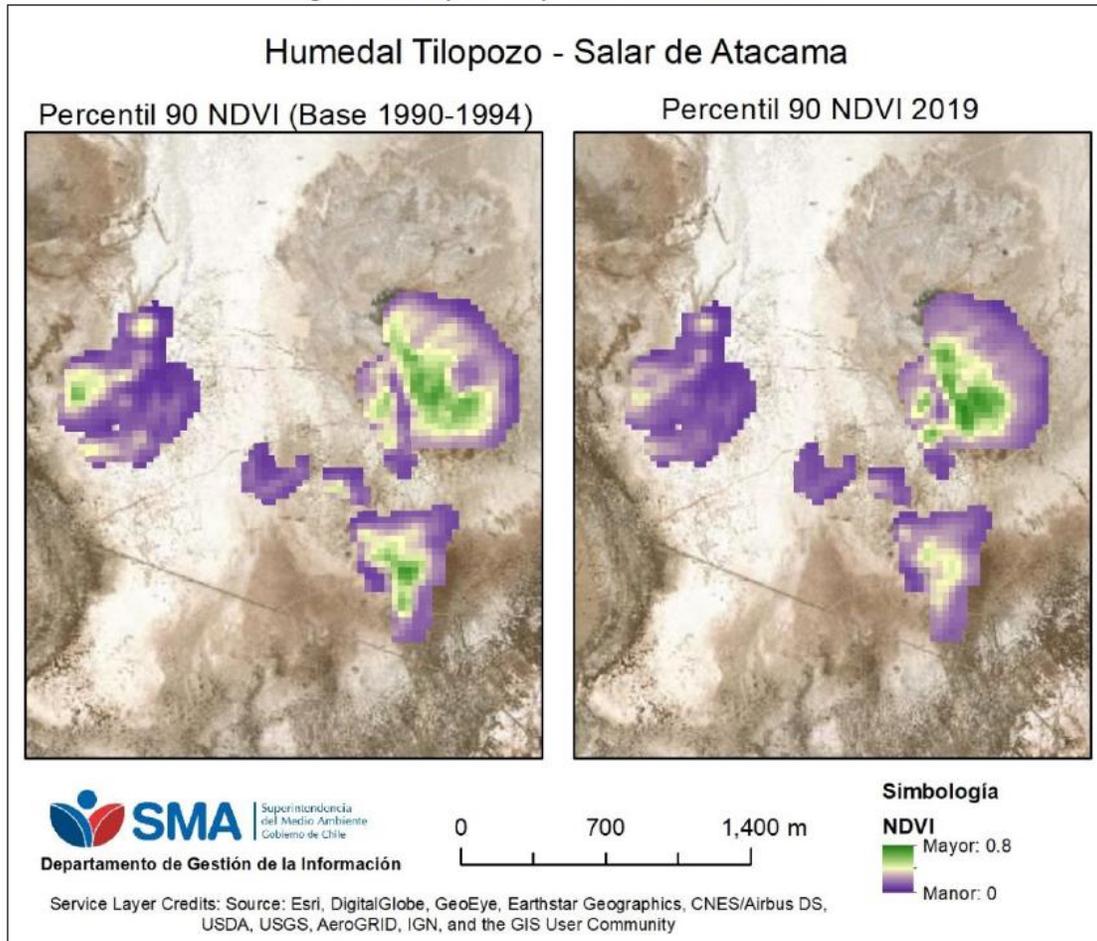
#### **5. Análisis de diferencia de áreas del humedal**

Para efectos de determinar la diferencia de áreas del humedal, la SMA realizó una comparación de NDVI seleccionando solo dos períodos, el base (percentil 90 NDVI 1990-1994) y el año 2019, tal como se refleja en la siguiente figura considerada en su informe<sup>11</sup>:

---

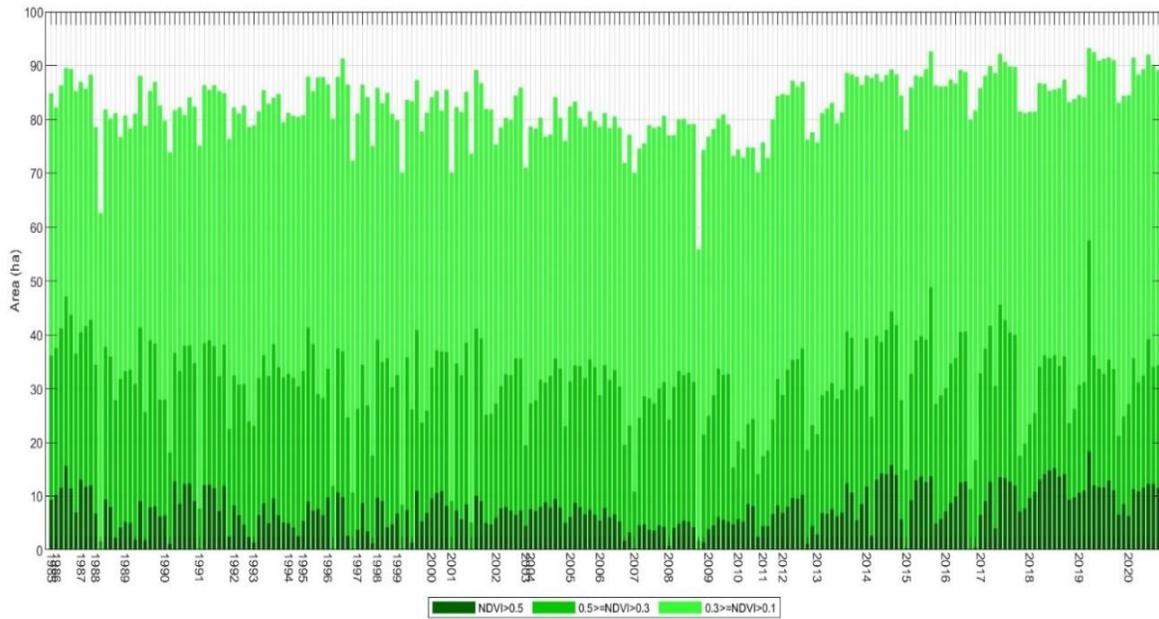
<sup>11</sup> Anexo 20 Informe de Fiscalización Ambiental, Reporte Humedal Tilopozo, pág.14.

Figura 22. Comparación percentil 90 de NDVI anual



Fuente: Informe Técnico de Fiscalización Ambiental DFZ-2019-309-II-RCA Figura 22

Por su parte, el CEA hizo una revisión histórica considerando todo el período analizado (1985-2019), realizando un análisis y comparación integral de la serie de tiempo, lo que permitió observar las tendencias tanto generales, como de los elementos que cuentan con una respuesta más directa al cambio del nivel freático, como lo es la vegetación hidrófila del sistema (asociada a los altos valores de NDVI), reflejado según lo siguiente:



Fuente: Informe CEA Figura 4.11 Sumatoria de área total de expresión de la vegetación para el sistema Tilopozo

Esta diferencia es de suma importancia, pues al seleccionar solo dos imágenes en una serie de tiempo, la SMA (a diferencia del CEA) no logra representar las variaciones naturales y tendencias del sistema.

Esto último pues, cada momento analizado da cuenta de las condiciones específicas del sistema durante ese año o meses anteriores a las temporadas de máxima expresión de la vegetación y el resultado podría estar influenciado, por ejemplo, por la variabilidad interanual de la precipitación, afectando el humedal de manera puntual en esos momentos seleccionados.

En síntesis, el tipo de comparación de diferencia de áreas del humedal realizadas en el Informe SMA, no se condice con el carácter vivo y dinámico del sistema analizado, tales características requieren (tal como el CEA hizo) la consideración integral de la serie de tiempo.

## 6. Análisis de correlación

La SMA utilizó los niveles freáticos registrados en el pozo TP-2 para analizar su correlación con el NDVI<sup>12</sup> para efectos de fundar una pretendida relación de causalidad. De este modo, la SMA estableció que el descenso del nivel freático en el pozo TP2 sería la causa de la disminución en la vegetación existente en las vegas de Tilopozo -disminución que fue determinada con algunos sesgos de análisis, según se ha explicado *supra*.

Sin embargo, dicha causalidad no es consistente con el propio análisis de correlación que hace la SMA puesto que la condición existente en el sector de TP-2 corresponde a un sector “Sin Vegetación”, por lo que es posible deducir que los niveles freáticos de este pozo no permitirían el desarrollo de vegetación azonal; por lo que menos aún corresponde establecer una relación directa entre su nivel freático y el desarrollo de vegetación azonal lejana, siendo esta última aquella directamente dependiente del nivel freático local (bajo la vegetación misma).

Por otra parte, no es posible establecer la relación de causalidad de la manera en que lo hace la SMA pues no consideró datos relevantes para dicho análisis. En particular, que el pozo TP2 da cuenta del nivel freático de un sector ubicado a aproximadamente 825 metros de distancia del margen más cercano del sector de vegas y en una cota superior al área de la vega, circunstancias no consideradas o siquiera explicitadas en el análisis de correlación realizado. En la misma línea, cabe notar que en el informe SMA tampoco se reporta la profundidad efectiva del pozo medido, dato relevante para efectos de poder estimar el valor de dicho análisis.

Todo lo anterior, sin perjuicio de las alegaciones que ya se han realizado a la fecha (presentación del 31 de agosto del 2020), en la que se abordan a cabalidad las razones que explican que resulta del todo incorrecto y contrario al sentido de la RCA N°1/1997 aplicar el umbral de 25 centímetros al pozo TP-2. Entre otras, que resulta absurdo y contrario a los términos de la evaluación ambiental de la RCA N°1/1997 aplicar un umbral cuya definición se basó en el largo de las raíces y la resistencia de las especies que se encuentra en las vegas de Tilopozo a una zona externa a tales vegas, como lo es el pozo TP-2.

---

<sup>12</sup> Anexo 20 Informe de Fiscalización Ambiental, Reporte Humedal Tilopozo, pág.8 y ss.

### III. Conclusiones

El análisis realizado por el CEA, el cual, según ya se detalló, fue realizado a partir de un levantamiento de información del sitio específico, considerando las particularidades de la vegetación presente en las vegas de Tilopozo, basado no solo en las imágenes satelitales, sino también con información de terreno, y por un período que consideró tanto la dinámica del sistema pre-proyecto como una vez iniciado este, concluyó que no ha habido efectos en las vegas de Tilopozo.

En efecto, el Informe CEA da cuenta de que **la vegetación no ha presentado cambios significativos en el área con actividad fotosintética (área con presencia de vegetación) desde el año 1986** -inicio del análisis histórico-. De igual manera, el resultado de las mediciones de cobertura en transectos, muestran que se cuenta con coberturas promedio similares entre el inicio y los últimos años del seguimiento.

A mayor abundamiento, el análisis da cuenta de que si bien hubo períodos en los cuales sí se contó con variaciones en la vegetación, estas fueron recuperadas de manera interanual o en periodos de algunos años, lo que es indicativo de un sistema dinámico.

Lo más relevante de este análisis y en directa relación con el procedimiento sancionatorio, es que **las formaciones de mayor vigorosidad** (NDVI>0.5), que son aquellas formaciones que presentan dependencia directa de los niveles freáticos superficiales (especies hidrófilas), **se han mantenido, e incluso aumentado levemente sus áreas, lo cual indica que esta variable no ha sido modificada en el tiempo.**

A su turno, en lo que respecta a fauna, los valores de riqueza y abundancia corresponden a las características propias del sector y en ellos, no se observa un cambio negativo.

De este modo, cabe reiterar que no resultan efectivas las aseveraciones realizadas por el CPA, en cuanto a sostener que se habría generado un daño irreparable en el ecosistema del Salar de Atacama. Por lo demás, el CPA no especifica los supuestos daños causados al ecosistema, limitándose a señalar que la disminución del nivel freático habría afectado el sistema integral del Salar de Atacama, así como a las actividades que los mismos realizarían en dicho Salar, cuestión que como hemos visto no se ha manifestado en las variables de flora y fauna.

En definitiva, las extracciones de agua del acuífero de Monturaqui que realizó Escondida en el marco de su Proyecto se han comportado en los términos previstos en la evaluación ambiental, por lo que no se han generado efectos en las vegas de Tilopozo,

manteniéndose estable y conforme a su comportamiento histórico tanto la vegetación como la fauna presente en dicho sector.

**POR TANTO**, solicito tener por acompañado el Informe Técnico “Evolución temporal de la vegetación presente en las vegas de Tilopozo” elaborado por el CEA, tener presente las consideraciones señaladas, y que se descarte la ocurrencia de efectos ambientales adversos tanto en vegetación como en fauna.

Sin otro particular, se despide atentamente,

**Albornoz,**  
**Hernan**  
Hernán Albornoz Godoy

Firmado digitalmente por Albornoz,  
Hernan  
DN: cn=Albornoz, Hernan, o=BHP  
Billiton Group Operations Pty Ltd,  
ou=MULTI-ALLOWED  
Fecha: 2020.10.31 08:47:44 -03'00'



# Evolución temporal de la vegetación presente en las vegas de Tilopozo

Documento de apoyo a respuesta técnica Cargos SMA, descenso  
niveles freáticos Tilopozo

**Centro de Ecología Aplicada Ltda.** • octubre 2020



Minera Escondida



CONTROL DEL DOCUMENTO			
Versión	Fecha	Elaborado por	Aprobado por
0	24/08/2020	Carolina Mansilla Francisca Urmeneta Yohann Videla María de los Ángeles Gacitúa Salvador López Dany Novoa Cristián Godoy Tomás Rioseco Paul Granado Gonzalo Parada	José María Peralta
1	28/08/2020	Cristián Godoy	Francisca Urmeneta
2	29/08/2020	Cristián Godoy	Francisca Urmeneta
3	02/10/2020	Cristián Godoy Yohann Videla Carolina Mancilla Dany Novoa	Francisca Urmeneta
4	22/10/2020	Cristian Godoy, Carolina Mansilla	Francisca Urmeneta



## ÍNDICE

<u>1</u>	<u>INTRODUCCIÓN</u> .....	3
<u>2</u>	<u>OBJETIVOS</u> .....	4
<u>3</u>	<u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....	5
<u>4</u>	<u>RESULTADOS</u> .....	15
<u>5</u>	<u>CONCLUSIONES</u> .....	34
<u>6</u>	<u>REFERENCIAS</u> .....	36



## 1 INTRODUCCIÓN

Por medio de la Resolución Exenta N°1/ROL D-99-2020, con fecha 30 de julio de 2020, la Superintendencia de Medio Ambiente (en adelante, SMA) inicia un proceso sancionatorio contra Minera Escondida Ltda. (en adelante, MEL), mediante la formulación de cargos por el siguiente hecho constituyente de una infracción: “Disminución del nivel freático en el Sector de Tilopozo mayor a 25 cm, superándose con ello, de forma permanente en el tiempo desde el año 2005, la disminución máxima aceptable del nivel freático que pueden soportar los sistemas vegetacionales, sin ejecutar la medida de reducir el periodo de explotación a menos de 21 años”. Lo anterior, según lo consignado en la Resolución emitida por la Dirección General de Aguas (en adelante, DGA) N°1972/2001 que aprueba el “Plan de Alerta Temprana para el acuífero de Monturaqui-Negrillar-Tilopozo”, de la Región de Antofagasta, el cual proviene del EIA “Lixiviación de Óxidos de Cobre y Aumento de la Capacidad de Tratamiento de Mineral Sulfurado” numeral 10.4.2.1.

En relación con el hecho mencionado, la SMA presentó un informe técnico, consistente en el análisis de imágenes satelitales, con el objetivo de diagnosticar el estado y evolución de los sistemas vegetacionales presentes en el sector de Tilopozo. Los resultados de este análisis indicaron una disminución en los valores de NDVI, que indican una merma en el vigor y/o cobertura de la vegetación. Además, se determinó una pérdida total de 2,88 hectáreas, que equivale al 3% de un área de cobertura de vegetación de 94,68 hectáreas al año 1995 (previo al inicio de las operaciones); adicionalmente, se indica que 24,57 hectáreas (26%) han sufrido cambios con relación a su vigor y/o cobertura.

En este contexto, MEL encargó a Centro de Ecología Aplicada S.A caracterizar la evolución temporal de la vegetación presente en el sector de las vegas de Tilopozo mediante imágenes satelitales, de manera de demostrar si existe o no afectación a la vegetación y si esta puede atribuirse a los descensos en los niveles hídricos indicados en el hecho que constituye la infracción; por otra parte, se realizará una comparación de los criterios de corte usados en el informe técnico presentado por la SMA con los utilizados en este análisis. De manera complementaria, se analizará la presencia de áreas con cambios en la vegetación, utilizando la data disponible de flora (transectos) y de vegetación (carta de ocupación de tierras) proveniente de los monitoreos históricos.



## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo General

Realizar una caracterización de la evolución histórica de las vegas presentes en Tilopozo, ubicadas en el sector sureste del Salar de Atacama, de manera de evidenciar la existencia de cambios en la vegetación; este análisis se realizará en base al análisis de imágenes satelitales y estudiando la actividad fotosintética, y será complementado con información disponible que provenga del seguimiento ambiental del Salar de Atacama<sup>1</sup> (vegas de Tilopozo).

### 2.2 Objetivos Específicos

- Definición de zona de interés para los análisis y revisión del criterio de corte de NDVI.
- Realizar un análisis histórico de las imágenes satelitales LANDSAT con foco en el análisis de la actividad fotosintética del sector de las vegas de Tilopozo, el cual sea comparable con lo presentado en el informe de SMA.
- Identificar la presencia de áreas con cambios en la vegetación, mediante el análisis de la data disponible de flora (transectos) y de vegetación (carta de ocupación de tierras).
- Determinar la evolución de las comunidades de fauna terrestre asociadas a las vegas de Tilopozo e identificar la existencia de cambios en ellas, mediante el análisis de la data disponible de los monitoreos históricos.

---

<sup>1</sup> La información utilizada en el presente informe proviene de los Informe de Monitoreo Ambiental del Salar de Atacama reportados a la autoridad, abarcando el período 1996 al 2019.



### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudio

El Salar de Atacama, ubicado en la cuenca del mismo nombre, se encuentra emplazado en la Región de Atacama y corresponde al depósito salino más grande de Chile. El Sector Tilopozo, se encuentra en el área sureste, presenta una gran costra salina, presencia de lagunas salobres como La Punta y La Brava y presencia de vegetación azonal, las que constituyen el sector de Vegas de Tilopozo, ubicado al extremo sur del salar (Figura 3.1). Específicamente en la zona de Tilopozo la vegetación terrestre se presenta predominantemente en dos formas de vida, las gramíneas cespitosas (coirones) y los arbustos bajos de follaje reducido. De acuerdo con lo informado por el Centro de Ecología Aplicada (CEA, 1994), las especies que definen las Unidades Vegetacionales para el sector son: *Tessarea absinthioides*, *Distichlis spicata*, *Juncus balticus*, *Scirpus americanus* y *Lycium humile*.

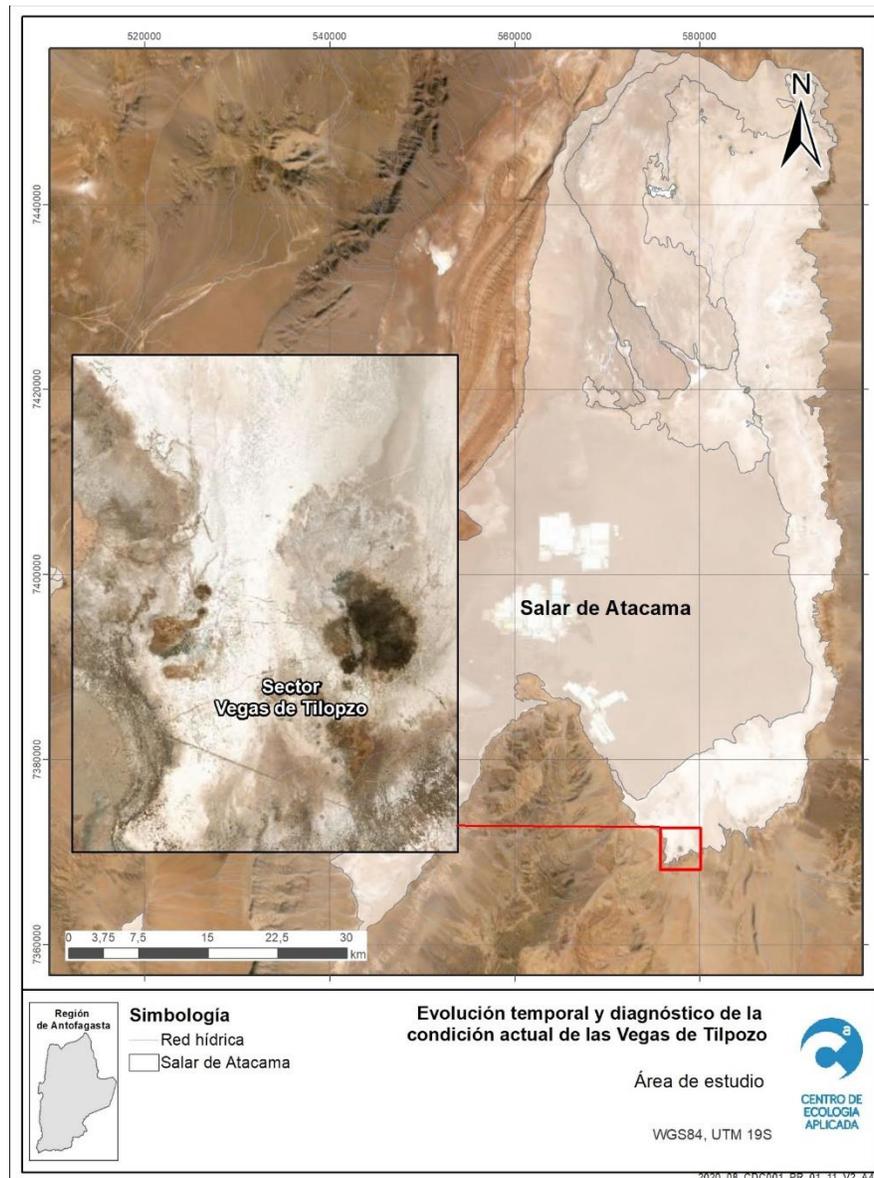


Figura 3.1 Área de estudio: Ubicación general del Salar de Atacama y Vegas de Tilopozo. Fuente: elaboración propia.

## 3.2 Metodología

### 3.2.1 Patrón estacional de Precipitaciones y Temperaturas

Con objeto de determinar las fechas apropiadas para el análisis de imágenes satelitales, se desarrolla un diagrama ombrotérmico o climograma, en el cual se representa el patrón estacional de precipitación y temperatura, con lo cual es posible estimar los periodos del año con mayor actividad fotosintética y presencia de agua.



Para ello, se utiliza información de 7 estaciones meteorológicas, cuya ubicación se presenta en la Figura 3.2, obtenida a partir de diferentes fuentes de información, tanto pública como privada, cuyos periodos con información se detallan en la Tabla 3.1.

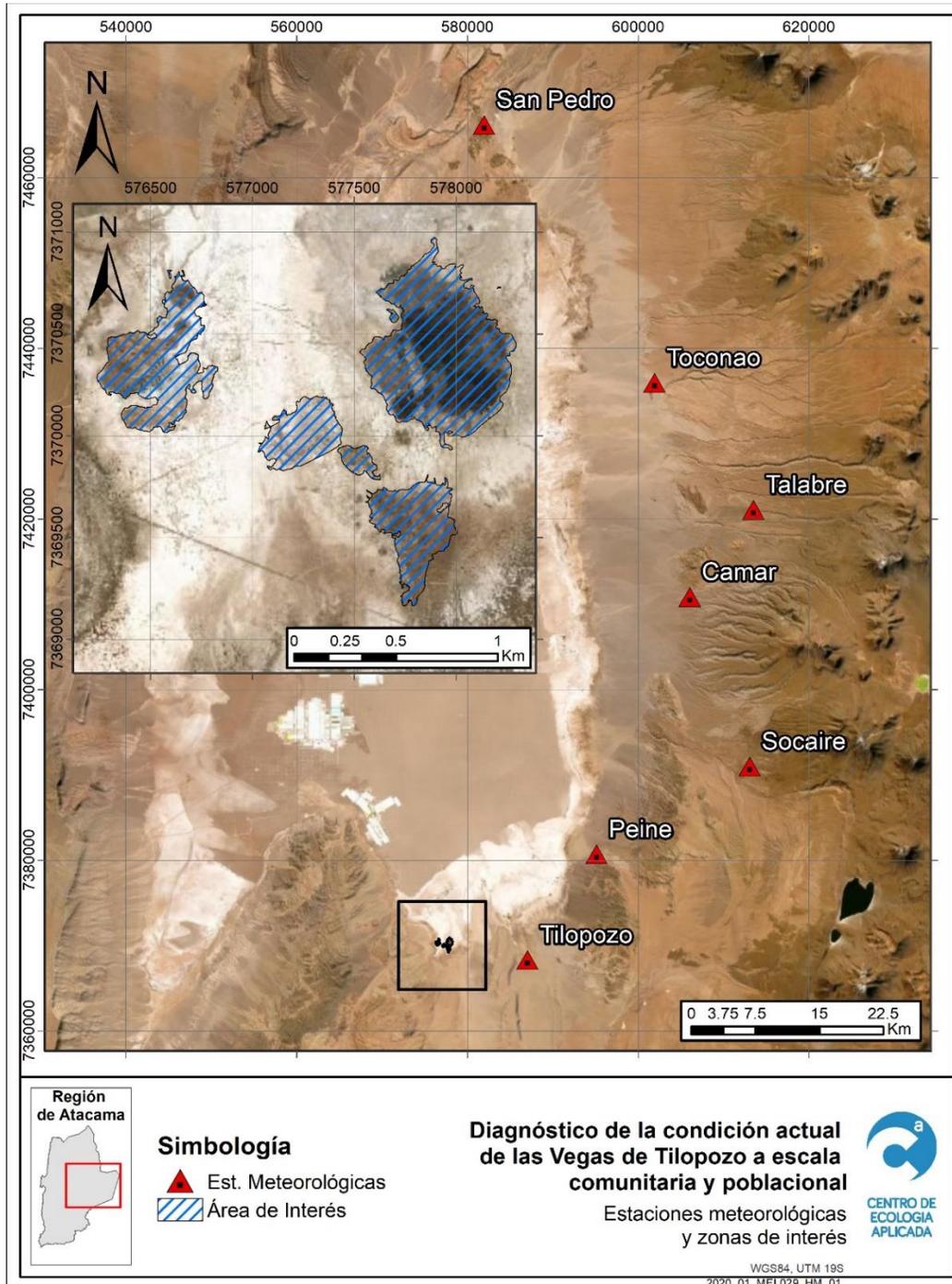


Figura 3.2 Ubicación de estaciones meteorológicas y áreas de interés en sector Salar de Atacama.



Tabla 3.1 Ubicación, parámetros y fuentes de información según estación meteorológica.

Estación	Este (m)	Norte (m)	Parámetro	Periodo con información	Fuente de Información
Tilopozo	587.067	7.368.321	Temperatura	2010-2019	Minera Escondida
			Precipitación	2010-2019	Minera Escondida
Peine	595.137	7.380.682	Temperatura	1974-1994	Explorador CR2
			Precipitación	1974-2019	Explorador CR2
Socaire	613.092	7.390.963	Temperatura	2013-2020	Agromet INIA
			Precipitación	1974-2019	Explorador CR2
Camar	606.057	7.410.866	Temperatura	2017-2020	Agromet INIA
			Precipitación	1979-2019	Explorador CR2
Talabre	613.530	7.421.080	Precipitación	1995-2019	Explorador CR2
Toconao	601.953	7.435.956	Temperatura	2013-2020	Agromet INIA
			Precipitación	1975-1991/2013-2020	Explorador CR2/Agromet INIA
San Pedro	581.987	7.466.178	Temperatura	2013-2020	Agromet INIA
			Precipitación	1959-2017	Explorador CR2

Si bien se observa que la estación meteorológica de Tilopozo es la que presenta mayor cercanía al área de interés respecto a las demás, se tiene también que esta es la que presenta menor cantidad de información, por lo cual puede no ser completamente representativa de la estacionalidad histórica del sistema. Es por esto, que se complementa la información entregada para Tilopozo, realizando dos diagramas ombrotérmicos, siendo el segundo, el correspondiente a las estaciones meteorológicas de Peine, Socaire, Camar, Talabre, Toconao y San Pedro.

Para determinar el patrón estacional de precipitaciones, se calcula el promedio de la precipitación acumulada mensual para el periodo con información de cada estación, lo anterior se representa mediante un gráfico de barras en donde el eje vertical corresponde a la precipitación acumulada mensual promedio, en milímetros, y el eje horizontal al mes.

Junto con lo anterior, para determinar el patrón estacional de temperaturas, se calcula en una primera instancia, la temperatura promedio (mínima, máxima, media diaria) a nivel mensual, para luego calcular el promedio mensual de cada una para aquellos años con información. Lo anterior se representa gráficamente mediante líneas continuas de temperatura mínima, media y máxima.

A partir del diagrama ombrotérmico, se define el periodo de interés como el intervalo de tiempo entre el mes correspondiente al fin de las precipitaciones estivales y el mes de inicio



de temperaturas congelantes (menor a 0°C), esto pues, el periodo posterior al fin del periodo estival corresponde al espacio de tiempo donde la vegetación presenta mayor actividad antes de verse afectadas por las bajas temperaturas.

### 3.2.2 Análisis histórico de imágenes satelitales LANDSAT con foco en el análisis de la actividad fotosintética del sector de las vegas de Tilopozo

#### 3.2.2.1 Definición de subsistemas

En primer lugar, se definieron las áreas de control para cada sector, definición que es realizada en base a información específica del sistema contenida en la Carta de Ocupación de Tierra (COT) desarrollada por Minera Escondida para el sector sur del Salar de Atacama considerando a todas aquellas formaciones vegetacionales de características azonal, y que por esta condición dependen en gran medida del agua subterránea local (napa freática). Una vez localizadas las áreas correspondientes a ocupación de vegetación y/o agua, se genera un polígono envolvente de influencia para asegurar el área de corte espacial sobre la imagen.

#### 3.2.2.2 Pre-procesamiento

A través de la plataforma Google Engine, se generó una automatización y solicitud masiva de todas las imágenes disponibles y correspondiente a los sensores Landsat 5TM, Landsat 7 ETM+ y Landsat 8 OLI, entre los años 1985 y 2020. Una vez adquirido el listado de las imágenes multispectrales, se realizaron las correcciones tendientes a mejorar la condición radiométrica mediante la metodología de Roy *et al* (2016) y el producto disponible asociado a la reflectancia espectral de las imágenes corregidas atmosféricamente mediante el método IARR (Internal Average Relative Reflectance) (Brizuela *et al.*, 2009). Además, se consideró como criterio elegir aquellas imágenes con baja o nula nubosidad.

#### 3.2.2.3 Procesamiento

El procesamiento asociado al cálculo de los índices espectrales de las imágenes satelitales se programó y ejecutó en la nube, en la plataforma de Google Earth Engine. El flujo de trabajo se basa en la reconstrucción histórica de 582 imágenes satelitales disponibles de la plataforma Landsat, con resolución espacial de 30 metros, las que son re-escaladas a un píxel de 10 metros.

El análisis de teledetección asociado a la vegetación se resume en 2 etapas.

- En primer lugar, se calcula para cada sistema el ciclo fenológico asociado al año hidrológico del área de estudio, agrupando el set completo de imágenes previamente clasificadas según mes de adquisición.
- En segundo lugar, se reconstruye y analiza la serie histórica promedio anual entre 1985 y 2020, a fin de conocer la variabilidad de bienestar vegetativo asociado al índice NDVI en el tiempo.



Todos los análisis son presentados en diagramas de caja (“Boxplot”) para resumir de mejor forma la distribución estadística asociada a cada año. Una representación del diagrama de cajas se muestra en la Figura 3.3, donde la dimensión de la caja está determinada por la distancia del rango intercuartílico, que es la diferencia entre el primer y tercer cuartil (25 y 75%). El 50% de los datos asociado al área ( $n^\circ$  de pixeles de igual tamaño) está dado por la mediana o línea central (segmento que divide la caja en dos partes); ello ayuda a interpretar la variación en el tiempo y conocer si fue simétrica o asimétrica.

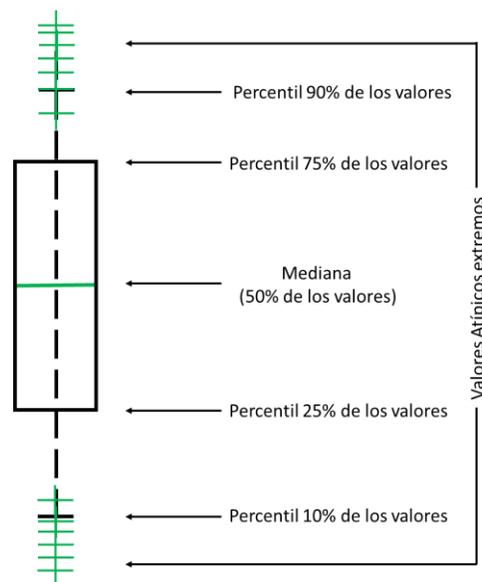


Figura 3.3 Esquema gráfico de caja. Fuente: elaboración propia.

Así, los resultados pueden ser interpretados como:

- Si la mediana se sitúa en el centro de la caja entonces la distribución es simétrica y por lo tanto la media, mediana y moda coinciden.
- Si la mediana corta la caja en dos lados desiguales se tiene:
  - Asimetría positiva o sesgada a la derecha si la parte más larga de la caja es la parte superior a la mediana. Los datos se concentran en la parte inferior de la distribución. La media suele ser mayor que la mediana.
  - Asimetría negativa o sesgada a la izquierda si la parte más larga es la inferior a la mediana. Los datos se concentran en la parte superior de la distribución. La media suele ser menor que la mediana.
- Extremos: La continuación de los segmentos en la caja se denominan bigotes, que determina el límite superior e inferior del 90 y 10% de los valores.



- Valores Atípicos: Los valores atípicos son aquellos puntos que están más allá del límite inferior 10% o superior 90% y representan una extrema calidad de vegetación respecto de los datos de tendencia central en un sistema (hacia arriba o hacia abajo). Estos últimos, en términos de la vegetación, representan aquellos valores de píxel o área que en un mes o en un año pasan de estar en reposo (senescencia) a una actividad alta de vigorosidad sobre 90% o una pérdida absoluta de vigorosidad bajo 10%.

#### 3.2.2.3.1 NDVI

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, también conocido como NDVI por sus siglas en inglés, es un índice de vegetación que se utiliza para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base a la medición de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite y/o refleja. Los valores resultantes se distribuyen en el rango – 1 a 1.

El supuesto se basa en que cuanto mayor sea la diferencia de valores entre bandas, mayor es el porcentaje de cobertura vegetal en contraste con otros tipos de cobertura. Basado en que la vegetación tiene una reflectividad muy alta en la banda IR, producto de la reflexión de la clorofila presente en las hojas, y muy baja en la banda R, se debe dividir el índice entre la suma de ambas reflectividades, lo que compensa tanto el efecto de mayor o menor luminosidad como el efecto de la atmósfera.

La fórmula general del NDVI expresado en datos de reflectancia es:

$$NDVI = \left( \frac{B_{IR} - B_R}{B_{IR} + B_R} \right) \quad (1)$$

Donde:

$NDVI$  = Índice de vegetación de Diferencia Normalizada.

[adimensional] (-1 a 1)

$B_{IR}$  = Reflectancia de banda del infrarrojo [ $\mu\text{m}$ ].

$B_R$  = Reflectancia de banda del rojo [ $\mu\text{m}$ ].

Luego de calcular para cada imagen el índice NDVI, se realizó una descarga masiva para toda el área de estudio.



#### 3.2.2.4 *Post-procesamiento*

Este paso correspondió a determinar los umbrales de corte necesarios, que representan de mejor forma las superficies de vegetación de los diferentes subsistemas en el Sistema Tilopozo.

##### 3.2.2.4.1 Reclasificación de los valores de NDVI

Para contrastar la superficie de cobertura vegetal frente a otros tipos y/o ocupaciones de suelo, y no considerar áreas que pudieran presentar una mezcla de ambos elementos, se reclasificó el índice NDVI en 3 rangos de valores.

- El primer rango consiste en definir zonas no afectas a vegetación y derivado de los valores que se distribuyen entre -1 y 0,08.
- El segundo rango corresponde a los valores superiores a 0,08 e inferiores a 0,1, representativos de una alta variabilidad estacional del sistema ligado principalmente a periodos estival comprendido entre diciembre y abril.
- El tercer intervalo corresponde a valores superiores a 0,1, segmento ampliamente descrito en la bibliografía científica (Roy *et al* 2016; Barati *et al* 2011; Wilson *et al* 2016; SMA 2020) siendo estos asociados a quiebres que representan un aumento en el reflejo de clorofila asociado al grado de vigorosidad vegetativa en especies atípicas.

#### 3.2.3 Análisis de Flora y vegetación como indicador de áreas con cambio

La vegetación ha sido estudiada en el sector de Tilopozo desde el año 1999, cuando se definieron 5 transectos de 15 metros cada uno, en los cuales durante los meses de enero y julio se ha descrito la vegetación presente en cuanto a riqueza y cobertura. Para la elaboración del presente informe, se realizó un análisis de la información contenida en los monitoreos realizados en la zona de las vegas de Tilopozo, Salar de Atacama, entre los años 1999 y 2019.

#### 3.2.4 Evolución histórica componente Fauna terrestre

Para la elaboración del presente informe, se realizó un análisis de la información contenida en los monitoreos de fauna realizados en la zona de las vegas de Tilopozo, Salar de Atacama, entre los años 1995 y 2019.

##### 3.2.4.1 *Análisis de información*

La información de los monitoreos consideraba que para cada uno de los taxa identificados se analizaba su estado de conservación de acuerdo con la Ley de Caza N° 19.473 (SAG, 2011), y las actualizaciones de los Procesos de Clasificación vigentes (quince a la fecha), así como su endemismo. Específicamente, el estado de conservación es el que corresponde a la zona norte (I a III región).



Las especies censadas fueron comparadas en su abundancia y frecuencia relativas. Para la identificación de las especies, se utilizaron las siguientes fuentes bibliográficas:

- *Reptiles y Anfibios*: Cei (1962), Donoso-Barros (1966, 1970), Díaz & Valencia (1985), Veloso & Navarro (1988), Núñez & Jaksic (1992), Núñez & Torres-Mura (1992), Veloso *et al.* (1995), Formas (1995), Pincheira-Donoso & Núñez (2005), Mella (2005a), Mella & Peñaloza (2005) y Ramírez & Pincheira-Donoso (2005).
- *Aves* : Johnson & Goodall (1965), Cody (1970), Araya & Millie (1996), Araya *et al.* (1995), Araya & Bernal (1995), Rottmann (1995), Pearman (1995), de la Peña & Rumboll (1998), Egli (1998, 2002), Jaramillo (2005), Martínez & González (2005) Barros *et al.* (2015), Couve *et al.*, (2016)., Martínez & González (2017).
- *Mamíferos*: Osgood (1943), Mann (1978), Tamayo & Frassinetti (1980), Miller & Rottmann (1976), Campos (1986, 1996), Reise & Venegas (1987), Redford & Eisenberg (1992), Willson & Reeder (1993), Contreras & Yáñez (1995), Conteras (2000), Muñoz-Pedrerros & Yáñez (2000, 2009), Iriarte (2008) e Iriarte *et al.* (2011).

A modo de complemento general, se revisaron los estudios de Glade (1993), Jaksic (1997), Lazo & Silva (1993), Torres-Mura (1994) y Muñoz *et al.* (1996).

La frecuencia de las campañas desde 1997 a julio de 2010 eran semestrales, mientras que, a contar del 2011, la frecuencia de las campañas fue trimestral<sup>2</sup> (estacional).

Para determinar cambios significativos de los distintos parámetros (riqueza y abundancia) en función del periodo de monitoreo (tiempo), se realizó un análisis estadístico de regresión, utilizando el programa Statistica 6.0.

---

<sup>2</sup>La modificación de la frecuencia de semestral a trimestral corresponde a una decisión de la compañía, con el objetivo de contar con más información para el análisis de este componente.



## 4 RESULTADOS

### 4.1 Patrón estacional de Precipitaciones y Temperaturas

En la Figura 4.1 se presenta el patrón estacional de precipitaciones y temperatura construido a partir de las diferentes estaciones meteorológicas ubicadas en las cercanías del Salar de Atacama. En ella se observa que el periodo de precipitaciones corresponde al periodo enero-marzo, con precipitaciones acumuladas mensuales de entre 5 a 28 mm, las cuales disminuyen entre abril y septiembre, con precipitaciones acumuladas promedio entre 0 y 4 mm. Finalmente, se tienen precipitaciones entre 0 y 3 mm entre octubre y diciembre. De igual modo, se observa que las temperaturas medias mínimas se registran entre mayo y septiembre, alcanzando valores de hasta 2°C; por su parte, las temperaturas medias máximas se registran entre noviembre y febrero, alcanzando valores entre 26 y 28°C.

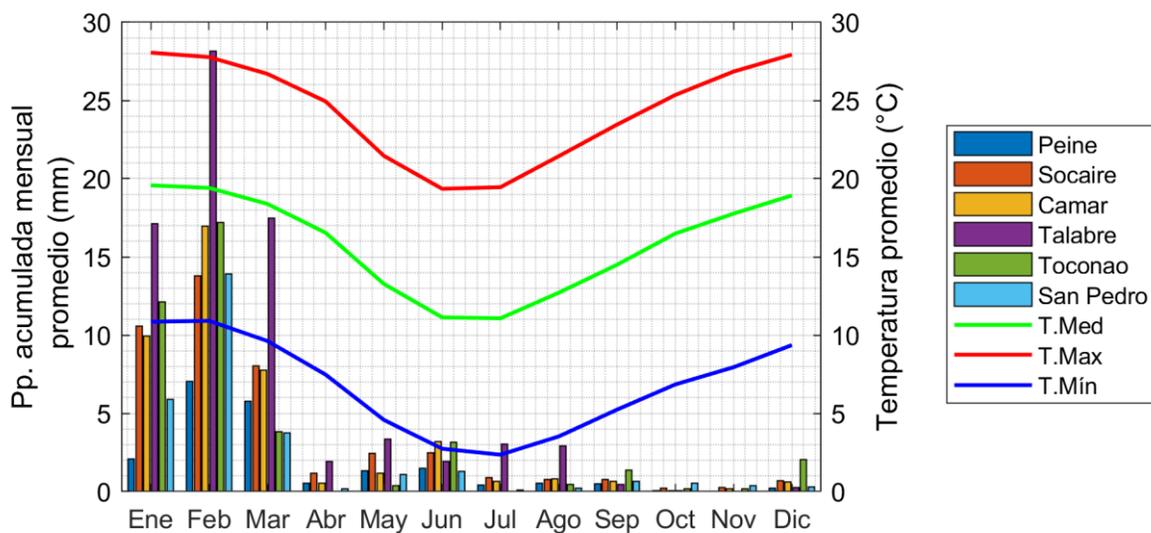


Figura 4.1 Diagrama ombrotérmico para Salar de Atacama construido a partir de información de estaciones meteorológicas.

Junto con lo anterior, en la Figura 4.2 se presenta el diagrama ombrotérmico construido a partir de la información de la estación meteorológica Tilopozo, en la cual se presenta el detalle de precipitaciones mensuales según año. En esta, se observan dos *peaks* de precipitación, correspondientes a los meses de agosto y septiembre de 2017, donde se alcanzan totales acumulados de 368 y 161 mm respectivamente. Sin embargo, a pesar de lo anterior, el resto del tiempo las precipitaciones siguen un régimen similar al presentado en la Figura 4.1, donde se observa un máximo en febrero y una tendencia a la disminución entre mayo y diciembre.



Respecto a las temperaturas, se observa que al igual que en el escenario con todas las estaciones meteorológicas, las máximas temperaturas se alcanzan entre noviembre y febrero, con valores entre los 30 y 32 grados, lo cual es superior a lo observado en la Figura 4.1. Por su parte, las temperaturas mínimas se registran entre mayo y agosto, con valores por debajo los 0°, y alcanzando una media de -3.4°C en julio.

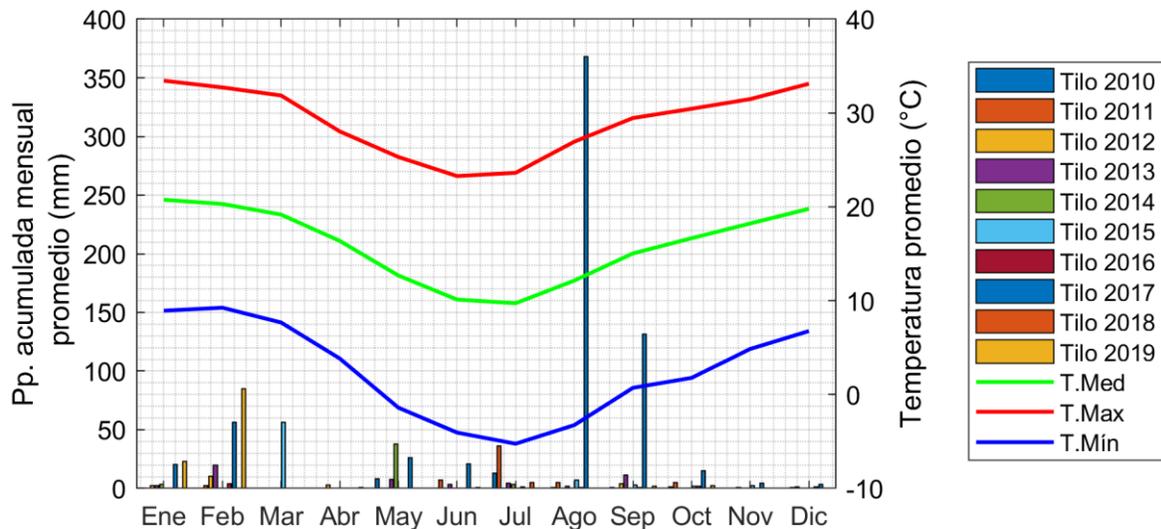


Figura 4.2 Diagrama ombrotérmico para Salar de Atacama construido a partir de datos de estación meteorológica Tilopozo.

A partir del diagrama presentado en la Figura 4.1, se define el fin del periodo de precipitaciones estivales como el mes de marzo, mientras que en función de lo presentado en la Figura 4.2 se define el mes de inicio de las temperaturas congelantes como mayo. De este modo, en función de estas condiciones externas, se define como periodo de interés para el análisis de presencia de vegetación en el sector, al periodo entre marzo y mediados de abril.

## 4.2 Definición de zona de interés para los análisis y revisión del criterio de corte de NDVI

### 4.2.1 Definición de zonas de interés

De la selección de las formaciones para cada zona por analizar desde la COT, se construyen los polígonos de control mostrados en la Figura 4.3, los que corresponden a las áreas de interés que se utilizarán para todos los análisis. En los casos en que se indique o referencie al total de la vegetación, se estará considerando a la suma de las 5 zonas denominadas como TLP1, TLP2, TLP3, TLP4 y TLP5.

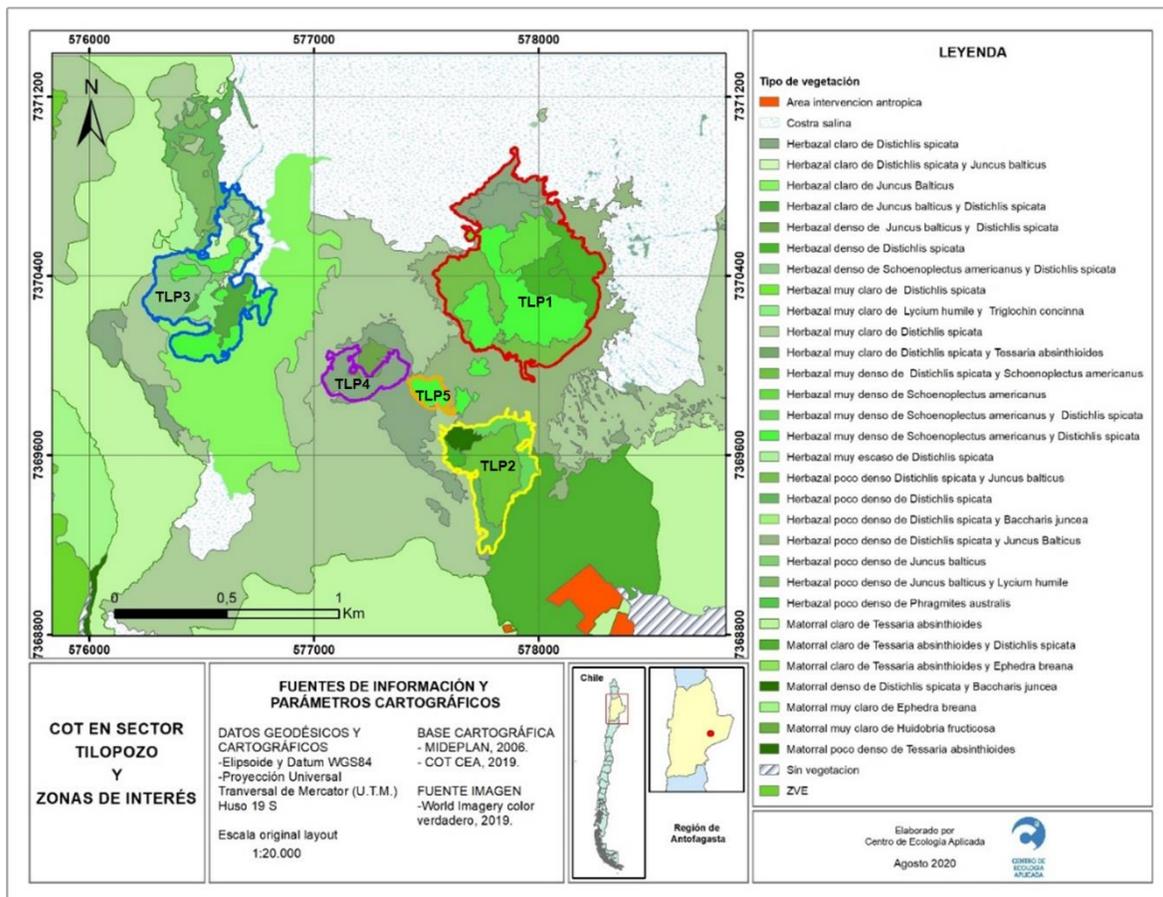


Figura 4.3 Definición de zonas de interés (control) en base a información de la COT.

#### 4.2.2 Criterio de corte del NDVI

Para realizar los análisis, se consideraron solamente las imágenes existentes entre los meses de diciembre a abril, ya que según la dinámica del comportamiento del NDVI en el sistema a lo largo del año, este período representa la máxima expresión de la vegetación del sector. (Figura 4.4).

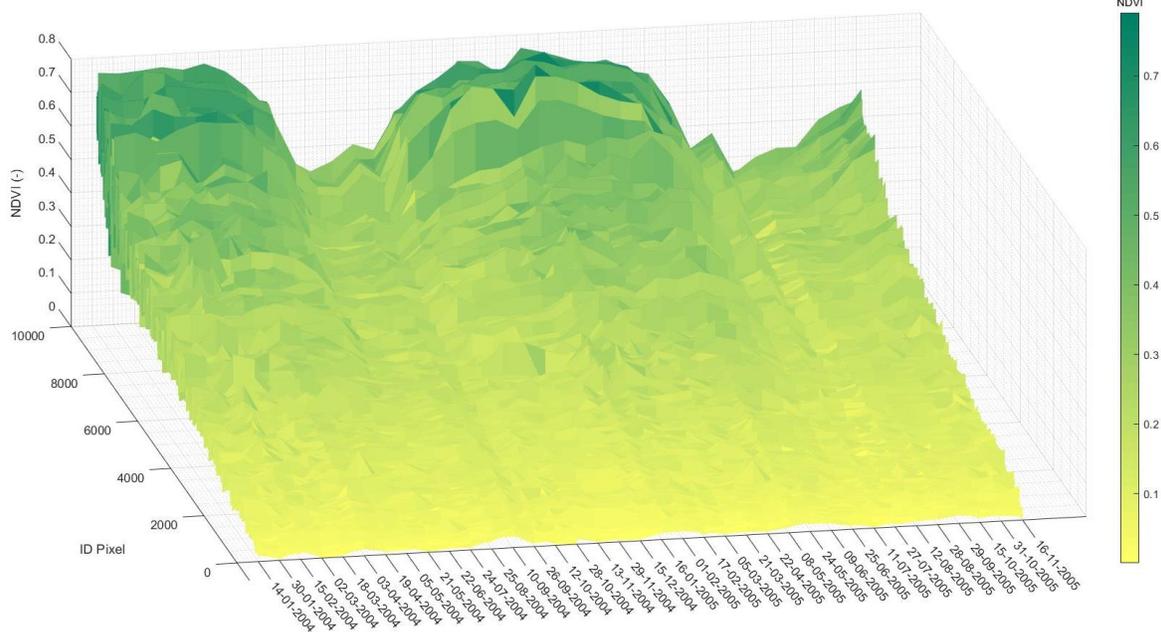


Figura 4.4 Cambios del NDVI por píxel en área de estudio para el período 2004 y 2005.

Para determinar el umbral de corte del NDVI que define si el píxel se considera fotosintéticamente activo, se construyó una imagen promedio para todo el periodo en análisis (1985 a 2020), de la cual se obtuvo un histograma que permite analizar la distribución de los valores de NDVI (Figura 4.5).

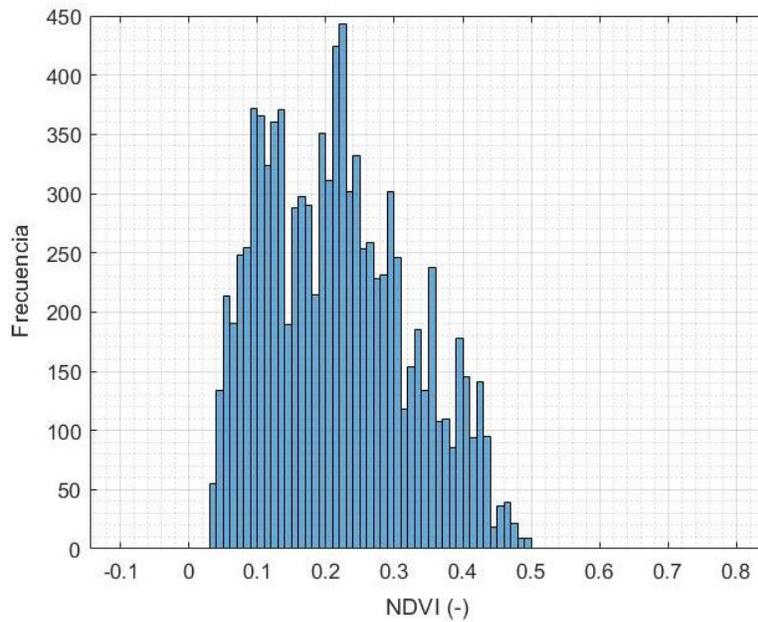


Figura 4.5 Histograma de valores de NDVI en imagen promedio histórica.

El análisis de corte de NDVI, calculado mediante la identificación de los puntos de inflexión en la distribución de los NDVI, o los quiebres naturales que permitirían identificar cuando el NDVI comienza a dar cuenta de vegetación fotosintéticamente activa de forma confiable, dio como resultado un valor de corte de 0,08 (Figura 4.6 y Figura 4.7).

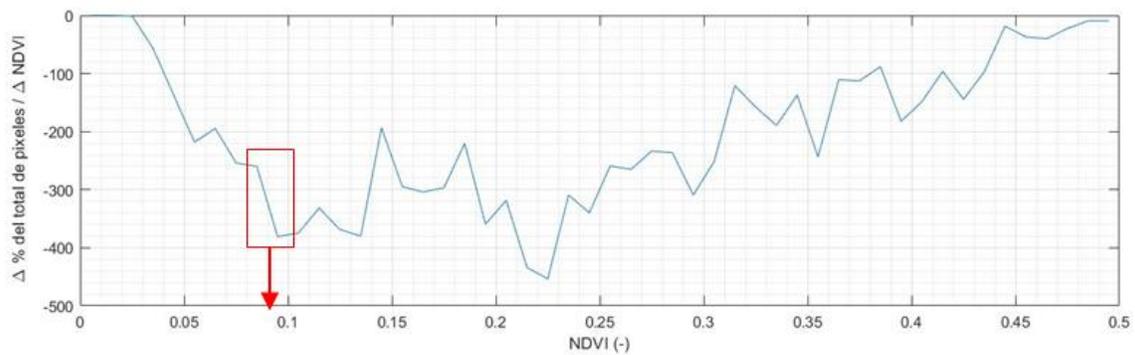


Figura 4.6 Tasa de cambio del porcentaje del total de pixeles por valor de NDVI de corte.

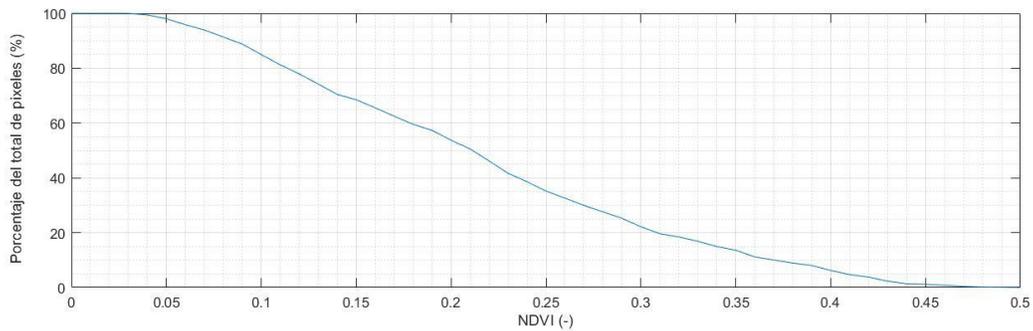


Figura 4.7 Frecuencia acumulada inversa en base a histograma de valores de NDVI en imagen promedio histórica. Valores de la acumulación se expresan como porcentaje del total de píxeles activos.

### 4.3 Análisis de variación histórico anual

La Figura 4.8, expone que los 5 sistemas analizados desarrollan una clara estabilidad temporal en el índice de vigorosidad y bienestar de la vegetación a través de la ventana de tiempo 1985 – 2020. Anualmente el 10% de los valores contenidos en los sistemas antes presentados, reflejan de igual forma la mayor variabilidad positiva interanual en los sistemas de mayor tamaño (TLP1, TLP2, TLP3), indicando su alto índice de vigorosidad respecto del promedio geométrico de los demás valores.

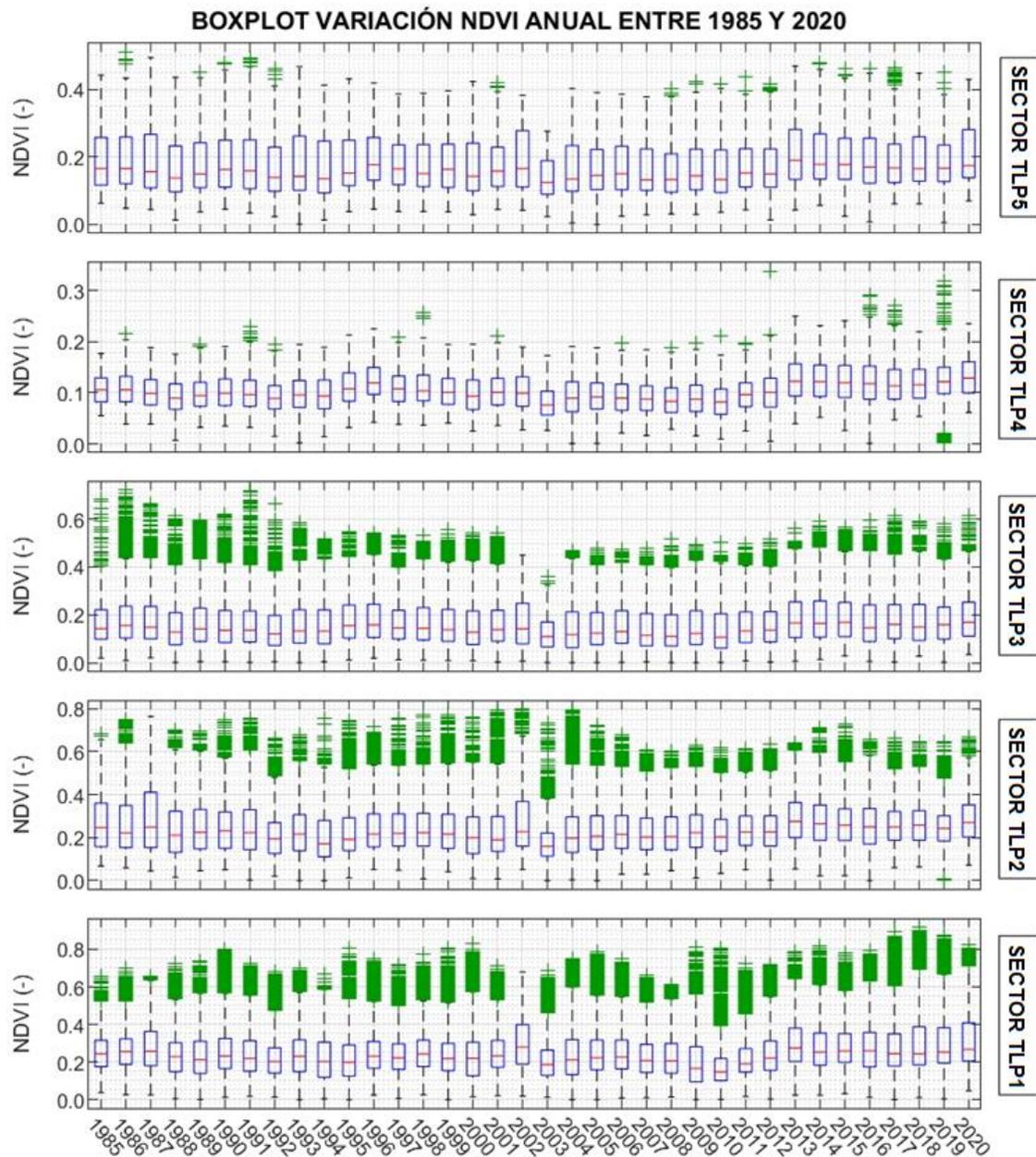


Figura 4.8 Análisis de variación anual histórico de NDVI

Junto con lo anterior es importante notar que, en la mediana estadística, (50% de los valores), los tres sistemas antes mencionados, exponen índices NDVI superiores a 0,17 y hasta 0,35 con poca variabilidad en el tiempo. Los valores correspondientes al percentil 25% y 75%, muestran igualmente estabilidad. Sistemas TLP4 y TLP5, muestran valores extremos más bajos asociados a NDVI= 0,25 y 0,41 respectivamente, mientras que la mediana tiende



a estabilizarse en NDVI = 0,18 (TLP4) y 0,15 (TLP5). Ello demuestra que a pesar de tener actividad fotosintética más baja no se observa una pérdida de bienestar vegetativo en el tiempo.

#### 4.4 Determinación de cambio en la superficie

El análisis de variación en la superficie vegetacional indica que todos los sistemas, a excepción de TLP4, exponen una alta variabilidad y/o diferencia de superficie a escala intra anual, debido a que los datos concentrados entre el percentil 25% y 75% poseen un alto rango. En términos de la vegetación, esto indica la existencia de una alta variabilidad-intensidad y/o bienestar de una determinada área (píxel) durante todo el año. Esta variación no afecta la superficie total registrada, debido a que, según su ciclo fenológico, la mayor cantidad de datos y/o área asociada a la mediana estadística se mantienen en el tiempo (Figura 4.9).

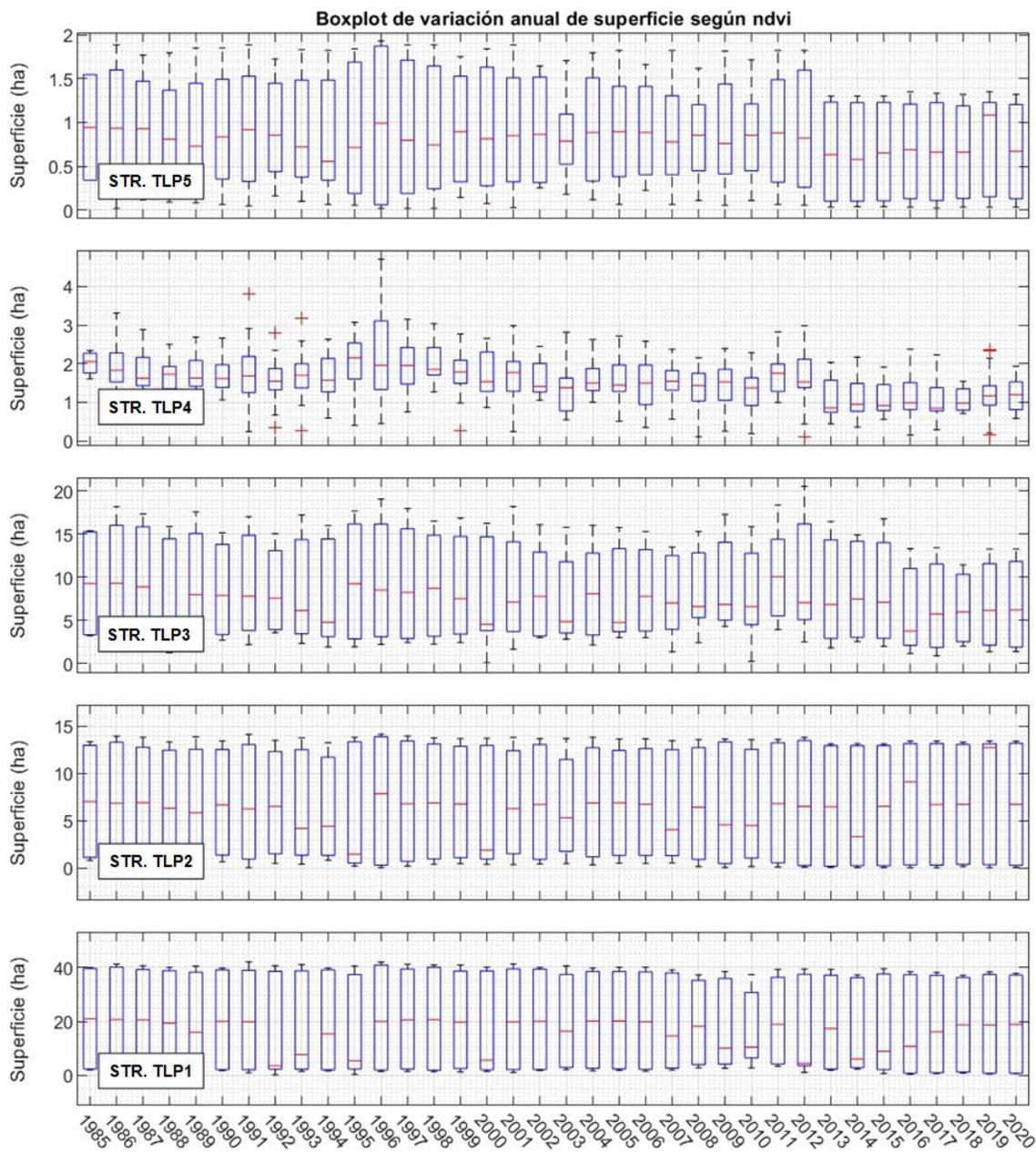


Figura 4.9 Análisis de variación mensual de superficie cubierta por vegetación Fuente: elaboración propia.

Una gran porción del área de vegetación ( $\pm 50\%$ ), posee un índice de vegetación históricamente estable y por sobre 0,1. El único sector que presenta una disminución real de superficie cubierta por vegetación en el tiempo corresponde a TLP4, pasando de  $2 \pm 0.3$  (ha) a  $1.25 \pm 0.3$  (ha) o  $-37\%$  en una ventana de 35 años. No obstante, los mayores quiebres son registrados entre el año 2013 – 2017 notando una clara mejora desde el 2018 en adelante.



Los cambios generales del sistema, en términos de la actividad fotosintética y sus áreas asociadas, deben ser representados y analizados de manera integral para todo el período analizado; esto es, la evolución y tendencias (si es que ellas existen) del sistema o de sus partes, pueden ser verificadas de la serie de tiempo completa de las áreas con actividad fotosintética. Así, una comparación de dos o más instantes (o condiciones) en una serie de tiempo, solamente podrán dar cuenta de las diferencias entre ellos, y no representarán la tendencia del sistema<sup>3</sup>.

Lo anterior, se debe a que cada periodo analizado da cuenta de las condiciones específicas del sistema durante ese año o meses anteriores a la temporadas de máxima expresión de la vegetación. A modo de ejemplo, a continuación se muestra una comparación de los rangos de actividad fotosintética entre una temporada base, y las cuatro temporadas más recientes. La temporada base está dada para 1986-1987 (primera condición posible de caracterizar del sistema), y los periodos a comparar, dados por las cuatro temporadas más recientes (2016-2017, 2017-2018, 2018-2019 y 2019-2020). Cada temporada analizada es caracterizada mediante el área promedio por categoría de NDVI durante los meses de mayor expresión (desarrollo) de la vegetación (diciembre a abril). En la Tabla 4-1 se muestran áreas promedio por rangos de NDVI determinadas por temporada, donde el área “Sin Vegetación” es estimada como la diferencia del área total de la temporada respecto de la de mayor área registrada en este conjunto (2018-2019).

Tabla 4-1.- Áreas detectadas por rango de NDVI por temporada.

Temporada	NDVI>0.5	0.5>=NDVI>0.3	0.3>=NDVI>0.1	Sin Vegetación
1986-1987	10.94	29.38	46.24	2.0265
2016-2017	9.36	27.03	52.10	0.0929
2017-2018	12.02	17.80	54.46	4.3120
2018-2019	11.82	22.23	54.53	0.0000
2019-2020	10.13	20.95	56.95	0.5573

En la Figura 4.10 se representan estas áreas, donde al comparar la temporada 1986-1987 con las otras temporadas, se observa que temporadas más recientes muestran un área total con actividad fotosintética superior (2018-2019), junto con un área con alto NDVI

<sup>3</sup> La tendencia entendida como “un cambio a largo plazo que se produce en relación al nivel medio, o el cambio a largo plazo de la media. La tendencia se identifica con un movimiento suave de la serie a largo plazo” (Villavicencio, J.).



(vigorosidad) superior (2017-2018 y 2018-2019). El único rango que muestra una menor área detectada correspondería a los NDVI medios en el rango entre 0.5 y 0.3.

Por tanto, de considerar este rango intermedio como relevante, se podría indicar que en general, se tiene una reducción del área detectada en el rango medio, un aumento del área con NDVI en el rango bajo y un aumento del área con mayores NDVI. De estos 3 cambios, el más relevante corresponde al aumento del área con mayor NDVI, la cual estará asociada a vegetación hidrófila (dependencia directa del agua de la napa), y que corresponde a uno de los mejores indicadores de la condición del nivel freático. Con ello, las variaciones entre los otros 2 rangos de NDVI, son menos importantes y podrán tener su origen en otros factores.

De realizarse una comparación entre temporadas específicas, el resultado podrá ser distinto, como lo es el caso de la temporada 2016-2017 donde se reduce el área de alto y medio NDVI; o la temporada 2019-2020, donde podría desprenderse un efecto similar. En cuanto a las temporadas 1994-1995 y 1997-1998, se observa que ambas presentan áreas totales con actividad fotosintéticas similares a las otras temporadas, áreas en el rango medio de vigorosidad (NDVI) parecidas a las de la temporada base (1986-1987), y las menores áreas asociadas a alta vigorosidad (NDVI>0.5) de todas.

Es por lo anterior que es necesaria un análisis y comparación integral de la serie de tiempo, lo que permite observar las tendencias tanto generales como de los elementos que cuentan con una respuesta más directa al cambio del nivel freático, como lo es la vegetación hidrófila del sistema (asociada a los altos valores de NDVI).

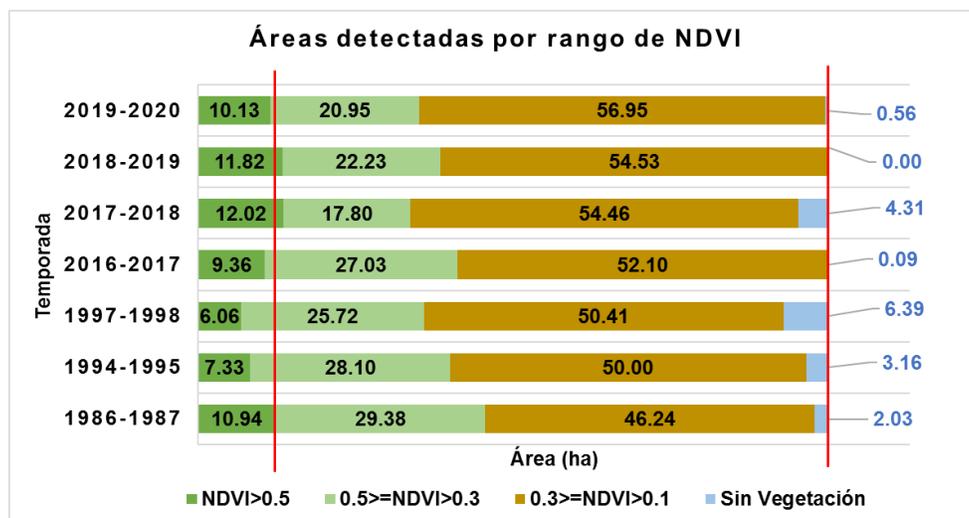


Figura 4.10 Áreas detectadas por rangos de NDVI para diferentes temporadas (de desarrollo de la vegetación) del sistema Tilopozo. Líneas rojas muestran: (Izquierda) el valor del rango NDVI>0.5 de la temporada 1986-1987, y (Derecha) el valor del área total detectada de la temporada 1986-1987.



Por lo anterior, para establecer cambios generales en el sistema, la Figura 4.11 presenta en forma proporcional la superficie total de Tilopozo entre el año 1985 y 2020. Se observa que durante todo el periodo de análisis han existido variaciones Interanuales en el total de superficie como también entre diferentes categorías y/o umbrales de NDVI, no obstante, la tendencia promedio de todo el periodo en análisis es estable. Si se comparan las áreas totales de vegetación con actividad fotosintética detectada, se observa que ellas varían en todo el período, pero se muestra que sus variaciones no son muy extremas, y que en particular, en las últimas temporadas se detectan áreas similares, e incluso mayores, a las históricas (en los 80's).

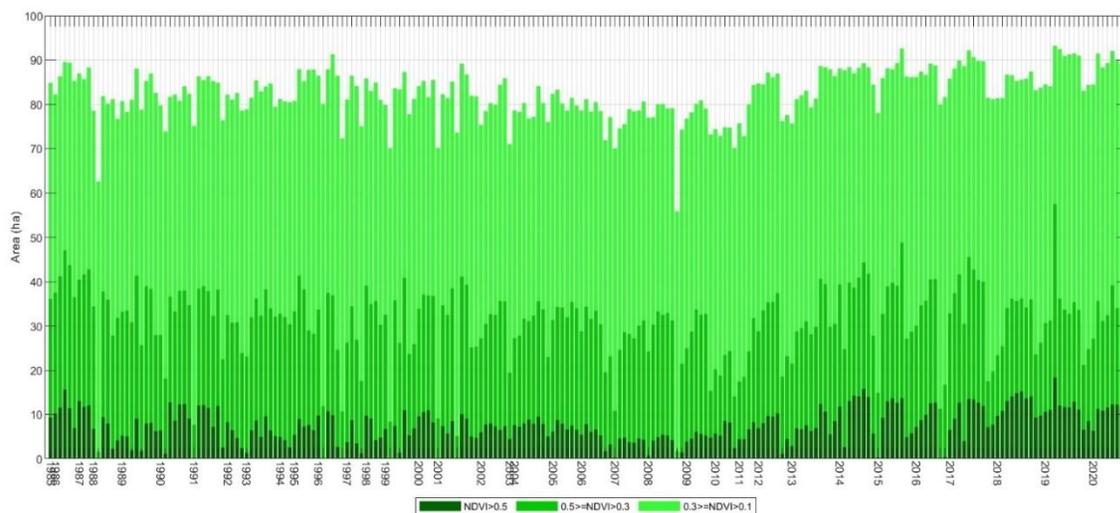


Figura 4.11 Sumatoria de área total de expresión de la vegetación para el sistema Tilopozo.

Al comparar este resultado con otros estudios realizados en el área, los que podrán entregar de igual manera antecedentes relevantes, se puede indicar que es similar al reportado en el informe de Albemarle (2019). Aun cuando en ese informe los análisis son realizados a un área mucho mayor y correspondiente al sector sur del Salar de Atacama, se realiza un análisis con foco en el sector de Tilopozo, y en específico, para la especie hidrófila estricta que caracteriza al sector vega, correspondiente a *Schoenoplectus*. Así, de los resultados se observa:

- El análisis histórico de imágenes Landsat mostró que el sistema actualmente cuenta con valores de áreas fotosintéticamente activas similares a los históricos, por lo que cualquier variación anterior que se haya presentado como parte de la variabilidad del sistema, se encuentra revertida actualmente.
- El análisis del NDVI con imágenes de alta resolución, realizado sobre un área mayor a la acá analizada y que se encuentra incluida en la primera, mostrarían que “existiría una mantención general de las superficies de vegetación activa, dentro del rango de



*los registros históricos de línea de base (de Albemarle) en los sectores de estudio en que se encuentran”.*

Otro estudio anterior desarrollado en el área corresponde al del monitoreo de las condiciones hídricas desarrollado por Minera Escondida para el verano 2018 (CEA, 2019). Aun cuando este estudio se realice para un área mucho mayor, e incluyéndose en el análisis una gran porción de vegetación zonal, es posible desprender que:

- La última temporada monitoreada (2018) mostró un aumento del áreas con vegetación fotosintéticamente activa.
- Las mayores variaciones de las superficies con vegetación fotosintéticamente activa se dan para formaciones con vegetación terrestre muy rala y rala. Donde ambos tipos son asociados a vegetación de tipo zonal.
- Las formaciones que más fuertemente se relacionan a especies de tipo vegetación azonal, dada por las hidrófilas estrictas y de transición, muestran leves descensos en la última temporada monitoreada, pero siempre manteniéndose en niveles por sobre el promedio histórico.

Con lo anterior, es posible inferir que el sistema no presenta grandes cambios de la superficie en el tiempo, y en particular, la vegetación con características de hidrófila estricta que componen el *core* de las vegas presentes en Tilopozo, muestra pequeños cambios e incluso aumentos de las áreas y su vigor. Así, los resultados obtenidos como parte de los análisis de este estudio se encuentran acordes a los resultados reportados en estudios previos y de años recientes, para el área.

#### 4.5 Análisis de Flora y vegetación como indicador de áreas con cambio

Con relación a la cobertura, los transectos 1, 2 y 5 presentan una tendencia al aumento de este parámetro en el tiempo, con tasas de crecimiento entre 0,17% y 1,74%. Por su parte, el transecto 2 presenta una tendencia negativa pero muy cercana a 0, presentando una variación temporal de 0,0096%, mientras que el transecto 3 también presenta una tendencia negativa, con un valor de 0,14%, no obstante lo anterior, y considerando el promedio de los cinco transectos evaluados, se puede establecer que en términos de cobertura no ha existido una variación significativa en el tiempo (Figura 4.13).

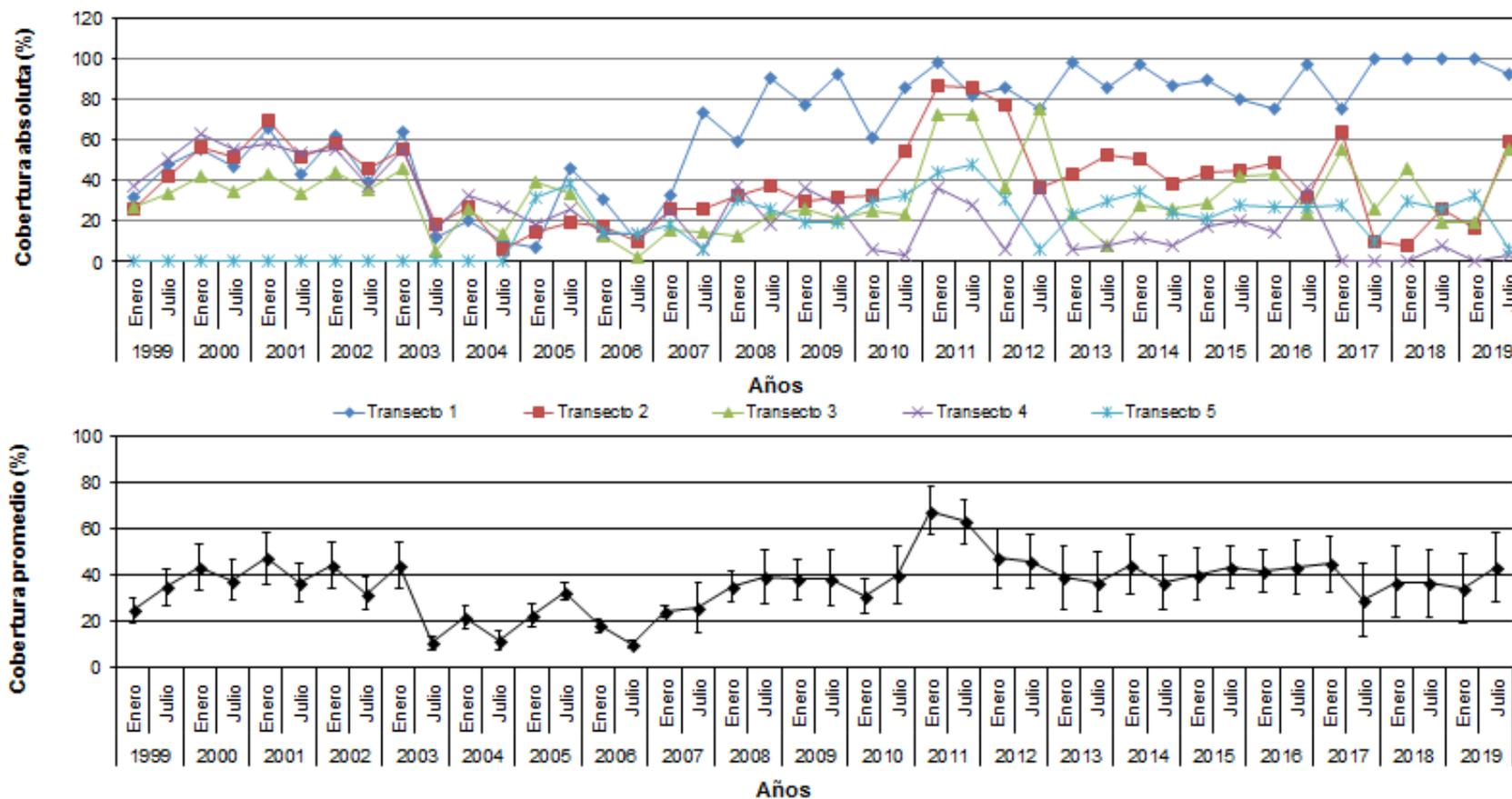


Figura 4.13 Cobertura absoluta (arriba) y promedio (abajo) de plantas terrestres en cinco transectos históricos de muestreo entre enero 1999 y julio 2019. Sector Vegas de Tilopozo, Salar de Atacama



#### 4.6 Evolución histórica componente Fauna terrestre Monitoreos 1995-2019

Durante todo el período de monitoreo, correspondiente a 24 años de estudio (desde julio de 1995 a octubre de 2019), en el sector de Tilopozo se han registrado 37 especies de vertebrados terrestres en total, con 2 especies de reptiles, 32 de aves y 3 mamíferos: uno de ellos es una especie introducida, el burro feral. No se han registrado anfibios (Tabla 4.7).

De estas especies, 8 (21,62%) se encuentran en alguna categoría de conservación, 2 especies consideradas Vulnerable (tuco-tuco de Atacama y la lagartija de Paulina), cinco en categoría de Preocupación Menor (gaviota andina, halcón peregrino, lagartija de Constanza y zorro culpeo) y una especie como Insuficientemente Conocida (aguilucho de la Puna) (Tabla 4.7). Por otra parte, considerando los criterios de protección, 31 especies (83,78 %) se encuentran en alguna categoría, con 1 especie catalogada como benéficas para la mantención del equilibrio ecosistémico (E), 9 especies beneficiosas para la actividad silvoagropecuaria (B) y 4 especies catalogadas con densidades poblacionales reducidas (S) y 23 especies con dos o más categorías. El detalle de estas especies se muestra en la Tabla 4.7.

En relación con el origen, 35 especies son nativas y 1 es endémicas de Chile (lagartija de Paulina), registrándose sólo 1 especie introducida (burro feral) (Tabla 4.2).

Tabla 4.2 Listado sistemático de las especies de vertebrados terrestres registrados en el sector sur de Salar de Atacama, sector Tilopozo, desde julio de 1995 a octubre de 2019.

Clase	Nombre Científico	Nombre común	Origen	Criterio de protección	Estado de Conservación		
					Libro Rojo	UICN	RCE
Aves	<i>Geranoaetus melanoleucus</i>	Águila	Nativo	B,E	-	LC	-
Aves	<i>Buteo polyosoma</i>	Aguilucho	Nativo	B,E	-	LC	-
Aves	<i>Buteo poecilochrous</i>	Aguilucho de la puna	Nativo	B,E	IC	LC	IC
Aves	<i>Anthus correndera</i>	Bailarín chico	Nativo	B,E	-	-	-
Aves	<i>Asthenes modesta</i>	Canastero chico	Nativo	B	-	LC	-
Aves	<i>Phalcoboenus megalopterus</i>	Carancho cordillerano	Nativo	B,E	-	LC	-
Aves	<i>Falco sparverius</i>	Cernícalo	Nativo	B,E	-	-	-
Aves	<i>Sicalis sp.</i>	Chirihue sp.					
Aves	<i>Sicalis olivascens</i>	Chirihue verdoso	Nativo	S	-	LC	-
Aves	<i>Cinclodes fuscus</i>	Churrete acanelado	Nativo	B	-	LC	-
Aves	<i>Cinclodes atacamensis</i>	Churrete alas blancas	Nativo	B	-	LC	-



Clase	Nombre Científico	Nombre común	Origen	Criterio de protección	Estado de Conservación		
					Libro Rojo	UICN	RCE
Aves	<i>Lessonia rufa</i>	Colegial	Nativo	B,E	-	LC	-
Aves	<i>Muscisaxicola sp.</i>	Dormilona	Nativo	--			-
Aves	<i>Muscisaxicola cinereus</i>	Dormilona cenicienta	Nativo	B,E	-	LC	-
Aves	<i>Muscisaxicola flavinucha</i>	Dormilona fraile	Nativo	B,E	-	LC	-
Aves	<i>Egretta thula</i>	Garza chica	Nativo	B	-	LC	-
Aves	<i>Bubulcus ibis</i>	Garza boyera	Nativo	B	-	LC	-
Aves	<i>Chroicocephalus serranus</i>	Gaviota andina	Nativo	S	R	LC	LC
Aves	<i>Pygochelidon sp.</i>	Golondrina	Nativo				
Aves	<i>Hirundo rustica</i>	Golondrina bermeja	Nativo	B,S,E	-	LC	-
Aves	<i>Falco femoralis</i>	Halcón perdiguero	Nativo	B,E	-	LC	
Aves	<i>Falco peregrinus</i>	Halcón peregrino	Nativo	B,S,E	-	-	LC
Aves	<i>Agriornis montana</i>	Mero gaucho	Nativo	B,E	-	LC	-
Aves	<i>Geositta cunicularia</i>	Minero	Nativo	B	-	LC	-
Aves	<i>Geositta punensis</i>	Minero de la Puna	Nativo	B	-	LC	-
Aves	<i>Calidris bairdii</i>	Playero de Baird	Nativo	B	-	LC	-
Aves	<i>Mimus triurus</i>	Tenca de alas blancas	Nativo	B,S	-	-	-
Aves	<i>Leptasthenura aegithaloides</i>	Tijeral	Nativo	B	-	LC	-
Aves	<i>Metriopelia aymara</i>	Tortolita de la puna	Nativo	S	-	LC	-
Aves	<i>Circus cinereus</i>	Vari	Nativo	B,E	-	-	
Mamíferos	<i>Equus asinus</i>	Burro	Introducido	--	-	-	-
Mamíferos	<i>Ctenomys fulvus</i>	Tuco-tuco de Atacama	Nativo	S	VU	LC	VU
Mamíferos	<i>Lycalopex culpaeus</i>	Zorro culpeo	Nativo	E	IC	LC	LC
Reptiles	<i>Liolaemus constanzae</i>	Lagartija de Constanza	Nativo	S,E	R	LC	LC
Reptiles	<i>Liolaemus paulinae</i>	Lagartija de Paulina	Endémico	S,E	R	CR	VU

Abreviaturas de estados de conservación y de los criterios de protección: CR = En peligro crítico; EN = En peligro; IC = Insuficientemente conocida; LC = Preocupación menor; NT = Casi amenazada; R = Rara; VU = Vulnerable; S = Especie catalogada con densidades poblacionales reducidas; E = especie catalogada como benéfica para la mantención del equilibrio de los ecosistemas naturales; B = especie catalogada como beneficiosa para la actividad silvoagropecuaria.

Se realizó un análisis del comportamiento de la abundancia y riqueza de aves, por ser la clase más abundante. Los valores de abundancia de aves durante el período de monitoreo fluctuaron entre 0 y 41 individuos; los mínimos se han registrado en numerosas campañas a lo largo del seguimiento, mientras que el máximo de 41 fue registrado en la campaña de



verano de 1999 (Figura 4.14). El análisis de regresión indica que no hay una tendencia estadísticamente significativa al aumento o disminución de la abundancia de aves a lo largo del tiempo, en el sector ( $F = 1,135$ ; g.l. = 1,76;  $p = 0,208$ ).

Con respecto a la riqueza de aves, en general, ha sido baja durante todo el monitoreo, con rangos entre 0 especies en varias campañas y un máximo de 5 especies en las campañas de primera 1998 y primavera 1999 (Figura 4.23). El análisis de regresión indica que hay una tendencia significativa a la disminución de la riqueza de aves a lo largo del tiempo en el sector Tilopozo ( $F = 5,586$ ; g.l. = 1,76;  $p = 0,020$ ). Al observar la pendiente de la recta asociada a esta regresión, se observa que esta disminución es suave a través del tiempo ( $y = -0,7354x + 140,07$ ).

En relación con los reptiles, han sido avistadas 2 especies durante el período de monitoreo, la lagartija de Constanza (*Liolaemus constanzae*) y la lagartija de Paulina (*Liolaemus paulinae*). Con respecto a *Liolaemus constanzae* ha sido registrada de forma regular durante todo el período de monitoreo; el mínimo histórico corresponde a 1 individuo registrado en numerosas campañas, mientras que el máximo histórico fue de 8 individuos registrado en la campaña de verano de 2012. Por otra parte, *Liolaemus paulinae* se registró por última vez en Tilopozo en verano del año 2007; en el período donde hubo registros (1997-2007), se observaron valores de abundancia que fluctuaron entre 1 y 6 individuos, éste último valor registrado en la campaña de verano de 2006.

En relación a los mamíferos, solo han sido registradas tres especies: tuco tuco de atacama (*Ctenomys fulvus*), zorro culpeo (*Lycalopex culpaeus*) con avistamientos puntuales en el periodo y burro feral (*Equus asinus*) que corresponde a una especie introducida; con respecto a lo anterior, se realiza un análisis sólo de *Ctenomys fulvus*, al ser la especie más abundante, la que se ha registrado mediante el conteo de cuevas activas. En relación con los resultados del conteo de las cuevas activas de *Ctenomys fulvus* y densidad relativa en el sector de Tilopozo, los registros indican valores fluctuantes a lo largo del período de monitoreo. Los mayores valores observados se obtuvieron durante los meses de enero y julio de 2008, julio de 2009 y abril de 2011, con 284, 238, 224 y 215 cuevas con actividad (respectivamente), siendo el máximo de 284 cuevas en la campaña de verano de 2008, mientras que el valor mínimo fue 10, registrado en otoño del 2001 (Figura 4.15). El análisis de regresión indica que no hay cambios significativos en la abundancia de cuevas activas de *C. fulvus* a lo largos del periodo registrado ( $F = 0,183$ ; g.l. = 1,75;  $p = 0,66$ )

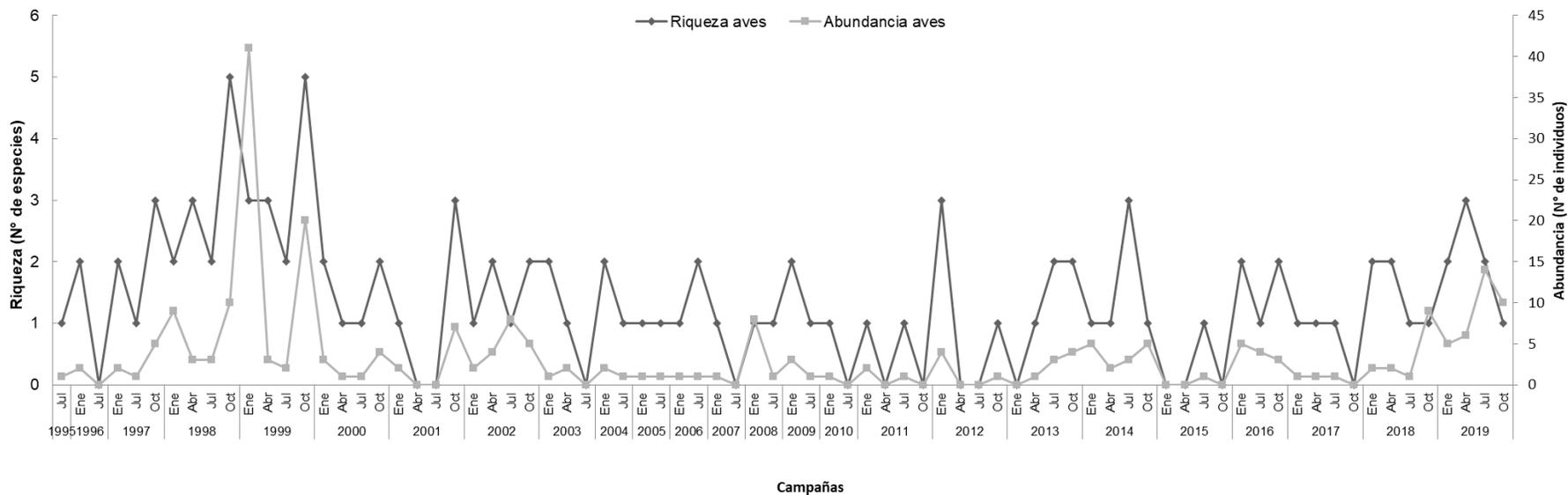


Figura 4.14 Riqueza (número de especies) y abundancia (número de individuos) de aves observadas en las vegas de Tilopozo desde julio de 1995 hasta octubre de 2019.





## 5 CONCLUSIONES

De los análisis realizados se puede desprender que la vegetación no ha presentado cambios significativos en el área con actividad fotosintética (área con presencia de vegetación) desde el año 1986, correspondiente al año de inicio del análisis histórico. La inexistencia de cambios significativos además es reforzada con el resultado de las mediciones de cobertura en transectos, y desde el inicio del seguimiento (1999), mediciones que muestran que se cuenta con coberturas promedio similares entre el inicio y los últimos años del seguimiento.

Así, el resultado muestra períodos en los cuales sí se contó con variaciones, pero las que fueron recuperadas de manera interanual o en periodos de algunos años, lo que es indicativo de un sistema dinámico. El comportamiento histórico de la vegetación hidrófila del sector de Tilopozo, presenta un aumento en el tiempo de aquellas unidades referidas a sectores con vigorosidad mayor ( $NDVI > 0,5$ ), y las que se mantienen estables desde el periodo 1985 hasta aproximadamente el año 2010, y para luego contar con una secuencia de imágenes en las que es posible identificar el aumento de la superficie hasta el año 2020. Las áreas de vigorosidad media ( $0,5 \geq NDVI > 0,3$ ) muestran mayor variabilidad, pero siempre registrando de forma periódica, valores similares para los valores más grandes. En cuanto al área de menor vigorosidad, ella varía en relación con los otros dos rangos, teniéndose un intercambio de áreas con el rango de vigorosidad media y limitado por arriba por el área total con actividad fotosintética, que es cercano a las 90 ha.

Complementariamente, se debe señalar que las formaciones de mayor vigorosidad ( $NDVI > 0,5$ ) son aquellas formaciones que presentan dependencia directa de los niveles freáticos superficiales (especies hidrófilas), y las cuales han mantenido, e incluso aumentado levemente sus áreas, lo cual indica que esta variable no ha sido modificada en el tiempo.

En cuanto a otros estudios de referencia que existen en el sector (Albemarle, 2019 y CEA, 2019), aun cuando ellos se enfoquen en áreas muy superiores y pueden incluir parte de la vegetación de características zonales (p.ej. en márgenes fuera del salar), se tiene que los resultados acá presentados son similares a los obtenidos en ellos. Así, el análisis del periodo más reciente muestra que el sector analizado no se encuentra con una condición disminuida, en términos de la extensión del área con vegetación fotosintéticamente activa, por lo que no existió una afectación previa del sistema o el sistema cuenta con una alta capacidad de regenerarse. En cualquiera de los dos casos, el sistema no mostraría (actualmente) signos de una condición disminuida o empeorada respecto a su condición media histórica.

En relación con la fauna, los valores tanto de riqueza como abundancia han sido bajos en general durante todo el período de monitoreo para las cuatro clases de estudio (aves,



mamíferos, anfibios y reptiles), con excepciones ocurridas el año 1998/1999, lo cual podría estar atribuido a condiciones de hábitat desfavorables presentes en este sector.

En relación a las aves, los valores de riqueza no han presentado variaciones en el tiempo, pero sí la abundancia, lo que puede estar relacionado con las variaciones propias de las especies, situación que podría estar relacionada con condiciones de hábitat desfavorables debido a factores a macro escala, como la disminución en las precipitaciones debido al cambio climático ya que la oferta hídrica de recursos en el Salar de Atacama ha disminuido desde el año 2010 (DGA, 2013).

Por otra parte los mamíferos se han presentado en baja riqueza y abundancia, durante todo período de monitoreo, sólo se han avistado escasamente algunos zorros, y burros ferales, lo que también podría deberse a la escasez de alimento, y refugio, considerando que en estas zonas existe una baja eficiencia de utilización de plantas que se desarrollan en el lugar por parte de los herbívoros, dado que la mayor parte de la biomasa de plantas es removida por erosión física y/o por detritívoros, la riqueza de especies es baja y está correlacionada con las precipitaciones (Marquet *et al* 1998). El tuco-tuco de atacama destaca por su permanencia en el sector, observándose su presencia de manera constante a lo largo del período histórico, con algunas variaciones específicas que podrían estar relacionadas con el efecto de las lluvias, como es el caso del llamado invierno altiplánico, que pueden llegar a destruir las cuevas de las colonias.

En síntesis, los valores bajos de riqueza y abundancia corresponden a las características propias del sector y no se observa un cambio negativo en la riqueza y composición de especies para los cuatro grupos; si bien en la abundancia de aves se observa una tendencia a la disminución, ésta es suave en el tiempo y puede responder a múltiples factores.



## 6 REFERENCIAS

Albemarle, 2019. Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA N°21/2016), Informe Anual N°3, Volumen 2”

Araya B, M. Bernal, R. Schlatter & M. Sallaberry. 1995. Lista patrón de las aves de Chile. Tercera Edición. Ed. Universitaria, Santiago.

Araya B. & G. Millie. 1996. Guía de campo de las aves de Chile. Ed. Universitaria, Santiago.

Araya B. & M. Bernal. 1995. Aves. En: Simonetti JA, MTK Arroyo, AE Spotorno & E Lozada (eds). Diversidad Biológica de Chile. CONICYT, Santiago, Chile. 350-360.

Barati, Susan & Rayegani, Behzad & Saati, Mehdi & Sharifi, Alireza & Nasri, Masoud. (2011). Comparison the accuracies of different spectral indices for estimation of vegetation cover fraction in sparse vegetated areas. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science. 14. 49-56. 10.1016/j.ejrs.2011.06.001.

BRIZUELA, ARMANDO; AGUIRRE, CESAR; VELASCO, INÉS (2009). “Aplicación de métodos de corrección atmosférica de datos Landsat 5 para análisis multitemporal. Buenos Aires, Argentina.”

Campos H. 1986. Mamíferos terrestres de Chile. Marisa Cuneo Ediciones, Corporación Nacional Forestal, Santiago.

Campos H. 1996. Mamíferos terrestres de Chile. Marisa Cuneo Ediciones, Corporación Nacional Forestal, Santiago.

CEA Ltda. 1994. Línea de Base Ambiental del sector sur del Salar de Atacama.

CEA. 2019. Monitoreo de las Condiciones Hídricas del Sector Sur del Salar de Atacama, Vegas de Tilopozo y Lagunas La Punta y La Brava, Informe de Verano año 2018.

Cei J.M. 1962. Batracios de Chile. Ediciones de la Universidad de Chile, Santiago.

Cody M. 1970. Chilean bird distribution. Ecology 51 (3): 455-464.

Contreras L.C & J.L Yáñez. 1995. Mamíferos. En: Simonetti JA, MTK Arroyo, AE Spotorno & E Lozada (eds). Diversidad Biológica de Chile. CONICYT, Santiago, Chile. 336-349.

Contreras L.C. 2000. Biogeografía de Mamíferos Terrestres de Chile, en: Muñoz-Pedreros & Yáñez (eds.) Mamíferos de Chile. CEA Ediciones, Valdivia: 241-249.

Couve, E., Vidal, C. & Ruiz, J. 2016. Aves de Chile, Sus Islas Oceánicas y Península Antártica. Una guía de campo ilustrada. FS Editorial. Santiago, Chile. 550 p.



D.P. Roy, V. Kovalsky, H.K. Zhang, E.F. Vermote, L. Yan, S.S. Kumar, A. Egorov, Characterization of Landsat-7 to Landsat-8 reflective wavelength and normalized difference vegetation index continuity, *Remote Sensing of Environment*, Volume 185, 2016, Pages 57-70, ISSN 0034-4257.

De la Peña M.R. & M. Rumboll. 1998. *Birds of Southern South America and Antarctica*. Collins illustrated checklist. HarperCollins Publishers, London. 304 pp.

DGA 2013. Dirección General de Aguas. Análisis de la oferta hídrica del Salar de Atacama. Informe técnico División de Estudios y Planificación. 40 pp. Santiago Chile.

Díaz N & J Valencia 1985. Microhabitat utilization by two leptodactylid frogs in the Andes of central Chile. *Oecología* 66: 353-357.

Donoso-Barros R. 1966. *Reptiles de Chile*. Ediciones de la Universidad de Chile, Santiago.

Donoso-Barros R. 1970. Catálogo Herpetológico Chileno. *Boletín Museo Nacional de Historia Natural, Chile* 31: 50-124

Egli G. 1998. *Voces de la Fauna Chilena*. (Compact Disc).

Egli G. 2002. *Voces de aves chilenas* (Compact Disc).

Formas J.R. 1995. Anfibios. En: Simonetti JA, MTK Arroyo, AE Spotorno & E Lozada (eds). *Diversidad Biológica de Chile*. CONICYT, Santiago, Chile. 314-325.

Iriarte A. 2008. *Mamíferos de Chile*. Lynx Ediciones, Barcelona.

Iriarte A., N Lagos & R Villalobos. 2011. *Mamíferos de la Región de Antofagasta*. Ediciones Flora & Fauna Chile. 332 pp.

Glade A .1993. *Libro Rojo de los Vertebrados Terrestres de Chile*. Corporación Nacional Forestal. Santiago.

Jacsik, F.M .1997. *Ecología de los vertebrados de Chile*. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile. 262 pp.

Jaramillo A. 2005. *Aves de Chile*. Lynx Ediciones, Barcelona, 240 pp.

Johnson A.W. & J.D. Goodall. 1965. *The Birds of Chile and Adjacent Regions of Argentina, Bolivia, and Perú*. Platt eds., Buenos Aires, Argentina.

Johnson A.W. & J.D. Goodall. 1965. *The Birds of Chile and Adjacent Regions of Argentina, Bolivia, and Perú*. Platt eds., Buenos Aires, Argentina.

Lazo, I. & E. Silva. 1993. Diagnóstico de la ornitología en Chile y recopilación de la literatura científica publicada desde 1970 a 1992. *Revista Chilena de Historia Natural* 66: 103-118.



- Mann G. 1978. Los Pequeños Mamíferos de Chile. Gayana, Zoología 40. Universidad de Concepción.
- Martínez D. & G. González. 2005. Las aves de Chile. Nueva Guía de campo. Ediciones del Naturalista, Santiago. 620. pp.
- Martínez, D. & G. González. 2017. Las Aves de Chile: Guía de Campo y breve historia natural. Ediciones del Naturalista. Santiago, Chile. 539 pp.
- Mella J. & A. Peñaloza. 2005. Flora y Fauna en El Abra. SC Minera El Abra. 158 pp.
- Mella J. & A. Peñaloza. 2005. Flora y Fauna en El Abra. SC Minera El Abra. 158 pp.
- Mella J. 2007. Reptiles en el Monumento Natural El Morado (Región Metropolitana): abundancia relativa, distribución altitudinal y preferencia por rocas de distinto tamaño. Gayana, 71 (1): 16-26.
- Mella J. 2005b. Cambios estacionales en la avifauna del Monumento Natural El Morado, cordillera de Santiago. Boletín chileno de Ornitología 11: 2-10.
- Mella J. 2005b. Cambios estacionales en la avifauna del Monumento Natural El Morado, cordillera de Santiago. Boletín chileno de Ornitología 11: 2-10.
- Miller S.D. & J. Rottmann. 1976. Guía de reconocimiento de mamíferos chilenos. Editorial Gabriela Mistral, Santiago.
- Muñoz M, H Nuñez & J Yáñez (eds. 1996) Libro Rojo de los sitios prioritarios para la conservación de la Diversidad Biológica de Chile. Corporación Nacional Forestal, Santiago.
- Muñoz-Pedrerros A. & J. Yáñez (Eds.). 2000. Mamíferos de Chile. CEA Ediciones, Valdivia. 464 pp.
- Núñez H. & F. Jaksic. 1992. Lista comentada de los reptiles terrestres de Chile continental. Boletín Museo Nacional de Historia Natural 43: 63-91.
- Osgood W.H. 1943. The Mammals of Chile. Field Museum of Natural History, Zoological series 30: 1-268.
- Pearman M. 1995. The Essential Guide to Birding in Chile. Worldwide Publications, England. 95 pp.
- Pincheira-Donoso D. & H. Núñez. 2005. Las especies chilenas del género *Liolaemus* Wiegmann, 1834 (Iguania: Tropicuridae: Liolaeminae). Taxonomía, Sistemática y Evolución. Publicación Ocasional del Museo Nacional de Historia Natural, Chile Nº 59: 7-486.
- Ramírez G. & D. Pincheira-Donoso. 2005. Fauna del altiplano y desierto de Atacama. Vertebrados de la Provincia de El Loa. Phrynosaura Ediciones. Calama. 392 pp.
- Redford K.H. & J.F. Eisenberg. 1992. Mammals of the Neotropics. Volume 2: The Southern Cone. Chile, Argentina, Uruguay And Paraguay. University of Chicago Press, Chicago. 430 pp.



Reise D. & W. Venegas. 1987. Catálogo de registros, localidades y biotopos del trabajo de investigación acerca de los pequeños mamíferos de Chile y Argentina. *Gayana, Zoología* 51:103-130.

Rottmann J. 1995. Guía de Identificación de Aves de Ambientes Acuáticos. Unión de Ornitólogos de Chile. 80 pp.

Tamayo M. & D. Frassinetti. 1980. Catálogo de los mamíferos fósiles y vivientes de Chile. *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural* 37: 323-399.

Torres-Mura J.C. 1994. Fauna terrestre de Chile. En *Perfil Ambiental de Chile*. Comisión Nacional del Medio Ambiente, Santiago.

Veloso A. & J. Navarro. 1988. Lista sistemática y distribución geográfica de anfibios y reptiles de Chile. *Bolletino del Museo Regionale di Scienze Naturali* 6: 481-539.

Veloso A. J.C. Ortiz, J. Navarro, H. Núñez, P. Espejo & M.A. Labra. 1995. Reptiles, en: Simonetti JA, MTK Arroyo, A Spotorno & E Lozada (eds). *Diversidad Biológica de Chile*. CONICYT, Santiago, Chile: 326 - 335.

Villavicencio, John (sin fecha). Introducción a series de tiempo. Link: [http://www.estadisticas.gobierno.pr/iepr/LinkClick.aspx?fileticket=4\\_BxecUaZmg%3D](http://www.estadisticas.gobierno.pr/iepr/LinkClick.aspx?fileticket=4_BxecUaZmg%3D)

Wilson D.E. & D.M. Reeder (Eds.). 1993. *Mammal Species of the World: Taxonomic and Geographic Reference*. Smithsonian Institution Press, Washington D.C.

Wilson, N.R., Norman, L.M., Villarreal, M.L., Gass, L., Tiller, R., & Salywon, A.M. (2016). Comparison of remote sensing indices for monitoring of desert cienegas. *Arid Land Research and Management*, 30, 460 – 47