

**INCORPORA AL EXPEDIENTE DOCUMENTO QUE
INDICA Y OTORGA TRASLADO**

RES. EX. N° 33 / ROL D-095-2017

Santiago, 8 de agosto de 2022

VISTOS:

Conforme con lo dispuesto en el artículo segundo de la Ley N° 20.417, que establece la Ley Orgánica de la Superintendencia del Medio Ambiente (en adelante, "LOSMA"); en la Ley N° 19.880, que establece las Bases de los Procedimientos Administrativos que rigen los Actos de los Órganos de la Administración del Estado; en la Ley N° 19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente; en el Decreto Supremo N° 30, de 20 de agosto de 2012, del Ministerio del Medio Ambiente, que Aprueba Reglamento sobre Programas de Cumplimiento, Autodenuncia y Planes de Reparación (en adelante e indistintamente, "el Reglamento" o "D.S. N° 30/2012"); en el Decreto con Fuerza de Ley N° 3, de 13 de mayo de 2010, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que Fija la Planta de la Superintendencia del Medio Ambiente; en la Resolución Exenta N° 2.124, de 30 de septiembre de 2021, de la Superintendencia del Medio Ambiente, que Fija la Organización Interna de la Superintendencia del Medio Ambiente; en la Resolución Exenta RA 119123/129/2019, de 6 de septiembre de 2019, de la Superintendencia del Medio Ambiente, que designa el cargo de Fiscal de la Superintendencia del Medio Ambiente; en la Resolución Exenta N° 658, de 2 de mayo de 2022, de la Superintendencia del Medio Ambiente, que Establece Orden de Subrogancia para el Cargo de Fiscal de la Superintendencia del Medio Ambiente; en la Resolución Exenta N° 549, de 31 de marzo de 2020, de la Superintendencia del Medio Ambiente, que Renueva Reglas de Funcionamiento Especial de Oficina de Partes y Oficina de Transparencia y Participación Ciudadana de la SMA (en adelante, "Res. Ex. N° 549/2020"); y en la Resolución N° 7, de 26 de marzo de 2019, de la Contraloría General de la República, que Fija Normas Sobre Exención del Trámite de Toma de Razón.

CONSIDERANDO:

1° Que, mediante la Resolución Exenta N° 1 / Rol D-095-2017, de fecha 26 de diciembre de 2017, se formularon cargos en contra de Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi S.C.M. (en adelante e indistintamente, "la Empresa" o "CMDIC"), cuyo Estudio de Impacto Ambiental (en adelante, "EIA") fue calificado favorablemente mediante Resolución Exenta N° 713/2199, de 27 de diciembre de 1995, de la Comisión Regional del Medio Ambiental de la Región de Tarapacá (en adelante, "COREMA Tarapacá"), siendo modificado posteriormente mediante sucesivos proyectos, también calificados favorablemente, entre los cuales se encuentran el EIA "Expansión 110 KTPD Planta Concentradora Collahuasi", calificado favorablemente mediante Resolución Exenta N° 167/2001, de la COREMA Tarapacá (en adelante, "RCA N° 167/2001"); la DIA Proyecto Optimización Collahuasi, calificada favorablemente mediante Resolución Exenta N° 100/2003 de la COREMA Tarapacá (en adelante "RCA N° 100/2003"); la Declaración de Impacto Ambiental (en adelante, "DIA") "Modificaciones al Proceso de Recuperación de Cu desde Minerales Lixiviables", calificada favorablemente mediante Resolución Exenta N° 5/2005, de la COREMA Tarapacá (en adelante "RCA N° 5/2005"); la DIA "Proyecto

Explotación Rajo Huinquentipa Este”, calificada favorablemente mediante Resolución Exenta N° 116/2005, de la COREMA Tarapacá (en adelante, “RCA N° 116/2005”); la DIA “Proyecto Traslado Puntos de Captación de Aguas Subterráneas en Cuenca Coposa”, calificada favorablemente mediante Resolución Exenta N° 144/2006, de la COREMA Tarapacá (en adelante “RCA N° 144/2006”); la DIA “Proyecto Explotación Rosario Sur I y II”, calificada favorablemente mediante Resolución Exenta N° 58/2011 de la Comisión de Evaluación Ambiental de la Región de Tarapacá (en adelante “RCA N° 58/2011”); la DIA “Proyecto Continuidad Relaves Convencionales, Depósito Pampa Pabellón”, calificada favorablemente mediante Resolución Exenta N° 106/2014 de la Comisión de Evaluación Ambiental de la Región de Tarapacá; y la DIA “Proyecto Aumento Capacidad Pad 1” calificada favorablemente mediante Resolución Exenta N° 61/2015, de la Comisión de Evaluación Ambiental de la Región de Tarapacá (en adelante “RCA N° 61/2015”).

2° Que, con fecha 29 de enero de 2018, la Empresa presentó un programa de cumplimiento (en adelante “PdC”), el cual fue aprobado el 16 de mayo de 2019, mediante Resolución Exenta N° 12 / Rol D-095-2017, tras una serie de observaciones a las propuestas realizadas.

3° Que, con fecha 30 de diciembre de 2019, mediante sentencia dictada en la causa Rol R-25-2019, el Primer Tribunal Ambiental de Antofagasta (en adelante, “el Tribunal”) acogió un recurso de reclamación interpuesto por la Asociación Indígena Aymara Salar de Coposa (en adelante “AIASC” o “la Asociación”), en contra de la Resolución Exenta N° 12 / Rol D-095-2017, dejando sin efecto la referida resolución.

4° Que, mediante Resolución Exenta N° 13 / Rol D-095-2017, de 23 de junio de 2020, esta Superintendencia dio cumplimiento a lo ordenado por el Tribunal, retrotrayendo el procedimiento sancionatorio al estado de formulación de observaciones al PdC. Lo anterior, con el fin de realizar nuevas observaciones y solicitar la presentación de un PdC refundido que se hiciera cargo de los defectos constatados en la sentencia.

5° Que, con fecha 24 de julio de 2020, encontrándose dentro del plazo otorgado para ello, CMDIC presentó un PdC refundido con sus respectivos anexos, solicitando reserva de parte de los documentos acompañados.

6° Que, con fecha 30 de diciembre de 2021, tras dar curso a una serie de gestiones, esta Superintendencia realizó observaciones al PdC refundido presentado por CMDIC mediante Resolución Exenta N° 26 / Rol D-095-2017, otorgando un plazo para la incorporación de las referidas observaciones en un PdC refundido.

7° Que, entre otros, en la referida resolución, se solicitó subsanar una serie de deficiencias metodológicas constatadas en los documentos “Informe de Experto Análisis de Superficie Lagunar Salar de Coposa”, e “Informe Experto Componentes flora y vegetación terrestre, vertiente Jachucoposa y Coposito, Salar de Coposa”, ambos elaborados por la empresa consultora Centro de Ecología Aplicada (en adelante “CEA”), y presentados en relación al Cargo N° 8 (Anexo 8.1.2.2 y 8.1.2.5) y al Cargo N° 9 (Anexo 9.1.2.7 y 9.1.2.10).

8° Que, con fecha 4 de marzo de 2022, CMDIC acompañó las actualizaciones de los documentos “Informe de Experto Análisis de Superficie Lagunar Salar de Coposa” e “Informe Experto Componentes flora y vegetación terrestre”.

Asimismo, se actualizaron las minutas de análisis y estimación de efectos de los Cargos N° 8 y 9 en las secciones pertinentes.

9° Que, como parte del análisis del PdC refundido presentado por CMDIC, se solicitó al Equipo de Geoinformación de la División de Seguimiento e Información Ambiental de esta Superintendencia (en adelante, "DSI"), la realización de un análisis crítico respecto de los documentos referidos en el considerando precedente.

10° Que, a partir del referido análisis, se pudo constatar la existencia de nuevos problemas metodológicos, susceptibles de afectar los resultados presentados en los referidos informes presentados por CMDIC. En este contexto, el Equipo de DSI realizó sus propios análisis exploratorios en materia de superficies lagunares y coberturas vegetacionales, con el objeto de contrastar los resultados obtenidos con aquellos presentados en los informes elaborados por el CEA.

11° Que, el análisis crítico de los informes presentados por CMDIC y el análisis exploratorio realizado por DSI se detallan en el documento "Análisis Crítico y Exploratorio Collahuasi UF Faena Minera Collahuasi", el cual se incorporará al expediente del procedimiento. Asimismo, se otorgará un plazo para que CMDIC y los demás interesados aduzcan lo que estimen pertinente, a fin de dar debido cumplimiento al principio de contradictoriedad establecido en el artículo 10 de la Ley N° 19.880, junto con los derechos señalados en el artículo 17 de la misma ley.

12° Que, el documento "Análisis Crítico y Exploratorio Collahuasi UF Faena Minera Collahuasi", elaborado por el Equipo de Geoinformación de la DSI de esta Superintendencia se encuentra disponible para su revisión en el Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental (SNIFA), en el expediente público del procedimiento sancionatorio Rol D-095-2017: <https://snifa.sma.gob.cl/Sancionatorio/Ficha/1659>.

RESUELVO:

I. **TENER POR INCORPORADO** al expediente del presente procedimiento administrativo el documento "Análisis Crítico y Exploratorio Collahuasi UF Faena Minera Collahuasi", elaborado por el Equipo de Geoinformación, de la División de Seguimiento e Información Ambiental de la Superintendencia del Medio Ambiente, otorgando un plazo de **5 días hábiles** a Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi S.C.M., así como a los demás interesados en el procedimiento, para aducir lo que estimen pertinente en relación con el contenido del referido documento.

II. **NOTIFICAR POR CARTA CERTIFICADA, o por otro de los medios que establece el artículo 46 de la ley N° 19.880**, en los domicilios que se señalan al final de esta resolución, a Cecilia Urbina Benavides, apoderada de Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi S.C.M.; Susana Valdés López; Cristal Tapia O.; Alberto Olivares Arancibia, representante legal del Sindicato de Trabajadores Independientes de Buzos a Pulmón Costeros de Caleta Caramucho-Iquique; Luis Liempir Riffo, representante legal del Sindicato de Trabajadores Independientes de Pescadores Buzos y Mariscadores, Recolectores de Orillas y Armadores Nueva Esperanza; Jorge Alberto Moya Riveros; Eugenio Valenzuela M.; y Daniel Alejandro Godoy Villalobos, representante legal de la Asociación Indígena Oasis Soberano.

Asimismo, **notificar por correo electrónico** a Wilson Challapa Choque, Presidente de la Asociación Indígena Aymara Salar de Coposa; y a Mauricio Hidalgo Hidalgo, Presidente de la Comunidad Indígena Quechua de Huatacondo.




Benjamín Muhr Altamirano
Fiscal (S)
Superintendencia del Medio Ambiente

RCF

Documentos adjuntos:

- "Análisis Crítico y Exploratorio Collahuasi UF Faena Minera Collahuasi", elaborado por el Equipo de Geoinformación, de la División de Seguimiento e Información Ambiental de la Superintendencia del Medio Ambiente.

Correo electrónico:

- Wilson Challapa Choque. Presidente de Asociación Indígena Aymara Salar de Coposa. Correo electrónico: [REDACTED]
- Mauricio Hidalgo Hidalgo, representante legal de la Comunidad Indígena Quechua de Huatacondo. Correo electrónico: [REDACTED]

Carta certificada:

- Cecilia Urbina Benavides, apoderada de Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi S.C.M., domiciliada en [REDACTED]
- Susana Valdés López, domiciliada en [REDACTED]
- Cristal Tapia O., domiciliada en [REDACTED]
- Alberto Olivares Arancibia, representante legal del Sindicato de Trabajadores Independientes de Buzos a Pulmón Costeros de Caleta Caramucho-Iquique, [REDACTED]
- Luis Liempir Riffo, representante legal del Sindicato de Trabajadores Independientes de Pescadores Buzos y Mariscadores, Recolectores de Orillas y Armadores Nueva Esperanza, [REDACTED]
- Jorge Alberto Moya Riveros, domiciliado en [REDACTED]
- Eugenio Valenzuela M., domiciliado en [REDACTED]
- Daniel Alejandro Godoy Villalobos, representante legal de la Asociación Indígena Oasis Soberano, domiciliado en [REDACTED]

C.C.:

- Valeska Muñoz, Jefa (S) de Oficina Regional de Tarapacá de la Superintendencia del Medio Ambiente.



ANÁLISIS CRÍTICO Y EXPLORATORIO COLLAHUASI UF "FAENA MINERA COLLAHUASI" (N° ID 415)

INFORME TÉCNICO **OFICINA DE INTELIGENCIA AMBIENTAL** **DIVISIÓN DE SEGUIMIENTO E INFORMACIÓN AMBIENTAL**

Equipo de Geoinformación

5 de agosto de 2022

1. INTRODUCCIÓN

Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi (en adelante "CMDIC" o "Collahuasi"), en el contexto del programa de cumplimiento presentado con fecha 24 de julio de 2020, en el marco del procedimiento sancionatorio D-095-2017, acompañó un análisis y estimación de los posibles efectos ambientales asociados a los Cargos N° 8 y N° 9. Parte de las conclusiones expuestas en dicho análisis se basan en los documentos "Informe de Experto de Análisis de Superficie Lagunar Salar de Coposa" e "Informe de Experto de Componentes flora y vegetación terrestre", ambos elaborados por la empresa consultora Centro de Ecología Aplicada (en adelante, "CEA"), sobre sistemas lagunares de la cuenca del Salar de Coposa en la Región de Tarapacá, los cuales hacen uso de herramientas de teledetección para su análisis. En la Res. Ex. N° 26 / Rol D-095-2017, del 30 de diciembre de 2021, son señaladas una serie de observaciones realizadas por la SMA en cuanto a los insumos satelitales, metodologías y análisis presentados sobre las superficies de agua y de vegetación.

A partir de las referidas observaciones, con fecha 4 de marzo de 2022, CMDIC presentó versiones actualizadas de los documentos "Informe de Experto de Análisis de Superficie Lagunar Salar de Coposa" (Apéndice 2 del documento "Análisis y Estimación de Posibles Efectos Ambientales Cargo N° 8" y Apéndice 7 del documento "Análisis y Estimación de Posibles Efectos Ambientales Cargo N° 9") e "Informe de Experto de Componentes flora y vegetación terrestre" (Apéndice 5 del documento "Análisis y Estimación de Posibles Efectos Ambientales Cargo N° 8" y Apéndice 10 del documento "Análisis y Estimación de Posibles Efectos Ambientales Cargo N° 9").

A continuación, se presenta un análisis crítico sobre los documentos presentados que incorporan las observaciones, en función de la evaluación de las respuestas a las observaciones realizadas por

el equipo de Geoinformación (Res. Ex. N° 26 / Rol D-095-2017). Junto a lo anterior, se incluyen análisis exploratorios propios para los componentes de sistemas de superficies lagunares y de vegetación del salar de Coposa, detallando sus respectivas metodologías, resultados y alcances.

2. SUPERFICIES LAGUNARES

A continuación, se presenta el análisis del documento “Informe de Experto de Análisis de Superficie Lagunar Salar de Coposa”, elaborado por CEA en respuesta a las observaciones realizadas por esta Superintendencia mediante Res. Ex. N° 26 / Rol D-095-2017 respecto de la versión anterior de dicho documento. Luego, se presenta el análisis realizado de forma autónoma por el Equipo de Geoinformación sobre el mismo tópico.

De acuerdo con lo presentado en el documento “Informe Experto de análisis de Superficie Lagunar Salar de Coposa” desarrollado por el CEA/CMDIC, se procedió a generar un análisis orientado a los resultados expuestos en el informe en cuestión. Este análisis de resultados se enfocó tanto en la revisión metodológica, los insumos utilizados y los resultados generados a partir de esto. El documento se presenta estructurado en un análisis crítico en conjunto con un análisis exploratorio, los cuales son finalmente plasmados en conclusiones derivadas de estos.

Se desarrolla entonces un análisis crítico que está orientado a reconocer posibles falencias en la metodología aplicada, las cuales se ven reflejadas en observaciones tales como la decisión de no incorporar imágenes Landsat 7 dentro del análisis NDWI de las superficies lagunares. Por su parte, el análisis exploratorio presenta el comportamiento multitemporal de las superficies lagunares de los sistemas y subsistemas existentes en el salar de Coposa, utilizando imágenes Landsat 5 y 7, además de indagar las implicancias de la utilización de imágenes Landsat 8 en combinación con Landsat 5. Dicho análisis tiene como objetivo contrastar los resultados del informe CEA/CMDIC, bajo metodologías compatibles con este informe y utilizando como insumos principales las colecciones de imágenes Landsat 4, 5 y 7.

2.1. Análisis crítico

A continuación, se presentan los elementos objetados de los métodos, resultados y conclusiones del documento “Informe de Experto de Análisis de Superficie Lagunar Salar de Coposa”, elaborado por el CEA/CMDIC.

2.1.1. Utilización de series temporales utilizando los satélites Landsat 5 (sensor TM) y Landsat 8 (sensor OLI)

La principal fuente de análisis del informe presentado se basa en la evaluación de series temporales de la umbralización del índice NDWI de McFeeters (1996) utilizando imágenes satelitales de las plataformas satelitales Landsat 5 (que monta el sensor TM y operó entre marzo de 1984 y mayo de 2012) y Landsat 8 (que monta el sensor OLI y opera desde marzo de 2013 hasta la actualidad). La utilización de sensores distintos para el análisis de variables extraídas de series temporales requiere de tener en consideración que ambos sensores midan parámetros de reflectancia comparables, lo que no se considera en el informe elaborado por CEA/CMDIC. Esto es particularmente relevante al utilizar imágenes Landsat 5 complementadas con Landsat 8, ya que las características radiométricas

de una de las dos bandas utilizadas para calcular esta variación de índice NDWI, la del infrarrojo cercano (NIR) abarcan rangos de longitud de onda significativamente distintas, tal como se aprecia en la Tabla 1. Esto implica que las bandas NIR de ambos satélites recolectan información distinta del espectro electromagnético reflejado por la superficie, lo cual a su vez implica que su utilización en series de tiempo que buscan observar una variable mediante mediciones comparables no se cumplirá a cabalidad, lo cual representa una falencia técnica severa en el informe analizado.

Para ilustrar el párrafo anterior, en el punto 2.2.3.2 del presente documento, se presenta un ejercicio empírico aplicado al Sistema Lagunar de Jachucoposa que expone las variaciones significativas de medir superficies mediante umbrales fijos de NDWI con bandas del infrarrojo cercano con distintas longitudes de onda, demostrando que su utilización combinada, sin tratamientos específicos y validados para mitigar dicho efecto incurren en estimaciones no comparables que sesgan severamente el análisis.

Tabla 1. Longitudes de onda de los sensores TM (Landsat 4 y 5), ETM+ (Landsat 7) y OLI (Landsat 8).

Bandas	Longitud de onda (micrómetros)		
	Landsat 4 y 5 (Sensor TM)	Landsat 7 (Sensor ETM+)	Landsat 8 (Sensor OLI)
Aerosol Costero	No aplica	No aplica	0.43 - 0.45
Azul	0.45 - 0.52	0.45 - 0.52	0.45 - 0.51
Verde	0.52 - 0.60	0.53 - 0.60	0.53 - 0.59
Rojo	0.63 - 0.69	0.63 - 0.69	0.64 - 0.67
Infrarrojo Cercano (NIR)	0.76 - 0.90	0.77 - 0.90	0.85 - 0.88
Infrarrojo de Onda Corta (SWIR) 1	1.55 - 1.75	1.55 - 1.75	1.57 - 1.65
Infrarrojo de Onda Corta (SWIR) 2	2.08 - 2.35	2.09 - 2.35	2.11 - 2.29
Pancromático	No aplica	0.52 - 0.90	0.50 - 0.68
Cirrus	No aplica	No aplica	1.36 - 1.38

Fuente: Elaboración propia en base a USGS (2022a), USGS (2022b) y USGS (2022c).

En la Tabla 1, además, se expone que el satélite Landsat 7 (que monta el sensor multiespectral ETM+ y operó entre mayo de 1999 y abril del año 2022) posee rangos de longitud de onda comparables para las bandas que miden el verde y el infrarrojo cercano (es decir poseen prácticamente la misma resolución espectral), razón por la cual, esencialmente miden lo mismo, una vez aplicado el preprocesamiento necesario para calcular reflectancia de superficie. Cabe señalar que estos dos satélites presentan la misma resolución radiométrica (256 colores comprimidos en 8 bits) y la misma resolución espacial (30 metros de píxel).

Al respecto, CEA/CMDIC argumentan en su revisión metodológica referente a los insumos satelitales de mediana resolución aplicados al análisis NDWI del sistema lagunar Jachucoposa, en el apartado 3.2.2.2, que *“No obstante, tras aplicar el método exploratorio de Fix Landsat 7 Scanline Error, se descarta la total posibilidad de utilizar imágenes Landsat 7ETM+ por la incertidumbre que incluye el*

efecto interpolación de bandeado de 15 píxeles de ancho (450 mts) en el área de estudio. Ello, se justifica principalmente a las pequeñas superficies lagunares que se estudian en este informe.” En este sentido, no se genera una justificación acabada respecto de la no utilización de imágenes Landsat 7, por cuanto no indican principalmente:

- Cuál es efectivamente la brecha de datos asociada a la existencia del fenómeno en las imágenes de la colección Landsat 7 sobre las áreas lagunares.
- Cuál es el motivo para descartar el uso de otros métodos de corrección del bandeado de las imágenes disponibles en la literatura que no implican la interpolación de datos.

A mayor abundamiento, el uso de imágenes Landsat 7 en análisis de series temporales, está ampliamente respaldado en artículos como el de Xie *et al.* (2019), Frantz *et al.* (2017) y White *et al.* (2014) en donde se discuten ampliamente y abordan soluciones para mejorar la disponibilidad de datos en base a las propiedades de los píxeles de cada sensor, fundamentalmente en su ubicación espacial e información espectral. Siendo el principal objetivo de este método generar sets de datos consistentes para el análisis de series temporales.

Se tienen entonces, métodos basados en la composición de imágenes por píxel, siendo estos agrupados por periodos de interés, a través de medidas de estadística descriptiva como el uso de percentiles, como por ejemplo la mediana para reducir a periodos cada grupo de imágenes. Como resultado de los procedimientos previamente descritos, se tendrá una o más imágenes que serán representativas de un período dado, siendo estas útiles para rellenar vacíos de información, debido a que el fenómeno de bandeado no se solapa espacialmente en todas las imágenes sobre el área de adquisición. Cabe destacar que el procedimiento anteriormente descrito, puede llevarse a cabo en la plataforma Google Earth Engine (GEE) descrito por Gorelick *et al.* (2017), misma plataforma utilizada para el filtro y selección de imágenes descrito en el informe del CEA/CMDIC.

Considerando lo anterior, dentro del análisis del equipo de Geoinformación se optó por incorporar imágenes Landsat 7 y descartar el uso de imágenes Landsat 8 sin tratamiento específico previo de forma de robustecer la comparabilidad de datos entre sensores con características radiométricas similares. Basándose en el uso de agregación multitemporal, para el periodo hidrológico, a través de la extracción de la mediana de los píxeles.

2.1.2. Utilización de imágenes satelitales comerciales de alta resolución

En lo relativo al uso de imágenes satelitales de alta resolución bajo lo mencionado en el párrafo anterior, se indica que al no abarcar el periodo histórico (previo al año 2002) no es posible reconocer el estado original del sistema Jachucoposa a la escala de la resolución espacial de dichas imágenes. Así mismo, se generan incertidumbres en relación con el uso de un umbral fijo de NDWI dado que los cuatro sensores declarados en el apartado “3.2.2.1 Imágenes de alta resolución” y descritos en las tablas 3-1, 3-2, 3-3 y 3-4, poseen longitudes de onda variables tanto para la banda del verde como para el infrarrojo cercano, razón por la cual es esperable que ocurran variaciones de acuerdo con los criterios de segmentación utilizados. De este modo, se sugiere en este tipo de análisis,

verificar para cada sensor el umbral más adecuado o, en su defecto, generar un procedimiento de fotointerpretación de índice NDWI para delimitar las superficies lagunares.

En términos generales, resulta esperable la existencia de magnitudes mayores de superficie lagunar en relación con una imagen contemporánea respecto del uso de satélites Landsat, debido a que, a mayor resolución espacial, es posible reconocer estructuras de menor dimensión, como por ejemplo los canales que comunican el sistema lagunar.

2.1.3. Interpretación de resultados en las conclusiones del informe CEA/CMDIC

En relación con las conclusiones presentadas a partir de los resultados expuestos en la sección 4.3.1, el informe señala que “la precipitación permitiría explicar la variación de cambios en el tamaño de los subsistemas lagunares en un 66% donde el tamaño lagunar se corresponde a las precipitaciones ocurridas durante los meses de octubre a marzo (...)”. Sin embargo, dentro del apartado anteriormente mencionado, se explica que las variables de precipitación para una fecha específica (acumulada en 7, 15 y 30 días) y NDWI no están correlacionadas, debido a la falta de datos relativos a tamaños lagunares.

De acuerdo con lo descrito anteriormente, las correlaciones obtenidas para el análisis de tamaño de superficies lagunares relativas a eventos de precipitaciones, son considerados valores poco representativos en magnitud. Lo anterior sin perjuicio de que las precipitaciones podrían influir estacionalmente en los tamaños lagunares. Atendiendo a lo propuesto por este equipo, se hace necesario volver a evaluar las correlaciones descritas en el informe del CEA/CMDIC, bajo la metodología y resultados evaluados por la SMA para el tratamiento de series temporales de NDWI.

Consecuentemente, en el apartado “4.3.5.1.1 Extracciones”, para el periodo pluvial (verano), no se muestra una correlación directa ni significancia estadística asociada a extracciones y se concluye que no explicaría por sí sola la variación en tamaños lagunares.

Mismo caso para el apartado “4.3.5.1.2 Niveles freáticos”, donde tampoco se evidencia una correlación asociada a los niveles freáticos del salar y tamaños lagunares en el mismo.

Finalmente, el informe del CEA/CMDIC concluye que *“Las extracciones de agua en verano no presentan relación estadística con el tamaño del sistema lagunar y, en consecuencia, no se puede sugerir que las variaciones de estos dependan de las extracciones en verano. (...)”*.

Nuevamente, se hace necesario indicar que dichos análisis de correlación se sustentan en las series temporales de umbralización de NDWI utilizando sensores no comparables sin un tratamiento previo adecuado y validado, razón por la cual no es posible considerar dichos análisis como ciertos.

En atención a lo señalado al inicio, el equipo de Geoinformación optó por realizar un análisis exploratorio que permita dar cuenta del comportamiento de los sistemas lagunares en el salar de Coposa, de forma de contrastar los resultados expuestos en el informe experto presentado por CMDIC. Dicho análisis se aborda en el apartado 2.2.

2.2. Análisis exploratorio de evolución de superficies lagunares

A continuación, se presenta el análisis desarrollado por el equipo de profesionales expertos en Geoinformación, el cual busca suplir las deficiencias técnicas evidenciadas en la respuesta a la Res. Ex. N° 26 / Rol D-095-2017 respecto del componente de Superficies Lagunares.

2.2.1. Objetivos

- Analizar el comportamiento multitemporal de las superficies lagunares de los sistemas Jachucoposa, Tankatankani, Coposito, y San Pablo en el salar de Coposa.
- Analizar las implicancias de utilizar sensores con propiedades radiométricas distintas aplicado al caso de estudio.

2.2.2. Insumos y métodos

2.2.2.1. Insumos y procesamiento de las imágenes satelitales

A continuación, se indican las imágenes utilizadas y el método de procesamiento de estas. Cabe señalar que todas las etapas del procesamiento de imágenes y extracción de datos se realizó íntegramente en la plataforma en la nube como servicio (PaaS) Google Earth Engine (GEE) descrita y desarrollada por Gorelick *et al.* (2017).

Plataformas satelitales y sensores

Para todo el análisis exploratorio, se optó por la utilización de los productos de las plataformas satelitales Landsat 4 y Landsat 5 (Sensor TM) y Landsat 7 (Sensor ETM+), esto debido a la necesidad de priorizar el uso de imágenes cuyas propiedades radiométricas instrumentales sean lo más similares posibles. En el caso particular, se utilizaron las bandas de los canales verde, infrarrojo cercano (NIR) e infrarrojo de onda corta 1 (SWIR 1), las que mantienen las mismas longitudes de onda, resolución espacial y resolución espectral en ambos sensores. Esto permite prescindir del uso de operadores de ajuste cuya aplicación, normalmente, requieren de la calibración y validación local de las ecuaciones de transformación de variables aplicadas en un contexto específico.

En cuanto a los productos del sensor ETM+ del tipo SLC-Off (*Scan Line Corrector* no operativo) descrito en Chen *et al.* (2012), el que consiste en la falla de uno de los instrumentos de estabilización del sensor (*Scan Line Corrector*) a partir del 31 de mayo de 2003 y que tiene como consecuencia la existencia de vacíos de información en forma de ráfagas (*burst*), el efecto es mitigado en el análisis presentado mediante la agregación multitemporal durante los años hidrológicos a través de la extracción de la mediana, lo que rellena las ráfagas con valores reales producto del no solapamiento de las mismas.

Adicionalmente, se utilizan imágenes del Sensor OLI montado en el satélite Landsat 8 con el fin de demostrar la sobreestimación que genera dicho sensor en la medición de las superficies lagunares respecto del sensor ETM+ del satélite Landsat 7 utilizando el mismo método de análisis.

Específicamente, se consideraron las imágenes del cuadrante operacional *Path* N°1 y *Row* N°74 para el todo el periodo de adquisición de las misiones señaladas, lo que representa un total de 858 imágenes.

Colecciones y nivel de procesamiento

Respecto del nivel de procesamiento basal de los productos utilizados, se explotaron las librerías de imágenes *Surface Reflectance*¹ nivel 2 colección 2 *tier* 1, las cuales se encuentran calibradas radiométricamente y corregidas atmosféricamente mediante el algoritmo LEDAPS (versión 3.4.0) descrito por Schmidt *et al.* (2013). Adicionalmente, las imágenes de esta colección están corregidas a nivel subpíxel, lo que optimiza su utilización para el análisis de series temporales.

Para el uso de estas imágenes, únicamente, corresponde la aplicación del proceso de re-escalamiento multiplicativo y aditivo descrito por la USGS (2022d) y que se presenta en la Ecuación 1.

$$p' = pixel * 0.0000275 - 0.2$$

Ecuación 1. Re-escalamiento para imágenes Landsat *Surface Reflectance* Nivel 2, Colección 2, *Tier* 1.

Fuente: USGS, 2022d.

Selección de imágenes y tratamiento de la nubosidad

Con el fin de evitar la presencia de imágenes con altos niveles de nubosidad y píxeles discretos con nubosidad, sombras de nubes, nieve y píxeles saturados, se realizó un proceso de revisión supervisada de las imágenes sobre los sistemas lagunares estudiados, descartando aquellas imágenes que presentaran atributos distintos a la superficie de análisis.

Totalidad de imágenes

En función de lo anterior, se utilizaron para el análisis 652 imágenes, correspondientes a 2 imágenes del satélite Landsat 4, 314 imágenes del satélite Landsat 5 y 336 imágenes del satélite Landsat 7, entre el 5 de mayo de 1985 y el 31 de diciembre de 2022. Todas estas imágenes se encuentran detalladas en el Apéndice 2

¹ Colecciones “USGS Landsat 4 Level 2, Collection 2, Tier 1”, “USGS Landsat 5 Level 2, Collection 2, Tier 1”, “USGS Landsat 7 Level 2, Collection 2, Tier 1” y “USGS Landsat 8 Level 2, Collection 2, Tier 1” disponibles en las URLs https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/LANDSAT_LT04_C02_T1_L2, https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/LANDSAT_LT05_C02_T1_L2, https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/LANDSAT_LE07_C02_T1_L2 y https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/LANDSAT_LC08_C02_T1_L2, respectivamente.

Para el análisis comparado de estimación de superficies lagunares entre el sensor ETM+ y OLI se utilizaron también 146 imágenes del satélite Landsat 8. Todas estas imágenes se encuentran detalladas en el Apéndice 3

2.2.2.2. Selección de indicadores y umbrales de detección de cuerpos de agua

Se optó por orientar el análisis a través del índice normalizado de diferencia de aguas (NDWI) y, para mantener coherencia con el informe desarrollado por el CEA/CMDIC se aceptó la utilización de umbrales de píxeles mayores a 0.2 para aguas someras o poco profundas y píxeles mayores a 0.4 para aguas profundas. Estos umbrales fueron argumentados por el CEA/CMDIC en base a fuentes secundarias, específicamente en base a “Li et al. (2014)”, cuya fuente no se describe en la bibliografía ni fue posible identificar dicha publicación en revistas científicas. Esto último abre incertezas respecto de cuál de las distintas variaciones de NDWI corresponde a la utilizada por “Li et al (2014)”, sin embargo, se prosiguió con el índice NDWI propuesto, correspondiente al de McFeeters (1996) presentado en la Ecuación 2, debido a que a juicio de los autores del presente análisis corresponden a valores razonables para el uso del indicador.

$$NDWI = \frac{Verde - NIR}{Verde + NIR}$$

Ecuación 2. NDWI propuesto por McFeeters (1996).

Fuente: McFeeters, 1996.

2.2.2.3. Análisis de series temporales por periodos

Para el análisis de series temporales, se optó por un análisis basado en la estacionalidad del año hidrológico del área de estudio señalada por CEA/CMDIC en su análisis, con la diferencia de segmentar en dos momentos el periodo estival y el periodo pluvial, logrando mayor nivel de detalle en el análisis. Esto resulta relevante ya que en el informe presentado por CEA/CMDIC no se justifica adecuadamente la representatividad dentro de los periodos de 6 meses presentados. Los periodos fueron definidos de la siguiente manera:

- Periodo pluvial entre el 1 de Enero y el 31 de Marzo.
- Periodo estival entre el 1 de Abril y el 30 de Junio.
- Periodo estival entre el 1 de Julio y el 30 de Septiembre.
- Periodo pluvial entre el 1 de Octubre y el 31 de Diciembre.

Para la agregación de las imágenes, se optó por el cómputo de imágenes sintéticas utilizando mediana (percentil 50%) de cada periodo para cada año. Se utilizó la mediana debido a que permite generar un valor representativo a nivel de píxel evitando la influencia de valores extremos anómalos para el índice NDWI de Gao (1996).

Se verificó que cada imagen generada mediante este método tuviese el 100% de píxeles válidos ($NDWI \in \mathbb{R}$) para el área de análisis de cada Sistema Lagunar, asegurando que la mitigación total de los bandeos producto de las imágenes SLC-Off.

Luego, se calculó para cada imagen la cantidad de píxeles de $NDWI > 0.2$ y $NDWI > 0.4$ y se multiplicó por el tamaño de píxel ($900m^2$) para calcular la superficie transformado a hectáreas (dividido por 10,000).

Por último, se desplegaron los resultados en gráficos anuales por periodo y se adicionó como referencia las fechas de inicio de actividades de la Unidad Fiscalizable (año 1998) y el momento del trasladado de la extracción de aguas al sector norte del Salar de Coposa y la puesta en marcha de las medidas de mitigación en el sector de la vertiente Jachucoposa (año 2008).

2.2.2.4. Análisis comparativo del uso de Landsat 8 (sensor OLI) en relación con el uso de Landsat 7 (sensor ETM+) en series temporales de superficie lagunares aplicado al caso de estudio.

Para verificar el impacto del uso de imágenes satelitales del Sensor OLI (Landsat 8) respecto de otros sensores con propiedades radiométricas diferentes, se optó para comparar mediciones realizadas con el sensor ETM+ montado sobre el satélite Landsat 7, dado que comparte características espectrales con Landsat 5, para todos los periodos trimestrales contemporáneos a la operación del satélite Landsat 8 (desde el periodo de enero-marzo de 2013 al periodo de octubre-diciembre de 2021), aplicando la misma metodología (Medianas trimestrales de NDWI de McFeeters -1996- con valores mayores a 0.4 para aguas profundas) y tipo de productos (*Surface Reflectance* nivel 2 colección 2 tier 1) y se aplicaron para el sistema Lagunar de Jachucoposa. Finalmente, se analizan las diferencias y se estima el promedio porcentual de diferencia entre Landsat 7 y Landsat 8 porcentual en relación con la medición con Landsat 7.

2.2.3. Resultados

A continuación, se presentan los resultados asociados a cada uno de los sistemas lagunares, en base al método descrito. En el Apéndice 1 se presentan los resultados tabulados de superficies de espejos de agua para cada año separado en las estacionalidades descritas.

2.2.3.1. Sistema Lagunar Jachucoposa

En la Figura 1 y la Tabla 1 del Apéndice 1, se presentan las series temporales de la superficie de espejos de agua asociados al Sistema Lagunar Jachucoposa. Al respecto, se denota un comportamiento con una alta variabilidad interanual y entre temporadas. En relación con la evolución anual es posible señalar que, en general, se aprecian descensos de superficie lagunar en todos los periodos trimestrales asociados a las temporadas pluviales y estivales a partir del año 1999 para las temporadas pluviales de octubre y diciembre y de enero a marzo y en el caso de las temporadas estivales se observa un descenso parcial a partir del año 1997 el cual se hace abrupto desde las mediciones del año 2001. En todos los periodos, los descensos se observan tanto para el umbral $NDWI > 0.2$ como para el umbral $NDWI > 0.4$. Las situaciones de descenso más pronunciado se observan en los casos de aguas profundas para los periodos pluviales de octubre a diciembre y

enero a marzo, así como para el periodo estival de abril a junio, donde se presentan valores de agua profunda (NDWI > 0.4) que no logran exceder las 20 hectáreas, en general. Un caso excepcional se observa en el periodo estival de junio a septiembre donde se logra apreciar una recuperación parcial de superficie de aguas profundas a partir del año 2009 pero que no logran aproximarse a los valores base previos al proyecto para el mismo periodo. Por último, se observa un aumento destacable de los niveles de aguas someras para el periodo julio a septiembre entre los años 2011 y 2019, los cuales no influyen en la superficie de aguas profundas.

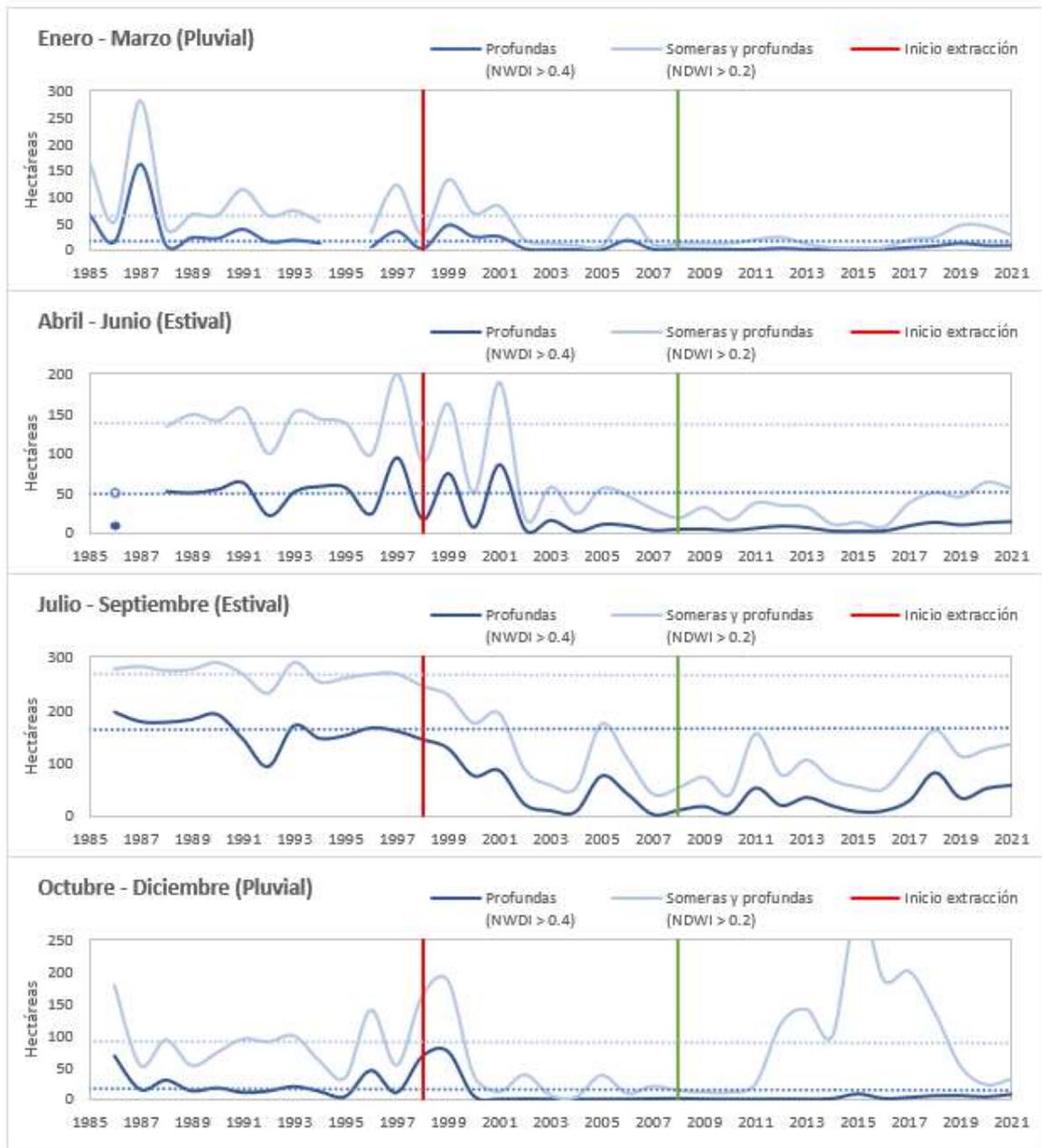
Dado que en el Sistema Lagunar Jachucoposa, bajo la metodología planteada, presenta un espejo de agua permanente hasta antes del inicio de la extracción de recursos subsuperficiales (año 1998), es posible establecer un valor aproximado de referencia de la magnitud de los espejos de agua para cada trimestre. Para esto, considerando los valores obtenidos en la Figura 1 y la Tabla 1 del Apéndice 1, se calculó la mediana de superficie de espejo de agua para cada sub-temporada (Temporada pluvial 2 entre enero y marzo, temporada estival 1 entre abril y junio, temporada estival 2 entre julio y septiembre y temporada pluvial 1 entre octubre y diciembre) con el fin de establecer un valor representativo de las magnitudes naturales de este sistema, lo que se exponen a continuación. Los valores obtenidos se exponen en la Tabla 2.

Tabla 2. Mediana de superficie en sistema lagunar Jachucoposa por temporada entre 1985 y 1998.

	Aguas profundas (ha)	Aguas someras y profundas (ha)
Temporada pluvial 2 (enero a marzo)	18.09	64.98
Temporada estival 1 (abril a junio)	51.62	139.10
Temporada estival 2 (julio a septiembre)	166.95	269.28
Temporada pluvial 1 (octubre a diciembre)	15.30	90.45

Fuente: Elaboración propia con productos Landsat USGS procesado mediante Google Earth Engine.

Figura 1. Series temporales estacionales de superficie de aguas someras y profundas para el Sistema Lagunar Jachucoposa.



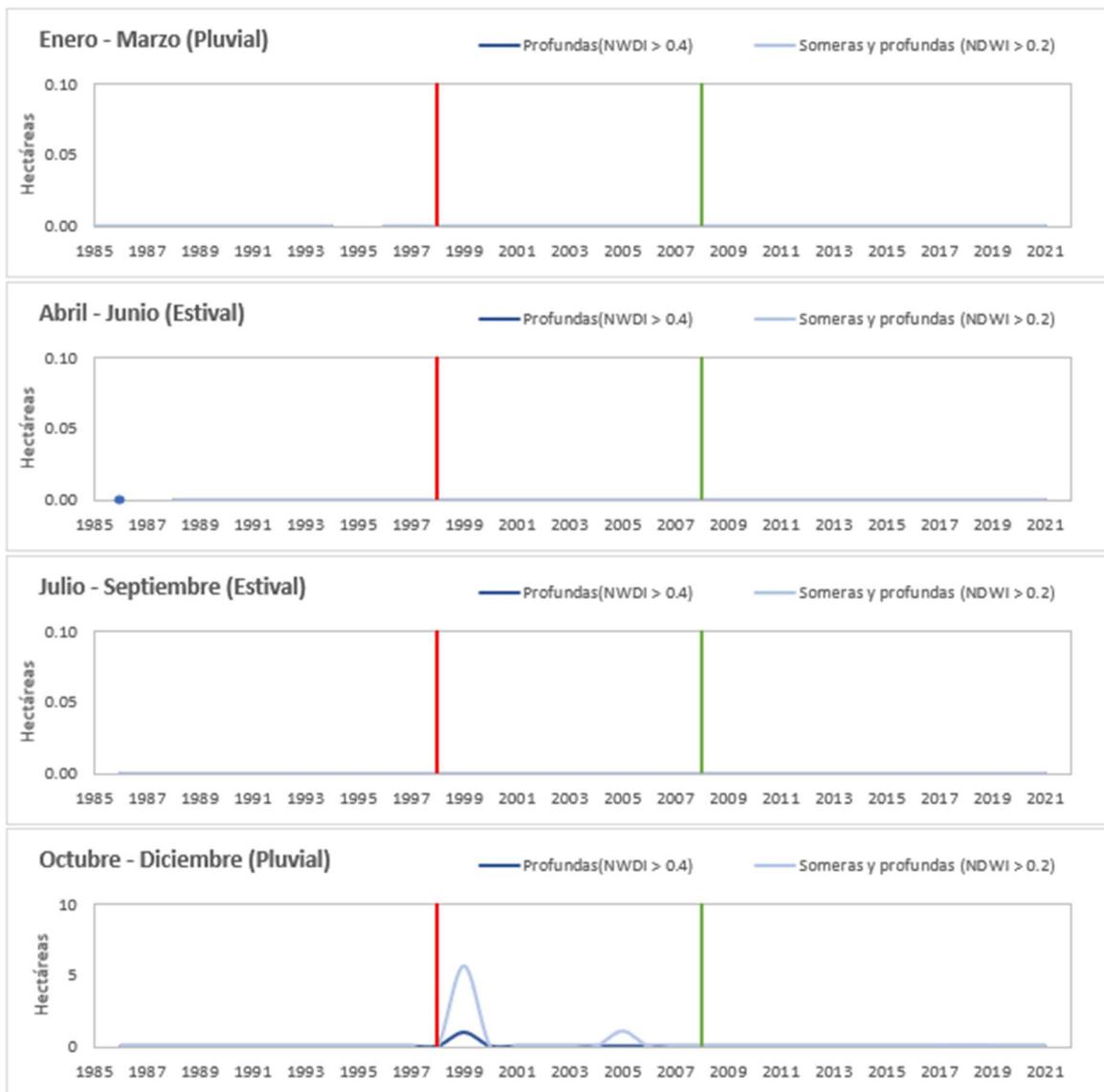
Fuente: Elaboración propia con productos Landsat USGS procesado mediante Google Earth Engine.

2.2.3.2. Sistema Lagunar Tankatankani

En la Figura 2 y la Tabla 2 del Apéndice 1, se presentan las series temporales de la superficie de espejos de agua asociados al Sistema Lagunar Tankatankani. En relación con el comportamiento general observado, se puede destacar que, considerando las limitaciones de resolución espacial de las imágenes Landsat 5 y Landsat 7, no fue posible identificar cuerpos de agua permanentes o semipermanentes a la escala de las imágenes Landsat, la que corresponde a una Unidad Mínima Cartografiable (UMC) de 5 ha. o, dicho de otra manera, a una escala cartográfica de 1:100.000, basado en los criterios descritos por Lencinas y Siebert (2009). De este modo, no se descarta la presencia de espejos de agua de menor magnitud a los vinculados a los sistemas vegetacionales.

Adicionalmente, es posible señalar la existencia de periodos concretos de existencia de espejos de agua de mayor magnitud (cercano a 5 ha.) en la temporada pluvial de octubre a diciembre de los años 1999 y 2005, los que probablemente se pueden asociar a eventos hidrológicos o meteorológicos específicos.

Figura 2. Series temporales estacionales de superficie de aguas someras y profundas para el Sistema Lagunar Tankatankani.



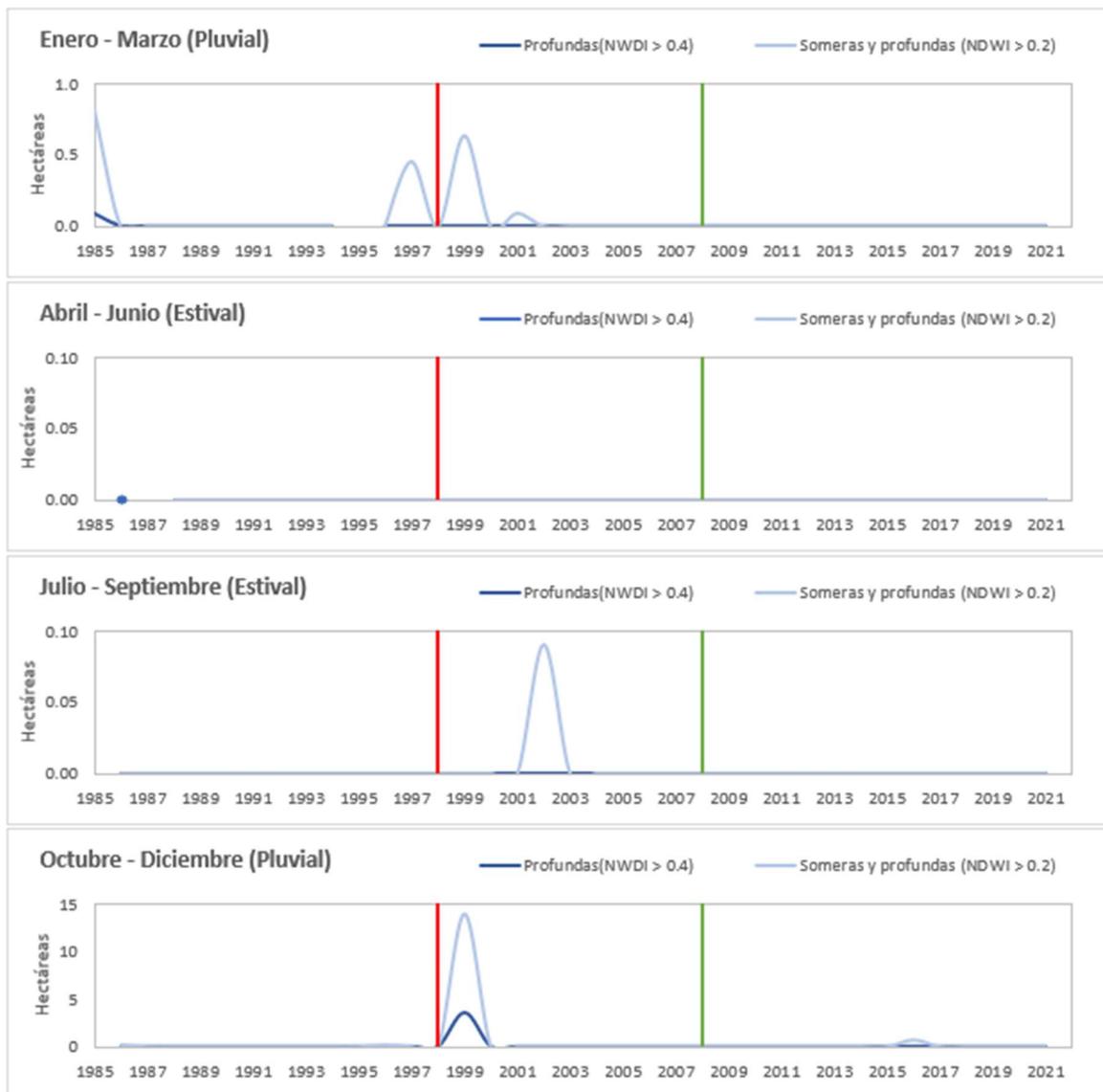
Fuente: Elaboración propia con productos Landsat USGS procesado mediante Google Earth Engine.

2.2.3.3. Sistema Lagunar Cposito

En la Figura 3 y la Tabla 3 del Apéndice 1, se presentan las series temporales de la superficie de espejos de agua asociados al Sistema Lagunar Cposito. En la relación al comportamiento general observado, se puede destacar que, considerando las limitaciones de resolución espacial de las imágenes Landsat 5 y Landsat 7, no fue posible identificar cuerpos de agua permanentes o semipermanentes a la escala de las imágenes Landsat, la que corresponde a una UMC de 5 ha. o, dicho de otra manera, a una escala cartográfica de 1:100.000, basado en los criterios descritos por Lencinas y Siebert (2009). De este modo, no se descarta la presencia de espejos de agua de menor magnitud a los vinculados a los sistemas vegetacionales.

Adicionalmente, es posible señalar la existencia de periodos concretos de existencia de espejos de agua de menor magnitud (sin superar 1 ha.) entre enero y marzo de 1997, 1999 y 2001 y entre julio y septiembre de 2002, así como un evento de mayor magnitud entre octubre y diciembre de 1999 alcanzando una superficie cercana a las 15 ha. Todos estos eventos corresponden a situaciones atípicas, probablemente asociadas a eventos hidrológicos o meteorológicos específicos, sin embargo, es posible destacar que dichas situaciones no se vuelven a observar desde el año 2003 en adelante.

Figura 3. Series temporales estacionales de superficie de aguas someras y profundas para el Sistema Lagunar Coposito.



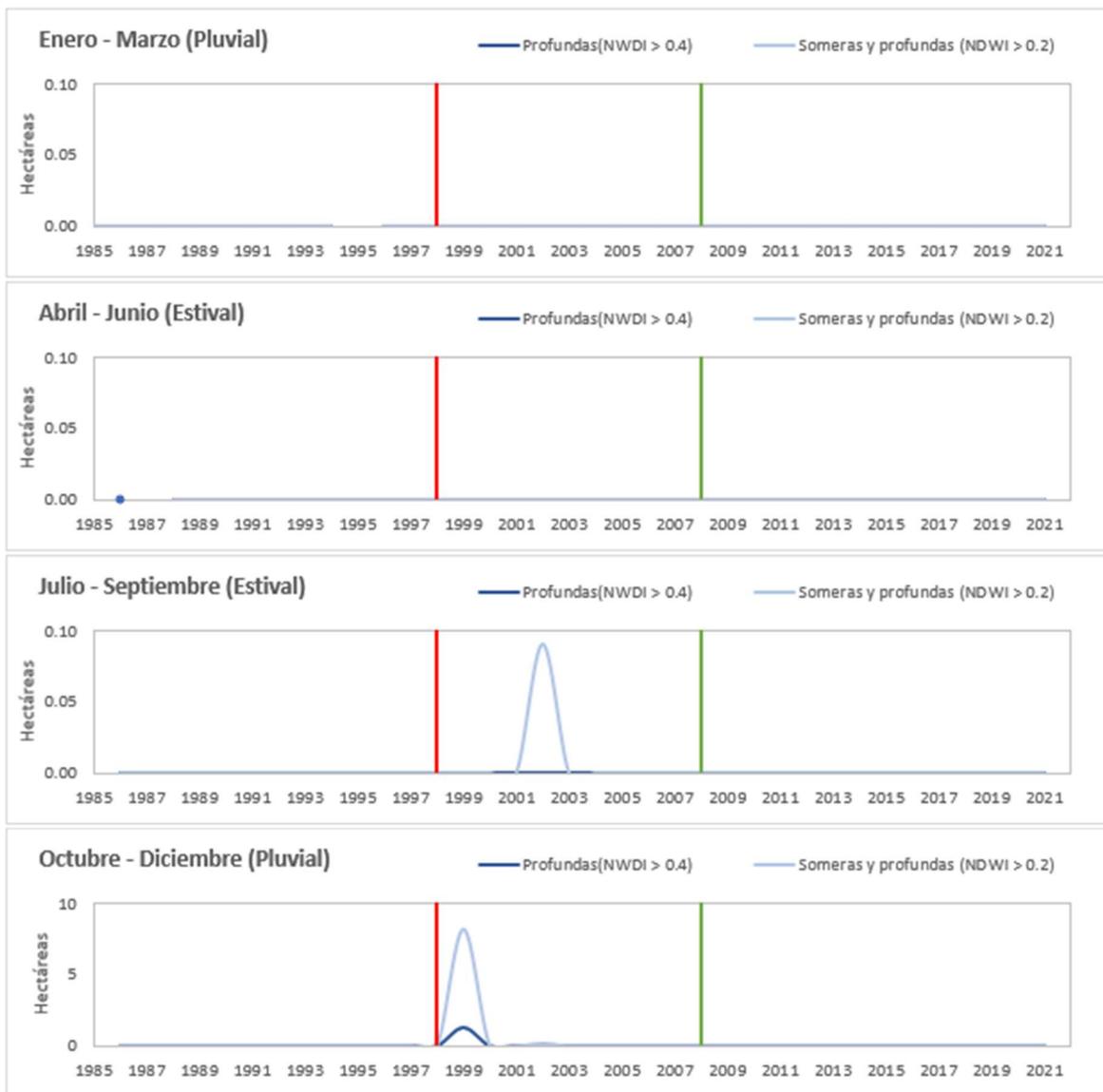
Fuente: Elaboración propia con productos Landsat USGS procesado mediante Google Earth Engine.

2.2.3.4. Sistema Lagunar San Pablo

En la Figura 4 y la Tabla 4 del Apéndice 1, se presentan las series temporales de la superficie de espejos de agua asociados al Sistema Lagunar San Pablo. En la relación al comportamiento general observado, se puede destacar que, considerando las limitaciones de resolución espacial de las imágenes Landsat 5 y Landsat 7, no fue posible identificar cuerpos de agua permanentes o semipermanentes a la escala de las imágenes Landsat, la que corresponde a una UMC de 5 ha. o, dicho de otra manera, a una escala cartográfica de 1:100.000, basado en los criterios descritos por Lencinas y Siebert (2009). De este modo, no se descarta la presencia de espejos de agua de menor magnitud a los vinculados a los sistemas vegetacionales.

Adicionalmente, es posible señalar la existencia de periodos concretos de existencia de espejos de agua de menor magnitud (sin superar 1 ha.) entre julio y septiembre de 2002 y de mayor magnitud entre octubre y diciembre de 1999, cercano a las 10 ha. Todos estos eventos corresponden a situaciones atípicas, probablemente asociadas a eventos hidrológicos o meteorológicos específicos.

Figura 4. Series temporales estacionales de superficie de aguas someras y profundas para el Sistema Lagunar San Pablo.



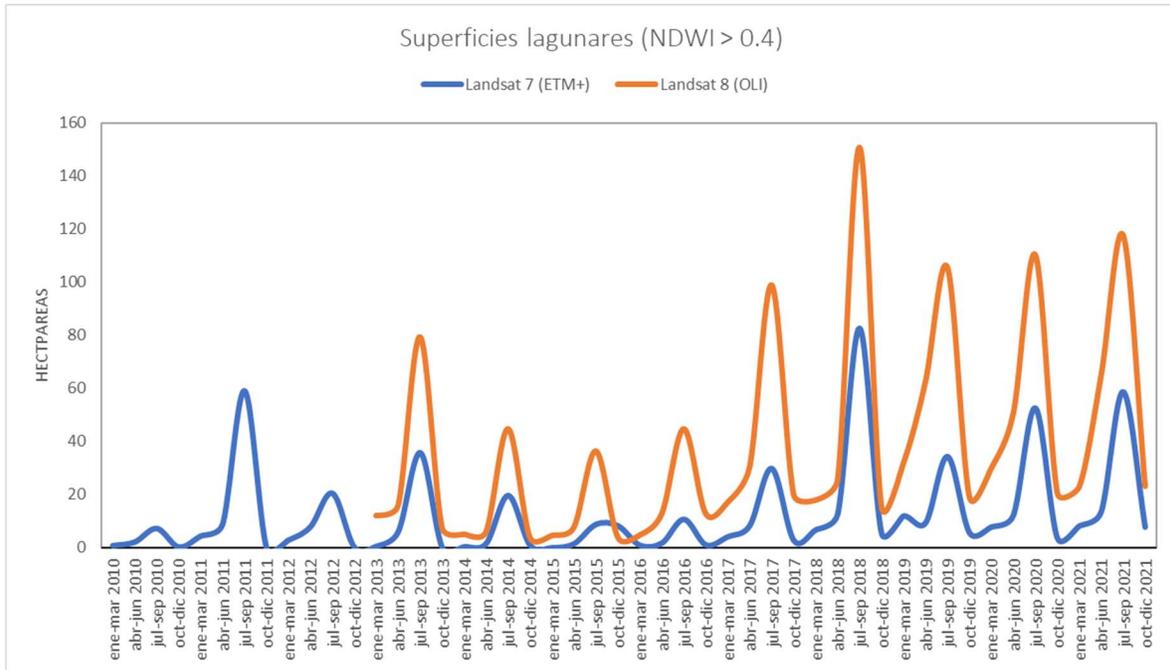
Fuente: Elaboración propia con productos Landsat USGS procesado mediante Google Earth Engine.

2.2.3.5. Análisis de implicancias de la utilización de Landsat 7 (sensor ETM+) y Landsat 8 (sensor OLI) en series temporales de superficies lagunares

Sobre la base del cuestionamiento del uso de imágenes del satélite Landsat 8 (sensor OLI) en combinación con imágenes del satélite Landsat 5 (sensor TM), cuyas propiedades radiométricas en el rango del Infrarrojo Cercano difieren entre sí y sin incorporar métodos adecuados que permitan homologar dichos productos para la estimación de superficies de espejos de aguas, se realizó un ejercicio de comparación del impacto del uso de estos productos realizando un análisis de estimación de magnitud de superficies lagunares profundas sobre el sistema lagunar de Jachucoposa, utilizando la misma metodología presentada para el análisis elaborado por la SMA, es decir, utilizando periodos trimestrales agregados mediante medianas y clasificando superficies lagunares mediante la umbralización del NDWI de McFeeters (1996) con los valores mayores a 0.4, aplicado a imágenes de Landsat 7 y Landsat 8, dado que Landsat 8 posee bandas de verde e infrarrojo cercano con los mismos rangos de longitud de onda que Landsat 5.

En la Figura 5 y la Tabla 2 se pueden observar las diferencias en la estimación de magnitud del espejo de agua entre el sensor ETM+ y el sensor OLI aplicando la misma metodología planteada por CEA/CMDIC en el caso de la serie temporal del sensor TM con el sensor OLI. Se evidencia que, en todos los periodos, salvo el periodo de octubre a diciembre de 2015 todas las mediciones con Landsat 8 fueron superiores en superficie a las estimadas por Landsat 7 para el mismo periodo, a pesar de que las composiciones trimestrales de Landsat 7 no contenían superficies con vacíos de datos en el área de estudio producto del bandeo (*SLC-off*). A nivel de magnitudes es posible establecer que existe una diferencia promedio de 23.88 hectáreas y una diferencia porcentual de 700.71% más en las observaciones de Landsat 8 respecto de Landsat 7, resultado que descartaría la hipótesis de comparabilidad de series de tiempo de NDWI de Mc Feeters (1996) umbralizado en 0.4 entre Landsat 5 y Landsat 8, ya que Landsat 5 es prácticamente idéntico en las características espectrales de las bandas del verde y el infrarrojo cercano de Landsat 7.

Figura 5. Superficies lagunares estimadas mediante medianas trimestrales de NDWI de McFeeters (1996) mayor a 0.4 utilizando imágenes Landsat 7 (sensor ETM+) y Landsat 8 (sensor OLI) sobre el sistema lagunar de Jachucoposa.



Fuente: Elaboración propia con productos Landsat USGS procesado mediante Google Earth Engine.

Tabla 3. Superficies lagunares estimadas mediante medianas trimestrales de NDWI de McFeeters (1996) mayor a 0.4 utilizando imágenes Landsat 7 (sensor ETM+) y Landsat 8 (sensor OLI) sobre el sistema lagunar de Jachucoposa.

Periodo	Landsat 7 (ETM+)	Landsat 8 (OLI)	Diferencia	Variación %
ENE-MAR 2013	0.63	12.15	11.52	1828.57%
ABR-JUN 2013	6.21	16.02	9.81	157.97%
JUL-SEP 2013	35.91	79.38	43.47	121.05%
OCT-DIC 2013	0.09	7.56	7.47	8300.00%
ENE-MAR 2014	0.45	5.13	4.68	1040.00%
ABR-JUN 2014	1.71	6.03	4.32	252.63%
JUL-SEP 2014	19.80	44.82	25.02	126.36%
OCT-DIC 2014	0.99	3.87	2.88	290.91%
ENE-MAR 2015	0.09	4.68	4.59	5100.00%
ABR-JUN 2015	1.62	7.74	6.12	377.78%
JUL-SEP 2015	8.91	36.45	27.54	309.09%
OCT-DIC 2015	8.37	3.96	-4.41	-52.69%
ENE-MAR 2016	0.99	4.86	3.87	390.91%
ABR-JUN 2016	1.89	12.87	10.98	580.95%
JUL-SEP 2016	10.80	44.82	34.02	315.00%
OCT-DIC 2016	1.17	12.87	11.70	1000.00%
ENE-MAR 2017	4.23	17.19	12.96	306.38%
ABR-JUN 2017	8.46	30.60	22.14	261.70%
JUL-SEP 2017	29.97	98.91	68.94	230.03%
OCT-DIC 2017	2.88	20.07	17.19	596.88%
ENE-MAR 2018	6.84	18.00	11.16	163.16%
ABR-JUN 2018	12.78	25.65	12.87	100.70%
JUL-SEP 2018	82.80	150.66	67.86	81.96%
OCT-DIC 2018	5.49	15.66	10.17	185.25%
ENE-MAR 2019	12.06	31.95	19.89	164.93%
ABR-JUN 2019	9.45	62.55	53.10	561.90%
JUL-SEP 2019	34.47	105.48	71.01	206.01%
OCT-DIC 2019	5.76	19.26	13.50	234.38%
ENE-MAR 2020	7.92	30.06	22.14	279.55%
ABR-JUN 2020	12.33	50.76	38.43	311.68%
JUL-SEP 2020	52.74	110.25	57.51	109.04%
OCT-DIC 2020	3.78	20.61	16.83	445.24%
ENE-MAR 2021	8.28	23.04	14.76	178.26%
ABR-JUN 2021	13.68	65.25	51.57	376.97%
JUL-SEP 2021	58.86	117.54	58.68	99.69%
OCT-DIC 2021	7.92	23.22	15.30	193.18%
PROMEDIO DE VARIACIÓN RESPECTO DE LANDSAT 7			23.88 Ha.	700.71%

Fuente: Elaboración propia con productos Landsat USGS procesado mediante Google Earth Engine.

3. SISTEMAS VEGETACIONALES

A continuación, se presenta el análisis sobre el apartado “Análisis de la variación de la vegetación presente en subsistemas (NDVI)” del documento “Informe de Experto de Componentes flora y vegetación terrestre”, elaborado por CEA/CMDIC en respuesta a las observaciones realizadas por esta Superintendencia mediante Res. Ex. N° 26 / Rol D-095-2017 respecto de la versión anterior de dicho documento.

En primer lugar, se presenta un análisis crítico que atiende a lo presentado en la nueva versión del informe elaborado por el CEA/CMDIC, en base a las observaciones realizadas. Esta sección se centra en la revisión de insumos utilizados, metodología y procesos, junto con la presentación de resultados.

Luego, y en función de lo anterior, se presenta un análisis exploratorio que evalúa el comportamiento de las superficies de vegetación, atendiendo las incertezas metodológicas comentadas en el primer ítem.

3.1. Análisis crítico

En la Res. Ex. N° 26 / Rol D-095-2017, del 30 de diciembre de 2021, son señaladas las observaciones realizadas por el equipo de Geoinformación en cuanto a los insumos, metodologías y análisis presentados sobre vegetación. A partir de ese antecedente, se hizo una revisión y análisis crítico del nuevo documento presentado por el titular “Informe de Experto de Componentes flora y vegetación terrestre”, revisando si este incluía las observaciones realizadas que eran claves para la replicabilidad y revisión del informe generado.

Respecto a la incorporación de observaciones, se pudo constatar que, si bien el nuevo informe señala la fecha de las imágenes utilizadas, aumentando el número de imágenes utilizadas, no menciona el tipo de producto utilizado. Este es un punto importante al momento de replicar el análisis, ya que no permite tener certeza de cuál producto se debe utilizar para revisar los resultados.

Sumado a lo anterior, con respecto al uso de imágenes provenientes de los satélites Landsat 5, 7 y 8, el informe insiste en el uso de imágenes Landsat 5 y Landsat 8, justificando su uso en base al estudio realizado por Li *et al.* (2013), el cual hace una comparación de los sensores en el estudio de distintas coberturas y no en un análisis de series temporales. El estudio realizado por Li *et al.* (2013) cuenta con amplio respaldo. Sin embargo, este estudio fue realizado para coberturas, en un clima tropical y en un período específico, no para una serie temporal como sí lo realiza el estudio realizado por Holden y Woodcock (2016). Luego, en el informe elaborado por CEA/CMDIC se menciona lo siguiente: “Estos valores se encuentran, en general, entre 0 y 0.3 del NDVI, por lo que de los ajustes realizados por Li *et al.* (2013) se considera el ajuste de muestra 1 (*Sample plot 1*), el cual permite caracterizar de buena manera la relación para valores de NDVI cercanos 0.”, citando la Ecuación 3. Revisando la publicación realizada por Li *et al.* (2013), la ecuación correcta corresponde a la Ecuación 4, por otro lado, no se encontró lo citado por CEA/CMDIC en la publicación citada. Si bien, el CEA cita la ecuación de regresión lineal que evalúa el comportamiento en la muestra 1 (*Sample Plot 1*,

Figura 11 CEA), esta no está relacionada a lo que aseveran de caracterización de valores de NDVI cercanos a 0. Para considerar, se debe mencionar que, la muestra 1 (*Sample Plot 1*) está compuesta por matorral abierto, tierra de cultivo de secano, bosque siempre verde y/o semidecuido latifoliado - cultivos - pastizal, matorral y bosque. Por esta razón, se observa que existe una incongruencia entre la aseveración realizada por el informe del CEA y lo señalado por el estudio de Li *et al.* (2013). La mala interpretación de esto y su posterior análisis, podría inducir a errores sistemáticos en el análisis de la vegetación, ya que existen diferencias entre las bandas del infrarrojo cercano y de onda corta entre Landsat 7 y Landsat 8. Lo mismo sucede con índices de vegetación que utilizan bandas que se encuentran en el rango visible del espectro electromagnético, como es el caso del NDVI (obtenido a partir de las bandas situadas en el rojo y en el infrarrojo cercano). Además, el satélite Landsat 8 posee bandas con mayor reflectividad, lo que se puede ver al revisar los resultados de NDVI.

$$NDVI_{LS8} = 0.97158 * NDVI_{LS7} + 004171$$

Ecuación 3.

Fuente: Informe CEA.

$$Intercalibrated\ NDVI_{Landsat-8\ OLI} = 0.97998 * NDVI_{Landsat-7\ ETM+} + 0.07592$$

Ecuación 4.

Fuente: Li et al., 2013.

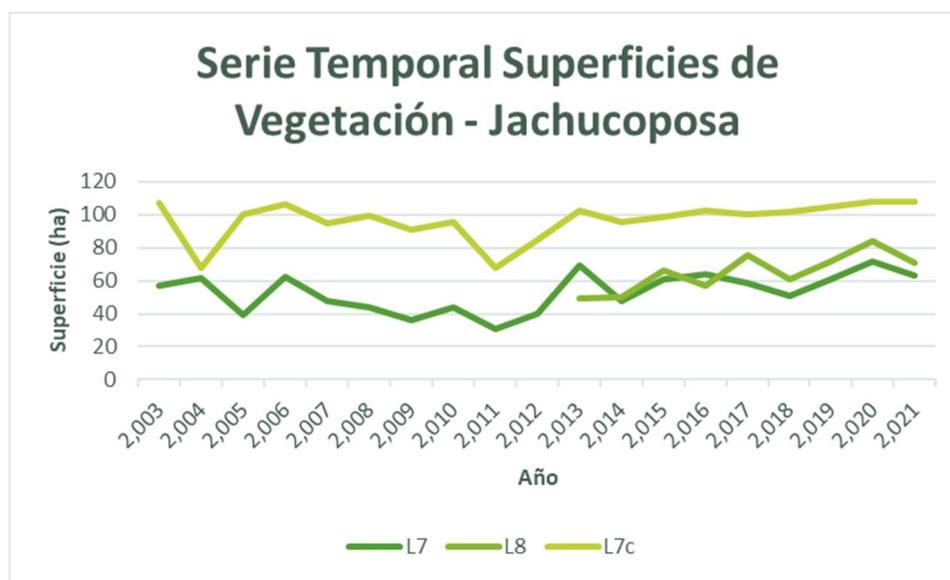
La calibración de las imágenes es un proceso necesario al realizar análisis de series temporales, debido a que vuelve comparables los resultados, sobre todo al considerar que el índice NDVI obtenido de imágenes provenientes de Landsat 8 poseen valores mayores que los obtenidos para imágenes provenientes de Landsat 5 y Landsat 7 (Roy *et al.* 2016). Por esta razón, si no existe una calibración de las imágenes, los resultados obtenidos del análisis podrían presentar cambios producto de la diferencia de sensores y no de lo ocurrido en terreno.

Ligado a lo anterior, como ya se mencionó, el informe CEA/CMDIC utiliza la ecuación propuesta en Li *et al.* 2013, al seguir revisando la publicación, queda la duda de si es utilizada la misma ecuación para las imágenes provenientes de Landsat 5, ya que la ecuación citada es para modificar las imágenes Landsat 7 y hacerlas comparables con las imágenes Landsat 8. Cabe señalar que, la serie Landsat 8, dentro del análisis temporal, es la de menor tamaño, por lo que es aconsejable calibrar estas imágenes para volverlas comparables al resto de las imágenes de la serie, pudiendo también calibrar todas las imágenes Landsat 5 y 7 y hacerlas comparables con Landsat 8.

Se realizó un ejercicio para comparar las superficies de vegetación en la zona de Jachucoposa (área de mayor tamaño analizado). Se utilizaron imágenes satelitales provenientes del satélite Landsat 7 y Landsat 8, desde 2003 a la fecha. El procesamiento de las imágenes se explica en la sección 2.2.2. Insumos y métodos, para el caso de las imágenes Landsat 8 se utilizaron las mismas que se encuentran en el apéndice 3, con la excepción de que para este caso solo se usaron las imágenes de enero a marzo. Se calculó la superficie de vegetación, considerada como la suma de los píxeles con

un valor de NDVI mayor a 0.1. Como se puede observar en la Figura 6, la superficie de vegetación obtenida con Landsat 8³ es mayor a la calculada con Landsat 7. Incluso, al calibrar el NDVI obtenido para Landsat 7, utilizando la Ecuación 3 (mencionada en el informe elaborado por CEA/CMDIC), se observa que los valores de NDVI serían mayores que los obtenidos para Landsat 8. Por lo que, queda la duda de cómo fue implementada esta calibración en los resultados presentados.

Figura 6 . Superficies de vegetación para período de análisis utilizando imágenes Landsat 7 (sensor ETM+), Landsat 7 (NDVI calibrado) y Landsat 8 (sensor OLI) sobre el sistema Jachucoposa.



Fuente: Elaboración propia con productos Landsat USGS procesado mediante Google Earth Engine.

En las conclusiones, el informe señala que “la variabilidad de la cobertura podría atribuirse a las complejas relaciones de las variables abióticas como los patrones de precipitación, anuales e interanuales (...)”, sin embargo, en la sección 4.5.6. Significancia estadística con variables externas precipitación y niveles freáticos de pozo (p , t , a , β , valor) señalan que, “no existe una correlación que atribuya directa y únicamente que, el aumento o disminución de la precipitación sobre el salar Coposa genere un impacto inmediato o tardío (7, 15 y 30 días) en la cobertura de vegetación”, indicando coeficientes de correlación de 0.37. Para el caso de los niveles freáticos, señalan que, “no se observa correlación estadísticamente significativa para ninguno de los sistemas”. En la sección de discusión, el informe menciona que “la precipitación sería la única variable que mostraría un grado de dependencia y con significancia estadística para generar cambios en las superficies de vegetación estudiada”, lo cual no se puede apreciar en los resultados presentados. El resto de los resultados presentados en los anexos también presenta bajos valores de correlación.

Respecto a los resultados del comportamiento de la vegetación, el informe presentado por Collahuasi se divide en dos tipos de resultados: la variación del NDVI y la variación de la superficie de vegetación. El informe da como resultado un aumento de la superficie de vegetación en

Jachucoposa y Coposito, una estabilización en San Pablo y un descenso a partir del año 2008 en Tankatankani. Por otro lado, en el caso de la variación del índice NDVI, el informe presentado por el titular utiliza polígonos de vegetación y sobre cada uno de ellos, por año, calcula el índice NDVI. Al momento de presentar los resultados, solo presenta los valores para aquellos píxeles con un valor de NDVI mayor al 0.1, por imagen, sin considerar aquellos píxeles con valores inferiores que vendrían a representar superficie sin vegetación, no permitiendo de esta forma ver la variabilidad del NDVI en su totalidad en los polígonos de estudio, no incluyendo la variabilidad que le otorgarían los píxeles sin vegetación. El punto anterior es de importancia, ya que permite observar la variación en aquellas zonas donde antes era vegetación y luego se transforma a otra cobertura, entre ellas, suelo desnudo. En los resultados incorporados en la sección 3.2.3. de Resultados del análisis exploratorio se presenta la variación del índice NDVI, para cada área de análisis, incorporando todos los valores para el área estudiada, pudiendo así comparar los resultados entre un análisis y otro.

Finalmente, el informe concluye que a partir de los resultados del análisis de los parámetros de flora y vegetación se observa que estos *“no significan modificaciones en las relaciones ecosistémicas descritas en el salar de Coposa dado que las tendencias observadas son similares a las utilizadas en su elaboración.”*

Bajo lo anterior y en función de las observaciones incorporadas en la minuta elaborada por el Equipo de Geoinformación, se opta por generar un análisis exploratorio que permita comparar el comportamiento de la vegetación en el salar de Coposa y contrastar resultados, este es presentado en el ítem 3.2.

3.2. Análisis exploratorio

A continuación, se presenta el análisis exploratorio del comportamiento espacio-temporal de la vegetación en el Salar de Coposa a través de series temporales históricas del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) obtenido a partir de imágenes satelitales del programa Landsat a 30 metros de resolución espacial, entre 1985 y 2022.

Cabe mencionar que la obtención y procesamiento de información satelital fue realizado en la plataforma en la nube Google Earth Engine (GEE). Para el análisis de las series temporales y generación de gráficos fue utilizada la plataforma R Studio, mientras que para la generación de mapas fue utilizado el software ArcMap 10.6.

3.2.1. Objetivo

Analizar el comportamiento espacio-temporal de la vegetación en el Salar de Coposa y cuantificar la superficie de cambio de la vegetación.

3.2.2. Insumos y métodos

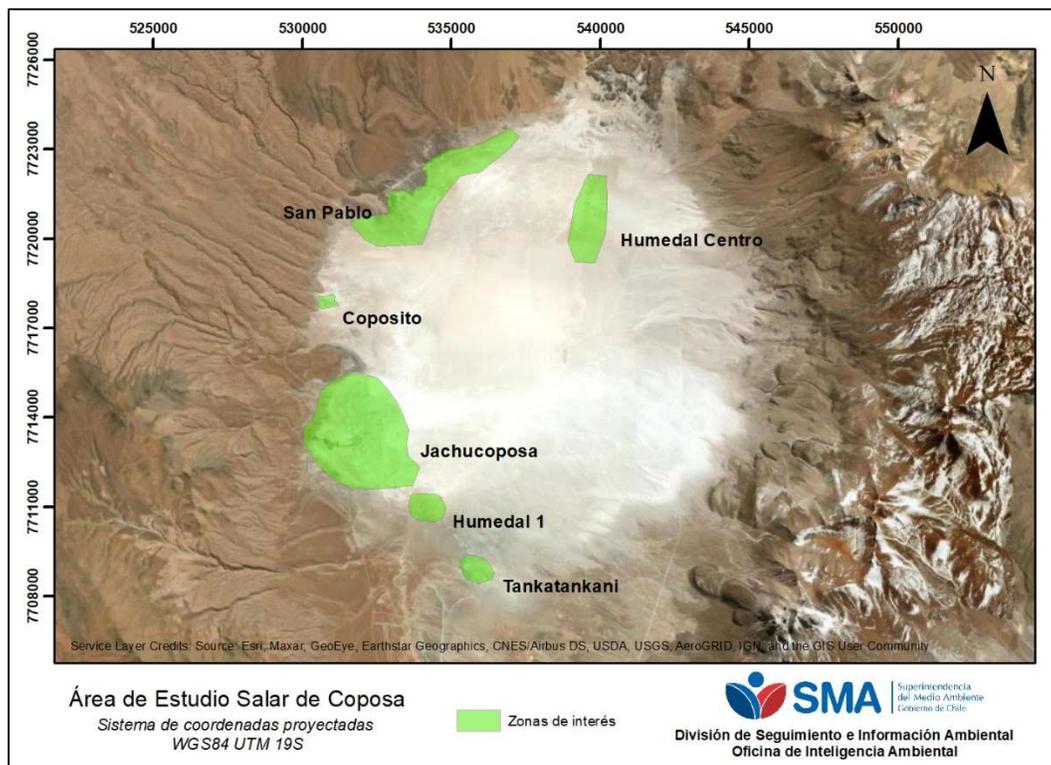
3.2.2.1. Área de estudio

El área de estudio corresponde a 6 sectores con vegetación ubicados dentro del Salar de Coposa (Figura 7), los cuales se nombraron como:

- Jachucoposa
- Coposito
- Tankatankani
- San Pablo
- Humedal Centro (correspondiente a un parche de vegetación identificado en el sector Norte del Salar de Coposa)
- Humedal 1 (correspondiente a un parche de vegetación identificado entre Coposa y Tankatankani)

Estos sectores fueron definidos a través de la detección de zonas con vegetación que se presenta más adelante.

Figura 7. Zonas de interés Salar de Coposa.



Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.2. Insumos satelitales

Para el análisis fueron utilizadas colecciones de imágenes satelitales provenientes de los satélites Landsat-5 (sensor TM) y Landsat-7 (sensor ETM+) a 30 metros de resolución espacial, en reflectancia de la superficie, las cuales se encuentran corregida atmosféricamente y ortorectificadas (“Producto USGS Landsat 5/7 Level 2, Collection 2, Tier 1”). Las imágenes en Tier 1 son los productos de mayor calidad, los cuales cuentan con la consistencia radiométrica y geométrica que los hace aptas para el análisis de series temporales². Por otra parte, la corrección atmosférica permite mitigar el efecto de aerosoles sobre la señal que recibe el sensor, permitiendo que las imágenes sean inter comparables entre sí, independiente de las condiciones atmosféricas del día de adquisición³.

Para el estudio se utilizaron dos colecciones de imágenes correspondientes al Path-Row 001-074, una para la evaluación de los meses de mayor vigor, donde se seleccionaron todas las imágenes disponibles entre 1985 y 1997 (considerado como último año sin intervenciones) descartando aquellas con más de un 30% de porcentaje de cobertura de nubes. Adicionalmente, a cada imagen de la colección se le aplicó una máscara de nubes, sombra de nubes y píxeles saturados a partir de la banda de calidad y de saturación de píxel incorporada para cada escena (“QA_PIXEL” y “QA_RADSAT”) y les fue aplicada la función de recalibración indicada por la USGS (2022d, Ecuación 1), dando un total de 171 imágenes. Por otra parte, una vez seleccionados los meses a evaluar para el análisis de series temporales, fue utilizada una colección de 116 imágenes (Apéndice 1), las cuales pasaron por un proceso de revisión supervisada, descartando aquellas imágenes que presentaran nubosidad, sombras de nubes, nieve y píxeles saturados sobre las zonas a evaluar.

3.2.2.3. Índice de vegetación

Con el fin de estudiar el comportamiento de la vegetación en el tiempo, se utilizó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), el cual es calculado a partir de las bandas roja e infrarroja cercanas para cada imagen. El índice NDVI es un indicador del vigor y/o cobertura de la vegetación y oscila entre -1 y 1, tomando valores negativos en espejos de agua y valores comúnmente sobre 0.1 para vegetación. Este es calculado como se indica en la Ecuación 5.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Ecuación 5.

Donde, NIR corresponde a la banda del infrarrojo cercano (banda 4 para los satélites utilizados) y RED corresponde a la banda roja (banda 3 para los satélites seleccionados).

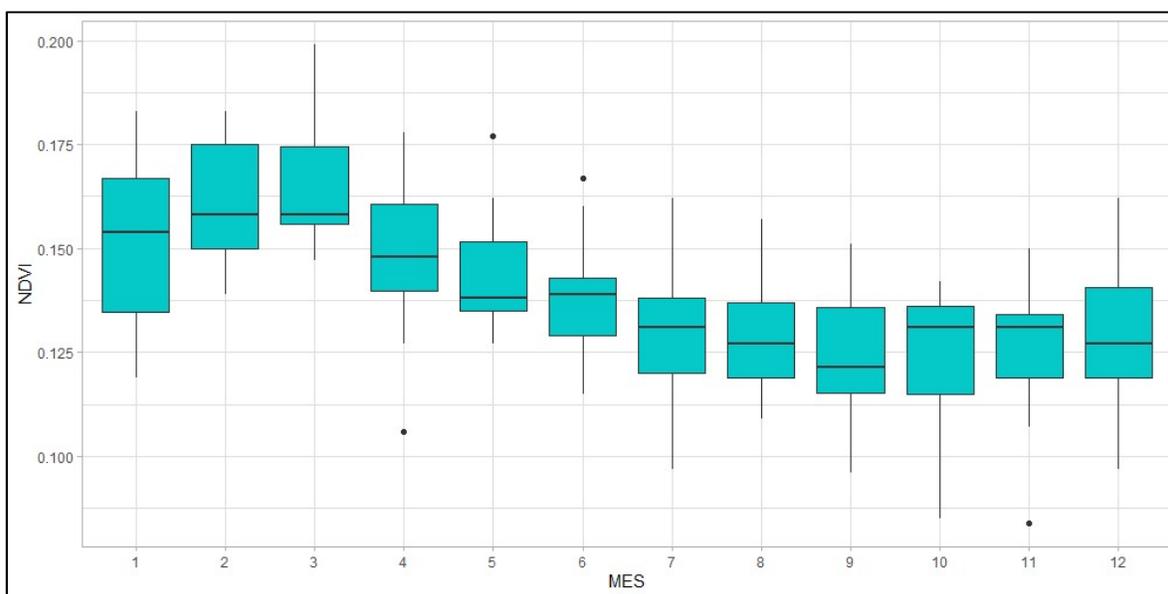
² Landsat Collection 2, disponible en la URL: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-2>.

³ Imágenes Surface Reflectance Landsat Collection 2, disponible en la URL: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-2-surface-reflectance>.

3.2.2.4. Selección de meses de mayor expresión vegetacional y área de análisis

Con el fin de determinar la época del año donde la vegetación presenta su máxima expresión de vigor y/o cobertura, para luego utilizar estos meses en el análisis de series temporales de vegetación, se construyó un gráfico de cajas (Figura 8) con todos los datos de NDVI disponibles para la serie Landsat descrita en la sección 3.2.2.2. Dado que los polígonos definidos previamente pueden contener un alto porcentaje de superficie con suelo desnudo, es que se extrajo el percentil 98 de los valores de NDVI por cada imagen, como representación de los valores máximos del índice en el área de estudio con el fin de caracterizar de mejor forma a la vegetación presente en ellos.

Figura 8. Gráfico de Cajas comportamiento mensual del NDVI en Salar de Coposa.

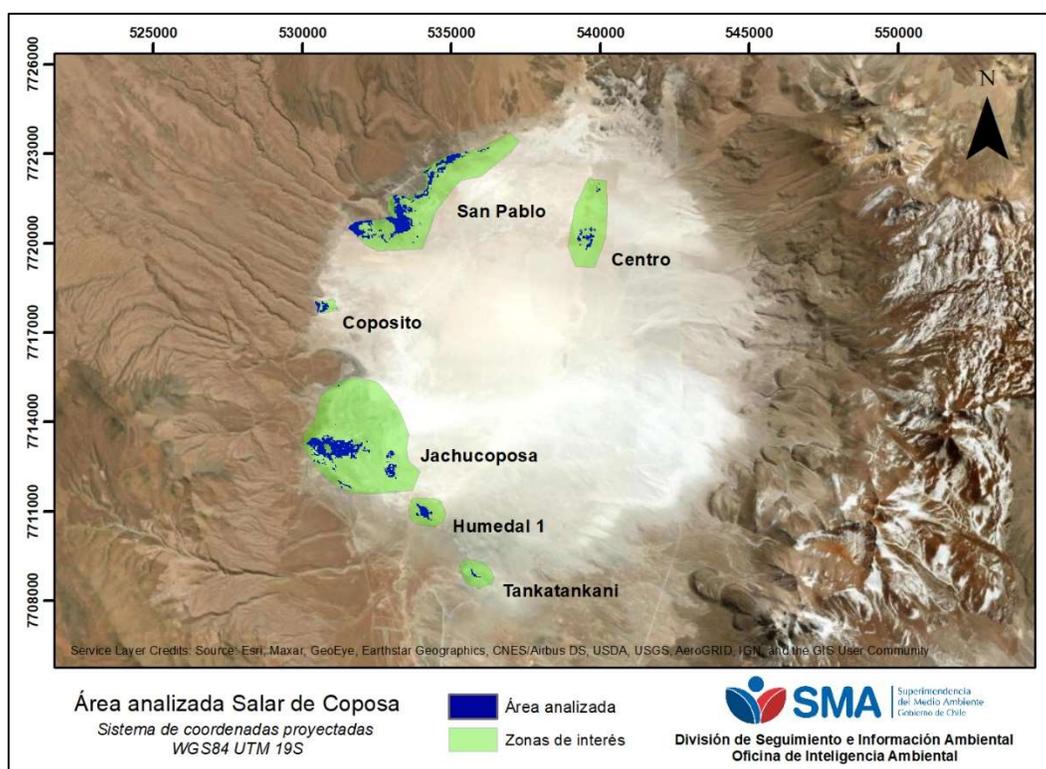


Fuente: Elaboración propia con productos Landsat USGS procesado mediante Google Earth Engine.

A partir de esta información, se definieron los meses de enero, febrero y marzo como los de mayor expresión vegetativa.

Adicionalmente, se creó una máscara de vegetación que define el área a analizar para toda la serie temporal (Figura 9). Esta se genera a partir de la colección de imágenes de NDVI utilizada para el análisis de series temporales (revisada manualmente) entre 1985 y 1997 que contiene solo los meses de enero, febrero y marzo (31 imágenes). Luego, se calculó la mediana del NDVI del conjunto de imágenes, dando como resultado 1 única imagen, a partir de la cual se tomaron como “área a analizar” solo aquellos píxeles cuya mediana de la temporada sean mayores a 0.1 NDVI. Esta máscara es aplicada a todas las imágenes por igual con el fin de analizar solo zonas con vegetación en el periodo considerado base (1985-1997), por lo tanto, para todos los años se analizan la misma cantidad de píxeles definidos por la máscara.

Figura 9. Área de análisis dentro de cada zona de interés.



Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.5. Creación de composiciones anuales

Para el análisis del comportamiento de la vegetación a través de series temporales y la visualización de tendencias, se construyeron imágenes anuales de NDVI a partir de la mediana de todas las imágenes de los meses de mayor expresión vegetativa para cada año (ene-feb-mar). Resultando de esta forma una imagen de NDVI por año. La construcción de imágenes anuales tiene como objetivo crear un dato representativo de cada año para el humedal y evitar los vacíos de información generados por la falla en el corrector de barrido del satélite Landsat 7 a partir del año 2003, lo cual no permite realizar estadísticas zonales comparables entre distintas escenas por la variabilidad de la ubicación de la falta de información en el caso de utilizar imágenes individuales. Además, la utilización de solo meses de máxima expresión vegetal permite evaluar de forma más clara las tendencias en el tiempo.

3.2.2.6. Presentación de resultados

A modo general, los análisis presentados hacen referencia a 2 fechas de importancia. Por una parte, el año 1998 correspondería al año de inicio de actividades de la Compañía Minera Doña Inés Collahuasi en el Salar de Coposa y por consiguiente el año 1997, sería el último año teóricamente sin intervenciones. Posteriormente, se considera el año 2008 dado el traslado de puntos de captación de agua desde el sur al sector norte del Salar.

Para la visualización de tendencias y el cálculo de áreas con y sin vegetación, se generaron los siguientes resultados:

Gráficos de barra: se construyeron gráficos de barra con la proporción de la superficie de cada rango de NDVI como representación de diferentes coberturas de suelo y niveles de vigor y/o cobertura de la vegetación. De esta forma, las categorías presentadas corresponden a:

- **NDVI<0:** Corresponde a los valores de NDVI menores a 0 NDVI. Estos son considerados como superficie sin vegetación.
- **NDVI<0.1:** en esta categoría se consideran los valores entre 0 NDVI y menores a 0.1 NDVI. Estos son considerados como superficie sin vegetación.
- **NDVI>=0.1:** en esta categoría se consideran los valores entre 0.1 NDVI y menores a 0.2 NDVI. Estos son considerados como superficie de vegetación.
- **NDVI>=0.2:** en esta categoría se consideran los valores entre 0.2 NDVI y menores a 0.3 NDVI. Estos son considerados como superficie de vegetación.
- **NDVI>=0.3:** en esta categoría se consideran los valores entre 0.3 NDVI y menores a 0.4 NDVI. Estos son considerados como superficie de vegetación.
- **NDVI>=0.4:** en esta categoría se consideran los valores desde 0.4 NDVI y superiores. Estos son considerados como superficie de vegetación.

El cálculo de la superficie de cada categoría fue a través del conteo de píxeles de cada una de ellas por humedal analizado. Posteriormente estos se traducen a hectáreas en la descripción de resultados.

Gráficos de Caja: Estos gráficos resumen el comportamiento del NDVI de todos los píxeles contenidos en cada humedal para cada año.

Gráficos de línea: En estos gráficos se presentan series temporales de la mediana, percentil 25 y percentil 75 de los píxeles contenidos en cada humedal para cada año. Adicionalmente se agregó una línea de tendencia generada a partir del método "*Local Polynomial Regression Fitting (Loess)*". Este permite observar de mejor forma las tendencias generales de la vegetación en el área analizada.

Mapas de cambio: Con el fin de poder observar los cambios producidos en el humedal a nivel espacial, se generaron 4 imágenes de NDVI del área de estudio para los años 1987, 1998, 2008 y 2022. Adicionalmente, se calculan imágenes de diferencia de NDVI, los cuales dan cuenta de los cambios ocurridos de un año a otro. Estas imágenes corresponden a las composiciones anuales generadas en el ítem 4.2.2.6.

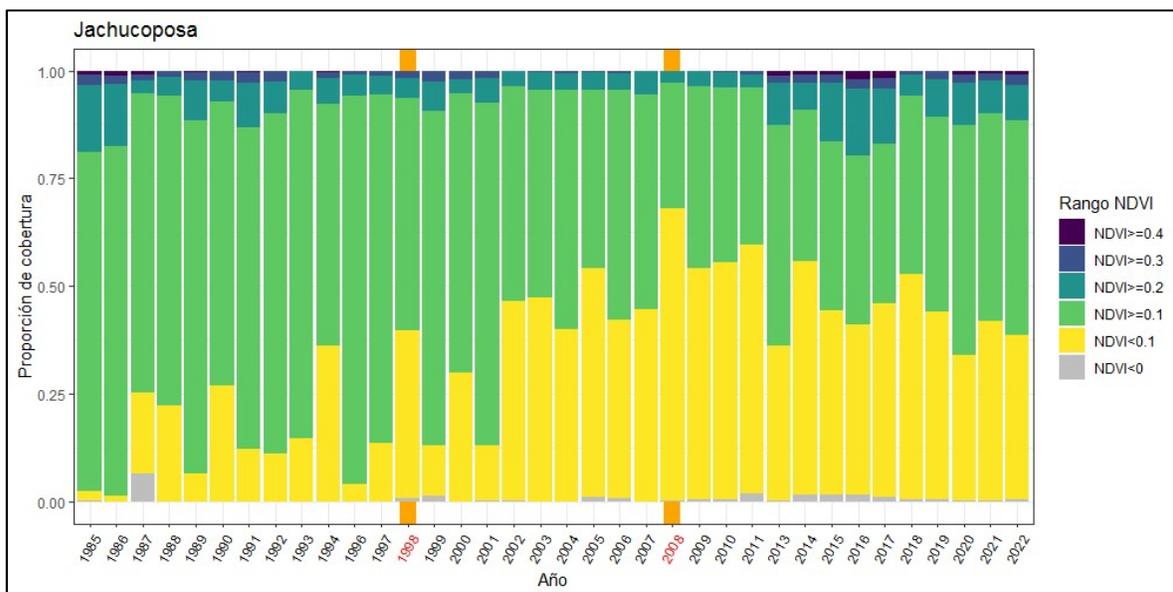
3.2.3. Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a través del análisis de imágenes satelitales para cada sistema vegetacional identificado, agregando 2 sistemas adicionales a los presentados por el titular en su informe.

3.2.3.1. Jachucoposa

Para el humedal Jachucoposa, fueron analizadas un total de 101.61 ha. En la Figura 10, se puede observar que el humedal presentó una disminución en la superficie con vegetación en el periodo comprendido entre 1997 y 2008 desde 87.66 ha a 32.49 ha. Posterior al año 2008, esta presentó un aumento en superficie, llegando a las 62.37 ha en el año 2022. De esta forma, se presenta una pérdida neta entre 1997 a 2022 de 25.29 ha.

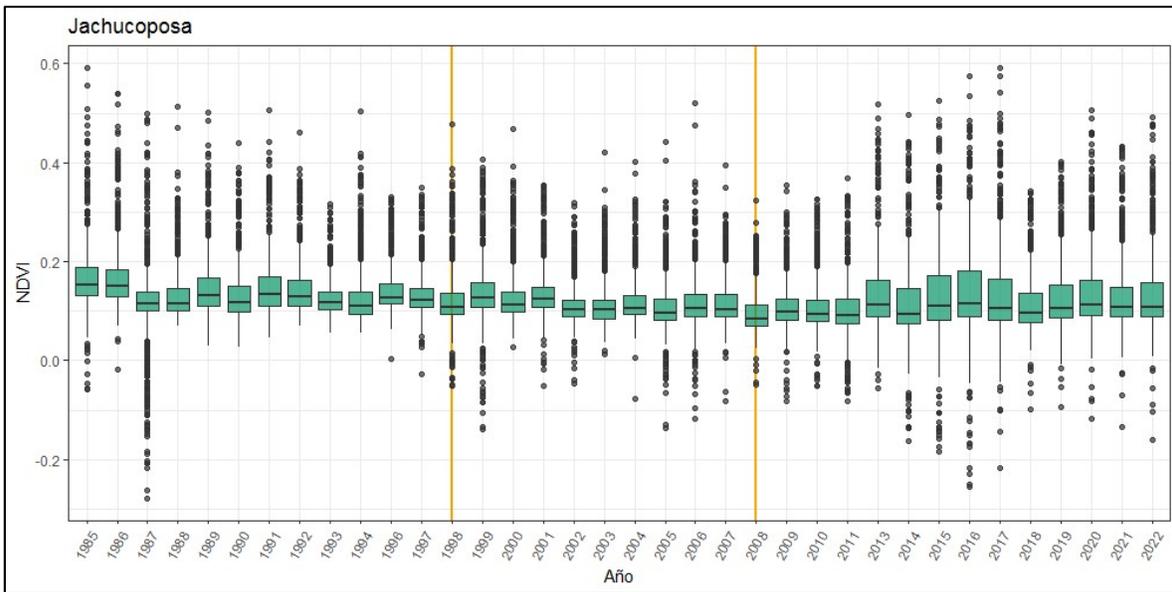
Figura 10. Gráfico de áreas proporcionales de rangos de NDVI para el humedal Jachucoposa.



Fuente: Elaboración propia.

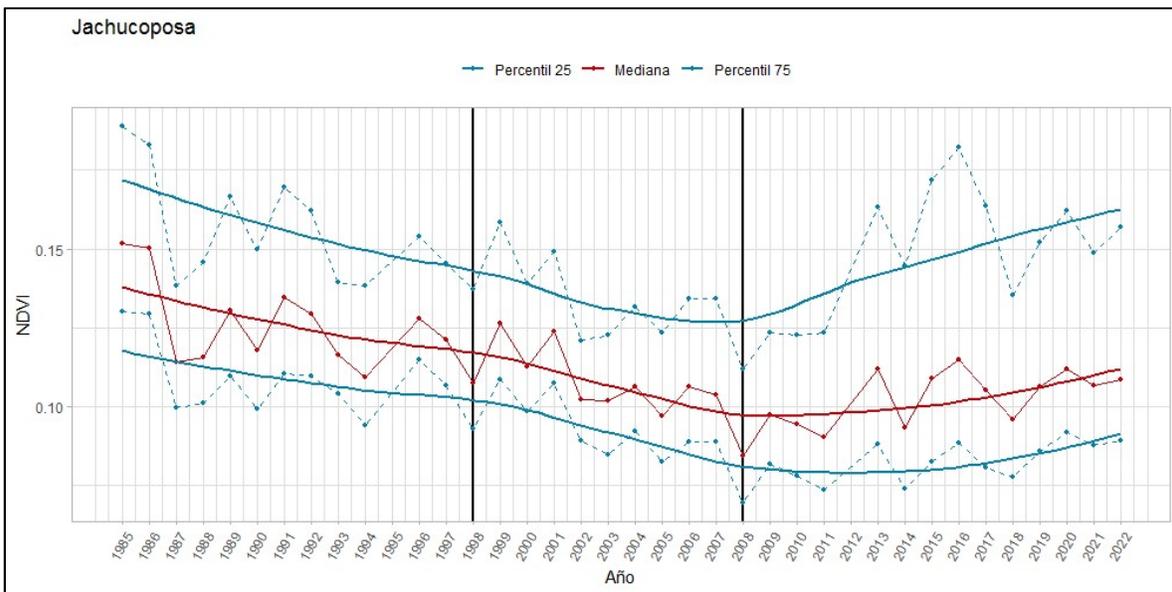
En la Figura 11 se puede observar el comportamiento interanual de los píxeles analizados en el humedal. De forma complementaria y para observar de mejor forma las tendencias generales del humedal, en la Figura 12 se muestra una serie temporal con los valores de la mediana, percentil 25 y percentil 75 de los píxeles que contiene el humedal para cada año junto con una línea de tendencia realizada a través de sumas móviles. A través de este es posible observar que el humedal presenta una tendencia general hacia una disminución de los valores de NDVI para todos los indicadores hasta el año 2008. Posteriormente, estos comienzan a aumentar su valor, sin embargo, es posible notar que la diferencia entre estos incrementa, permaneciendo tanto la mediana como el percentil 25 más bajos que aquellos valores observados previos al año 1998. Esto puede indicar que, si bien algunos sectores del humedal tuvieron aumentos en los valores del NDVI, el humedal aun presenta sectores donde la vegetación no logró recuperarse.

Figura 11. Gráfico de cajas de valores de NDVI por humedal por año para Jachucoposa.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 12. Serie temporal humedal Jachucoposa.

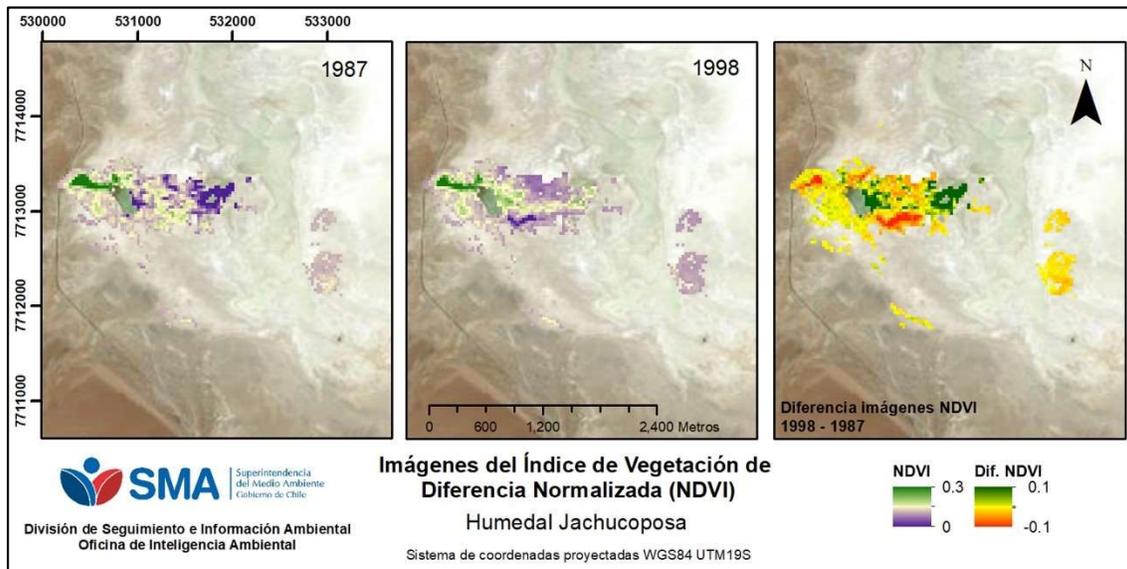


Fuente: Elaboración propia.

En las Figuras 13, 14 y 15 se presentan los mapas de NDVI para los años 1987, 1998, 2008 y 2022 y sus respectivas diferencias. En relación con lo anterior, en la Figura 14, es posible observar una disminución en el NDVI posterior al inicio de actividades de Collahuasi (1998) en al menos la mitad

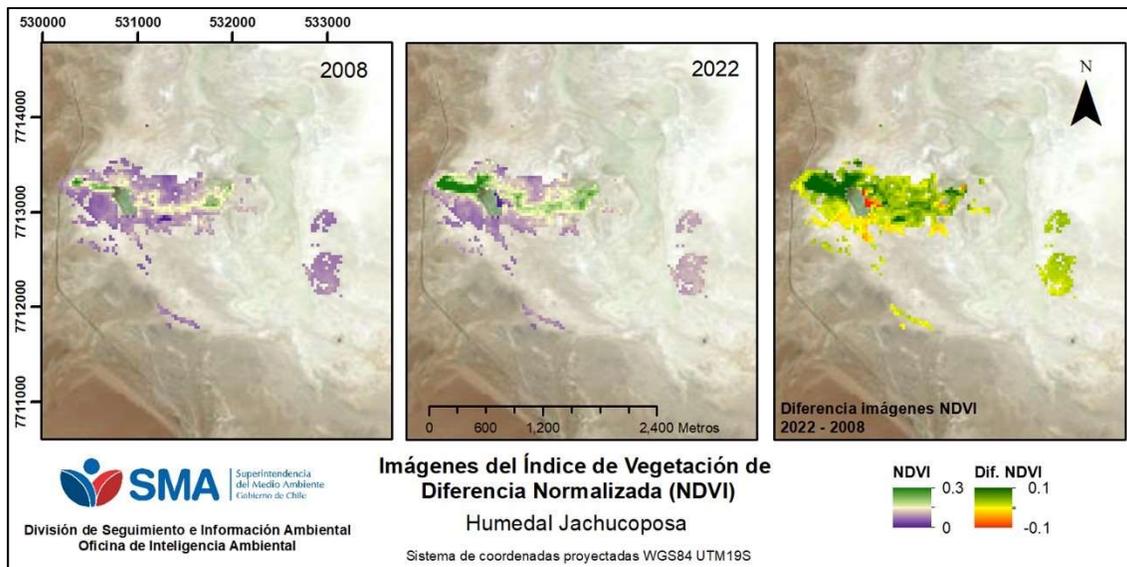
del humedal, mientras que a partir del año 2008 (Figura 18) se observa una recuperación parcial del área previamente afectada.

Figura 13. Mapas NDVI y diferencia de NDVI años 1987 y 1998 del humedal Jachucoposa.



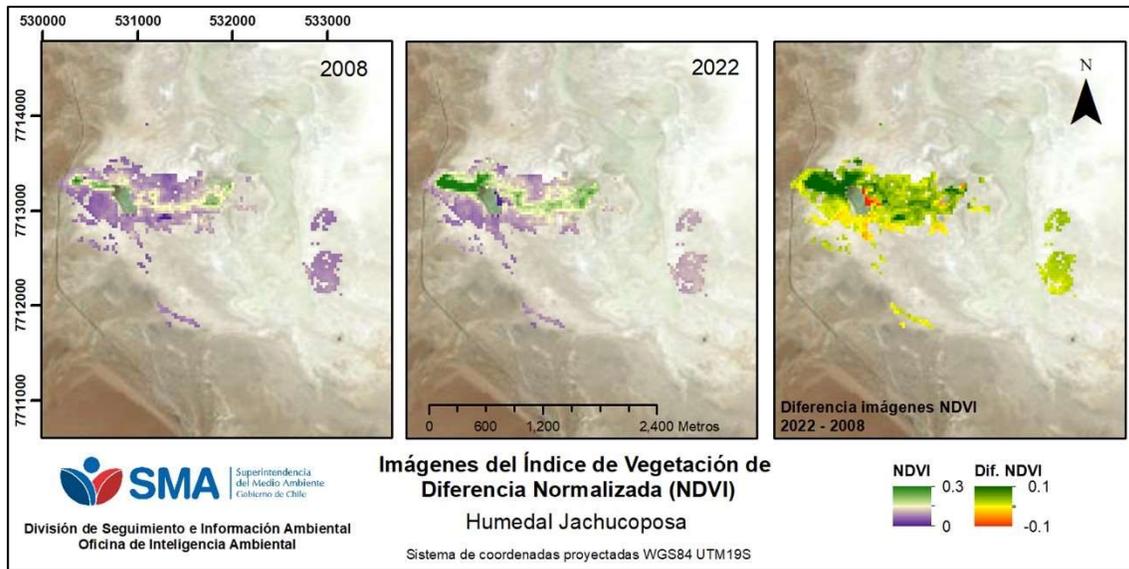
Fuente: Elaboración propia.

Figura 14. Mapas NDVI y diferencia de NDVI años 1998 y 2008 del humedal Jachucoposa.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 15. Mapas NDVI y diferencia de NDVI años 2008 y 2022 del humedal Jachucoposa.

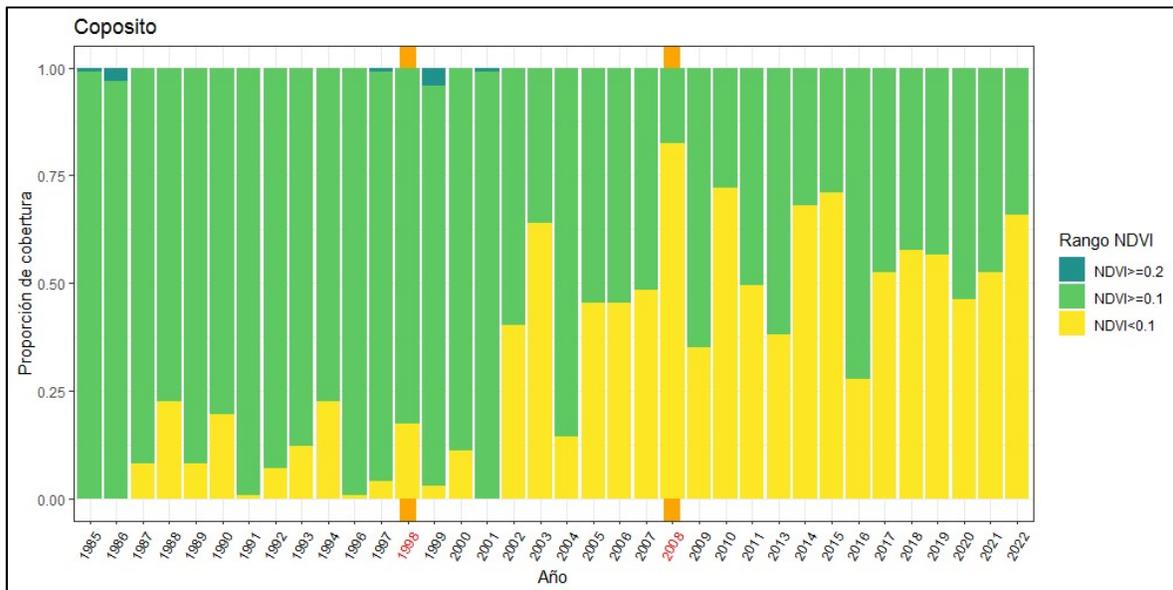


Fuente: Elaboración propia.

3.2.3.2. Coposito

El humedal Coposito, presentó un área a analizar de 8.73 ha. En la Figura 16, se puede observar que el humedal presentó una disminución en la superficie con vegetación en el periodo comprendido entre 1997 al 2008 yendo desde 8.37 ha a 1.53 ha. Posterior al año 2008, se mantuvo relativamente estable, llegando a presentar 2.97 ha de vegetación en el año 2022. De esta forma, se presenta una pérdida neta entre 1997 a 2022 de 5.4 ha.

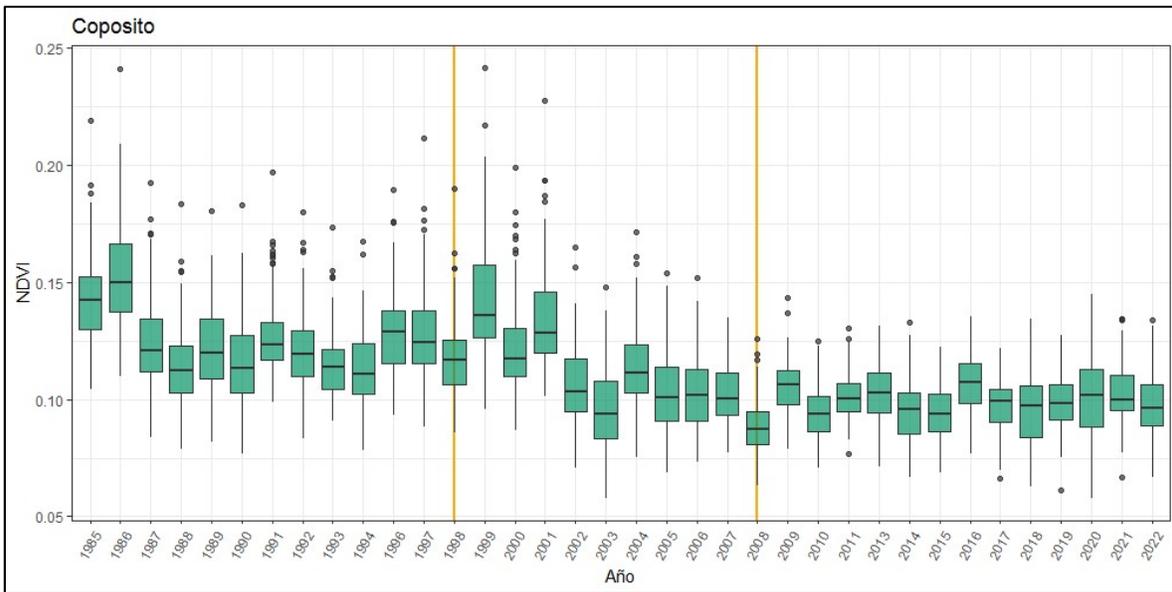
Figura 16. Gráfico de áreas proporcionales de rangos de NDVI para el humedal Coposito.



Fuente: Elaboración propia.

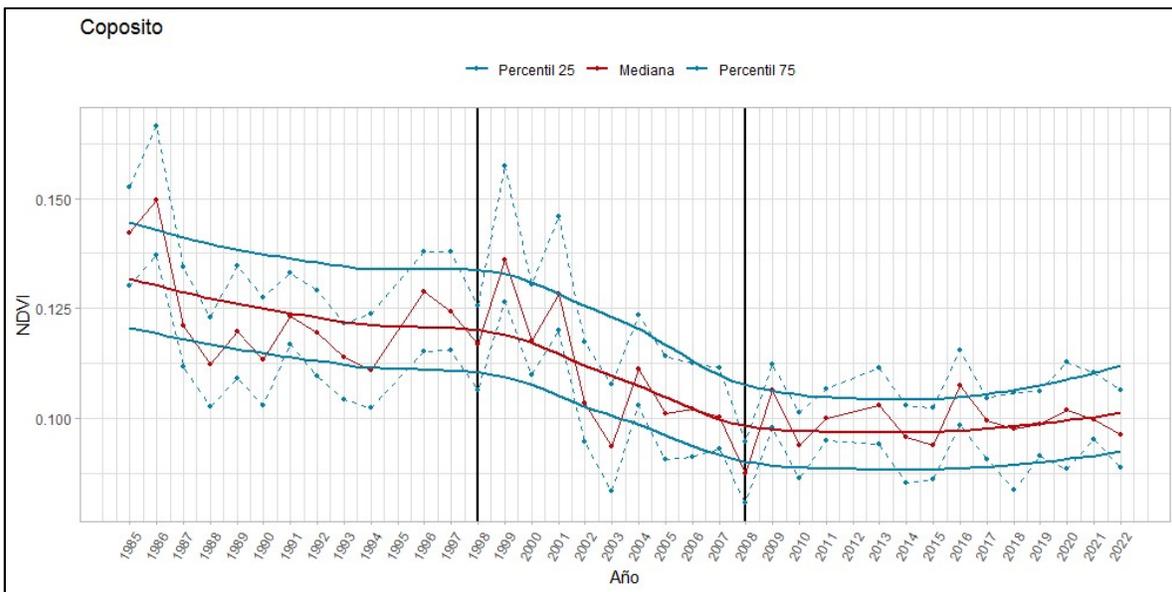
En la Figura 17 se puede observar el comportamiento interanual de los píxeles analizados en el humedal. De forma complementaria y para observar de mejor forma las tendencias generales del humedal, en la Figura 18 se muestra una serie temporal con los valores de la mediana, percentil 25 y percentil 75 de los píxeles que contiene el humedal para cada año junto con una línea de tendencia realizada a través de sumas móviles. A través de este es posible observar que el humedal presenta una tendencia general hacia una disminución de los valores de NDVI para todos los indicadores hasta el año 2008. Posteriormente, se observa una estabilización de los valores de NDVI en el nivel más bajo al que estos llegaron en el tiempo.

Figura 17. Gráfico de cajas de valores de NDVI por humedal por año para Coposito.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 18. Serie temporal humedal Coposito.

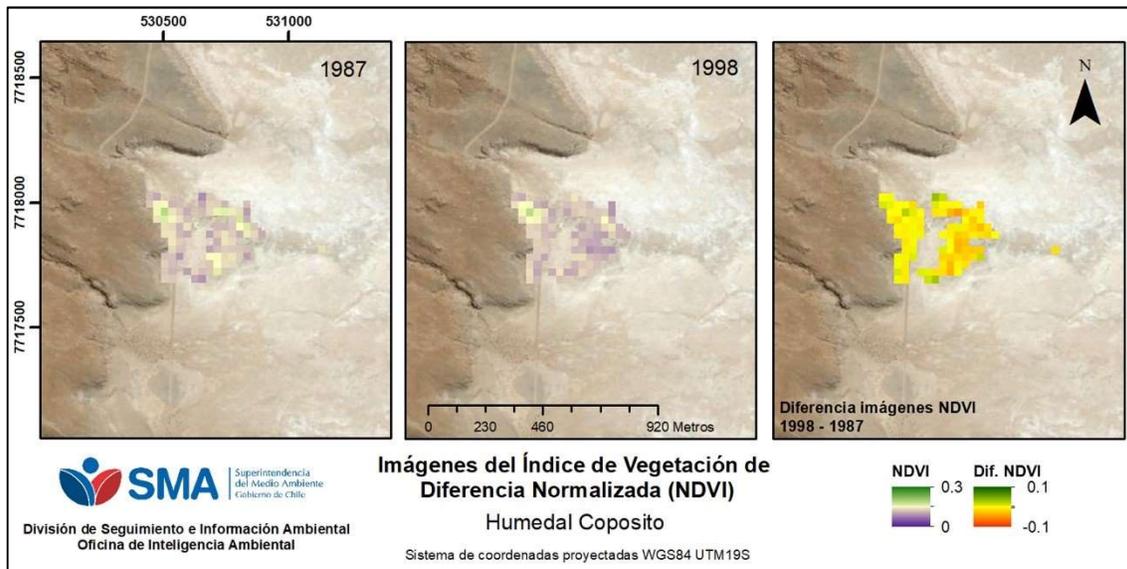


Fuente: Elaboración propia.

En las Figuras 19, 20 y 21 se presentan los mapas de NDVI para los años 1987, 1998, 2008 y 2022 y sus respectivas diferencias. A nivel espacial, así como también es descrito en las series temporales, se puede observar que la pérdida de vegetación se dio entre el inicio del proyecto y el año 2008 en

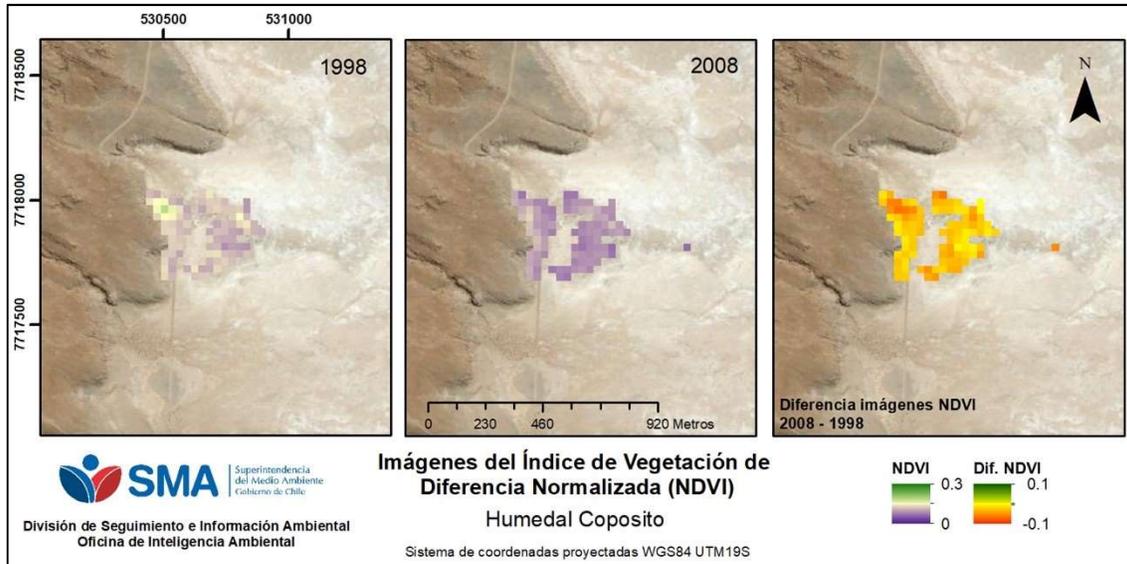
su mayor parte, siendo el periodo 3 (posterior a 2008) un periodo en donde los valores de NDVI se mantuvieron bajos o con unas muy leves recuperaciones, sin llegar al estado original.

Figura 19. Mapas NDVI y diferencia de NDVI años 1987 y 1998 del humedal Coposito.



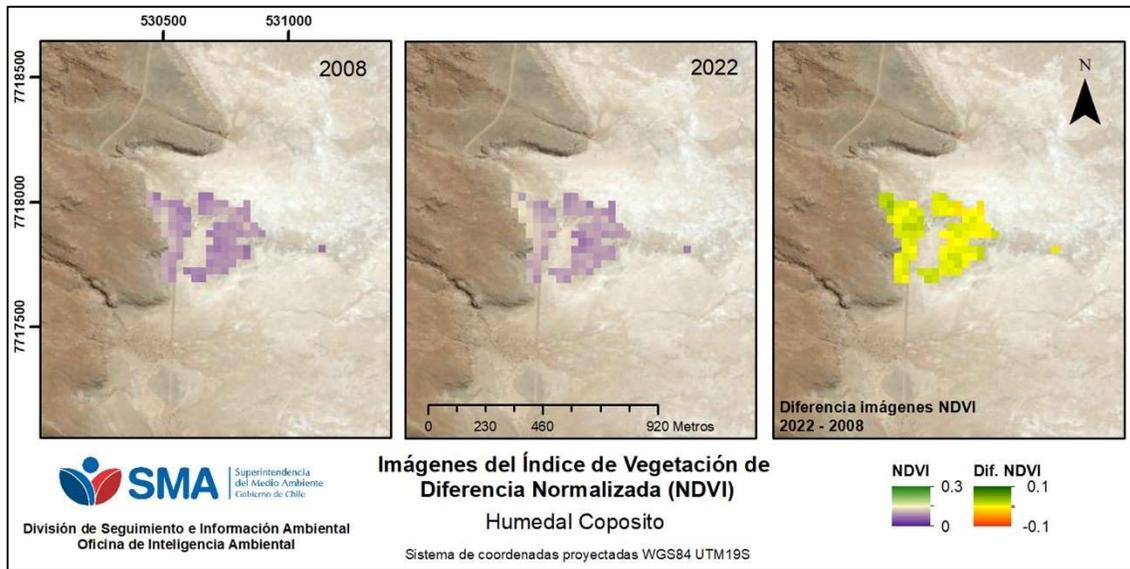
Fuente: Elaboración propia.

Figura 20. Mapas NDVI y diferencia de NDVI años 1998 y 2008 del humedal Coposito.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 21. Mapas NDVI y diferencia de NDVI años 2008 y 2022 del humedal Coposito.

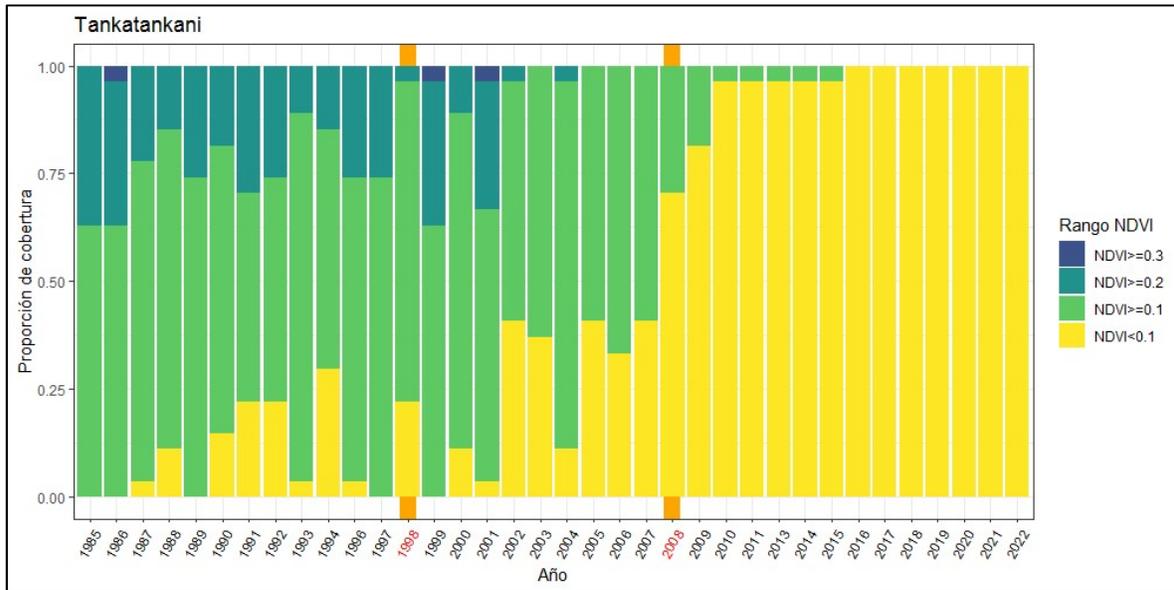


Fuente: Elaboración propia.

3.2.3.3. Tankatankani

En Tankatankani, fue analizada una superficie de 2.43 ha. En la Figura 22, se puede observar que el humedal presentó una disminución en la superficie con vegetación en el periodo comprendido entre 1997 al 2008 desde 2.43 ha a 0.72 ha. Posterior al año 2008, la disminución se mantuvo hasta perderse por completo la superficie con vegetación a partir del año 2016. De esta forma, al año 2022 se presenta una pérdida total de las 2.43 ha de vegetación.

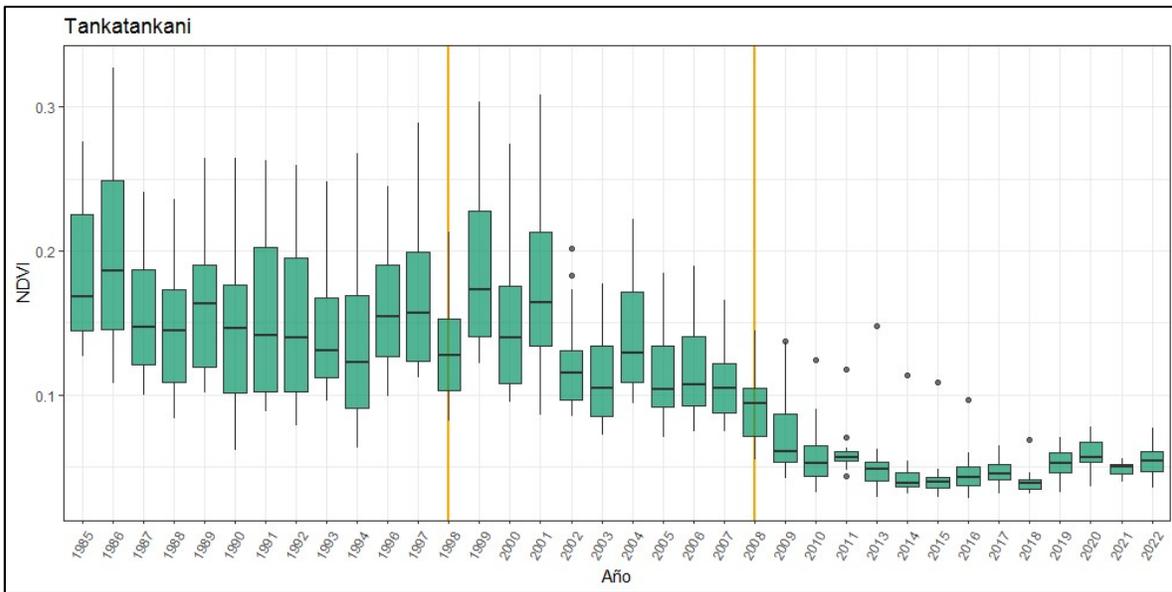
Figura 22. Gráfico de áreas proporcionales de rangos de NDVI para el humedal Tankatankani.



Fuente: Elaboración propia.

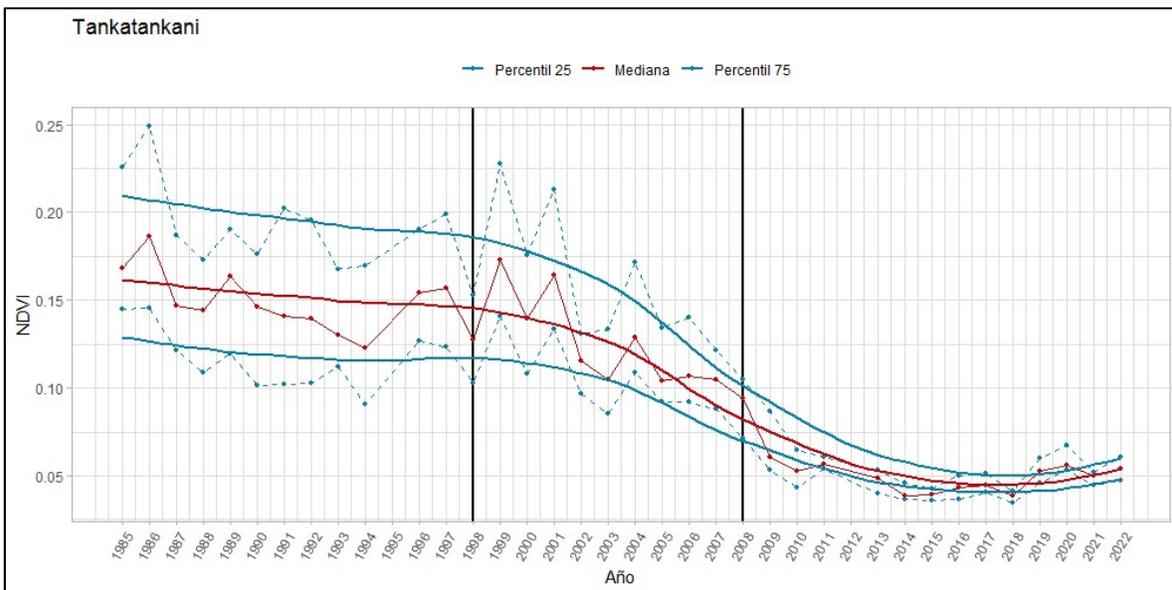
En la Figura 23 se puede observar el comportamiento interanual de los píxeles analizados en el humedal. De forma complementaria y para observar de mejor forma las tendencias generales del humedal, en la Figura 24 se muestra una serie temporal con los valores de la mediana, percentil 25 y percentil 75 de los píxeles que contiene el humedal para cada año junto con una línea de tendencia realizada a través de sumas móviles. A través de este es posible observar que el humedal presenta una tendencia general hacia una disminución de los valores de NDVI para todos los indicadores a partir del año 2000 aproximadamente, la cual llega a su mínimo cerca del año 2013, manteniéndose en su mínimo hasta la actualidad.

Figura 23. Gráfico de cajas de valores de NDVI por humedal por año para Tankatankani.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 24. Serie temporal humedal Tankatankani.

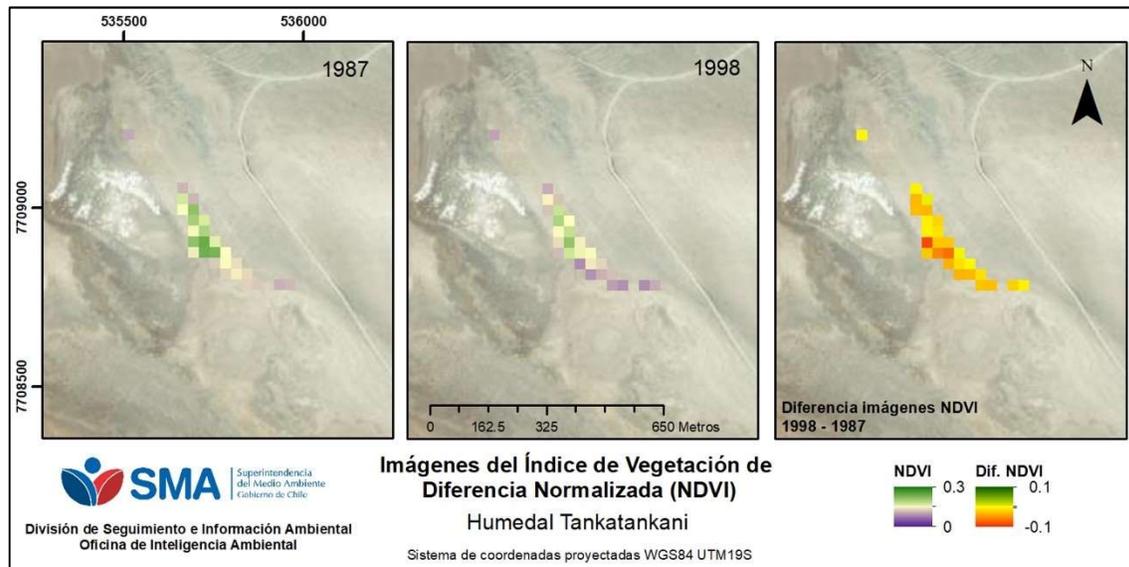


Fuente: Elaboración propia.

En las Figuras 25, 26 y 27 se presentan los mapas de NDVI para los años 1987, 1998, 2008 y 2022 y sus respectivas diferencias. A nivel espacial, se observa que en el periodo 2 (Figura 26) los cambios

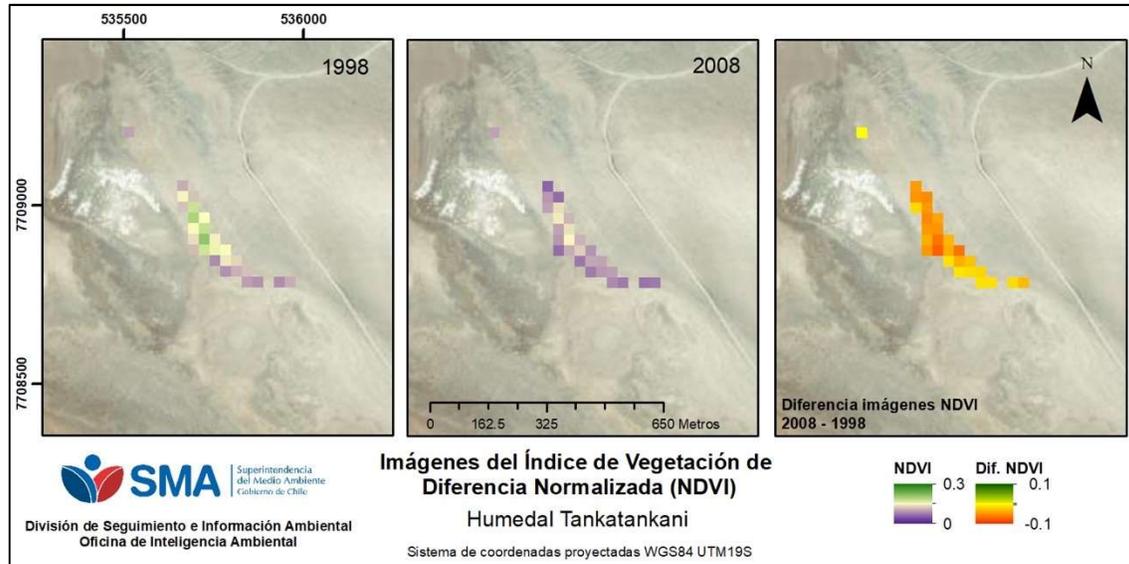
fueron hacia una disminución en todo el humedal y que el NDVI siguió disminuyendo en el sector con mayor vigor del humedal durante el periodo 3 (Figura 27).

Figura 25. Mapas NDVI y diferencia de NDVI años 1987 y 1998 del humedal Tankatankani.



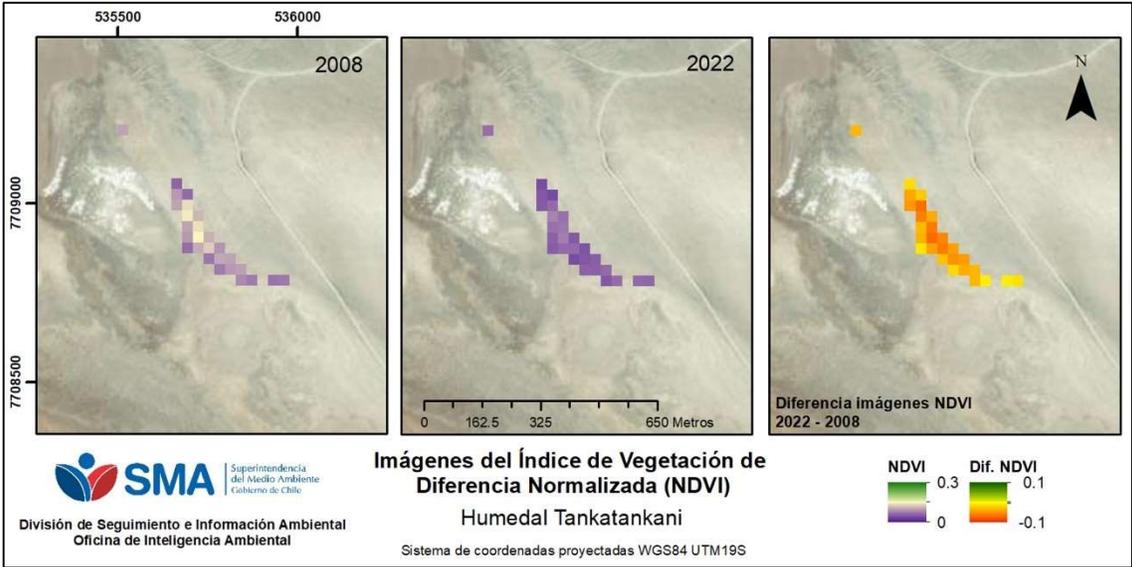
Fuente: Elaboración propia.

Figura 26. Mapas NDVI y diferencia de NDVI años 1998 y 2008 del humedal Tankatankani.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 27. Mapas NDVI y diferencia de NDVI años 2008 y 2022 del humedal Tankatankani.

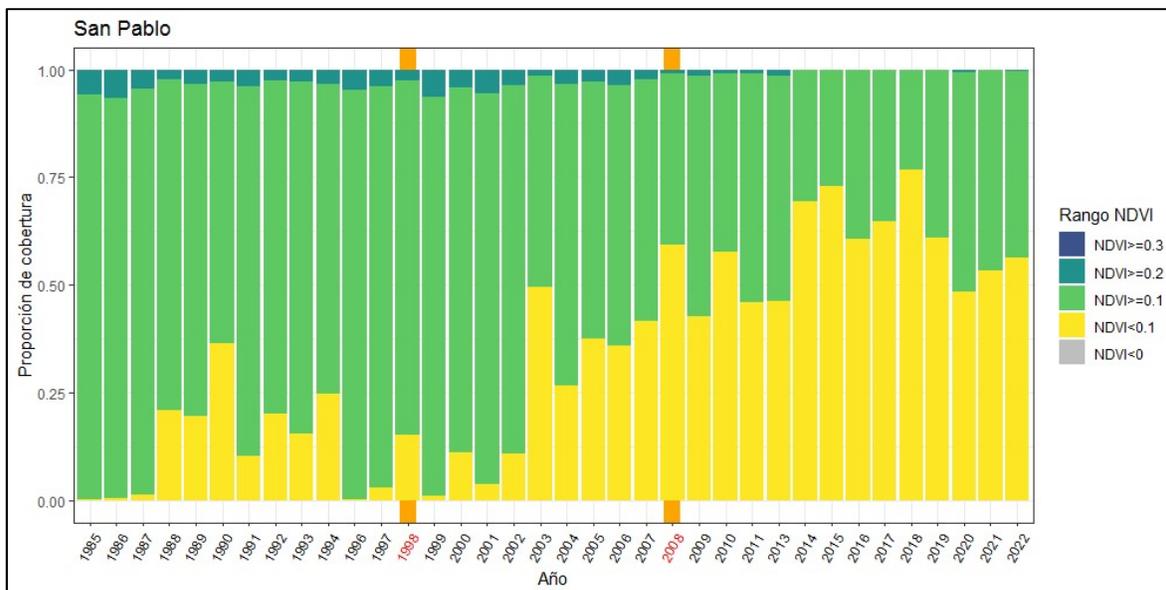


Fuente: Elaboración propia.

3.2.3.4. San Pablo

En el humedal San Pablo, fue analizada una superficie de 118.98 ha. En la Figura 28, se puede observar que el humedal presentó una disminución en la superficie con vegetación a partir del año 2003, pasando de 115.38 ha en el año 1997 a 48.42 ha el año 2008, siguiendo su disminución en los años posteriores, con una leve recuperación a partir del año 2019. En términos netos, entre los años 1997 y 2022 se tuvo una pérdida de 63.45 ha de vegetación.

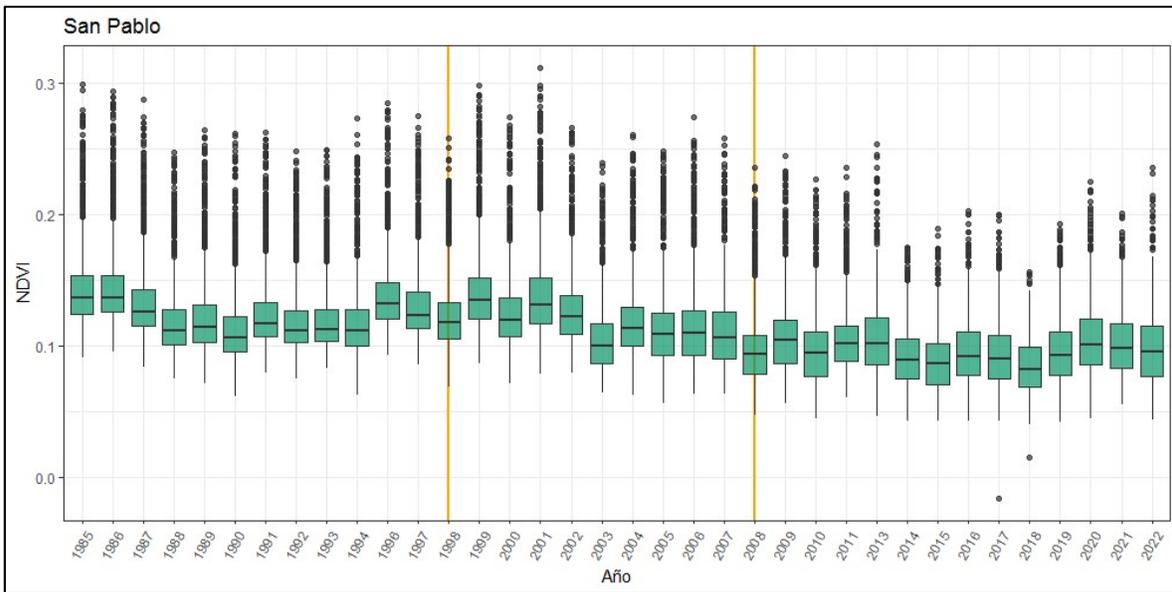
Figura 28. Gráfico de áreas proporcionales de rangos de NDVI para el humedal San Pablo.



Fuente: Elaboración propia.

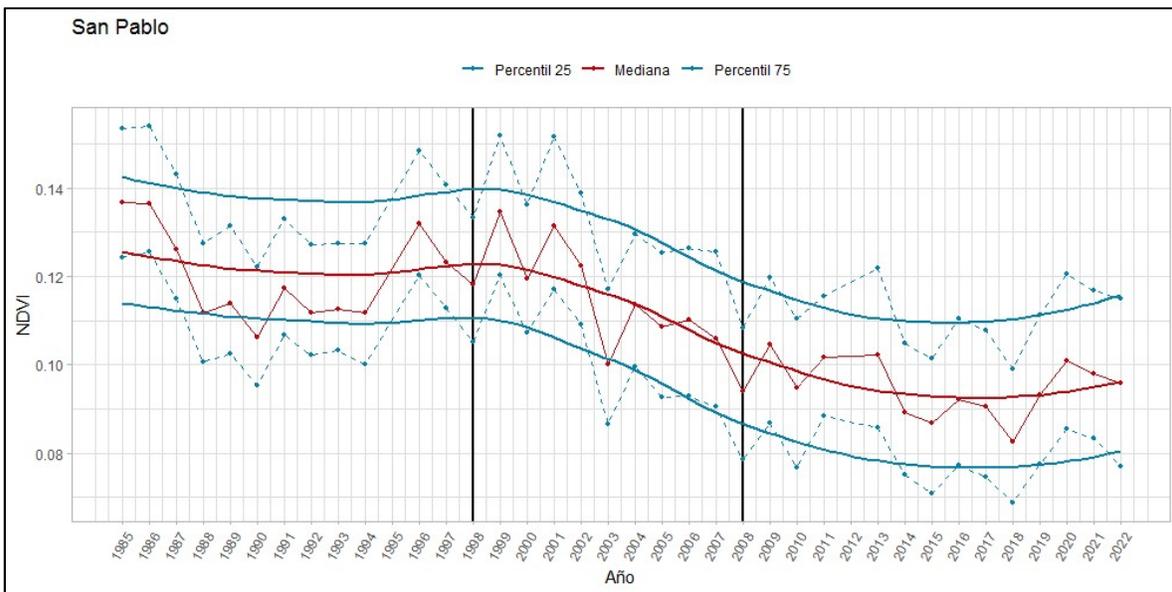
En la Figura 29 se puede observar el comportamiento interanual de los pixeles analizados en el humedal. De forma complementaria y para observar de mejor forma las tendencias generales del humedal, en la Figura 30 se muestra una serie temporal con los valores de la mediana, percentil 25 y percentil 75 de los pixeles que contiene el humedal para cada año junto con una línea de tendencia realizada a través de sumas móviles. A través de este es posible observar que el humedal presenta una tendencia general hacia una disminución de los valores de NDVI para todos los indicadores a partir del año 2003 aproximadamente, la cual llega a su mínimo cerca del año 2015, manteniendo estos valores bajos hasta el año 2022.

Figura 29. Gráfico de cajas de valores de NDVI por humedal por año para San Pablo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 30. Serie temporal humedal San Pablo.

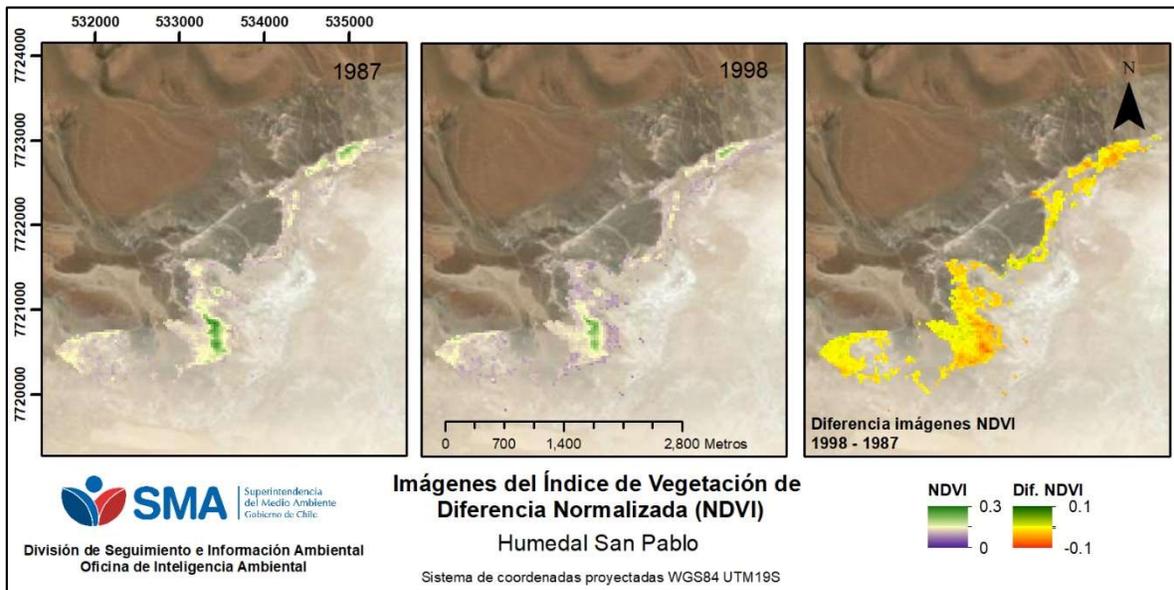


Fuente: Elaboración propia.

En las figuras 31, 32 y 33 se presentan los mapas de NDVI para los años 1987, 1998, 2008 y 2022 y sus respectivas diferencias. A nivel espacial, es posible observar que en el periodo 2 el fenómeno de disminución del NDVI fue generalizado en toda el área con vegetación analizada (Figura 32).

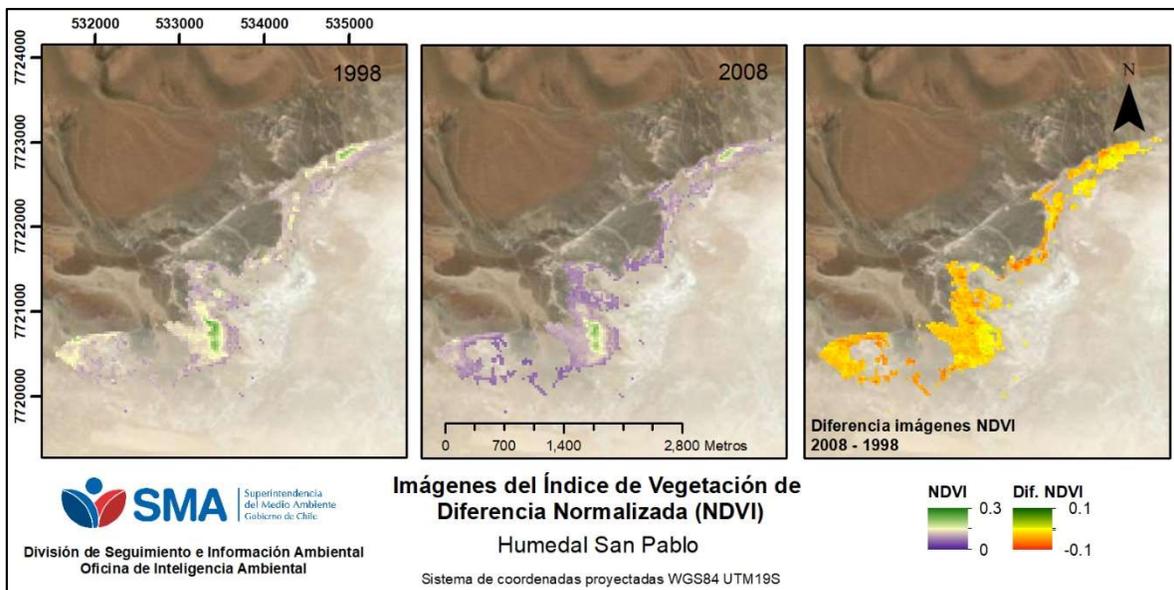
Mientras que en el periodo 3, los descensos se localizan en zonas donde se observaban los valores más altos de NDVI (Figura 33).

Figura 31. Mapas NDVI y diferencia de NDVI años 1987 y 1998 del humedal San Pablo.



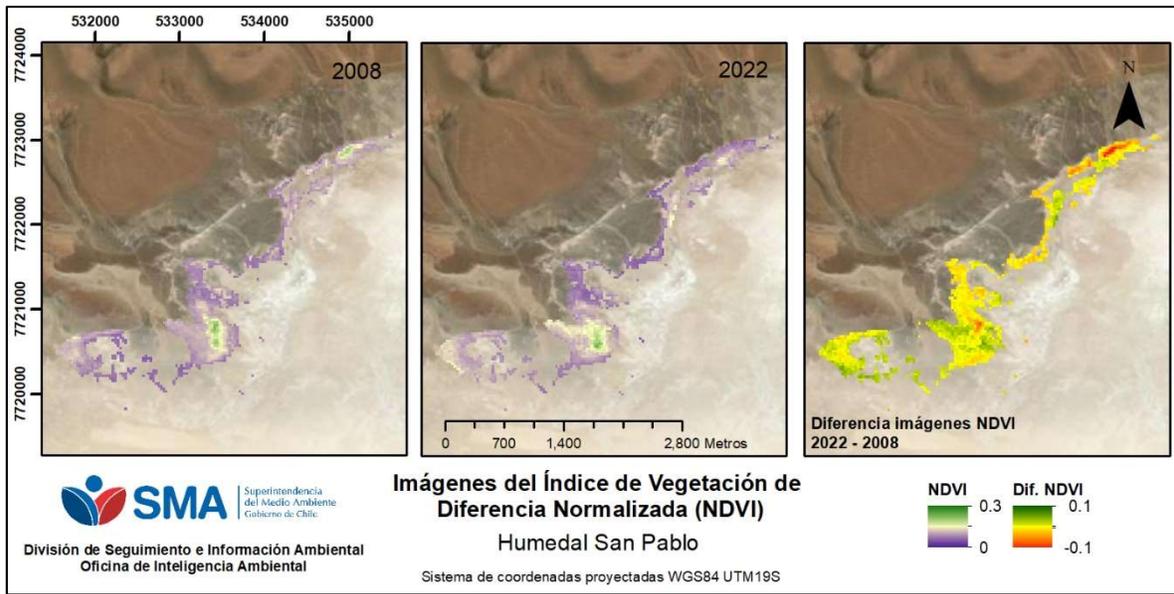
Fuente: Elaboración propia.

Figura 32. Mapas NDVI y diferencia de NDVI años 1998 y 2008 del humedal San Pablo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 33. Mapas NDVI y diferencia de NDVI años 2008 y 2022 del humedal San Pablo.



Fuente: Elaboración propia.

3.2.3.5. Centro

En el humedal Centro, fue analizada una superficie de 13.77 ha. En la Figura 34, se puede observar que el humedal presentó una disminución en la superficie con vegetación en el periodo comprendido entre 1997 y 2008 desde 12.06 ha a 0.18 ha. Posteriormente se observa la pérdida completa de la superficie cubierta por vegetación, siendo nula al año 2022. De esta forma, la pérdida neta correspondería al 100% de la superficie cubierta por vegetación al año 1997, lo que corresponde a 12.06 ha.

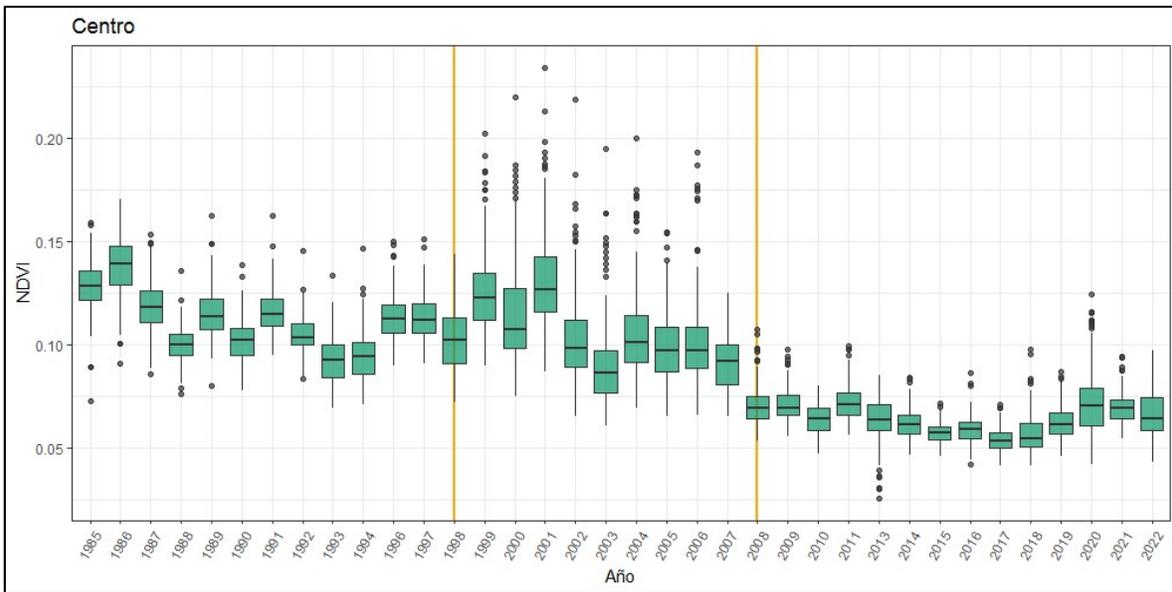
Figura 34. Gráfico de áreas proporcionales de rangos de NDVI para el humedal Centro.



Fuente: Elaboración propia.

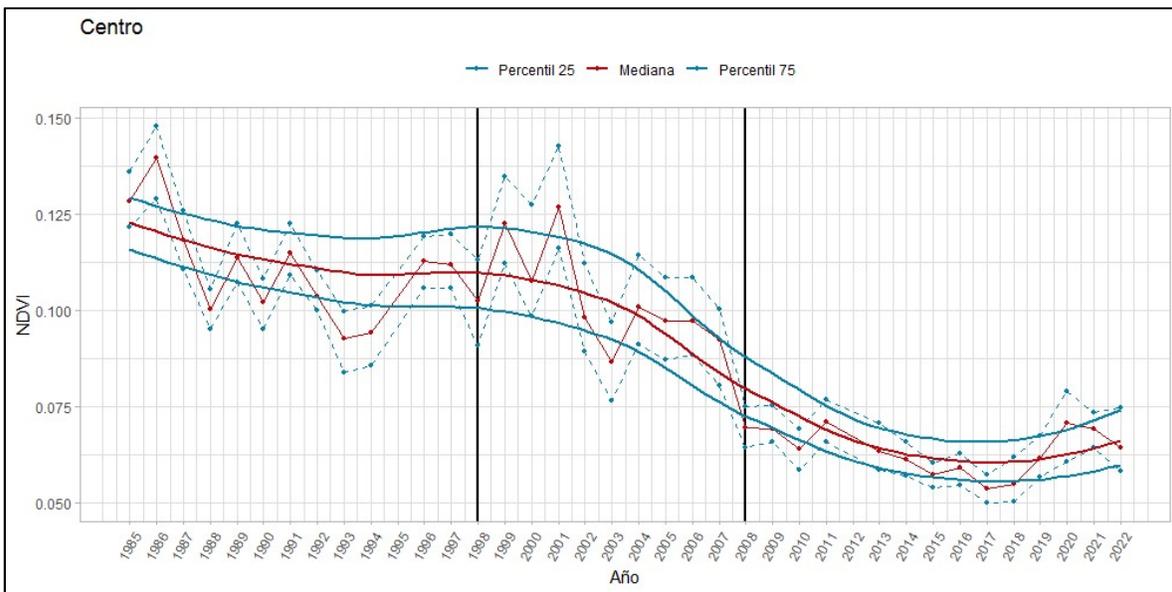
En la Figura 35 se puede observar el comportamiento interanual de los píxeles analizados en el humedal. De forma complementaria y para observar de mejor forma las tendencias generales del humedal, en la Figura 36 se muestra una serie temporal con los valores de la mediana, percentil 25 y percentil 75 de los píxeles que contiene el humedal para cada año junto con una línea de tendencia realizada a través de sumas móviles. A través de este es posible observar que el humedal presenta una tendencia general hacia una disminución de los valores de NDVI para todos los indicadores a partir del año 2002 aproximadamente, la cual llega a su mínimo cerca del año 2017, manteniéndose en sus valores mínimos al año 2022.

Figura 35. Gráfico de cajas de valores de NDVI por humedal por año para Centro.



Fuente: Elaboración propia.

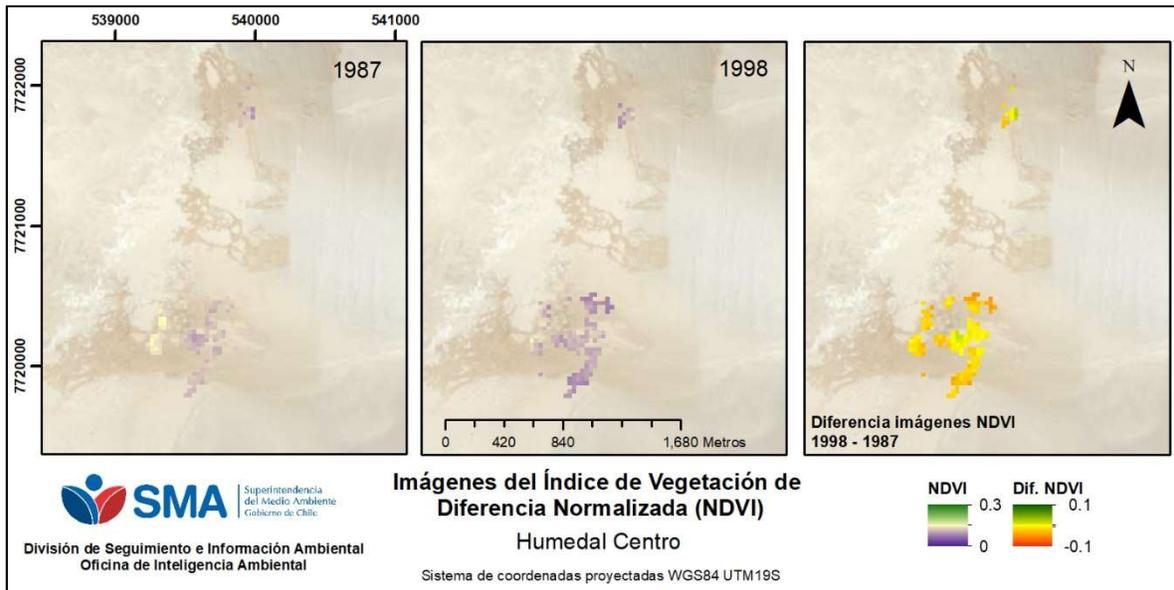
Figura 36. Serie temporal humedal Centro.



Fuente: Elaboración propia.

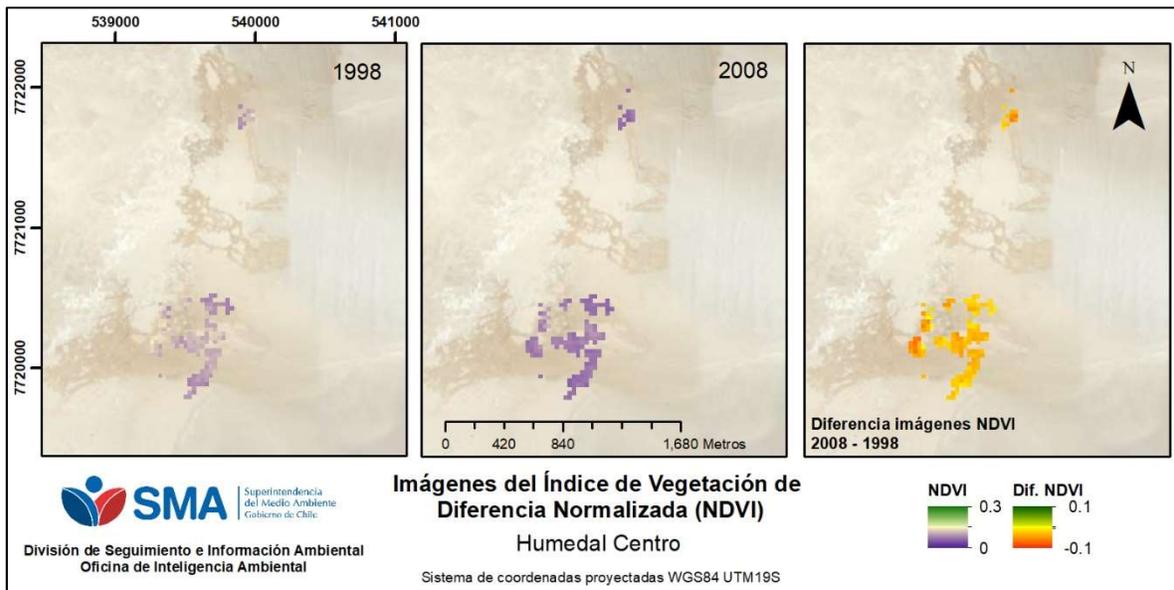
En las figuras 37, 38 y 29 se presentan los mapas de NDVI para los años 1987, 1998, 2008 y 2022 y sus respectivas diferencias. A nivel espacial, el cambio más generalizado ocurrió durante el periodo 2 (Figura 38), resultando en una disminución del NDVI en gran parte del humedal.

Figura 37. Mapas NDVI y diferencia de NDVI años 1987 y 1998 del humedal Centro.



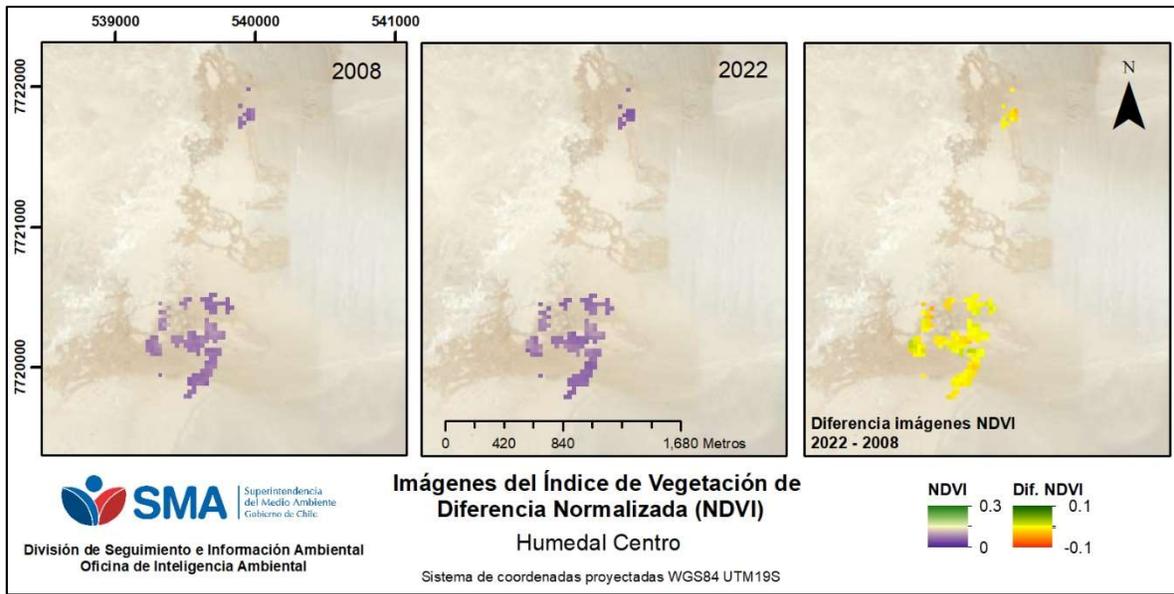
Fuente: Elaboración propia.

Figura 38. Mapas NDVI y diferencia de NDVI años 1998 y 2008 del humedal Centro.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 39. Mapas NDVI y diferencia de NDVI años 2008 y 2022 del humedal Centro.

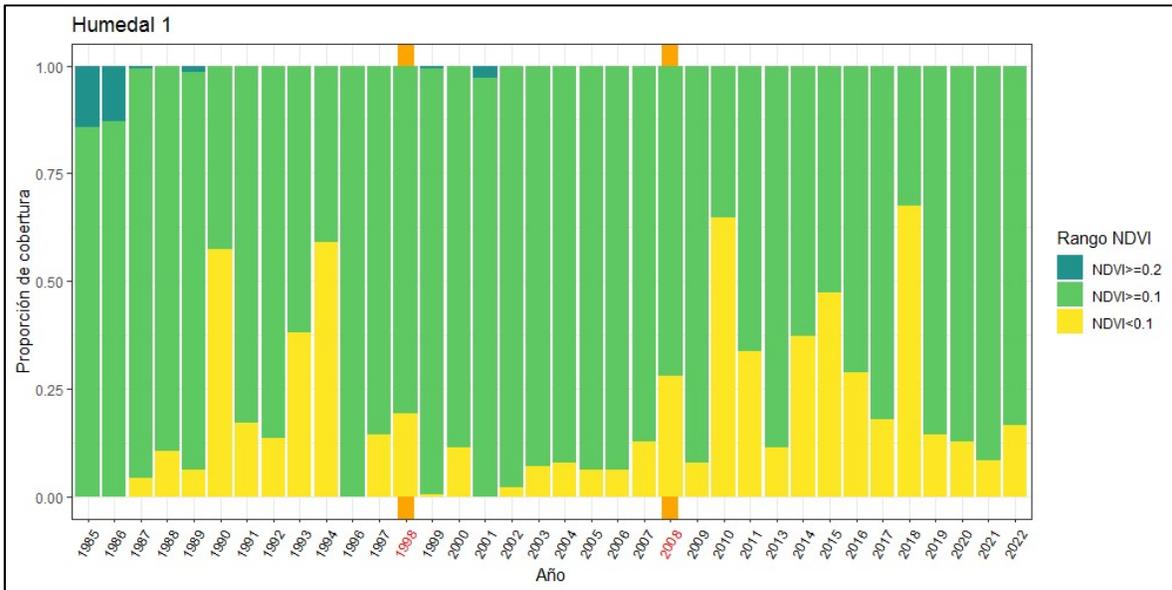


Fuente: Elaboración propia.

3.2.3.6. Humedal 1 en sector sur de Coposa

En el Humedal 1, fue analizada una superficie de 12.51 ha. En la Figura 40, se puede observar que el humedal presenta una alta variabilidad en el comportamiento de su superficie con y sin vegetación, sin una tendencia clara. Esto se puede deber a que el humedal no presente las mismas características sistémicas de los demás humedales analizados, siendo dependiente de una fuente de escurrimiento superficial evidenciada en las imágenes.

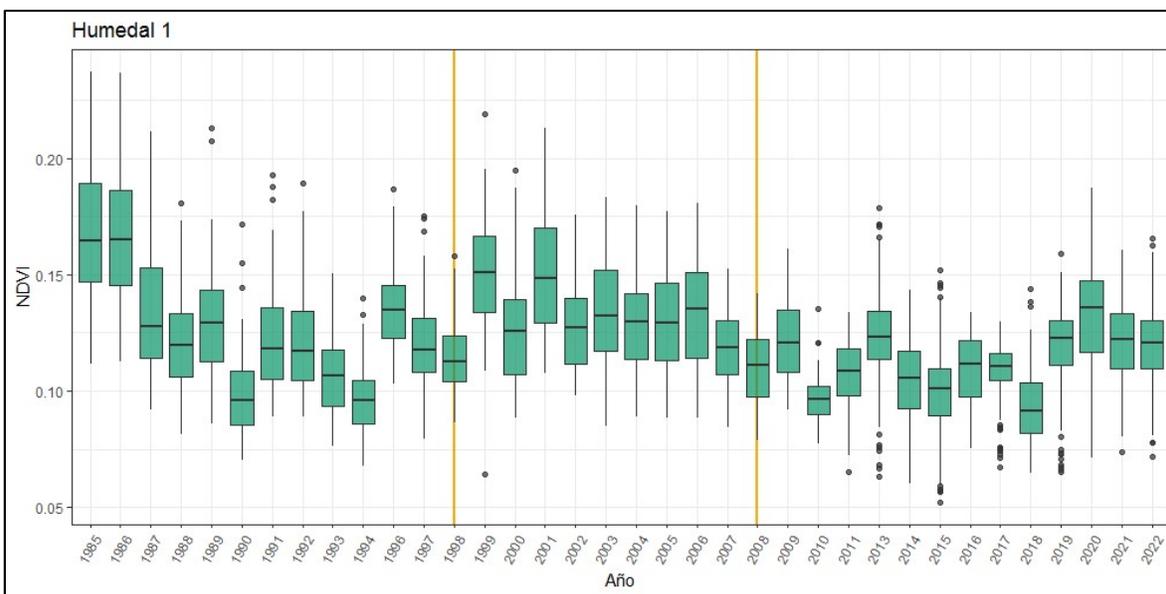
Figura 40. Gráfico de áreas proporcionales de rangos de NDVI para el humedal 1.



Fuente: Elaboración propia.

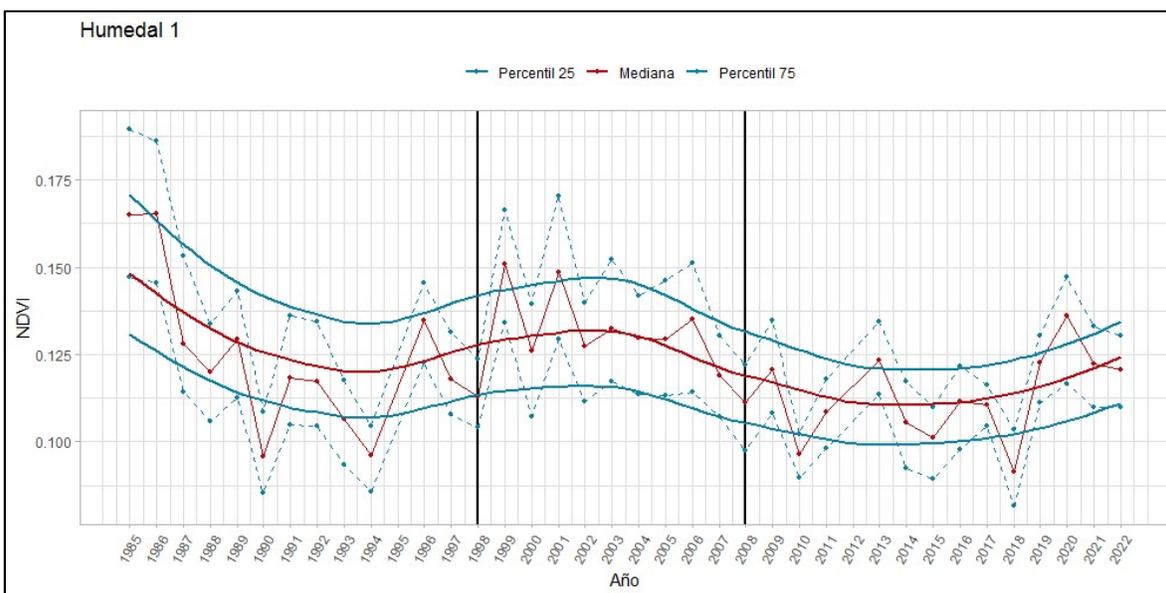
En la Figura 41 se puede observar el comportamiento interanual de los píxeles analizados en el humedal. De forma complementaria y para observar de mejor forma las tendencias generales del humedal, en la Figura 42 se muestra una serie temporal con los valores de la mediana, percentil 25 y percentil 75 de los píxeles que contiene el humedal para cada año junto con una línea de tendencia realizada a través de sumas móviles. En este se observan tanto aumentos como descensos del NDVI a través de los años analizados, observando que posterior al año 2008 ocurre un descenso de los indicadores cuyos valores no se alejan demasiado de aquellos presentados previo al año 1998.

Figura 41. Gráfico de cajas de valores de NDVI por humedal por año para Humedal 1.



Fuente: Elaboración propia.

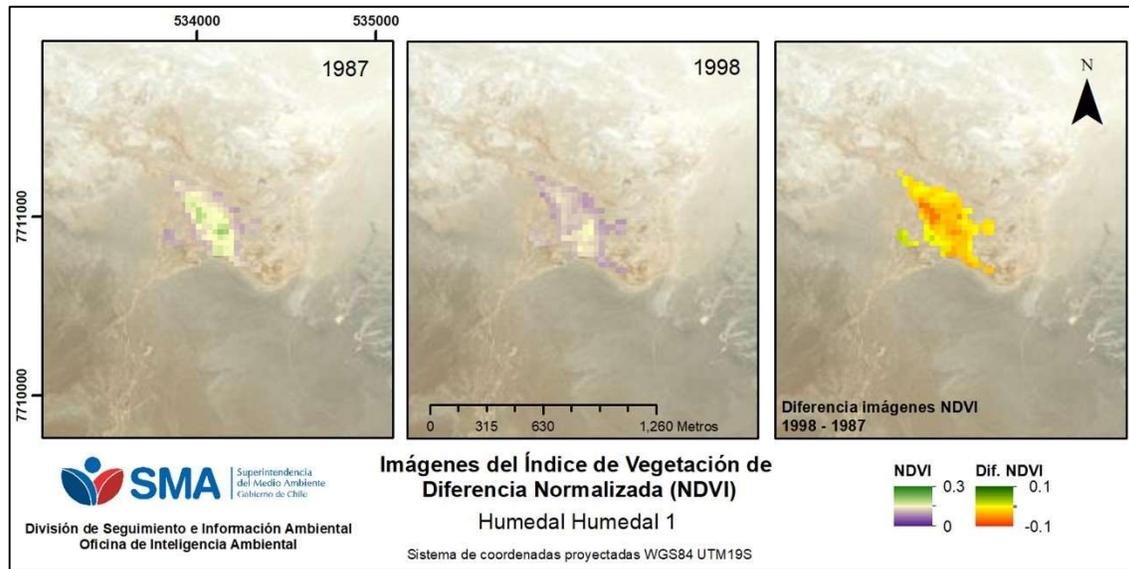
Figura 42. Serie temporal humedal 1.



Fuente: Elaboración propia.

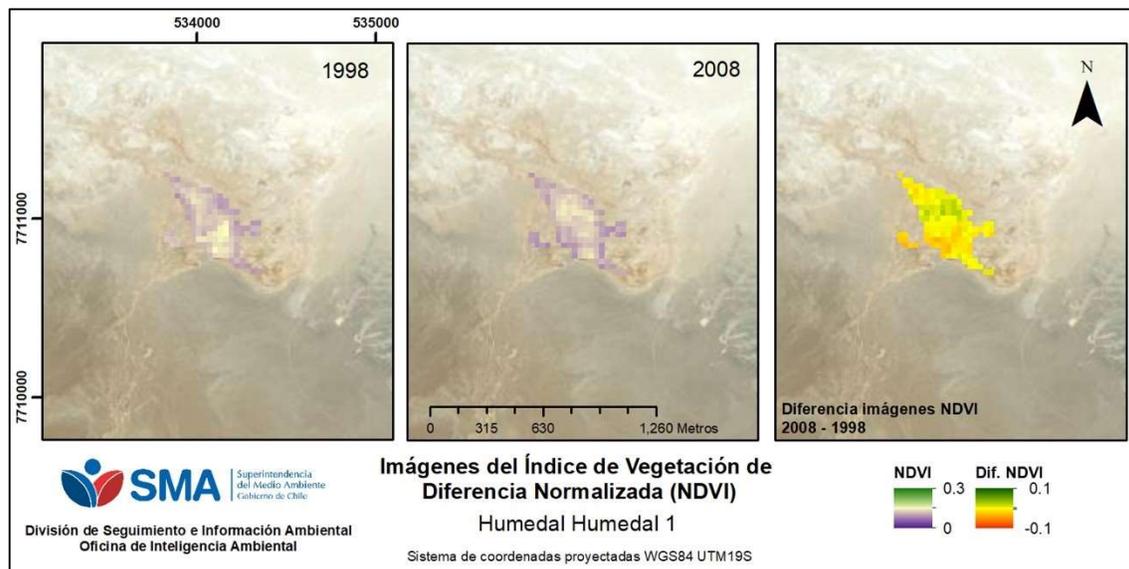
En las Figuras 43, 44 y 45 se presentan los mapas de NDVI para los años 1987, 1998, 2008 y 2022 y sus respectivas diferencias. A nivel espacial, se pueden observar disminuciones y aumentos del NDVI en distintas zonas, dándose disminuciones más focalizadas en los periodos 2 y 3 (Figuras 44 y 45).

Figura 43. Mapas NDVI y diferencia de NDVI años 1987 y 1998 del humedal 1.



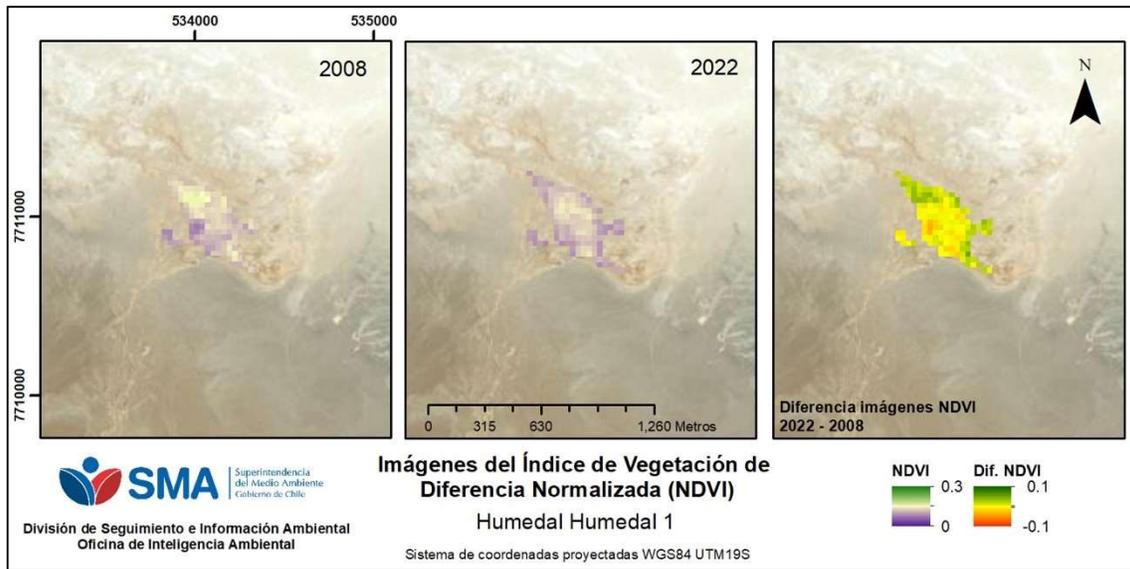
Fuente: Elaboración propia.

Figura 44. Mapas NDVI y diferencia de NDVI años 1998 y 2008 del humedal 1.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 45. Mapas NDVI y diferencia de NDVI años 2008 y 2022 del humedal 1.



Fuente: Elaboración propia.

4. CONCLUSIONES

A continuación, se presentan las conclusiones del equipo de profesionales que analizó los documentos presentados por la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi

4.1. Análisis de Sistemas Lagunares

Teniendo a la vista los resultados plasmados por CEA/CMDIC y el análisis desarrollado en el presente documento, se puede determinar la existencia de diferencias relevantes en los resultados y las conclusiones que dichos análisis permiten reconocer. A juicio de esta oficina, las diferencias se explican a partir de la decisión por parte de CEA/CMDIC de utilizar de forma combinada los sensores TM de Landsat 5 y OLI de Landsat 8 para el análisis de series temporales, decisión que conlleva la perturbación de la serie al no ser instrumentos que estén midiendo las mismas longitudes de onda, principalmente en la banda del infrarrojo cercano para generación del índice NDWI de McFeeters (1996). Esta conclusión queda respaldada en el ejercicio de comparación de mediciones de superficie lagunar en el sector de Jachucoposa utilizando imágenes del sensor ETM+ y OLI en el punto 2.2.3.5, donde se identificaron diferencias porcentuales promedio de 700.71% mayores en Landsat 8 utilizando la misma metodología.

Adicionalmente, se documentó y verificó la existencia de múltiples métodos para subsanar la falla operacional del instrumento SLC presente en el sensor ETM+ a partir del año 2003, lo que permite su utilización en combinación con el sensor TM para desarrollar series de tiempo comparables, razón por la cual no es descartable la información que disponibiliza el satélite Landsat 7. Además, uno de los principales métodos es la agregación multitemporal de imágenes en periodos acotados, método que CEA/CMDIC ejecuta en su informe en periodo estivales y pluviales de 6 meses de duración.

Respecto del uso de imágenes satelitales de Alta Resolución, se reconoce como un insumo importante pero limitado en cuando a su capacidad para por si mismo describir el comportamiento temporal de los sistemas Lagunares, ya que corresponde a un grupo discreto de imágenes que solo corresponde a periodo posterior al inicio de las operaciones de extracción de recursos hídricos. Además, si bien es una muestra relevante de imágenes, éstas no corresponden a una temporada específica, por lo que no permite hacer un análisis de temporadas. Por último, se reconoce como un elemento cuestionable el uso de umbrales fijos de NDWI ante imágenes con propiedades radiométricas disimiles entre sí (específicamente, longitudes de onda del sensor en las bandas verde e infrarrojo cercano), razón por la que se proponen métodos alternativos para subsanar las falencias metodológicas.

En relación con los análisis de correlación presentados por CEA/CMDIC es necesario destacar que estos están hechos sobre la base de un análisis con falencias metodológicas en la inclusión de series de tiempo de superficies lagunares calculadas mediante el índice NDWI, razón por la cual es esperable la no correlación o la existencia de correlaciones menores tanto en precipitación, bombeo de recursos hídricos y profundidad de los niveles freáticos. Teniendo en cuenta estos antecedentes sería necesario re ejecutar los análisis de correlación subsanando las falencias metodológicas en el uso de imágenes satelitales.

Respecto de los hallazgos generados a partir del análisis de imágenes satelitales, es posible concluir para el sistema lagunar de Jachucoposa la existencia de procesos de disminución de superficie lagunar en todos los periodos trimestrales asociados a las temporadas pluviales y estivales a partir del año 1999 para las temporadas pluviales de octubre y diciembre y de enero a marzo y en el caso de las temporadas estivales se observa un descenso parcial a partir del año 1997 el cual se hace abrupto desde las mediciones del año 2001, tanto para aguas profundas como someras. La situación de mayor descenso se presenta en las aguas profundas entre los periodos pluviales de octubre a diciembre y enero a marzo, así como para el periodo estival de abril a junio, donde se presentan valores de agua profunda ($NDWI > 0,4$) que no logran exceder las 20 hectáreas, en general. En la Tabla 2, se presentan los valores representativos de superficie lagunar para Jachucoposa para cada temporada entre los años 1985 y 1998 mediante la estimación de la mediana.

En relación con el sistema lagunar de Tankatankani y San Pablo, no se logran apreciar aguas permanentes a la escala de la resolución espacial de los satélites utilizados y solo es posible identificar fenómenos puntuales de existencia de cuerpos de agua en periodos aislados. Misma situación se puede observar en Coposito, sin embargo, en este se observan fenómenos anómalos de mayor frecuencia entre los años 1997 y 2002, los que no vuelven a ocurrir en periodos posteriores.

Finalmente, es necesario señalar que no es necesariamente descartable la información que provee el satélite Landsat 8 u otras misiones de ciencia con visita continua, como los satélites Sentinel 2, sin embargo, resulta necesario tener en consideración que se requiere de la implementación de procedimientos de homologación de los productos por medio de métodos que se encuentren validados y sean pertinentes a las condiciones locales del Salar de Coposa, situación que no presenta ni discute en CEA/CMDIC. Este tipo de métodos pueden resultar útiles para el seguimiento futuro de los sistemas, debido a que la misión Landsat 7 dejó de tomar datos en abril del presente año.

4.2. Análisis de sistemas vegetacionales

En el presente documento, es posible observar que los resultados sobre el comportamiento de la vegetación medida a través del NDVI en el tiempo sobre el Salar de Coposa difieren parcialmente con lo presentado por CEA/CMDIC en “Informe Experto: Componentes Flora y vegetación terrestre, vertiente Jachucoposa, Coposito, San Pablo y Tankatankani Salar de Coposa”. En este sentido, se puede mencionar que existe incertidumbre sobre algunos aspectos metodológicos presentados que no permitieron replicar los resultados expuestos, así como aspectos metodológicos que no permitieron la visualización clara de tendencias sobre la vegetación, tales como:

- No indicar el nivel de procesamiento y tipo de productos Landsat utilizados, lo cual no permitió replicar procedimientos a partir de estos y por lo tanto validar los resultados expuestos.
- La utilización conjunta de los sensores Landsat 5 y Landsat 8. Si bien, se referencia su uso a partir del estudio realizado por Li *et al.* (2013), quedan dudas de su implementación y su desempeño para el caso de análisis de series temporales y no de cambios en coberturas, sumado al tipo de cobertura de vegetación en estudio. Esto tampoco permitió replicar y

validar los resultados expuestos. De esta forma, se agrega un nivel de incertidumbre mayor respecto a la concordancia de los valores de NDVI en toda la serie temporal presentada.

- La utilización de imágenes individuales y para más de una estación del año que dificulta la observación de tendencias. Esto debido a que observar la expresión de máximo vigor de la vegetación permite evitar la carga de valores atípicos y evaluar el comportamiento del mismo periodo través del tiempo de forma consistente.
- La evaluación del comportamiento mensual e interanual del NDVI a través de gráficos de caja donde se elimina para cada imagen de forma independiente los valores menores a 0.1 NDVI, no permite observar tendencias o procesos de cambio desde superficies con vegetación a sin vegetación entre imágenes, eliminando estos datos de la estadística.
- La evaluación sobre polígonos demasiado grandes que incluyen gran cantidad de píxeles que permanentemente se consideran suelo desnudo. Esto disminuye significativamente las estadísticas zonales, impidiendo observar el comportamiento de la vegetación de tipo azonal más vigorosa. Por esta razón en el análisis realizado por la SMA se aplica una máscara de vegetación basado en una línea base.

De esta forma, sobre los resultados presentados por el titular y los expuestos en el presente informe se destaca lo siguiente:

- Jachucoposa: el titular menciona que *“en términos generales, para el periodo 1985 a 2020, se puede advertir una tendencia a la baja total del sistema hasta el año 2010, dada principalmente por una baja de la vegetación de invierno. Desde el 2011 en adelante, se observa una mejora hacia valores similares a los del inicio del análisis histórico”*. En el presente informe se puede observar que existe una disminución de la superficie con vegetación que llega a su mínimo el año 2008, luego efectivamente ocurre una recuperación de cobertura. Sin embargo, las estadísticas y mapas muestran que esta es solo parcial, aun presentando valores medios más bajos de los presentados al principio del periodo de análisis.
- Coposito: Respecto a este humedal, el titular indica que *“en términos generales, en el subsistema Coposito la tendencia lineal desde 1985 a 2020, es al incremento total de la superficie de vegetación fotosintéticamente activa, pero siempre con un muy bajo índice de clorofila, es decir valores de NDVI muy cercanos a 0.11”*. Según el análisis presentado y contrario a lo que indica el titular, el humedal Coposito presenta una disminución constante de su superficie con vegetación a partir aproximadamente del año 2001, sin mostrar una recuperación en años posteriores.
- San Pablo: Respecto al humedal ubicado en el sector de San Pablo, el titular menciona que, *“en términos generales, para el periodo entre los años 1985 y 2020, se observa que el sistema en su totalidad presenta gran variabilidad en su superficie fotosintéticamente activa, donde se observan años y temporadas donde la superficie decrece, para posteriormente aumentar, todo dentro de los patrones generales de comportamiento de*

este tipo de vegetación". Sin embargo, contrario a lo indicado, según los resultados expuestos en el presente informe, San Pablo presenta un decrecimiento permanente del vigor y/o cobertura de la vegetación medida como NDVI a partir aproximadamente del año 2002, el cual se sostiene en el tiempo, observándose que, en la actualidad, este presenta un área menor a la registrada en inicios de la serie histórica.

- Tankatankani: El titular en su informe declara que *"en términos generales desde 1985 a 2020, se puede advertir una tendencia a la disminución del área general del subsistema"* para el humedal Tankatankani. Esto coincide con los resultados presentados en este informe, sin embargo, difiere en los cálculos de áreas con vegetación, donde los resultados de la SMA muestran que se pierde completamente el área cubierta por vegetación a partir del año 2016.
- Respecto a los resultados obtenidos por el titular para correlaciones, tanto para el caso de precipitaciones como de niveles freáticos no se obtienen correlaciones estadísticamente significativas. A pesar de esto, se señala que las precipitaciones podrían ser la única variable con grado de dependencia. Para el caso de niveles freáticos, se advierte que el no presentar tendencias en los análisis de vegetación realizados por el titular, en la mayor parte de los casos, podría explicar la no obtención de correlaciones con los valores de niveles freáticos.

Por lo tanto y en términos generales respecto a los resultados presentados en el apartado 3.2, se puede concluir que la vegetación del Salar de Coposa ha presentado disminuciones en su vigor y/o cobertura como se puede observar en el comportamiento del NDVI para las distintas áreas analizadas durante el inicio del proyecto en el año 1998 hasta el último año analizado (2022).

4.3. Comentarios generales

En relación con el uso de Landsat 8, se ha demostrado mediante el análisis realizado a nivel institucional que su utilización para la demostración de efectos no se hace necesario y aporta más incertezas y sesgos al momento de describir comportamiento de los subsistemas estudiados. No es descartable su utilidad para dar seguimiento futuro a los sistemas lagunares y vegetacionales, sin embargo, se debe evitar su utilización en combinación con imágenes de los satélites Landsat 5 y 7 o cualquier otro que contenga propiedades espectrales significativamente distintas para el cálculo de indicadores o, en su defecto, aplicar métodos de homologación de indicadores mediante ecuaciones de ajuste, sin embargo, se debe tener en cuenta que estas técnicas se encuentren correctamente implementadas y sean validadas para las condiciones específicas de los sistemas lagunares y de vegetación como los presentes en el Salar de Coposa. Esto puede ser de utilidad para el eventual seguimiento de medidas y establecimiento de metas.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chen, F., Zhao, X. y Ye, H. 2012. Making Use of the Landsat 7 SLC-off ETM+ Image Through Different Recovering Approaches. Data Acquisition Applications, IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/48535>.

Frantz, D., Röder, A., Stellmes, M. y Hill, J. 2017. Phenology-adaptive pixel-based compositing using optical earth observation imagery. Remote Sensing of Environment. 190: 331-347. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.01.002>.

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D. y Moore, R. 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote Sensing of Environment, 202: 18-17. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>.

Holden, C. y Woodcock, C. 2019. An analysis of Landsat 7 and Landsat 8 underflight data and the implications for time series investigations. Remote Sensing of Environment, 185: 16-36. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.052>.

Lencinas, J. D. & Siebert, A. 2009. Relevamiento de bosques con información satelital: Resolución espacial y escala. Quebracho, 17(1,2): 101-105. Disponible en la URL: <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/quebracho/v17a11.pdf>.

Li, P., Jiang, L. y Feng, Z. 2013. Cross-Comparison of Vegetation Indices Derived from Landsat-7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) and Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) Sensors. Remote Sensing. 2013(6): 310-329. <https://doi.org/10.3390/rs6010310>.

McFeeters, S.K. 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. International Journal of Remote Sensing, 17(7): 1425-1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>.

Roy, D. P., Kovalskyy, V., Zhang, H. K., Vermote, E. F., Yan, L., Kumar, S. S., y Egorov, A. 2016. Characterization of Landsat-7 to Landsat-8 reflective wavelength and normalized difference vegetation index continuity. Remote Sensing of Environment, 185: 57-70. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.12.024>.

Schmidt, G., Jenkerson, C.B., Masek, J., Vermote, J. y Gao, F. 2013. Landsat ecosystem disturbance adaptive processing system (LEDAPS) algorithm description. U.S. Geological Survey, Open-File Report. Reston, VA. 19p. <https://doi.org/10.3133/ofr20131057>.

USGS. 2022a. Landsat 4 and 5 Thematic Mapper band designations. U.S. Geological Survey (USGS). Disponible en la URL: <https://www.usgs.gov/media/images/landsat-4-and-5-thematic-mapper-band-designations>. (consultado el 27 de junio de 2022).

USGS. 2022b. Landsat 7 band designations. U.S. Geological Survey (USGS). Disponible en la URL: <https://www.usgs.gov/media/images/landsat-7-band-designations>. (consultado el 27 de junio de 2022).

USGS. 2022c. Landsat 8 band designations. U.S. Geological Survey (USGS). Disponible en la URL: <https://www.usgs.gov/media/images/landsat-8-band-designations>. (consultado el 27 de junio de 2022).

USGS. 2022d. How do I use a scale factor with Landsat Level-2 science products?. U.S. Geological Survey (USGS). Disponible en la URL: <https://www.usgs.gov/faqs/how-do-i-use-scale-factor-landsat-level-2-science-products>. (consultado el 27 de junio de 2022).

White, J.C., Wulder, M.A., Hobart, G.W., Luther, J.E., Hermosilla, T., Griffiths, P., Coops, N.C. Hall, R.J., Hostert, P., Dyk, A. y Guindon, L. 2014. Pixel-Based Image Compositing for Large-Area Dense Time Series Applications and Science. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 40(3): 192-212. <https://doi.org/10.1080/07038992.2014.945827>.

Xie, S., Liu, L., Zhang, X., Yang, J., Chen, X. y Gao, Y. 2019. Automatic Land-Cover Mapping using Landsat Time-Series Data based on Google Earth Engine. *Remote Sensing*. 11(24): 3023. <https://doi.org/10.3390/rs11243023>.

6. APÉNDICES

Apéndice N°1. Resultados tabulados de superficies lagunares

Tabla 1 del Apéndice N°1. Series temporales estacionales de superficie de aguas someras y profundas para el Sistema Lagunar Jachucoposa en hectáreas.

Año	Enero-Marzo		Abril-Junio		Julio-Septiembre		Octubre-Diciembre	
	Profundas (NDWI > 0.4)	Someras y profundas (NDWI > 0.2)	Profundas (NDWI > 0.4)	Someras y profundas (NDWI > 0.2)	Profundas (NDWI > 0.4)	Someras y profundas (NDWI > 0.2)	Profundas (NDWI > 0.4)	Someras y profundas (NDWI > 0.2)
1985	67.05	165.15						
1986	15.39	53.01	8.37	51.21	196.38	278.19	68.58	179.19
1987	161.28	280.62			178.83	282.87	15.30	53.64
1988	8.37	40.59	51.75	133.83	177.39	275.22	30.15	93.51
1989	22.95	66.24	50.04	148.86	182.43	277.20	13.14	53.19
1990	21.15	64.98	54.45	140.76	192.33	290.43	17.91	73.44
1991	38.34	113.58	62.73	155.79	146.25	268.47	10.71	94.86
1992	14.49	63.99	21.06	99.36	93.96	232.20	12.96	90.45
1993	18.09	73.62	51.48	152.19	171.00	290.43	20.16	99.81
1994	12.06	51.48	58.14	143.01	147.06	253.44	12.33	60.30
1995			56.34	137.43	152.37	261.09	4.23	34.02
1996	4.23	31.77	23.58	98.64	166.95	268.29	45.90	140.49
1997	34.47	122.13	94.59	200.07	161.01	269.28	10.44	53.37
1998	2.16	29.16	16.56	89.37	145.08	245.70	67.86	162.81
1999	46.53	132.03	74.61	162.45	128.88	229.41	75.97	186.67
2000	24.30	68.40	6.57	50.31	76.68	175.59	5.40	38.61
2001	25.02	82.08	85.68	189.18	86.76	194.67	0.09	11.88
2002	1.81	18.39	3.06	17.82	22.68	87.48	0.45	38.97
2003	0.00	11.43	15.30	57.69	11.16	58.50	0.00	6.57
2004	0.09	8.28	1.26	23.85	9.45	53.46	0.00	3.69
2005	0.00	7.02	10.08	55.89	76.59	174.42	0.09	38.07
2006	17.46	66.42	8.55	46.26	42.75	109.08	0.09	9.36
2007	0.81	9.90	2.61	29.25	3.69	41.58	0.81	20.79
2008	1.53	11.79	4.14	18.63	11.88	53.55	1.26	13.59
2009	0.99	11.88	4.32	31.86	18.81	73.62	0.18	11.61
2010	0.81	11.79	2.52	15.93	6.21	40.05	0.00	11.34
2011	0.36	19.08	5.31	37.62	53.82	155.61	0.00	24.57
2012	2.97	23.67	8.01	34.11	20.61	77.40	0.27	119.52
2013	0.63	10.53	6.21	31.95	35.91	106.20	0.09	141.42
2014	0.45	3.78	1.71	10.44	19.80	68.31	0.99	99.90
2015	0.09	3.96	1.62	12.96	8.91	55.08	8.37	306.90
2016	0.99	4.77	1.89	7.11	10.80	51.12	1.17	187.19
2017	4.23	19.62	8.46	37.80	29.97	106.83	2.88	201.18
2018	6.84	23.76	12.78	50.49	82.80	163.08	5.49	134.73
2019	12.06	46.35	9.45	45.18	34.47	113.04	5.76	51.59
2020	7.92	44.46	12.33	63.54	52.74	126.09	3.78	22.95
2021	8.28	26.82	13.68	55.44	58.86	136.71	7.92	32.58

Fuente: Elaboración propia con productos Landsat USGS procesado mediante Google Earth Engine.

Tabla 2 del Apéndice N°1. Series temporales estacionales de superficie de aguas someras y profundas para el Sistema Lagunar Tankatankani en hectáreas.

Año	Enero-Marzo		Abril-Junio		Julio-Septiembre		Octubre-Diciembre	
	Profundas (NDWI > 0.4)	Someras y profundas (NDWI > 0.2)	Profundas (NDWI > 0.4)	Someras y profundas (NDWI > 0.2)	Profundas (NDWI > 0.4)	Someras y profundas (NDWI > 0.2)	Profundas (NDWI > 0.4)	Someras y profundas (NDWI > 0.2)
1985	0.00	0.00						
1986	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1987	0.00	0.00			0.00	0.00	0.00	0.00
1988	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1989	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1990	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1991	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1992	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1993	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1994	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1995			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1996	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1997	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1998	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1999	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99	5.67
2000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2001	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2002	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2003	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2004	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2005	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.08
2006	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2007	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2008	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2009	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2010	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2011	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2014	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2016	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2017	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2018	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09
2019	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2020	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2021	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia con productos Landsat USGS procesado mediante Google Earth Engine.

Tabla 3 del Apéndice N°1. Series temporales estacionales de superficie de aguas someras y profundas para el Sistema Lagunar Coposito en hectáreas.

Año	Enero-Marzo		Abril-Junio		Julio-Septiembre		Octubre-Diciembre	
	Profundas (NDWI > 0.4)	Someras y profundas (NDWI > 0.2)	Profundas (NDWI > 0.4)	Someras y profundas (NDWI > 0.2)	Profundas (NDWI > 0.4)	Someras y profundas (NDWI > 0.2)	Profundas (NDWI > 0.4)	Someras y profundas (NDWI > 0.2)
1985	0.09	0.81						
1986	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18
1987	0.00	0.00			0.00	0.00	0.00	0.00
1988	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1989	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1990	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1991	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1992	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1993	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1994	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1995			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1996	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18
1997	0.00	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1998	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1999	0.00	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	3.51	13.95
2000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2001	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2002	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00
2003	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2004	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2005	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2006	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2007	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2008	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2009	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2010	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2011	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2014	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2016	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.72
2017	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2018	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2019	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2020	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2021	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia con productos Landsat USGS procesado mediante Google Earth Engine.

Tabla 4 del Apéndice N°1. Series temporales estacionales de superficie de aguas someras y profundas para el Sistema Lagunar San Pablo en hectáreas.

Año	Enero-Marzo		Abril-Junio		Julio-Septiembre		Octubre-Diciembre	
	Profundas (NDWI > 0.4)	Someras y profundas (NDWI > 0.2)	Profundas (NDWI > 0.4)	Someras y profundas (NDWI > 0.2)	Profundas (NDWI > 0.4)	Someras y profundas (NDWI > 0.2)	Profundas (NDWI > 0.4)	Someras y profundas (NDWI > 0.2)
1985	0.0	0.0						
1986	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1987	0.0	0.0			0.0	0.0	0.0	0.0
1988	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1989	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1990	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1991	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1992	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1993	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1994	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1995			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1996	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1997	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1998	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	8.2
2000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2001	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2002	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1
2003	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2004	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2005	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2007	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2008	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2012	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2013	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2015	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2016	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2017	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2018	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2019	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2020	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2021	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Fuente: Elaboración propia con productos Landsat USGS procesado mediante Google Earth Engine.

Apéndice N°2. Imágenes satelitales Landsat 4, 5 y 7 utilizadas para el análisis de sistemas lagunares y sistemas vegetacionales

N°	ID_GEE	S	FECHA	NDWI	NDVI
1	LT05_001074_19850305	TM	05-03-1985	X	X
2	LT05_001074_19860204	TM	04-02-1986	X	X
3	LT05_001074_19860409	TM	09-04-1986	X	
4	LT05_001074_19860714	TM	14-07-1986	X	
5	LT05_001074_19860730	TM	30-07-1986	X	
6	LT05_001074_19860831	TM	31-08-1986	X	
7	LT05_001074_19860916	TM	16-09-1986	X	
8	LT05_001074_19861002	TM	02-10-1986	X	
9	LT05_001074_19861018	TM	18-10-1986	X	
10	LT05_001074_19861103	TM	03-11-1986	X	
11	LT05_001074_19870207	TM	07-02-1987	X	X
12	LT05_001074_19870327	TM	27-03-1987	X	X
13	LT05_001074_19870818	TM	18-08-1987	X	
14	LT05_001074_19870903	TM	03-09-1987	X	
15	LT05_001074_19871021	TM	21-10-1987	X	
16	LT05_001074_19871106	TM	06-11-1987	X	
17	LT05_001074_19871122	TM	22-11-1987	X	
18	LT04_001074_19871130	TM	30-11-1987	X	
19	LT05_001074_19871208	TM	08-12-1987	X	
20	LT05_001074_19880109	TM	09-01-1988	X	
21	LT05_001074_19880210	TM	10-02-1988	X	X
22	LT05_001074_19880226	TM	26-02-1988	X	X
23	LT05_001074_19880329	TM	29-03-1988	X	X
24	LT05_001074_19880414	TM	14-04-1988	X	
25	LT05_001074_19880430	TM	30-04-1988	X	
26	LT05_001074_19880516	TM	16-05-1988	X	
27	LT05_001074_19880601	TM	01-06-1988	X	
28	LT05_001074_19880617	TM	17-06-1988	X	
29	LT05_001074_19880703	TM	03-07-1988	X	
30	LT05_001074_19880719	TM	19-07-1988	X	
31	LT05_001074_19880820	TM	20-08-1988	X	
32	LT05_001074_19880905	TM	05-09-1988	X	
33	LT05_001074_19881023	TM	23-10-1988	X	
34	LT05_001074_19881108	TM	08-11-1988	X	
35	LT05_001074_19881124	TM	24-11-1988	X	
36	LT05_001074_19881226	TM	26-12-1988	X	
37	LT05_001074_19890228	TM	28-02-1989	X	X
38	LT05_001074_19890519	TM	19-05-1989	X	
39	LT05_001074_19890604	TM	04-06-1989	X	
40	LT04_001074_19890612	TM	12-06-1989	X	
41	LT05_001074_19890706	TM	06-07-1989	X	
42	LT05_001074_19890807	TM	07-08-1989	X	
43	LT05_001074_19890823	TM	23-08-1989	X	
44	LT05_001074_19890908	TM	08-09-1989	X	
45	LT05_001074_19890924	TM	24-09-1989	X	

N°	ID_GEE	S	FECHA	NDWI	NDVI
46	LT05_001074_19891010	TM	10-10-1989	X	
47	LT05_001074_19891127	TM	27-11-1989	X	
48	LT05_001074_19891213	TM	13-12-1989	X	
49	LT05_001074_19891229	TM	29-12-1989	X	
50	LT05_001074_19900114	TM	14-01-1990	X	X
51	LT05_001074_19900404	TM	04-04-1990	X	
52	LT05_001074_19900506	TM	06-05-1990	X	
53	LT05_001074_19900522	TM	22-05-1990	X	
54	LT05_001074_19900607	TM	07-06-1990	X	
55	LT05_001074_19900623	TM	23-06-1990	X	
56	LT05_001074_19900725	TM	25-07-1990	X	
57	LT05_001074_19900810	TM	10-08-1990	X	
58	LT05_001074_19900826	TM	26-08-1990	X	
59	LT05_001074_19900911	TM	11-09-1990	X	
60	LT05_001074_19901029	TM	29-10-1990	X	
61	LT05_001074_19901216	TM	16-12-1990	X	
62	LT05_001074_19910202	TM	02-02-1991	X	X
63	LT05_001074_19910218	TM	18-02-1991	X	X
64	LT05_001074_19910306	TM	06-03-1991	X	X
65	LT05_001074_19910322	TM	22-03-1991	X	X
66	LT05_001074_19910407	TM	07-04-1991	X	
67	LT05_001074_19910423	TM	23-04-1991	X	
68	LT05_001074_19910525	TM	25-05-1991	X	
69	LT05_001074_19910610	TM	10-06-1991	X	
70	LT05_001074_19910626	TM	26-06-1991	X	
71	LT05_001074_19910712	TM	12-07-1991	X	
72	LT05_001074_19910728	TM	28-07-1991	X	
73	LT05_001074_19910813	TM	13-08-1991	X	
74	LT05_001074_19910829	TM	29-08-1991	X	
75	LT05_001074_19910914	TM	14-09-1991	X	
76	LT05_001074_19910930	TM	30-09-1991	X	
77	LT05_001074_19911016	TM	16-10-1991	X	
78	LT05_001074_19911101	TM	01-11-1991	X	
79	LT05_001074_19911203	TM	03-12-1991	X	
80	LT05_001074_19911219	TM	19-12-1991	X	
81	LT05_001074_19920120	TM	20-01-1992	X	X
82	LT05_001074_19920205	TM	05-02-1992	X	X
83	LT05_001074_19920409	TM	09-04-1992	X	
84	LT05_001074_19920612	TM	12-06-1992	X	
85	LT05_001074_19920714	TM	14-07-1992	X	
86	LT05_001074_19920916	TM	16-09-1992	X	
87	LT05_001074_19921018	TM	18-10-1992	X	
88	LT05_001074_19921103	TM	03-11-1992	X	
89	LT05_001074_19921205	TM	05-12-1992	X	
90	LT05_001074_19921221	TM	21-12-1992	X	

N°	ID_GEE	S	FECHA	NDWI	NDVI
91	LT05_001074_19930106	TM	06-01-1993	X	X
92	LT05_001074_19930207	TM	07-02-1993	X	X
93	LT05_001074_19930223	TM	23-02-1993	X	X
94	LT05_001074_19930327	TM	27-03-1993	X	X
95	LT05_001074_19930412	TM	12-04-1993	X	
96	LT05_001074_19930428	TM	28-04-1993	X	
97	LT05_001074_19930530	TM	30-05-1993	X	
98	LT05_001074_19930615	TM	15-06-1993	X	
99	LT05_001074_19930701	TM	01-07-1993	X	
100	LT05_001074_19930717	TM	17-07-1993	X	
101	LT05_001074_19930802	TM	02-08-1993	X	
102	LT05_001074_19930903	TM	03-09-1993	X	
103	LT05_001074_19930919	TM	19-09-1993	X	
104	LT05_001074_19931106	TM	06-11-1993	X	
105	LT05_001074_19931122	TM	22-11-1993	X	
106	LT05_001074_19931224	TM	24-12-1993	X	
107	LT05_001074_19940226	TM	26-02-1994	X	X
108	LT05_001074_19940501	TM	01-05-1994	X	
109	LT05_001074_19940517	TM	17-05-1994	X	
110	LT05_001074_19940602	TM	02-06-1994	X	
111	LT05_001074_19940704	TM	04-07-1994	X	
112	LT05_001074_19940720	TM	20-07-1994	X	
113	LT05_001074_19940922	TM	22-09-1994	X	
114	LT05_001074_19941024	TM	24-10-1994	X	
115	LT05_001074_19941125	TM	25-11-1994	X	
116	LT05_001074_19941211	TM	11-12-1994	X	
117	LT05_001074_19950418	TM	18-04-1995	X	
118	LT05_001074_19950504	TM	04-05-1995	X	
119	LT05_001074_19950605	TM	05-06-1995	X	
120	LT05_001074_19950621	TM	21-06-1995	X	
121	LT05_001074_19950723	TM	23-07-1995	X	
122	LT05_001074_19950808	TM	08-08-1995	X	
123	LT05_001074_19950925	TM	25-09-1995	X	
124	LT05_001074_19951011	TM	11-10-1995	X	
125	LT05_001074_19951128	TM	28-11-1995	X	
126	LT05_001074_19951214	TM	14-12-1995	X	
127	LT05_001074_19951230	TM	30-12-1995	X	
128	LT05_001074_19960115	TM	15-01-1996	X	X
129	LT05_001074_19960131	TM	31-01-1996	X	X
130	LT05_001074_19960319	TM	19-03-1996	X	X
131	LT05_001074_19960420	TM	20-04-1996	X	
132	LT05_001074_19960506	TM	06-05-1996	X	
133	LT05_001074_19960522	TM	22-05-1996	X	
134	LT05_001074_19960623	TM	23-06-1996	X	
135	LT05_001074_19960709	TM	09-07-1996	X	
136	LT05_001074_19960725	TM	25-07-1996	X	
137	LT05_001074_19960810	TM	10-08-1996	X	
138	LT05_001074_19960826	TM	26-08-1996	X	
139	LT05_001074_19960911	TM	11-09-1996	X	

N°	ID_GEE	S	FECHA	NDWI	NDVI
140	LT05_001074_19960927	TM	27-09-1996	X	
141	LT05_001074_19961013	TM	13-10-1996	X	
142	LT05_001074_19961114	TM	14-11-1996	X	
143	LT05_001074_19961130	TM	30-11-1996	X	
144	LT05_001074_19970117	TM	17-01-1997	X	X
145	LT05_001074_19970202	TM	02-02-1997	X	X
146	LT05_001074_19970509	TM	09-05-1997	X	
147	LT05_001074_19970525	TM	25-05-1997	X	
148	LT05_001074_19970626	TM	26-06-1997	X	
149	LT05_001074_19970712	TM	12-07-1997	X	
150	LT05_001074_19970829	TM	29-08-1997	X	
151	LT05_001074_19971117	TM	17-11-1997	X	
152	LT05_001074_19971219	TM	19-12-1997	X	
153	LT05_001074_19980205	TM	05-02-1998	X	X
154	LT05_001074_19980309	TM	09-03-1998	X	X
155	LT05_001074_19980325	TM	25-03-1998	X	X
156	LT05_001074_19980512	TM	12-05-1998	X	
157	LT05_001074_19980715	TM	15-07-1998	X	
158	LT05_001074_19980731	TM	31-07-1998	X	
159	LT05_001074_19980816	TM	16-08-1998	X	
160	LT05_001074_19980917	TM	17-09-1998	X	
161	LT05_001074_19981003	TM	03-10-1998	X	
162	LT05_001074_19990107	TM	07-01-1999	X	
163	LT05_001074_19990224	TM	24-02-1999	X	X
164	LT05_001074_19990328	TM	28-03-1999	X	X
165	LT05_001074_19990429	TM	29-04-1999	X	
166	LT05_001074_19990515	TM	15-05-1999	X	
167	LT05_001074_19990702	TM	02-07-1999	X	
168	LE07_001074_19990710	ETM+	10-07-1999	X	
169	LT05_001074_19990819	TM	19-08-1999	X	
170	LE07_001074_19990827	ETM+	27-08-1999	X	
171	LT05_001074_19990904	TM	04-09-1999	X	
172	LE07_001074_19990912	ETM+	12-09-1999	X	
173	LT05_001074_19991006	TM	06-10-1999	X	
174	LE07_001074_19991115	ETM+	15-11-1999	X	
175	LE07_001074_19991201	ETM+	01-12-1999	X	
176	LE07_001074_19991217	ETM+	17-12-1999	X	
177	LT05_001074_20000211	TM	11-02-2000	X	X
178	LE07_001074_20000219	ETM+	19-02-2000	X	
179	LT05_001074_20000314	TM	14-03-2000	X	X
180	LE07_001074_20000322	ETM+	22-03-2000	X	
181	LT05_001074_20000330	TM	30-03-2000	X	X
182	LE07_001074_20000407	ETM+	07-04-2000	X	
183	LT05_001074_20000415	TM	15-04-2000	X	
184	LE07_001074_20000423	ETM+	23-04-2000	X	
185	LT05_001074_20000501	TM	01-05-2000	X	
186	LE07_001074_20000525	ETM+	25-05-2000	X	
187	LE07_001074_20000626	ETM+	26-06-2000	X	
188	LT05_001074_20000704	TM	04-07-2000	X	

N°	ID_GEE	S	FECHA	NDWI	NDVI
189	LE07_001074_20000712	ETM+	12-07-2000	X	
190	LT05_001074_20000720	TM	20-07-2000	X	
191	LE07_001074_20000728	ETM+	28-07-2000	X	
192	LT05_001074_20000805	TM	05-08-2000	X	
193	LE07_001074_20000930	ETM+	30-09-2000	X	
194	LT05_001074_20001008	TM	08-10-2000	X	
195	LE07_001074_20001016	ETM+	16-10-2000	X	
196	LT05_001074_20001024	TM	24-10-2000	X	
197	LE07_001074_20001101	ETM+	01-11-2000	X	
198	LT05_001074_20001109	TM	09-11-2000	X	
199	LT05_001074_20001125	TM	25-11-2000	X	
200	LE07_001074_20001219	ETM+	19-12-2000	X	
201	LT05_001074_20010128	TM	28-01-2001	X	X
202	LT05_001074_20010402	TM	02-04-2001	X	
203	LE07_001074_20010410	ETM+	10-04-2001	X	
204	LT05_001074_20010418	TM	18-04-2001	X	
205	LE07_001074_20010426	ETM+	26-04-2001	X	
206	LT05_001074_20010504	TM	04-05-2001	X	
207	LE07_001074_20010528	ETM+	28-05-2001	X	
208	LT05_001074_20010605	TM	05-06-2001	X	
209	LE07_001074_20010613	ETM+	13-06-2001	X	
210	LT05_001074_20010621	TM	21-06-2001	X	
211	LE07_001074_20010629	ETM+	29-06-2001	X	
212	LE07_001074_20010715	ETM+	15-07-2001	X	
213	LT05_001074_20010723	TM	23-07-2001	X	
214	LE07_001074_20010731	ETM+	31-07-2001	X	
215	LT05_001074_20010909	TM	09-09-2001	X	
216	LT05_001074_20010925	TM	25-09-2001	X	
217	LT05_001074_20011011	TM	11-10-2001	X	
218	LT05_001074_20011112	TM	12-11-2001	X	
219	LT05_001074_20011214	TM	14-12-2001	X	
220	LT05_001074_20011230	TM	30-12-2001	X	
221	LE07_001074_20020107	ETM+	07-01-2002	X	
222	LT05_001074_20020115	TM	15-01-2002	X	X
223	LE07_001074_20020123	ETM+	23-01-2002	X	
224	LE07_001074_20020208	ETM+	08-02-2002	X	
225	LE07_001074_20020312	ETM+	12-03-2002	X	
226	LE07_001074_20020328	ETM+	28-03-2002	X	
227	LE07_001074_20020413	ETM+	13-04-2002	X	
228	LE07_001074_20020429	ETM+	29-04-2002	X	
229	LE07_001074_20020515	ETM+	15-05-2002	X	
230	LE07_001074_20020803	ETM+	03-08-2002	X	
231	LE07_001074_20020819	ETM+	19-08-2002	X	
232	LE07_001074_20020920	ETM+	20-09-2002	X	
233	LE07_001074_20021006	ETM+	06-10-2002	X	
234	LE07_001074_20021022	ETM+	22-10-2002	X	
235	LE07_001074_20021209	ETM+	09-12-2002	X	
236	LE07_001074_20021225	ETM+	25-12-2002	X	
237	LE07_001074_20030110	ETM+	10-01-2003	X	

N°	ID_GEE	S	FECHA	NDWI	NDVI
238	LE07_001074_20030211	ETM+	11-02-2003	X	X
239	LE07_001074_20030227	ETM+	27-02-2003	X	X
240	LT05_001074_20030627	TM	27-06-2003	X	
241	LT05_001074_20030713	TM	13-07-2003	X	
242	LT05_001074_20030729	TM	29-07-2003	X	
243	LE07_001074_20030806	ETM+	06-08-2003	X	
244	LT05_001074_20030814	TM	14-08-2003	X	
245	LE07_001074_20030822	ETM+	22-08-2003	X	
246	LT05_001074_20030830	TM	30-08-2003	X	
247	LT05_001074_20030915	TM	15-09-2003	X	
248	LT05_001074_20031001	TM	01-10-2003	X	
249	LE07_001074_20031009	ETM+	09-10-2003	X	
250	LT05_001074_20031017	TM	17-10-2003	X	
251	LT05_001074_20031102	TM	02-11-2003	X	
252	LE07_001074_20031110	ETM+	10-11-2003	X	
253	LT05_001074_20031118	TM	18-11-2003	X	
254	LE07_001074_20031126	ETM+	26-11-2003	X	
255	LE07_001074_20031212	ETM+	12-12-2003	X	
256	LT05_001074_20031220	TM	20-12-2003	X	
257	LT05_001074_20040105	TM	05-01-2004	X	
258	LE07_001074_20040113	ETM+	13-01-2004	X	X
259	LT05_001074_20040121	TM	21-01-2004	X	X
260	LE07_001074_20040129	ETM+	29-01-2004	X	
261	LT05_001074_20040222	TM	22-02-2004	X	X
262	LT05_001074_20040309	TM	09-03-2004	X	X
263	LT05_001074_20040410	TM	10-04-2004	X	
264	LT05_001074_20040426	TM	26-04-2004	X	
265	LT05_001074_20040512	TM	12-05-2004	X	
266	LE07_001074_20040520	ETM+	20-05-2004	X	
267	LT05_001074_20040528	TM	28-05-2004	X	
268	LE07_001074_20040605	ETM+	05-06-2004	X	
269	LT05_001074_20040613	TM	13-06-2004	X	
270	LE07_001074_20040621	ETM+	21-06-2004	X	
271	LT05_001074_20040715	TM	15-07-2004	X	
272	LE07_001074_20040723	ETM+	23-07-2004	X	
273	LT05_001074_20040731	TM	31-07-2004	X	
274	LT05_001074_20040816	TM	16-08-2004	X	
275	LT05_001074_20040901	TM	01-09-2004	X	
276	LE07_001074_20040909	ETM+	09-09-2004	X	
277	LT05_001074_20040917	TM	17-09-2004	X	
278	LT05_001074_20041003	TM	03-10-2004	X	
279	LT05_001074_20041019	TM	19-10-2004	X	
280	LE07_001074_20041027	ETM+	27-10-2004	X	
281	LT05_001074_20041104	TM	04-11-2004	X	
282	LE07_001074_20041112	ETM+	12-11-2004	X	
283	LT05_001074_20041120	TM	20-11-2004	X	
284	LE07_001074_20041128	ETM+	28-11-2004	X	
285	LT05_001074_20041206	TM	06-12-2004	X	
286	LE07_001074_20041214	ETM+	14-12-2004	X	

N°	ID_GEE	S	FECHA	NDWI	NDVI
287	LT05_001074_20041222	TM	22-12-2004	X	
288	LE07_001074_20041230	ETM+	30-12-2004	X	
289	LT05_001074_20050123	TM	23-01-2005	X	X
290	LE07_001074_20050131	ETM+	31-01-2005	X	
291	LT05_001074_20050208	TM	08-02-2005	X	X
292	LE07_001074_20050304	ETM+	04-03-2005	X	X
293	LT05_001074_20050312	TM	12-03-2005	X	X
294	LE07_001074_20050320	ETM+	20-03-2005	X	X
295	LT05_001074_20050328	TM	28-03-2005	X	X
296	LE07_001074_20050405	ETM+	05-04-2005	X	
297	LT05_001074_20050413	TM	13-04-2005	X	
298	LE07_001074_20050421	ETM+	21-04-2005	X	
299	LT05_001074_20050429	TM	29-04-2005	X	
300	LE07_001074_20050523	ETM+	23-05-2005	X	
301	LT05_001074_20050531	TM	31-05-2005	X	
302	LE07_001074_20050608	ETM+	08-06-2005	X	
303	LT05_001074_20050616	TM	16-06-2005	X	
304	LE07_001074_20050624	ETM+	24-06-2005	X	
305	LT05_001074_20050702	TM	02-07-2005	X	
306	LE07_001074_20050710	ETM+	10-07-2005	X	
307	LT05_001074_20050718	TM	18-07-2005	X	
308	LT05_001074_20050803	TM	03-08-2005	X	
309	LE07_001074_20050811	ETM+	11-08-2005	X	
310	LT05_001074_20050819	TM	19-08-2005	X	
311	LE07_001074_20050827	ETM+	27-08-2005	X	
312	LT05_001074_20050904	TM	04-09-2005	X	
313	LT05_001074_20050920	TM	20-09-2005	X	
314	LT05_001074_20051006	TM	06-10-2005	X	
315	LE07_001074_20051014	ETM+	14-10-2005	X	
316	LT05_001074_20051022	TM	22-10-2005	X	
317	LE07_001074_20051030	ETM+	30-10-2005	X	
318	LE07_001074_20051115	ETM+	15-11-2005	X	
319	LT05_001074_20051123	TM	23-11-2005	X	
320	LE07_001074_20051201	ETM+	01-12-2005	X	
321	LE07_001074_20051217	ETM+	17-12-2005	X	
322	LE07_001074_20060102	ETM+	02-01-2006	X	X
323	LE07_001074_20060203	ETM+	03-02-2006	X	X
324	LT05_001074_20060227	TM	27-02-2006	X	X
325	LE07_001074_20060307	ETM+	07-03-2006	X	X
326	LT05_001074_20060331	TM	31-03-2006	X	X
327	LT05_001074_20060416	TM	16-04-2006	X	
328	LE07_001074_20060510	ETM+	10-05-2006	X	
329	LT05_001074_20060518	TM	18-05-2006	X	
330	LT05_001074_20060603	TM	03-06-2006	X	
331	LE07_001074_20060611	ETM+	11-06-2006	X	
332	LT05_001074_20060619	TM	19-06-2006	X	
333	LE07_001074_20060627	ETM+	27-06-2006	X	
334	LT05_001074_20060705	TM	05-07-2006	X	
335	LE07_001074_20060713	ETM+	13-07-2006	X	

N°	ID_GEE	S	FECHA	NDWI	NDVI
336	LT05_001074_20060721	TM	21-07-2006	X	
337	LE07_001074_20060729	ETM+	29-07-2006	X	
338	LT05_001074_20060806	TM	06-08-2006	X	
339	LT05_001074_20060822	TM	22-08-2006	X	
340	LT05_001074_20060907	TM	07-09-2006	X	
341	LE07_001074_20060915	ETM+	15-09-2006	X	
342	LT05_001074_20060923	TM	23-09-2006	X	
343	LE07_001074_20061001	ETM+	01-10-2006	X	
344	LT05_001074_20061009	TM	09-10-2006	X	
345	LT05_001074_20061025	TM	25-10-2006	X	
346	LE07_001074_20061118	ETM+	18-11-2006	X	
347	LE07_001074_20061204	ETM+	04-12-2006	X	
348	LT05_001074_20061212	TM	12-12-2006	X	
349	LE07_001074_20061220	ETM+	20-12-2006	X	
350	LT05_001074_20061228	TM	28-12-2006	X	
351	LE07_001074_20070105	ETM+	05-01-2007	X	
352	LE07_001074_20070121	ETM+	21-01-2007	X	X
353	LT05_001074_20070129	TM	29-01-2007	X	X
354	LE07_001074_20070206	ETM+	06-02-2007	X	
355	LT05_001074_20070214	TM	14-02-2007	X	X
356	LE07_001074_20070222	ETM+	22-02-2007	X	X
357	LT05_001074_20070302	TM	02-03-2007	X	X
358	LE07_001074_20070310	ETM+	10-03-2007	X	X
359	LT05_001074_20070403	TM	03-04-2007	X	
360	LT05_001074_20070521	TM	21-05-2007	X	
361	LE07_001074_20070614	ETM+	14-06-2007	X	
362	LE07_001074_20070630	ETM+	30-06-2007	X	
363	LE07_001074_20070801	ETM+	01-08-2007	X	
364	LE07_001074_20070817	ETM+	17-08-2007	X	
365	LT05_001074_20070825	TM	25-08-2007	X	
366	LE07_001074_20070902	ETM+	02-09-2007	X	
367	LT05_001074_20070910	TM	10-09-2007	X	
368	LE07_001074_20070918	ETM+	18-09-2007	X	
369	LE07_001074_20071004	ETM+	04-10-2007	X	
370	LE07_001074_20071020	ETM+	20-10-2007	X	
371	LE07_001074_20071207	ETM+	07-12-2007	X	
372	LT05_001074_20080201	TM	01-02-2008	X	X
373	LE07_001074_20080209	ETM+	09-02-2008	X	X
374	LT05_001074_20080304	TM	04-03-2008	X	X
375	LE07_001074_20080312	ETM+	12-03-2008	X	
376	LT05_001074_20080320	TM	20-03-2008	X	X
377	LE07_001074_20080328	ETM+	28-03-2008	X	X
378	LT05_001074_20080405	TM	05-04-2008	X	
379	LE07_001074_20080413	ETM+	13-04-2008	X	
380	LE07_001074_20080429	ETM+	29-04-2008	X	
381	LT05_001074_20080507	TM	07-05-2008	X	
382	LE07_001074_20080515	ETM+	15-05-2008	X	
383	LE07_001074_20080531	ETM+	31-05-2008	X	
384	LE07_001074_20080702	ETM+	02-07-2008	X	

N°	ID_GEE	S	FECHA	NDWI	NDVI
385	LE07_001074_20080718	ETM+	18-07-2008	X	
386	LE07_001074_20080803	ETM+	03-08-2008	X	
387	LT05_001074_20080811	TM	11-08-2008	X	
388	LE07_001074_20080819	ETM+	19-08-2008	X	
389	LT05_001074_20080827	TM	27-08-2008	X	
390	LT05_001074_20080912	TM	12-09-2008	X	
391	LE07_001074_20080920	ETM+	20-09-2008	X	
392	LT05_001074_20080928	TM	28-09-2008	X	
393	LE07_001074_20081006	ETM+	06-10-2008	X	
394	LT05_001074_20081014	TM	14-10-2008	X	
395	LE07_001074_20081022	ETM+	22-10-2008	X	
396	LT05_001074_20081030	TM	30-10-2008	X	
397	LE07_001074_20081107	ETM+	07-11-2008	X	
398	LT05_001074_20081115	TM	15-11-2008	X	
399	LT05_001074_20081201	TM	01-12-2008	X	
400	LT05_001074_20081217	TM	17-12-2008	X	
401	LE07_001074_20081225	ETM+	25-12-2008	X	
402	LT05_001074_20090102	TM	02-01-2009	X	X
403	LE07_001074_20090110	ETM+	10-01-2009	X	
404	LT05_001074_20090118	TM	18-01-2009	X	X
405	LT05_001074_20090203	TM	03-02-2009	X	X
406	LE07_001074_20090211	ETM+	11-02-2009	X	X
407	LT05_001074_20090219	TM	19-02-2009	X	X
408	LT05_001074_20090307	TM	07-03-2009	X	X
409	LE07_001074_20090315	ETM+	15-03-2009	X	X
410	LT05_001074_20090323	TM	23-03-2009	X	X
411	LE07_001074_20090331	ETM+	31-03-2009	X	X
412	LE07_001074_20090416	ETM+	16-04-2009	X	
413	LT05_001074_20090424	TM	24-04-2009	X	
414	LE07_001074_20090502	ETM+	02-05-2009	X	
415	LE07_001074_20090518	ETM+	18-05-2009	X	
416	LT05_001074_20090526	TM	26-05-2009	X	
417	LE07_001074_20090603	ETM+	03-06-2009	X	
418	LE07_001074_20090619	ETM+	19-06-2009	X	
419	LT05_001074_20090627	TM	27-06-2009	X	
420	LT05_001074_20090729	TM	29-07-2009	X	
421	LE07_001074_20090806	ETM+	06-08-2009	X	
422	LE07_001074_20090822	ETM+	22-08-2009	X	
423	LT05_001074_20090830	TM	30-08-2009	X	
424	LE07_001074_20090907	ETM+	07-09-2009	X	
425	LE07_001074_20090923	ETM+	23-09-2009	X	
426	LT05_001074_20091001	TM	01-10-2009	X	
427	LE07_001074_20091009	ETM+	09-10-2009	X	
428	LE07_001074_20091025	ETM+	25-10-2009	X	
429	LT05_001074_20091102	TM	02-11-2009	X	
430	LT05_001074_20091118	TM	18-11-2009	X	
431	LE07_001074_20091126	ETM+	26-11-2009	X	
432	LE07_001074_20091212	ETM+	12-12-2009	X	
433	LE07_001074_20091228	ETM+	28-12-2009	X	

N°	ID_GEE	S	FECHA	NDWI	NDVI
434	LE07_001074_20100113	ETM+	13-01-2010	X	X
435	LT05_001074_20100121	TM	21-01-2010	X	
436	LE07_001074_20100214	ETM+	14-02-2010	X	X
437	LE07_001074_20100302	ETM+	02-03-2010	X	X
438	LE07_001074_20100318	ETM+	18-03-2010	X	X
439	LT05_001074_20100326	TM	26-03-2010	X	X
440	LE07_001074_20100403	ETM+	03-04-2010	X	
441	LT05_001074_20100411	TM	11-04-2010	X	
442	LE07_001074_20100419	ETM+	19-04-2010	X	
443	LE07_001074_20100505	ETM+	05-05-2010	X	
444	LT05_001074_20100513	TM	13-05-2010	X	
445	LE07_001074_20100521	ETM+	21-05-2010	X	
446	LE07_001074_20100809	ETM+	09-08-2010	X	
447	LT05_001074_20100817	TM	17-08-2010	X	
448	LE07_001074_20100825	ETM+	25-08-2010	X	
449	LE07_001074_20100910	ETM+	10-09-2010	X	
450	LT05_001074_20100918	TM	18-09-2010	X	
451	LE07_001074_20100926	ETM+	26-09-2010	X	
452	LE07_001074_20101028	ETM+	28-10-2010	X	
453	LT05_001074_20101105	TM	05-11-2010	X	
454	LT05_001074_20101121	TM	21-11-2010	X	
455	LT05_001074_20101207	TM	07-12-2010	X	
456	LE07_001074_20101215	ETM+	15-12-2010	X	
457	LE07_001074_20101231	ETM+	31-12-2010	X	
458	LT05_001074_20110108	TM	08-01-2011	X	X
459	LE07_001074_20110116	ETM+	16-01-2011	X	
460	LE07_001074_20110217	ETM+	17-02-2011	X	X
461	LT05_001074_20110313	TM	13-03-2011	X	X
462	LT05_001074_20110329	TM	29-03-2011	X	X
463	LT05_001074_20110414	TM	14-04-2011	X	
464	LT05_001074_20110516	TM	16-05-2011	X	
465	LE07_001074_20110609	ETM+	09-06-2011	X	
466	LT05_001074_20110617	TM	17-06-2011	X	
467	LE07_001074_20110625	ETM+	25-06-2011	X	
468	LE07_001074_20110727	ETM+	27-07-2011	X	
469	LT05_001074_20110804	TM	04-08-2011	X	
470	LE07_001074_20110812	ETM+	12-08-2011	X	
471	LT05_001074_20110820	TM	20-08-2011	X	
472	LE07_001074_20110828	ETM+	28-08-2011	X	
473	LT05_001074_20110905	TM	05-09-2011	X	
474	LE07_001074_20110913	ETM+	13-09-2011	X	
475	LT05_001074_20110921	TM	21-09-2011	X	
476	LE07_001074_20110929	ETM+	29-09-2011	X	
477	LE07_001074_20111015	ETM+	15-10-2011	X	
478	LT05_001074_20111023	TM	23-10-2011	X	
479	LE07_001074_20111031	ETM+	31-10-2011	X	
480	LT05_001074_20111108	TM	08-11-2011	X	
481	LE07_001074_20111116	ETM+	16-11-2011	X	
482	LE07_001074_20111202	ETM+	02-12-2011	X	

N°	ID_GEE	S	FECHA	NDWI	NDVI
483	LE07_001074_20111218	ETM+	18-12-2011	X	
484	LE07_001074_20120119	ETM+	19-01-2012	X	X
485	LE07_001074_20120323	ETM+	23-03-2012	X	X
486	LE07_001074_20120408	ETM+	08-04-2012	X	
487	LE07_001074_20120510	ETM+	10-05-2012	X	
488	LE07_001074_20120526	ETM+	26-05-2012	X	
489	LE07_001074_20120611	ETM+	11-06-2012	X	
490	LE07_001074_20120627	ETM+	27-06-2012	X	
491	LE07_001074_20120713	ETM+	13-07-2012	X	
492	LE07_001074_20120729	ETM+	29-07-2012	X	
493	LE07_001074_20120814	ETM+	14-08-2012	X	
494	LE07_001074_20120830	ETM+	30-08-2012	X	
495	LE07_001074_20120915	ETM+	15-09-2012	X	
496	LE07_001074_20121017	ETM+	17-10-2012	X	
497	LE07_001074_20121102	ETM+	02-11-2012	X	
498	LE07_001074_20121204	ETM+	04-12-2012	X	
499	LE07_001074_20121220	ETM+	20-12-2012	X	
500	LE07_001074_20130206	ETM+	06-02-2013	X	X
501	LE07_001074_20130310	ETM+	10-03-2013	X	X
502	LE07_001074_20130326	ETM+	26-03-2013	X	X
503	LE07_001074_20130411	ETM+	11-04-2013	X	
504	LE07_001074_20130427	ETM+	27-04-2013	X	
505	LE07_001074_20130513	ETM+	13-05-2013	X	
506	LE07_001074_20130529	ETM+	29-05-2013	X	
507	LE07_001074_20130630	ETM+	30-06-2013	X	
508	LE07_001074_20130716	ETM+	16-07-2013	X	
509	LE07_001074_20130801	ETM+	01-08-2013	X	
510	LE07_001074_20130817	ETM+	17-08-2013	X	
511	LE07_001074_20130902	ETM+	02-09-2013	X	
512	LE07_001074_20131105	ETM+	05-11-2013	X	
513	LE07_001074_20131121	ETM+	21-11-2013	X	
514	LE07_001074_20131223	ETM+	23-12-2013	X	
515	LE07_001074_20140124	ETM+	24-01-2014	X	X
516	LE07_001074_20140209	ETM+	09-02-2014	X	X
517	LE07_001074_20140225	ETM+	25-02-2014	X	X
518	LE07_001074_20140313	ETM+	13-03-2014	X	X
519	LE07_001074_20140329	ETM+	29-03-2014	X	X
520	LE07_001074_20140430	ETM+	30-04-2014	X	
521	LE07_001074_20140516	ETM+	16-05-2014	X	
522	LE07_001074_20140601	ETM+	01-06-2014	X	
523	LE07_001074_20140617	ETM+	17-06-2014	X	
524	LE07_001074_20140703	ETM+	03-07-2014	X	
525	LE07_001074_20140719	ETM+	19-07-2014	X	
526	LE07_001074_20140804	ETM+	04-08-2014	X	
527	LE07_001074_20140820	ETM+	20-08-2014	X	
528	LE07_001074_20141007	ETM+	07-10-2014	X	
529	LE07_001074_20141023	ETM+	23-10-2014	X	
530	LE07_001074_20141108	ETM+	08-11-2014	X	
531	LE07_001074_20141124	ETM+	24-11-2014	X	

N°	ID_GEE	S	FECHA	NDWI	NDVI
532	LE07_001074_20141210	ETM+	10-12-2014	X	
533	LE07_001074_20141226	ETM+	26-12-2014	X	
534	LE07_001074_20150111	ETM+	11-01-2015	X	
535	LE07_001074_20150127	ETM+	27-01-2015	X	X
536	LE07_001074_20150228	ETM+	28-02-2015	X	X
537	LE07_001074_20150316	ETM+	16-03-2015	X	X
538	LE07_001074_20150401	ETM+	01-04-2015	X	
539	LE07_001074_20150417	ETM+	17-04-2015	X	
540	LE07_001074_20150503	ETM+	03-05-2015	X	
541	LE07_001074_20150519	ETM+	19-05-2015	X	
542	LE07_001074_20150604	ETM+	04-06-2015	X	
543	LE07_001074_20150620	ETM+	20-06-2015	X	
544	LE07_001074_20150706	ETM+	06-07-2015	X	
545	LE07_001074_20150722	ETM+	22-07-2015	X	
546	LE07_001074_20150807	ETM+	07-08-2015	X	
547	LE07_001074_20150823	ETM+	23-08-2015	X	
548	LE07_001074_20150908	ETM+	08-09-2015	X	
549	LE07_001074_20150924	ETM+	24-09-2015	X	
550	LE07_001074_20151127	ETM+	27-11-2015	X	
551	LE07_001074_20151213	ETM+	13-12-2015	X	
552	LE07_001074_20151229	ETM+	29-12-2015	X	
553	LE07_001074_20160114	ETM+	14-01-2016	X	
554	LE07_001074_20160130	ETM+	30-01-2016	X	
555	LE07_001074_20160215	ETM+	15-02-2016	X	X
556	LE07_001074_20160302	ETM+	02-03-2016	X	X
557	LE07_001074_20160318	ETM+	18-03-2016	X	X
558	LE07_001074_20160403	ETM+	03-04-2016	X	
559	LE07_001074_20160505	ETM+	05-05-2016	X	
560	LE07_001074_20160521	ETM+	21-05-2016	X	
561	LE07_001074_20160622	ETM+	22-06-2016	X	
562	LE07_001074_20160724	ETM+	24-07-2016	X	
563	LE07_001074_20160809	ETM+	09-08-2016	X	
564	LE07_001074_20160825	ETM+	25-08-2016	X	
565	LE07_001074_20160910	ETM+	10-09-2016	X	
566	LE07_001074_20160926	ETM+	26-09-2016	X	
567	LE07_001074_20161012	ETM+	12-10-2016	X	
568	LE07_001074_20161028	ETM+	28-10-2016	X	
569	LE07_001074_20161113	ETM+	13-11-2016	X	
570	LE07_001074_20170201	ETM+	01-02-2017	X	X
571	LE07_001074_20170217	ETM+	17-02-2017	X	X
572	LE07_001074_20170406	ETM+	06-04-2017	X	
573	LE07_001074_20170422	ETM+	22-04-2017	X	
574	LE07_001074_20170508	ETM+	08-05-2017	X	
575	LE07_001074_20170625	ETM+	25-06-2017	X	
576	LE07_001074_20170711	ETM+	11-07-2017	X	
577	LE07_001074_20170727	ETM+	27-07-2017	X	
578	LE07_001074_20170828	ETM+	28-08-2017	X	
579	LE07_001074_20170929	ETM+	29-09-2017	X	
580	LE07_001074_20171031	ETM+	31-10-2017	X	

N°	ID_GEE	S	FECHA	NDWI	NDVI
581	LE07_001074_20171116	ETM+	16-11-2017	X	
582	LE07_001074_20171202	ETM+	02-12-2017	X	
583	LE07_001074_20180103	ETM+	03-01-2018	X	X
584	LE07_001074_20180220	ETM+	20-02-2018	X	X
585	LE07_001074_20180324	ETM+	24-03-2018	X	
586	LE07_001074_20180409	ETM+	09-04-2018	X	
587	LE07_001074_20180511	ETM+	11-05-2018	X	
588	LE07_001074_20180527	ETM+	27-05-2018	X	
589	LE07_001074_20180628	ETM+	28-06-2018	X	
590	LE07_001074_20180730	ETM+	30-07-2018	X	
591	LE07_001074_20180815	ETM+	15-08-2018	X	
592	LE07_001074_20180831	ETM+	31-08-2018	X	
593	LE07_001074_20180916	ETM+	16-09-2018	X	
594	LE07_001074_20181002	ETM+	02-10-2018	X	
595	LE07_001074_20181018	ETM+	18-10-2018	X	
596	LE07_001074_20181103	ETM+	03-11-2018	X	
597	LE07_001074_20181205	ETM+	05-12-2018	X	
598	LE07_001074_20181221	ETM+	21-12-2018	X	
599	LE07_001074_20190106	ETM+	06-01-2019	X	X
600	LE07_001074_20190122	ETM+	22-01-2019	X	
601	LE07_001074_20190223	ETM+	23-02-2019	X	X
602	LE07_001074_20190311	ETM+	11-03-2019	X	X
603	LE07_001074_20190412	ETM+	12-04-2019	X	
604	LE07_001074_20190428	ETM+	28-04-2019	X	
605	LE07_001074_20190514	ETM+	14-05-2019	X	
606	LE07_001074_20190530	ETM+	30-05-2019	X	
607	LE07_001074_20190615	ETM+	15-06-2019	X	
608	LE07_001074_20190701	ETM+	01-07-2019	X	
609	LE07_001074_20190802	ETM+	02-08-2019	X	
610	LE07_001074_20190818	ETM+	18-08-2019	X	
611	LE07_001074_20190919	ETM+	19-09-2019	X	
612	LE07_001074_20191106	ETM+	06-11-2019	X	
613	LE07_001074_20191122	ETM+	22-11-2019	X	
614	LE07_001074_20191208	ETM+	08-12-2019	X	
615	LE07_001074_20191224	ETM+	24-12-2019	X	
616	LE07_001074_20200109	ETM+	09-01-2020	X	
617	LE07_001074_20200125	ETM+	25-01-2020	X	X
618	LE07_001074_20200226	ETM+	26-02-2020	X	X
619	LE07_001074_20200329	ETM+	29-03-2020	X	X

N°	ID_GEE	S	FECHA	NDWI	NDVI
620	LE07_001074_20200414	ETM+	14-04-2020	X	
621	LE07_001074_20200430	ETM+	30-04-2020	X	
622	LE07_001074_20200516	ETM+	16-05-2020	X	
623	LE07_001074_20200617	ETM+	17-06-2020	X	
624	LE07_001074_20200703	ETM+	03-07-2020	X	
625	LE07_001074_20200719	ETM+	19-07-2020	X	
626	LE07_001074_20200804	ETM+	04-08-2020	X	
627	LE07_001074_20200905	ETM+	05-09-2020	X	
628	LE07_001074_20200921	ETM+	21-09-2020	X	
629	LE07_001074_20201007	ETM+	07-10-2020	X	
630	LE07_001074_20201108	ETM+	08-11-2020	X	
631	LE07_001074_20201210	ETM+	10-12-2020	X	
632	LE07_001074_20201226	ETM+	26-12-2020	X	
633	LE07_001074_20210111	ETM+	11-01-2021	X	X
634	LE07_001074_20210127	ETM+	27-01-2021	X	X
635	LE07_001074_20210212	ETM+	12-02-2021	X	X
636	LE07_001074_20210228	ETM+	28-02-2021	X	X
637	LE07_001074_20210417	ETM+	17-04-2021	X	
638	LE07_001074_20210503	ETM+	03-05-2021	X	
639	LE07_001074_20210519	ETM+	19-05-2021	X	
640	LE07_001074_20210620	ETM+	20-06-2021	X	
641	LE07_001074_20210706	ETM+	06-07-2021	X	
642	LE07_001074_20210722	ETM+	22-07-2021	X	
643	LE07_001074_20210807	ETM+	07-08-2021	X	
644	LE07_001074_20210823	ETM+	23-08-2021	X	
645	LE07_001074_20210908	ETM+	08-09-2021	X	
646	LE07_001074_20210924	ETM+	24-09-2021	X	
647	LE07_001074_20211010	ETM+	10-10-2021	X	
648	LE07_001074_20211026	ETM+	26-10-2021	X	
649	LE07_001074_20211111	ETM+	11-11-2021	X	
650	LE07_001074_20211127	ETM+	27-11-2021	X	
651	LE07_001074_20211213	ETM+	13-12-2021	X	
652	LE07_001074_20211229	ETM+	29-12-2021	X	
653	LE07_001074_20220114	ETM+	14-01-2022		X
654	LE07_001074_20220130	ETM+	30-01-2022		X
655	LE07_001074_20220215	ETM+	15-02-2022		X
656	LE07_001074_20220303	ETM+	03-03-2022		X
657	LE07_001074_20220319	ETM+	19-03-2022		X

Apéndice N°3. Imágenes satelitales Landsat 8 utilizadas para el análisis de comparación de sensores aplicado a superficies lagunares

N°	ID_GEE	FECHA
1	LC08_001074_20130323	23-03-2013
2	LC08_233074_20130328	28-03-2013
3	LC08_001074_20130419	19-04-2013
4	LC08_001074_20130505	05-05-2013
5	LC08_001074_20130606	06-06-2013
6	LC08_001074_20130708	08-07-2013
7	LC08_001074_20130724	24-07-2013
8	LC08_001074_20130809	09-08-2013
9	LC08_001074_20130910	10-09-2013
10	LC08_001074_20130926	26-09-2013
11	LC08_001074_20131113	13-11-2013
12	LC08_001074_20131129	29-11-2013
13	LC08_001074_20131231	31-12-2013
14	LC08_001074_20140217	17-02-2014
15	LC08_001074_20140305	05-03-2014
16	LC08_001074_20140321	21-03-2014
17	LC08_001074_20140406	06-04-2014
18	LC08_001074_20140422	22-04-2014
19	LC08_001074_20140508	08-05-2014
20	LC08_001074_20140609	09-06-2014
21	LC08_001074_20140625	25-06-2014
22	LC08_001074_20140711	11-07-2014
23	LC08_001074_20140727	27-07-2014
24	LC08_001074_20140812	12-08-2014
25	LC08_001074_20140828	28-08-2014
26	LC08_001074_20140913	13-09-2014
27	LC08_001074_20141015	15-10-2014
28	LC08_001074_20141031	31-10-2014
29	LC08_001074_20141202	02-12-2014
30	LC08_001074_20150103	03-01-2015
31	LC08_001074_20150119	19-01-2015
32	LC08_001074_20150220	20-02-2015
33	LC08_001074_20150425	25-04-2015
34	LC08_001074_20150511	11-05-2015
35	LC08_001074_20150612	12-06-2015
36	LC08_001074_20150730	30-07-2015
37	LC08_001074_20150815	15-08-2015
38	LC08_001074_20150831	31-08-2015
39	LC08_001074_20150916	16-09-2015
40	LC08_001074_20151018	18-10-2015
41	LC08_001074_20151103	03-11-2015
42	LC08_001074_20151119	19-11-2015
43	LC08_001074_20151221	21-12-2015
44	LC08_001074_20160106	06-01-2016

N°	ID_GEE	FECHA
45	LC08_001074_20160122	22-01-2016
46	LC08_001074_20160310	10-03-2016
47	LC08_001074_20160326	26-03-2016
48	LC08_001074_20160427	27-04-2016
49	LC08_001074_20160513	13-05-2016
50	LC08_001074_20160529	29-05-2016
51	LC08_001074_20160614	14-06-2016
52	LC08_001074_20160630	30-06-2016
53	LC08_001074_20160716	16-07-2016
54	LC08_001074_20160801	01-08-2016
55	LC08_001074_20160817	17-08-2016
56	LC08_001074_20160918	18-09-2016
57	LC08_001074_20161004	04-10-2016
58	LC08_001074_20161020	20-10-2016
59	LC08_001074_20161105	05-11-2016
60	LC08_001074_20161121	21-11-2016
61	LC08_001074_20161207	07-12-2016
62	LC08_001074_20161223	23-12-2016
63	LC08_001074_20170108	08-01-2017
64	LC08_001074_20170124	24-01-2017
65	LC08_001074_20170209	09-02-2017
66	LC08_001074_20170329	29-03-2017
67	LC08_001074_20170414	14-04-2017
68	LC08_001074_20170430	30-04-2017
69	LC08_001074_20170516	16-05-2017
70	LC08_001074_20170601	01-06-2017
71	LC08_001074_20170617	17-06-2017
72	LC08_001074_20170703	03-07-2017
73	LC08_001074_20170719	19-07-2017
74	LC08_001074_20170804	04-08-2017
75	LC08_001074_20170820	20-08-2017
76	LC08_001074_20170921	21-09-2017
77	LC08_001074_20171007	07-10-2017
78	LC08_001074_20171023	23-10-2017
79	LC08_001074_20171108	08-11-2017
80	LC08_001074_20171210	10-12-2017
81	LC08_001074_20180127	27-01-2018
82	LC08_001074_20180228	28-02-2018
83	LC08_001074_20180316	16-03-2018
84	LC08_001074_20180401	01-04-2018
85	LC08_001074_20180417	17-04-2018
86	LC08_001074_20180503	03-05-2018
87	LC08_001074_20180519	19-05-2018
88	LC08_001074_20180807	07-08-2018

N°	ID_GEE	FECHA
89	LC08_001074_20180823	23-08-2018
90	LC08_001074_20180908	08-09-2018
91	LC08_001074_20181010	10-10-2018
92	LC08_001074_20181026	26-10-2018
93	LC08_001074_20181111	11-11-2018
94	LC08_001074_20181127	27-11-2018
95	LC08_001074_20181213	13-12-2018
96	LC08_001074_20190114	14-01-2019
97	LC08_001074_20190303	03-03-2019
98	LC08_001074_20190319	19-03-2019
99	LC08_001074_20190522	22-05-2019
100	LC08_001074_20190607	07-06-2019
101	LC08_001074_20190623	23-06-2019
102	LC08_001074_20190709	09-07-2019
103	LC08_001074_20190810	10-08-2019
104	LC08_001074_20190826	26-08-2019
105	LC08_001074_20190927	27-09-2019
106	LC08_001074_20191013	13-10-2019
107	LC08_001074_20191029	29-10-2019
108	LC08_001074_20191114	14-11-2019
109	LC08_001074_20191130	30-11-2019
110	LC08_001074_20191216	16-12-2019
111	LC08_001074_20200202	02-02-2020
112	LC08_001074_20200218	18-02-2020
113	LC08_001074_20200305	05-03-2020
114	LC08_001074_20200321	21-03-2020
115	LC08_001074_20200406	06-04-2020
116	LC08_001074_20200422	22-04-2020
117	LC08_001074_20200508	08-05-2020

N°	ID_GEE	FECHA
118	LC08_001074_20200524	24-05-2020
119	LC08_001074_20200609	09-06-2020
120	LC08_001074_20200625	25-06-2020
121	LC08_001074_20200711	11-07-2020
122	LC08_001074_20200727	27-07-2020
123	LC08_001074_20200812	12-08-2020
124	LC08_001074_20200828	28-08-2020
125	LC08_001074_20200913	13-09-2020
126	LC08_001074_20200929	29-09-2020
127	LC08_001074_20201031	31-10-2020
128	LC08_001074_20201116	16-11-2020
129	LC08_001074_20201202	02-12-2020
130	LC08_001074_20201218	18-12-2020
131	LC08_001074_20210103	03-01-2021
132	LC08_001074_20210119	19-01-2021
133	LC08_001074_20210204	04-02-2021
134	LC08_001074_20210220	20-02-2021
135	LC08_001074_20210308	08-03-2021
136	LC08_001074_20210324	24-03-2021
137	LC08_001074_20210425	25-04-2021
138	LC08_001074_20210612	12-06-2021
139	LC08_001074_20210628	28-06-2021
140	LC08_001074_20210815	15-08-2021
141	LC08_001074_20210831	31-08-2021
142	LC08_001074_20210916	16-09-2021
143	LC08_001074_20211002	02-10-2021
144	LC08_001074_20211018	18-10-2021
145	LC08_001074_20211103	03-11-2021
146	LC08_001074_20211119	19-11-2021