

# RESPUESTAS A OBSERVACIONES DEL CPA EFECTUADAS A “APÉNDICE 1.9 ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LAS ÁREAS LAGUNARES EN EL SALAR DE ATACAMA”

INFORME FINAL

IT23-21-04



# RESPUESTAS A OBSERVACIONES DEL CPA EFECTUADAS A “APÉNDICE 1.9 ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LAS ÁREAS LAGUNARES EN EL SALAR DE ATACAMA”

## INFORME FINAL

**JUAN IGNACIO GUZMÁN**  
Gerente de Proyecto  
jiguzman@gem-ing.cl

**PATRICIO FAÚNDEZ**  
Ingeniero de Proyecto  
pfaundez@gem-ing.cl

**PABLO RUIZ-TAGLE**  
Ingeniero de Proyecto  
pruiztagle@gem-ing.cl

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>1.</b>	<b>RESPUESTAS A CPA .....</b>	<b>2</b>
1.1.	RESPUESTA A “OBSERVACIONES AL INFORME TÉCNICO IT27-20-01 ‘ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LAS ÁREAS LAGUNARES EN EL SALAR DE ATACAMA’” .....	2
1.2	RESPUESTA A “OBSERVACIONES AL PROGRAMA DE CUMPLIMIENTO AMBIENTAL DEL TITULAR SQM SALAR S.A, DE FECHA 30-11-2020” .....	17
<b>2</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>26</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>27</b>
I.	IMÁGENES SATELITALES UTILIZADAS EN EL ANÁLISIS PRINCIPAL .....	27
II.	IMÁGENES SATELITALES UTILIZADAS EN EL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	32

GEM | Gestión y Economía Minera Ltda.  
Av. Las Condes 12461, Torre 3, oficina 805  
Las Condes, Santiago, Chile  
Fono: +56 2 3263 26 59  
contacto@gem-ing.cl  
www.gem-ing.cl

VERSIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN	ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
0	07-10-2021	Versión original	PF/PRT	JIG	JIG

# 1. RESPUESTAS A CPA

Este informe tiene por objeto responder a las observaciones del CPA efectuadas al informe técnico “IT27-20-01 Análisis de la evolución de las áreas lagunares en el Salar de Atacama – V0”. En función de los comentarios efectuados tanto por el CPA y la SMA, se desarrolló una nueva versión de este informe, denominada “IT23-21-01 Análisis de la evolución de las áreas lagunares en el Salar de Atacama – V1”, que forma parte de los antecedentes acompañados al Programa de Cumplimiento entregado a la SMA con fecha 29/09/2021. Para efectos de este informe de respuestas al CPA, se referirá como “V0” a la versión original revisada por el CPA y la SMA y, por otro lado, se referirá como “V1” a la nueva versión que recoge los comentarios planteados por estas organizaciones.

## 1.1. RESPUESTA A “OBSERVACIONES AL INFORME TÉCNICO IT27-20-01 ‘ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LAS ÁREAS LAGUNARES EN EL SALAR DE ATACAMA’”

### 1.1.1. CUESTIONAMIENTO CPA EN RELACIÓN A SATÉLITES UTILIZADOS:

#### Observación CPA:

*“Según se indica en el informe presentado, se utilizaron los satélites Landsat 7 para el periodo de imágenes disponibles entre el 1986-2013 y Landsat 8 para el periodo 2013-2018. De esto último se observa que el satélite Landsat 7 fue lanzado en el año 1999 y a partir del año 2003 las imágenes disponibles por este sensor presentan franjas de errores. Por tanto, no queda claro cuáles son los satélites específicamente utilizados para los diferentes periodos de tiempo.”*

#### Respuesta GEM:

En relación a las imágenes empleadas, efectivamente esto no estaba explícito en la V0, no obstante, en la V1 del informe esto es incorporado y detallado:

1. Las imágenes satelitales para Soncor y Peine provienen de satélites tipo Landsat 5 para el periodo 1986 – 1999, Landsat 7 para el periodo 1999 - 2013 y Landsat 8 para el periodo 2013 – 2018.

2. En el caso de Aguas de Quelana, se emplearon imágenes tipo DigitalGlobe (Quickbird, WorldView-2, Geoeye-1 y WorldView-3) con frecuencia anual entre 2006 y 2020.

Las imágenes empleadas en el análisis principal del informe actualizado (V1), con sus respectivas fechas y sensores, se encuentran en el **Anexo I**. Por otro lado, las imágenes empleadas en el análisis de sensibilidad efectuado (reemplazando las imágenes Landsat 8 por Landsat 7) se encuentran en el **Anexo II**. Este análisis de sensibilidad tiene por objeto evaluar las implicancias en el análisis del cambio de satélite desde Landsat 7 a Landsat 8. En relación a los errores de bandeo mencionados a partir del año 2003, se incorpora una sección en el informe (V1) en la cual se detalla el proceso de corrección de estos, que se incluye a continuación:

### **CORRECCIÓN DE ERRORES DE BANDEO**

Los datos obtenidos por la misión Landsat 7 presentan una falla técnica desde mayo del 2003, mostrando pixeles sin información y que se observan como bandas correlativas al costado y a lo largo de las imágenes.

La compensación de estos pixeles llamados bandeados se realizó para 49 escenas, que van desde noviembre del 2003 hasta noviembre del 2018, para ciertos periodos. La compensación y reparo del bandeamiento se realizó por reemplazo de pixeles de otra imagen Landsat 7 de fecha cercana y mismo lugar y no por interpolación con valores cercanos de la misma imagen, de acuerdo a las recomendaciones efectuadas por la autoridad. La imagen secundaria que se utilizó para extraer los pixeles con información del lugar, se denomina imagen de reemplazo.

Las condiciones para la elección de la imagen de reemplazo fueron considerando fechas cercanas a la fecha de la imagen original, con una diferencia de máximo 2 meses y baja nubosidad (menos de un 10%).

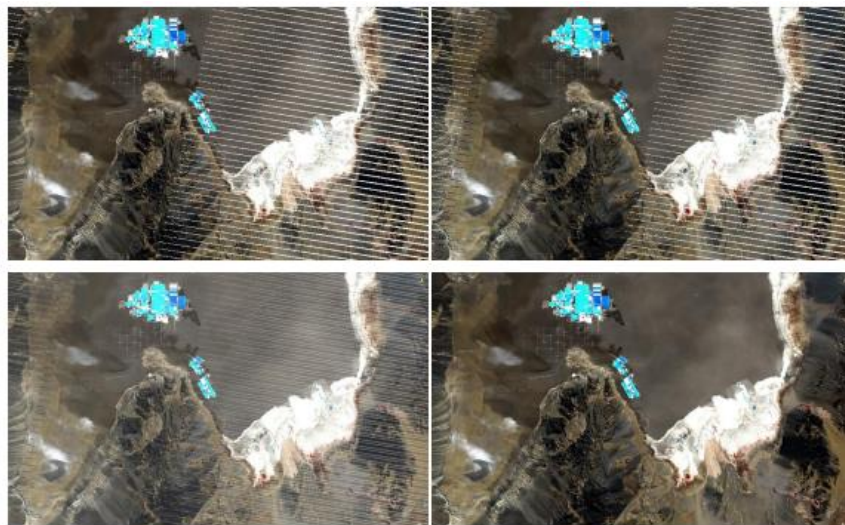
El reemplazo fue realizado mediante un algoritmo diseñado en el lenguaje de programación Python, código desarrollado para este trabajo y ejecutado para todas las imágenes considerando su ubicación espacial y un total de 6 bandas, las cuales están ordenadas de la siguiente manera: Banda 1: azul, Banda 2: verde, Banda 3: rojo, Banda 4: NIR, Banda 5: SWIR 1, Banda 7: SWIR 2.

Para la ejecución del algoritmo se consideró la ubicación de ambas imágenes, la posición del bandeamiento almacenado también en la máscara que viene incluida en la descarga de las imágenes,

y además el almacenamiento en datos con extensión .TIFF, georreferenciados y con las 6 bandas ya mencionadas.

El reemplazo fue satisfactorio: la escena original y de reemplazo tenían valores similares en la mayoría de las bandas. Se observan en algunas de las bandas y algunos juegos de bandas diferencias entre los pixeles originales y los pixeles incluidos por este procedimiento, siendo evidente la diferencia de reflectancia, pudiéndose atribuir esta variación a diferencia en iluminación, hora de adquisición del datos y diferencia en la humedad y nubosidad. En la **Figura 1.1** se muestra la imagen original, la imagen de reemplazo, las dos superpuestas con transparencia (para evidencia que la de reemplazo corrige la original) y la imagen corregida.

FIGURA 1.1. SECUENCIA DE CORRECCIÓN DE ERRORES DE BANDEO



En la **Tabla 1.1.** se presentan los reemplazos considerados.

**TABLA 1.1. REEMPLAZO DE IMÁGENES BANDEADAS**

Fecha Original	Fecha Landsat 7	Fecha reemplazo	Fecha Original	Fecha Landsat 7	Fecha reemplazo
2003-11-03	2003-11-03	2003-11-19	2014-02-26	2014-02-18	2014-03-06
2004-02-23	2004-02-23	2004-03-26	2014-05-17	2014-04-23	2014-03-22
2004-05-29	2004-05-29	2004-06-14	2014-08-21	2014-08-29	2014-09-14
2004-11-21	2004-11-21	2004-11-05	2014-11-25	2014-12-03	2014-11-01
2005-02-25	2005-02-25	2005-02-09	2015-02-13	2015-02-05	2015-03-09
2005-05-16	2005-05-16	2005-06-01	2015-05-20	2015-05-12	2015-06-13
2005-11-24	2005-11-24	2005-10-23	2015-08-24	2015-09-01	2015-09-17
2006-02-28	2006-02-28	2006-04-17	2015-11-28	2015-11-20	2015-12-06
2006-04-17	2006-04-17	2005-12-26	2016-02-16	2016-01-23	2016-03-11
2006-11-11	2006-11-11	2006-11-27	2016-05-22	2016-06-15	2016-07-01
2007-02-15	2007-02-15	2006-12-13	2016-08-26	2016-08-18	2016-09-03
2007-11-30	2007-11-30	2007-11-14	2016-11-14	2016-11-22	2016-11-06
2008-02-18	2008-02-18	2008-03-05	2017-02-02	2017-01-09	2016-12-24
2008-05-24	2008-05-24	2008-06-09	2017-03-06	2017-03-14	2017-03-30
2008-11-16	2008-11-16	2008-10-31	2017-05-09	2017-05-17	2017-05-01
2009-05-11	2009-05-11	2009-05-27	2017-08-13	2017-08-05	2017-07-20
2010-02-07	2010-02-07	2010-03-11	2017-11-17	2017-11-09	2017-11-25
2012-02-29	2012-02-29	2012-03-16	2018-02-21	2018-03-01	2018-03-17
2012-05-19	2012-05-19	2012-05-03	2018-05-12	2018-05-20	2018-06-05
2012-08-23	2012-08-23	2012-08-07	2018-05-28	2018-05-20	2018-06-05
2012-11-27	2012-11-27	2012-11-11	2018-08-16	2018-07-07	2018-06-05
2013-02-15	2013-02-15	2013-03-03	2018-10-19	2018-10-11	2018-10-27
2013-05-06	2013-05-06	2013-04-20	2018-11-04	2018-10-27	2018-10-11
2013-08-26	2013-08-26	2013-08-10	2018-11-20	2018-11-20	2018-11-20
2013-11-22	2013-11-14	2014-01-01			

### 1.1.2. CUESTIONAMIENTO CPA EN RELACIÓN A ALGORITMO DE TELEDETECCIÓN UTILIZADO:

#### Observación CPA:

*“Según se indica para la detección de los cuerpos de agua superficiales se utiliza la metodología planteada por McFeeters (1996) con modificaciones introducidas por Ji et. al., 2009.*

*De esto último, el informe no detalla específicamente cuál es la modificación que se realiza al NDWI de McFeeters, en términos de la fórmula matemática utilizada para el procesamiento de las bandas espectrales de las imágenes satelitales.*

*Según el documento, se indica que tales modificaciones atienden a que existirían ciertas consideraciones respecto al umbral de detección de agua del índice las que varían según la proporción del ‘subpixel’ y los componentes ambientales que caracterizan la zona de análisis. Esto quiere decir que el umbral y los valores del NDWI tanto en su versión sin modificar como modificada, estará influenciado por el porcentaje de componentes del terreno analizado. Estas componentes son suelo, vegetación y agua.*

*Respecto a esto se indica lo siguiente:*

- En el trabajo de Ji et. al., 2009., se presentan 4 ecuaciones matemáticas para el estudio de cuerpos de agua superficiales mediante el procesamiento de imágenes satelitales. Por lo que no queda claro cuál es la fórmula finalmente utilizada en el presente trabajo.*
- Sin perjuicio de lo anterior, en el trabajo de Ji et. al., 2009 se indica que el algoritmo que entregaría mejores resultados respecto a los umbrales de detección sería el MDWI planteado por Xu, 2006. A lo cual se solicita indicar si efectivamente es ese el algoritmo utilizado y si existen modificaciones al mismo.*

*Se sugiere utilizar la metodología de caracterización de superficies con agua basada en Xu, 2006., quién plantea el índice MNDWI basado en las bandas GREEN y SWIR. Que a su vez es respaldado mediante una verificación de detección realizada por Ji. Et. Al, 2009.”*

## Respuesta GEM:

En relación a la modificación efectuada a McFeeters (1996) por Ji *et al.* (2009), como se señala en el informe desarrollado por GEM (V0 y V1) responde a la consideración de un umbral no necesariamente igual a 0. McFeeters (1996) considera que un pixel con un NDWI mayor a 0 corresponde a agua, lo cual no necesariamente es correcto según se consignó en la Sección 3.1 de los informes V0 y V1, basada en el texto de Ji *et al.* (2009). En consecuencia, no se modifica la ecuación de NDWI y por lo mismo, esto no es mencionado en el informe (V0 y V1), sino que la modificación es de carácter metodológico y atañe a la elección del umbral de detección de agua.

En relación a los comentarios efectuados sobre la mención a Ji *et al.* (2009), por un lado, en prácticamente todo el informe (V0 y V1) se indica claramente que el índice empleado es el NDWI, por otro lado, en relación a la afirmación *“Sin perjuicio de lo anterior, en el trabajo de Ji et al., 2009 se indica que el algoritmo que entregaría mejores resultados respecto a los umbrales de detección sería el MDWI planteado por Xu, 2006. A lo cual se solicita indicar si efectivamente es ese el algoritmo utilizado y si existen modificaciones al mismo.”* esta es incorrecta, ya que esto no es planteado por Ji *et al.* (2009). Ji *et al.* (2009) plantea que el índice MNDWI es más estable que el índice NDWI en zonas con abundante vegetación, no obstante, no se afirma lo planteado por el CPA. Es más, Ji *et al.* (2009) cita a Ouma y Tateishi (2006) quienes, según Ji *et al.* (2009) muestran que el índice NDWI es mejor en cuanto a rendimiento<sup>1</sup> para detectar agua que el índice MNDWI.

Finalmente, en cuanto a la sugerencia planteada de utilizar el índice MNDWI de Xu (2006), esta no aplica. Como se discute en Ji *et al.* (2009), entre los índices NDWI y MNDWI, es precisamente el primero el que mejor logra identificar el agua. Lo anterior se debe a que el índice MDNWI de Xu (2006) tiene problemas de precisión, teniendo un peor desempeño eliminando el ruido en las imágenes.

### 1.1.3. CUESTIONAMIENTO CPA EN RELACIÓN A UMBRALES DE DETECCIÓN:

#### Observación CPA:

*“En el informe presentado se indica que las consideraciones respecto a los umbrales de detección están basadas en el trabajo de Sheng et. al., 2016. Según lo indicado por el titular se indica que no se puede*

---

<sup>1</sup> El rendimiento definido por Ouma y Tateishi (2006) guarda relación con la precisión en detección de agua, particularmente aquella referida a la delimitación de bordes de cuerpos hídricos y generación de ruido.



*asumir que todos los valores sobre cero corresponden a agua umbral mínimo podría tomar valores de más de 0,1 o incluso de 0,3 (Shen et. al., 2016). Respecto a esto último se indica lo siguiente:*

- *El trabajo de Sheng et. al., 2016., utiliza en la evaluación de los umbrales de detección el índice NDWI basado en la fórmula matemática original de McFeeters, 1996. considerando las bandas VERDE y NIR. Esto sería incongruente con la recomendación entregada por Ji et. al., 2009., en la cual recomienda utilizar el índice MNDWI basado en el trabajo de Xu, 2006. y que por lo demás utiliza las bandas VERDE y SWIR. Toda vez que aparentemente es el algoritmo utilizado en el estudio presentado. Sin perjuicio de lo anterior, en el trabajo de Sheng et. al., 2016, en el apartado de resultados se indica que para lagunas salinas los umbrales de detección podrían llegar a incluso -0.6, aunque normalmente los valores estarían cercanos al -0.2. Se cita textual: “The spatial distribution of these thresholds also depends on lake types. Among water pixels, low values (i.e., b-0.2) are mainly found in salt lakes across the extensive endorheic basins, making the lake delineation challenging.” Por tanto, la consideración de umbrales mayores a 0.1 en el informe presentado no se ajusta a las recomendaciones y no es coherente con las consideraciones respecto a los algoritmos utilizados por los autores.*
- *La escala de análisis de Sheng et. al., 2016 es diametralmente diferente a la escala de análisis de los sistemas lagunares del Salar de Atacama. Específicamente, Sheng et. al., 2016 utiliza como escala de análisis a toda Oceanía. La implicancia de esto guarda relación en que a una escala regional como en el estudio de Sheng, la cuantificación de las superficies para diferentes umbrales no se verá tan afectada. A la escala local de análisis de los sistemas lagunares del Salar de Atacama, considerar diferentes umbrales de detección influirá en gran medida en la superficie determinada.*

*Umbral sugerido: Utilizar el umbral de -0.1 o cero para cuantificar las superficies de terreno con o sin agua. Esto respaldado que los pixeles que abarcan los bordes de los sistemas lagunares presentan una superficie mixta de tierra/agua y según lo indicado por Ji, et. Al, 2009, entregarían valores menores a cero. Toda vez que los márgenes de los sistemas lagunares son los más sensibles a ser afectados a las variaciones de la disponibilidad hídrica de los sistemas en cuestión.”*

## Respuesta GEM:

En relación a la observación de MNDWI, esta no aplica, puesto que el índice utilizado es el NDWI y no el MNDWI. Adicionalmente, la selección del umbral no está basada en literatura en Oceanía (en el *paper* de Sheng *et al.* (2016) el área tratada no corresponde a “toda Oceanía” como plantea la observación, sino que solamente a Australia y Nueva Zelanda), sino que en un proceso de calibración descrito en la Sección 3.2.3 del informe (V0 y V1), el cual es hecho especialmente para el Salar de Atacama y cuyos resultados se encuentran en las Tablas 4.1, 4.2 y 4.3. La inclusión de literatura científica tiene por objeto el desarrollo y validación de la metodología, más que replicar exactamente el trabajo efectuado por otros autores. Lo anterior estriba en que es infactible replicar los umbrales empleados en otros estudios (realizados para otras zonas geográficas), debido a que el umbral del NDWI depende en gran medida de las propiedades de la zona analizada, como el mismo Ji *et al.* (2009) señala.

Sobre la afirmación “*Esto sería incongruente con la recomendación entregada por Ji et. al., 2009., en la cual recomienda utilizar el índice MNDWI basado en el trabajo de Xu, 2006. y que por lo demás utiliza las bandas VERDE y SWIR. Toda vez que aparentemente es el algoritmo utilizado en el estudio presentado*”, señalada por el CPA, cabe señalar que esta se encuentra mal fundamentada puesto que no se condice con lo afirmado por Ji *et al.* (2009). Lo anterior se debe a que Ji *et al.* (2009) señala que el índice MNDWI es más estable que el índice NDWI en ambientes con abundante vegetación y la única recomendación efectuada respecto al índice NDWI es que el umbral seleccionado debe ser ajustado en función de la información disponible y el área de estudio (Ji *et al.*, 2009, p. 10).

En relación al segundo punto, este no es del todo correcto, puesto que la razón de que se utilice un amplio rango de valores NDWI en Sheng *et al.* (2016) guarda relación con el número de imágenes disponibles para el análisis, lo cual es apreciable en la Figura 9 del *paper*. Además, se indica que el caso de Oceanía continental es un caso especial y que lo normal es que el índice recoja píxeles de agua sobre un NDWI de 0. De cualquier modo, este *paper*, así como cualquier otro empleado en el informe (V0 y V1), solo constituyen referencias científicas y no el criterio de decisión de selección de umbral, el cual es resultado de un proceso de validación descrito en el Capítulo 3 del informe (V0 y V1).

En cuanto a la recomendación de umbral sugerido, la selección de umbral no puede ser arbitraria, puesto que podría recoger áreas significativamente mayores<sup>2</sup> a las indicadas en el Plan de Seguimiento Ambiental (PSA) y presentadas a la autoridad. Es por esto, y tal como se señala en la Sección 3.2.3 del informe (V0 y V1), que el umbral ha de ser calibrado por sensor y, para tal fin, son contrastadas las áreas obtenidas a distintos umbrales con aquellas calculadas en el PSA, las cuales provienen del análisis de imágenes satélites de alta resolución. De este modo, el umbral seleccionado para cada uno de los sistemas es un umbral no arbitrario y validado por lo presentado en el PSA.

#### 1.1.4. CUESTIONAMIENTO CPA EN RELACIÓN A ÁREA DE ESTUDIO SONCOR:

##### Observación CPA:

*“Según lo presentado en el informe se indica que no se consideró a la laguna Puilar en el análisis satelital dado que su morfometría requiere de una precisión espacial mayor para ser capturada de forma realista. Respecto a esto se tiene que:*

*El descarte no es congruente con las consideraciones metodológicas realizadas por el mismo titular, dado que para el sistema Aguas de Quelana se utilizaron imágenes tamaño 2x2 metros.*

*Si se realiza una comparación en términos de superficie lagunar para la laguna Puilar y Chaxa podemos observar que sus dimensiones son totalmente factibles de abarcar por el satélite Landsat o Quickbird.*

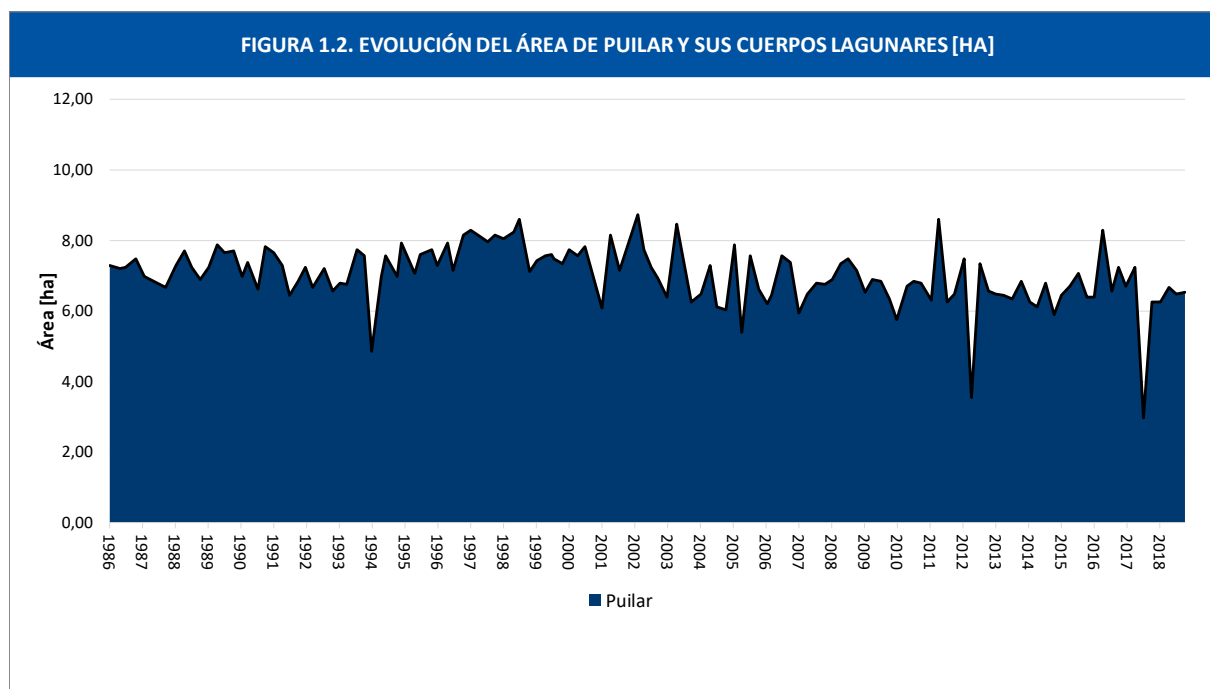
*No se entregan coordenadas asociadas a los polígonos de estudio para los diferentes sistemas lagunares y mucho menos la superficie que el mismo polígono considera.”*

##### Respuesta GEM:

En relación a la ausencia de análisis respecto al cuerpo lagunar Puilar en el informe V0, se incorpora este al informe (en la nueva versión V1) en las Secciones 4.1.2, 5.2.2 y 6.1.2. Además, se incorpora al análisis de sensibilidad en el **Anexo III** del informe V1 en la Sección III.2. Cabe destacar que Puilar es analizada de forma separada del resto de las lagunas del sistema Soncor, esto debido a la lejanía que presenta esta laguna con el resto del sistema. En relación a los principales resultados relacionados con Puilar, en la **Figura 1.2** se presenta la evolución temporal del área de Puilar.

---

<sup>2</sup> Con valores bajos de umbral, las áreas son altamente inconsistentes considerando lo medido en el PSA mediante imágenes satelitales de alta resolución.



Puilar en el periodo completo de análisis (1986-2018) presenta un comportamiento relativamente estable (aunque con tendencia a la baja), observable en su baja desviación estándar de 0,84 [ha] (con una media de 7,01 [ha]). Además, si bien se observa una tendencia decreciente en el Período IV (2010-2018) (periodo de máxima extracción de salmuera), esta tendencia es anterior a este período, puesto que se observan tendencias decrecientes y con mayor magnitud en los Períodos I (1986-1994) y III (1998-2009).

Si los resultados de Puilar son analizados con un 95% de confianza estadística, entonces, para el período completo (1986-2018) se tiene con un 95% de confianza estadística o 5% de significancia ( $\alpha$ ) que Puilar ha presentado una tendencia decreciente. No obstante lo anterior, si solo se considera el período de máxima extracción de salmuera, entonces no existe tendencia creciente o decreciente que sea estadísticamente significativa con un 95% de confianza o 5% de significancia ( $\alpha$ ).

En base al análisis de regresión multivariado de Puilar, presentado en la Subsección 6.1.2 del informe V1, se desprende que la variable de extracción de salmuera de SQM y Albemarle no es significativa en el análisis y por tanto no puede explicar a la variable de área de la laguna Puilar.

Finalmente, en cuanto a las coordenadas de delimitación de los distintos cuerpos lagunares, así como la superficie considerada para los cuerpos lagunares, en las **Figuras 4.1, 4.4, 4.7** del informe V1 son

presentadas las delimitaciones definidas por la CONAF para cada uno de los cuerpos considerados en el análisis.

#### 1.1.5. CUESTIONAMIENTO CPA EN RELACIÓN A SOFTWARES Y PROCEDIMIENTOS METODOLÓGICOS PARA LA CUANTIFICACIÓN DE SUPERFICIES DE LOS SISTEMAS LAGUNARES

##### Observación CPA:

*“Según lo indicado por el titular el procedimiento metodológico para la cuantificación de las superficies lagunares se realiza en las siguientes etapas:*

- 1. Máscara de color. Aplicación de máscaras de color en software Python 3.8 con el paquete “opencv”. Se menciona que en dicho software las imágenes se ingresan con el índice NDWI ya aplicado. Respecto a esto no se menciona en que software se generó la combinación de bandas. No se menciona en el informe si los productos en bruto fueron preprocesados mediante correcciones atmosféricas, radiométricas y otros. Dichas metodologías y flujos de trabajos, así como también los softwares han sido sistematizados en el trabajo de Nicholas E. Young, et. Al., 2017.*
- 2. Conversión binaria. Respecto a este procedimiento no se tienen observaciones.*
- 3. Máscara de ruido. Se indica que este procedimiento consiste en eliminar aquellas zonas en las que el algoritmo NDWI identificaría cuerpos de agua, sin que esto sea efectivo. Respecto a esto se observa que la eliminación de píxeles identificados como agua por el índice NDWI se realiza mediante un procedimiento manual y sin respaldo técnico. Este procedimiento de ‘eliminación de ruido’ no tiene lógica, puesto que la aplicación del índice NDWI y la designación de umbrales con la respectiva combinación binaria de los mismos es el procedimiento acogido para la designación de existencia o no de cuerpos de agua. Dado que no existen antecedentes de campo para el periodo antes del 2007, no se deberían eliminar aquellos píxeles dado que efectivamente podrían haber existido cuerpos de agua en esos sitios. Esto sumado a la lógica de que es de esperar de que los bombeos tanto de salmuera como de agua dulce generen una disminución en la disponibilidad de agua en los márgenes del salar, más si se considera la sensibilidad de los sistemas ante los efectos del cambio climático.*

4. *Conversión de píxeles a área en m<sup>2</sup>. Se menciona que el procedimiento de conversión de píxel a m<sup>2</sup> se realiza de forma manual en el software Inkscape, el cual posteriormente complementado en el software QGIS. Respecto a esto se obtiene una equivalencia de 324 m<sup>2</sup>/px. Este procedimiento manual deja dudas ya que si se realiza el procedimiento de aplicar la raíz cuadrada a los metros cuadrados del píxel, se llega a una dimensión de 18 metros por lado de píxel. Esto es un error garrafal, puesto que la dimensión del píxel entregado por los satélite Landsat es de 30 x 30 metros, entregando una superficie de 900 m<sup>2</sup> por píxel.”*

**Respuesta GEM:**

**MÁSCARA DE COLOR**

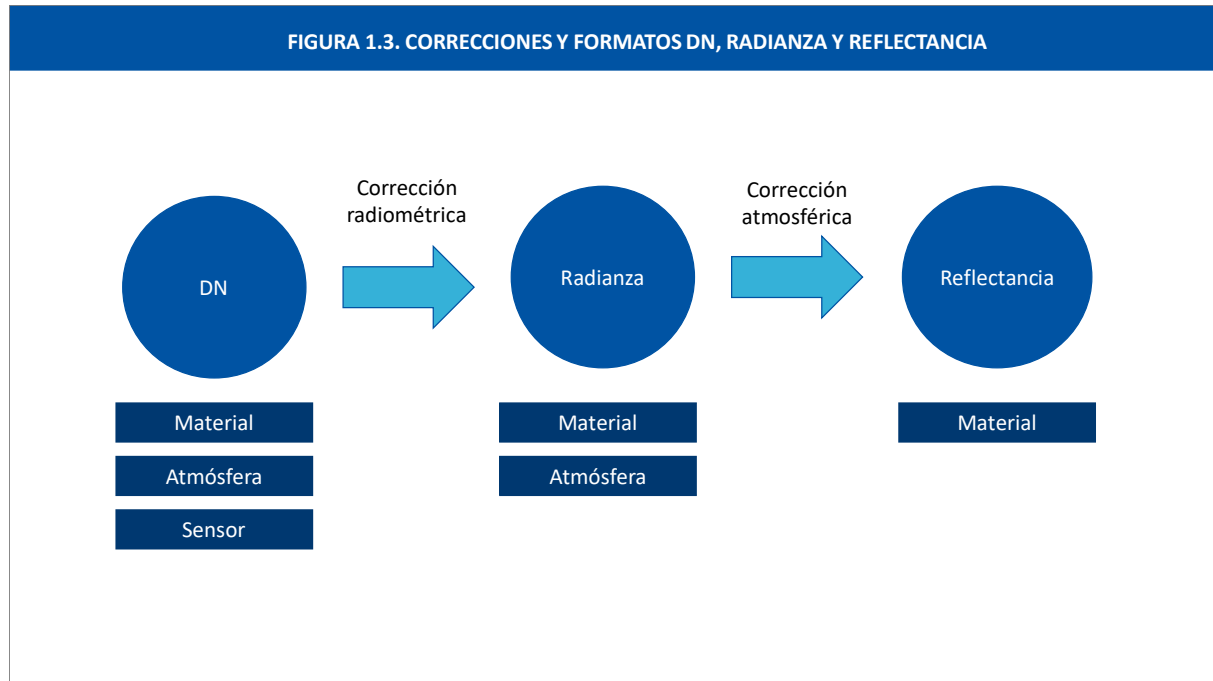
En relación a la observación efectuada en (1) máscara de color, se incorpora en el informe V1, en la sección 3.2.1 del Capítulo 3 de metodología, una subsección con el preprocesamiento de imágenes efectuado en términos generales, así como también, en términos de (1) Soncor y Peine y (2) Aguas de Quelana.

Las imágenes satelitales vienen en un formato numérico denominado “DN” (*Digital Number*). El valor del píxel en este formato contiene información del material en la superficie de la tierra (agua, vegetación, suelo u otro), la influencia de la atmósfera y de las compensaciones predefinidas por el sensor. *A priori*, los valores DN no son comparables entre distintos sensores. Para que el valor del píxel pueda compararse entre distintos sensores y que además sólo tenga información del material, es necesario eliminar las otras dos influencias antes mencionadas: sensor y atmósfera. Esto se realiza mediante dos correcciones:

- Corrección radiométrica: elimina los parámetros preestablecidos de ganancia y pérdida del sensor, por lo tanto, se generan datos comparables entre distintos sensores. Tras esta corrección las imágenes se convierten de DN a Radianza (o Radiancia) que es el flujo radiante que se refleja desde el suelo hacia el sensor, se mide en  $\left[ \frac{W}{m^2 sr} \right]$  y es la magnitud que detecta el sensor.
- Corrección atmosférica: elimina los efectos de la atmósfera en los datos. En este formato los datos (curvas espectrales de los píxeles) son comparables con curvas espectrales de

laboratorio. Tras esta corrección las imágenes se convierten de Radianza a Reflectancia (o Reflectancia Relativa).

La corrección radiométrica es una ecuación predeterminada para el sensor, que aplica compensaciones de ganancia y pérdida para cada banda. Esta información viene en los metadatos de cada imagen (archivo). Para llevarla a cabo el proveedor de la imagen entrega los parámetros y algoritmos que deben aplicarse en cada banda de la imagen satelital. *Softwares* como ENVI incorporan estos algoritmos en sus herramientas para realizar directamente la corrección radiométrica. La corrección atmosférica busca eliminar los efectos que provoca la atmósfera en los datos para obtener un dato que solo represente el material de la superficie con el cual interactuó la radiación electromagnética. **La Figura 1.3** resume el esquema de datos de la imagen y las correcciones necesarias.



En relación al procesamiento de imágenes, se incorpora al informe en su V1, el código empleado en python con objeto de procesar las imágenes satelitales con filtro NDWI. La inclusión de este Anexo tiene por objeto el clarificar el proceso de procesamiento de imágenes. Este se encuentra en el **Anexo II** de la V1. Esta sección contiene las librerías importadas, los pasos ya mencionados en el capítulo de procesamiento de imágenes (máscara de color, conversión binaria y máscara de ruido), así como también la aplicación de estos para el procesamiento de imágenes.

## MÁSCARA DE RUIDO

En relación al comentario efectuado a la máscara de ruido, esta tiene por objeto eliminar zonas que de forma evidente no corresponden a agua. En la **Figura 1.4** se observa el ruido en la imagen de Peine donde se aprecia claramente que el ruido observado es precisamente ruido y no pertenece al sistema de Peine. Lo anterior se debe a que el algoritmo, a bajos umbrales, identifica esta zona como agua, pero al ser observada, se aprecia claramente que esta zona corresponde a un cerro que, o bien por el suelo o por sombras, confunde al *software* utilizado. Por otro lado, en relación a la observación de que el umbral es la herramienta para la eliminación del ruido, esto es incongruente e inconsistente con la observación efectuada en la Subsección 1.3.3, en la que se recomienda utilizar umbrales en el rango  $[-0,1, 0]$ . Además, como se observa en la **Figura 1.5**, umbrales bajos son incapaces de eliminar el ruido en la imagen y son conducentes a una significativa sobrestimación del área de las lagunas.

FIGURA 1.4. RUIDO EN PEINE

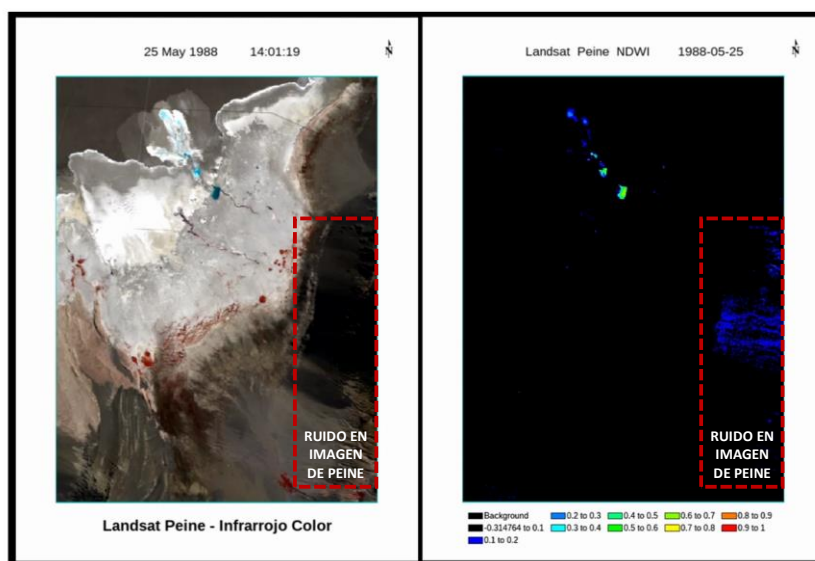
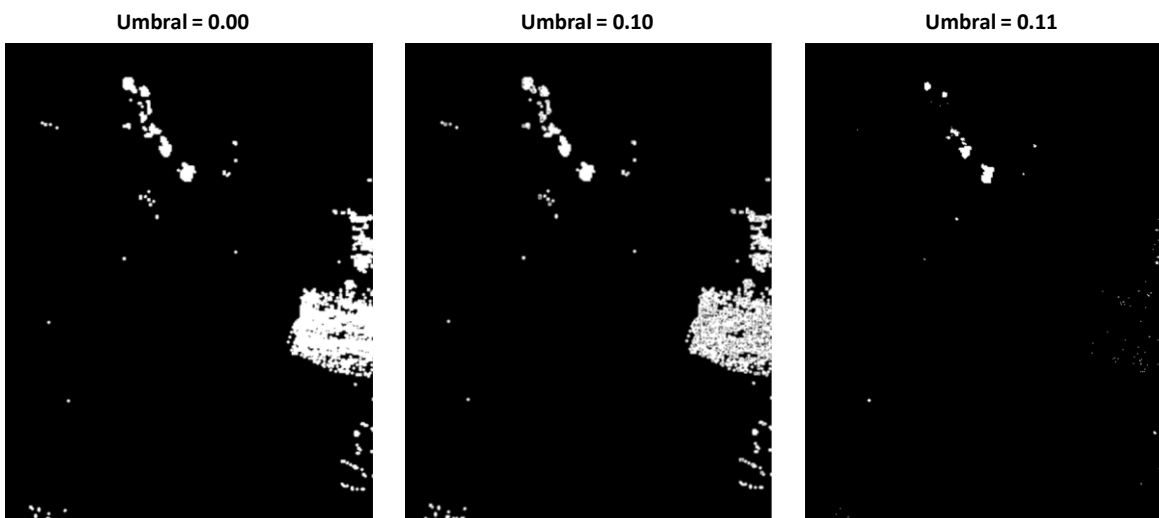




FIGURA 1.5. PEINE A DIFERENTES UMBRALES



Las afirmaciones de que utilizar una máscara de ruido no tiene lógica y no cuenta con respaldo técnico son equívocas desde un punto de vista científico, puesto que en la literatura se encuentra respaldo técnico a la segmentación de la imagen para la eliminación del ruido. Así, por ejemplo, Sheng *et al.* (2016) afirma que el NDWI por sí solo es incapaz de eliminar el ruido y que, de hecho, es altamente sensible a este. Por lo tanto, se recomienda la segmentación de imágenes para la eliminación del ruido (Jiang *et al.*, 2014, p. 6; Sheng *et al.*, 2016, p. 12).

### CONVERSIÓN DE PÍXELES A ÁREA EN $[m^2]$

La observación efectuada no aplica, puesto que si bien es correcto que la conversión es de  $900 \left[ \frac{m^2}{px} \right]$  para las imágenes de satélites Landsat (es de hecho este el número utilizado para los cálculos), el número indicado en el informe V0 no hace referencia a la imagen satelital original (Figuras 3.1, 4.5, 4.8 de la versión V0), sino que al recorte utilizado en la figura empleada en el informe en su versión V0. Para evitar confusiones, este número fue eliminado del informe en su versión V1.

## 1.2 RESPUESTA A “OBSERVACIONES AL PROGRAMA DE CUMPLIMIENTO AMBIENTAL DEL TITULAR SQM SALAR S.A, DE FECHA 30-11-2020”

### 1.2.1 CUESTIONAMIENTO CPA EN RELACIÓN A “QUIEBRES EN SERIES DE TIEMPO ARBITRARIOS”

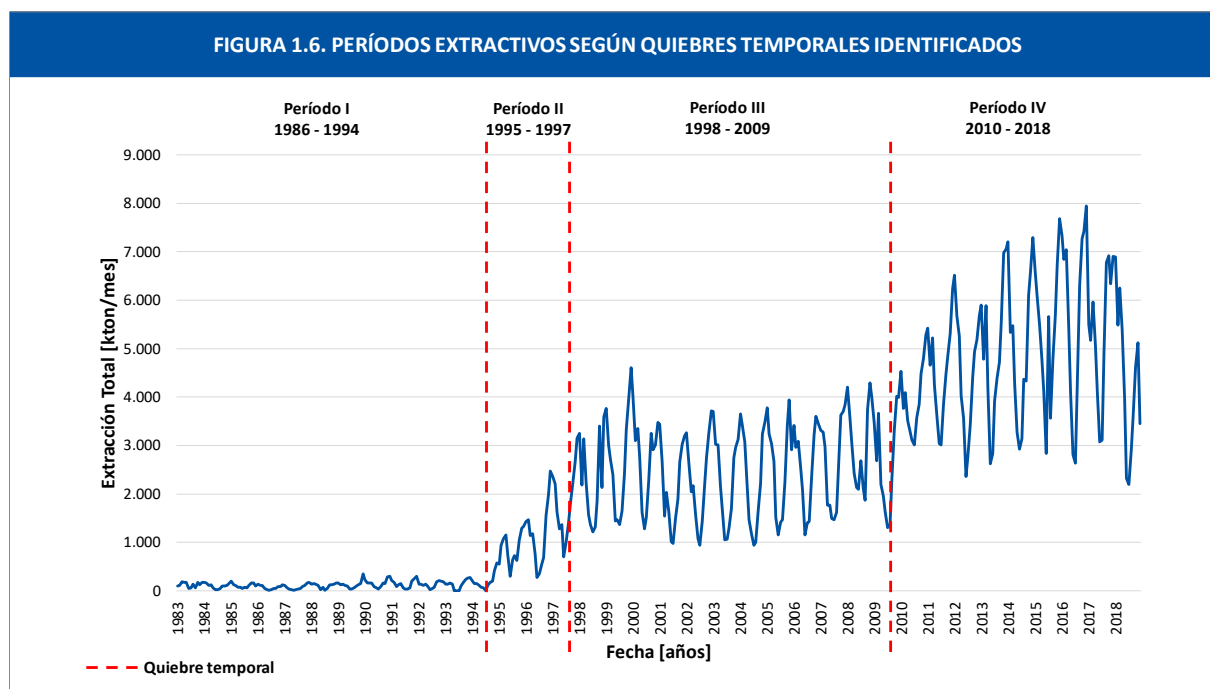
#### Observación CPA:

*“Quiebres en las series de tiempo de tipo completamente arbitrarios y no justificados, los cuales son altamente relevantes en el proceso de acotar los tiempos de los efectos con el objetivo de analizar éstos. Además, los quiebres en la serie de tiempo reducen el tamaño muestral (n) para cada uno de los periodos artificialmente designados, lo cual disminuye el poder estadístico de todas las pruebas realizadas.”*

#### Respuesta GEM:

Según se presentó en la Sección 5.1. del nuevo informe V1, se realizó un análisis que busca seccionar las series de tiempo de las áreas lagunares según la magnitud de las extracciones históricas anuales de salmuera en el Salar de Atacama, considerando tanto las extracciones de SQM como Albemarle.

Con objeto de estudiar la posible relación entre la extracción de salmuera, tanto de SQM como Albemarle, con una posible variación en el área de las lagunas, se procedió a dividir el análisis de las tendencias del área de las lagunas en cuatro periodos claramente marcados en cuanto a la extracción de salmuera desde el Salar de Atacama (de parte de las dos empresas incumbentes), los que se aprecian a nivel mensual en la **Figura 1.6**. Cabe señalar que dentro de cada uno de estos cuatro periodos la extracción de salmuera no presenta, a excepción del periodo II, tendencia temporal.



Los periodos no están simplemente marcados por componentes estadísticos, sino que también por hitos en la operación. Durante el Periodo I explotaba el salar solamente la Sociedad Chilena del Lito (hoy Albemarle). El Periodo II marca la entrada de SQM a la explotación y el inicio de sus operaciones. Luego, en el Periodo III se da explotación estable de parte de SQM. Finalmente, en el Periodo IV se da un aumento en la extracción debido a una mayor demanda de litio, impulsada por un crecimiento en el uso de baterías y de la electromovilidad. Por lo tanto, la división en estos periodos no es arbitraria, sino que está sustentada por cambios operacionales y respaldada por estadísticas, para cumplir con el objetivo de evaluar la existencia de una relación entre la extracción de salmuera y las superficies lacustres

Estadísticas que apoyan la idea de separar el plazo de tiempo en estos periodos se presentan en las **Tablas 1.2 y 1.3**. Se observan comportamientos de extracción claramente diferentes para cada uno de los periodos, según los cambios operacionales mencionados anteriormente.

**TABLA 1.2. PERÍODOS DE QUIEBRE TEMPORAL CATEGORIZADOS SEGÚN EXTRACCIÓN**

**TOTAL DE SALMUERA.**

**Fuente: GEM.**

Período I		Período II		Período III		Período IV	
AÑO	[m³/h]	AÑO	[m³/h]	AÑO	[m³/h]	AÑO	[m³/h]
1983	127,9	1995	867,65	1998	2.271,09	2010	3.942,77
1984	97,29	1996	1.153,89	1999	2.673,93	2011	4.493,33
1985	107,00	1997	1.816,91	2000	2.716,80	2012	4.483,36
1986	71,52			2001	2.132,18	2013	4.900,75
1987	74,92			2002	2.255,72	2014	5.023,63
1988	104,13			2003	2.291,32	2015	5.325,59
1989	122,91			2004	2.288,57	2016	5.779,46
1990	155,47			2005	2564,70	2017	5.319,64
1991	140,43			2006	2558,06	2018	4.349,53
1992	129,25			2007	2.610,18		
1993	135,29			2008	3.015,47		
1994	184,72			2009	2.655,68		

**TABLA 1.3 ESTADÍSTICAS PARA PERÍODOS DE QUIEBRE TEMPORAL.**

**Fuente: GEM.**

Período I		Período II		Período III		Período IV	
MEDIDA	[m³/h]	MEDIDA	[m³/h]	MEDIDA	[m³/h]	MEDIDA	[m³/h]
MEDIA	120,91	MEDIA	1.279,48	MEDIA	2.502,81	MEDIA	4.846,46
DESV. EST	32,42	DESV. EST	486,93	DESV. EST	256,27	DESV. EST	578,62

Sobre la exigencia que solicita “Realizar un nuevo análisis argumentando un quiebre en los periodos de análisis que se acote al periodo cuestionado de sobre extracción”, esto se considera un procedimiento incorrecto. De considerar esto se perdería el marco de referencia que permite entender la evolución histórica de las áreas lagunares, implicaría el análisis de un número acotado de imágenes para que tengan relevancia estadística y se eliminaría el análisis de posibles efectos posteriores al periodo de infracción que pudiese haber ocasionado la extracción excesiva de salmuera sobre el Salar de Atacama.

Finalmente, frente a la afirmación “los quiebres en la serie de tiempo reducen el tamaño muestral ( $n$ ) para cada uno de los periodos artificialmente designados, lo cual disminuye el poder estadístico de todas las pruebas realizadas”, es importante señalar que no se realizó el análisis basándose solamente en los quiebres temporales, sino que también se analizó el periodo completo.

### 1.2.2. CUESTIONAMIENTO CPA EN RELACIÓN A “USO DE ESTADÍSTICA ENFOCADA EN ERROR FALSO POSITIVO”

#### Observación CPA:

*“Uso de estadística enfocada en error tipo I (falso positivo) y no en error tipo II (falso negativo), el cual es más acorde al principio precautorio.*

*Faltan análisis de poder estadístico para evaluar si efectivamente se reduce la incerteza estadística asociada a esto informe.”*

*Se exige: “Incluir análisis de poder estadístico y error tipo II ( $\beta$  y  $1-\beta$ ) que permita evaluar efectivamente la disminución de la incerteza científica sobre los efectos.”*

#### Respuesta GEM:

En la Sección 3.2.5. del informe V1 se incorporó la justificación de la decisión de enfocar el informe en un análisis de errores tipo I.

El error tipo I, también denominado falso positivo, es el error que se comete cuando se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) de falta de tendencia temporal cuando en la realidad esta es verdadera (ver **Tabla 1.4**). Es equivalente a encontrar un resultado falso positivo, porque se obtiene como conclusión la existencia de una diferencia entre las hipótesis cuando esta no existe. Se relaciona con el nivel de significancia estadística  $\alpha$ . De esta forma, cuando el estadístico  $\alpha$  de un parámetro es 0,05, esto es equivalente a asumir que el error tipo I en este caso es de 5%, o que con un 95% de confianza no se puede rechazar que no exista una tendencia creciente o decreciente cuando verdaderamente este es el caso.

Por su parte, el error tipo II, también llamado falso negativo, es aquel referido a que no se rechace la hipótesis nula siendo esta falsa. Es equivalente a encontrar un resultado falso negativo, porque se

obtiene como conclusión la no existencia de una tendencia creciente o decreciente significativa. Se relaciona con el poder estadístico  $\beta$  y corresponde a  $1 - \beta$ . De esta forma, cuando el poder estadístico de un parámetro es 0,95, esto es equivalente a asumir que el error tipo II es de 5%.

**TABLA 1.4. EXPLICACIÓN ERRORES TIPO Y II**

	<b>H<sub>0</sub> ES VERDADERA</b>	<b>H<sub>0</sub> ES FALSA</b>
No rechazar H <sub>0</sub>	Decisión correcta Nivel de confianza Probabilidad $p = 1 - \alpha$	Error tipo II Probabilidad $p = \beta$
Rechazar H <sub>0</sub>	Error tipo I Nivel de significación Probabilidad $p = \alpha$	Decisión correcta Poder de prueba Probabilidad $p = 1 - \beta$

La significancia de los parámetros estimados, así como el parámetro mismo (en este caso la tendencia de la serie) y el número de observaciones utilizadas influyen todos en la incerteza estadística que poseen los resultados derivados. Así, por ejemplo, Gerrodete (1987) establece que en el caso de un parámetro estimado superior en valor absoluto a 0,05 para 20 o más observaciones el poder estadístico  $\beta$  es prácticamente 1 para el caso en que el nivel de significancia  $\alpha=0,05$  y por tanto el error tipo II es en la práctica nulo. En la medida que el parámetro estimado sea más cercano a cero más observaciones serán requeridas para mantener acotado el error tipo I.

En la práctica existe un *trade-off* entre el error tipo I y el error tipo II (Gujarati, 2008), por lo que se debe ponderar la selección del nivel de significancia  $\alpha$  relacionado al primero con objeto de mantener el error deseado de un tipo o el otro. Debido a que en el caso particular del área de las lagunas en el Salar de Atacama cometer un error tipo II debiese ser más costoso que cometer un error tipo I (en línea con el principio precautorio), siguiendo los resultados de Gerrodete (1987) los resultados se presentan con un nivel de significancia de  $\alpha=0,05$ . En estudios donde el error tipo I es más relevante, posiblemente los resultados se deban presentar con un nivel de significancia de  $\alpha=0,01$  o menor. En consecuencia, dado que se usó un  $\alpha$  de 0,05 y el número de observaciones es mucho mayor a 20 para los períodos analizados, es que la probabilidad de cometer el error tipo II se encuentra acotada en los análisis efectuados.

### 1.2.3 CUESTIONAMIENTO CPA EN RELACIÓN A “INCLUIR DETALLE DE MÉTODO DE SELECCIÓN DE MODELOS”

#### Observación CPA:

*“Modelamiento de regresiones: no presentan método de selección de modelo según criterio adecuado (AIC/BIC), se sugiere que se inclinan por  $R^2$ , pero este no es criterio de selección de modelos. No se presentan resultados de otros modelamientos alternativos, por lo que no existe una comparación de los modelos alternativos versus el modelo seleccionado. Esta comparación no se realiza en relación con el criterio de selección (AIC/BIC) ni en relación con la desviación explicada, ni tampoco en comparación al valor de  $R^2$  de los distintos modelos, pues solamente se presenta el modelo “seleccionado” sin argumentos para esto.”*

#### Respuesta GEM:

Esta observación se trabajó en detalle en la Sección 3.2.6. del nuevo informe V1. Como criterios de ajuste de la regresión se considera, basado en Hamilton (1994): la maximización del  $R^2$  ajustado, así como la significancia estadística (a lo menos un 10% de significancia  $\alpha$  o 90% de confianza) de los parámetros estimados y el estadístico de Durbin-Watson (DW). Este último debe ser cercano a 2 con objeto de que la regresión no sufra de autocorrelación serial. Cabe destacar que el AIC se reporta. Sin embargo, su uso no resulta más adecuado que los estadísticos anteriores en el caso de las series de tiempo (Hamilton, 1994). En línea con esto el BIC no se reporta pues en general no ayuda a seleccionar la regresión de mejor ajuste.

Además, en cuanto a las exigencias *“Incluir detalle de método de selección de modelos y resultados de diversos modelos de regresión. El método de selección de modelos debe ser en base a un criterio de selección de modelos, que puede ser el criterio de Akaike (AIC) o el criterio bayesiano de selección (BIC) de cada uno de los modelos propuestos y la comparación relativa de estos de acuerdo al valor de AIC/BIC”*, se agregaron en la Sección 6 según las consideraciones especificadas en el párrafo anterior. Se insertaron tablas para cada uno de los modelos de regresión que exponen los pasos para obtener el modelo definitivo junto a sus principales indicadores. Se muestran claramente las distintas iteraciones y el nivel de significancia estadística de las distintas variables en cada una de ellas. Como ejemplo, en

este informe se incluye la **Tabla 1.5**, en la que se muestra el procedimiento para seleccionar el modelo de regresión multivariada para el sistema Chaxa-Barros Negros.

El procedimiento utilizado se basó en un sistema iterativo (de prueba y error), en que se ingresaban y retiraban variables según su significancia estadística y su efecto en los indicadores  $R^2$  ajustado, AIC y Durbin-Watson. El procedimiento se terminaba cuando se hubiesen ingresado todas las variables al menos una vez, tras lo cual se seleccionó el modelo conformado solo por variables significativas que poseyera el mayor  $R^2$  ajustado y Durbin-Watson, que en este caso corresponde al modelo 14.

**TABLA 1.5. MODELOS COEFICIENTES Y RELEVANCIA ESTADÍSTICA DE VARIABLES DE REGRESIÓN CHAXA-BARROS NEGROS.**

Fuente: GEM.

VARIABLE	COEFICIENTES MODELO 1	COEFICIENTES MODELO 2	COEFICIENTES MODELO 3	COEFICIENTES MODELO 4	COEFICIENTES MODELO 5	COEFICIENTES MODELO 6	COEFICIENTES MODELO 7	COEFICIENTES MODELO 8
Cte.	0,724480	1,973874	2,203348	2,202024	2,197242	2,199446	2,184104	1,462855
$\text{Log}(P_t)$								0,000432
$\text{Log}(T_t)$								
$\text{Log}(E_t)$								
$\text{Log}(R_t)$		-0,149853***	-0,153325***	-0,153764***	-0,153491***	-0,153224***	-0,152283***	-0,132181***
$\text{Log}(SL_t)$								
$t$			$-9,23*10^{-5}***$	$-9,46*10^{-5}***$	$-9,50*10^{-5}***$	$-9,35*10^{-5}***$	$-9,77*10^{-5}***$	$-0,000183***$
$\text{Log}(S_t)$				0,000158				
$\text{Log}(A_{t-1})$	0,857633***	0,786834***	0,750074***	0,750526***	0,751057***	0,750545***	0,751843***	0,804753***
MA (1)								
$\text{Log}(S_{t-1})$					0,000200			
$\text{Log}(S_{t-2})$						$-8,70*10^{-5}$		
$\text{Log}(S_{t-3})$							0,000392	0,025023*
$\text{Log}(P_{t-1})$								
$\text{Log}(T_{t-1})$								
$\text{Log}(E_{t-1})$								
$\text{Log}(SL_{t-1})$								
$R^2$ ajustado	0,731293	0,817787	0,824630	0,824208	0,824226	0,824189	0,824354	0,777661
AIC	-2,811379	-3,197306	-3,233076	-3,228172	-3,228272	-3,228062	-0,3229000	-2,967103
Durbin- Watson	1,073763	1,398608	1,408941	1,410443	1,410452	1,410089	1,414217	1,561041

Significancia estadística: \*\*\*p<1%, \*\*p<5%, \*p<10%



**TABLA 1.5. MODELOS, COEFICIENTES Y RELEVANCIA ESTADISTICA DE VARIABLES DE REGRESIÓN CHAXA-BARROS NEGROS (CONT.).**

**Fuente: GEM.**

VARIABLE	COEFICIENTES MODELO 9	COEFICIENTES MODELO 10	COEFICIENTES MODELO 11	COEFICIENTES MODELO 12	COEFICIENTES MODELO 13	COEFICIENTES MODELO 14	COEFICIENTES MODELO 15	COEFICIENTES MODELO 16
Cte.	1,594591	1,452425	1,597163	1,569630	1,605788	2,121103	2,040931	1,541263
$Log(P_t)$								
$Log(T_t)$		-0,033669						
$Log(E_t)$				-0,005061				
$Log(R_t)$	-0,130865***	-0,095338**	-0,111947***	-0,105771***	-0,107237***	-0,117377***	-0,117267***	-0,100626***
$Log(SL_t)$							-0,001213	
$t$	-0,000163	-0,000214***	-0,000253***	-0,000253***	-0,000258***	-0,000274***	-0,000310***	-0,000358***
$Log(S_t)$								
$Log(A_{t-1})$	0,793893***	0,768918***	0,746560***	0,745695***	0,739827***	0,654762***	0,659982***	0,644095***
MA (1)						0,363992***	0,362868***	0,376019***
$Log(S_{t-1})$								
$Log(S_{t-2})$								
$Log(S_{t-3})$	0,019840*	0,030797*	0,037996***	0,037621***	0,037312***	0,038984***	0,043521***	0,048193***
$Log(P_{t-1})$	0,001137**	0,001234**	0,001238**	0,001221**	0,001187***	0,000809*	0,000788*	0,000720*
$Log(T_{t-1})$			-0,044583**	-0,040522**	-0,033252**	-0,061149***	-0,060071**	-0,049607**
$Log(E_{t-1})$					-0,010816			
$Log(SL_{t-1})$								0,079466
$R^2$ ajustado	0,784391	0,786633	0,791368	0,790533	0,791055	0,808970	0,806170	0,812457
AIC	-2,999974	-3,006241	-3,028682	-3,016459	-3,018654	-3,112658	-3,038223	-3,067958
Durbin- Watson	1,569553	1,550292	1,515709	1,525252	1,522065	1,986470	1,992302	1,982701

Significancia estadística: \*\*\*p<1%, \*\*p<5%, \*p<10%

#### 1.2.4 CUESTIONAMIENTO CPA EN RELACIÓN A “PROBLEMAS DE INTERPRETACIÓN”

##### Observación CPA:

*“Diversas interpretaciones de resultados estadísticos que no corresponden a lo que efectivamente se puede concluir de éstos. Existen problemas de interpretación de lo que significa  $\alpha$ , y de lo que el error tipo I entrega a la certeza estadística.”*

##### Respuesta GEM:

Primero, conviene aclarar que, como se explicó en la Sección 3.2.5. del informe V1 y anteriormente en este documento, en la práctica existe un *trade-off* entre el error tipo I y el error tipo II (Gujarati, 2008), por lo que se debe ponderar la selección del nivel de significancia  $\alpha$  relacionado al primero con objeto de mantener el error deseado de un tipo o el otro. Debido a que en el caso particular del área de las lagunas en el Salar de Atacama cometer un error tipo II debiese ser más costoso que cometer un error tipo I (en línea con el principio precautorio), siguiendo los resultados de Gerrodete (1987) los resultados se presentan con un nivel de significancia de  $\alpha=0,05$ . En estudios donde el error tipo I es más relevante, posiblemente los resultados se deban presentar con un nivel de significancia de  $\alpha=0,01$  o menor. En consecuencia, dado que se usó un  $\alpha$  de 0,05 y el número de observaciones es mucho mayor a 20 para los períodos analizados, es que la probabilidad de cometer el error tipo II se encuentra acotada en los análisis efectuados.

Además, para la versión corregida del informe V1, se consideró este comentario y se mejoró la forma en que se redactaron las conclusiones de los distintos resultados y la forma en que se presentan, buscando solucionar problemas de interpretación. De esta forma, se espera que la comprensión del informe, sus resultados y conclusiones sea más sencilla, correcta y clara.

## 2 BIBLIOGRAFÍA

- Gerrodette, T. (1987). A power analysis for detecting trends. *Ecology*, Vol. 68 (5), 1364-1372.
- Gujarati, D. y Porter, D. (2008). *Basic econometrics*. 5ta edición, McGraw-Hill. Nueva York, Estados Unidos.
- Hamilton, J. 1994. *Time series analysis*. Princeton University Press. Princeton, New Jersey, USA.
- Ji, L., Zhang, L., & Wylie, B. 2009. Analysis of dynamic thresholds for the normalized difference water index. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 75(11), 1307-1317.
- Jiang, H., Feng, M., Zhu, Y., Lu, N., Huang, J., & Xiao, T. 2014. An automated method for extracting rivers and lakes from Landsat imagery. *Remote Sensing* 6, 5067-5089.
- McFeeters, Stuart 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.
- Ouma, Y.O., and R. Tateishi, 2006. A water index for rapid mapping of shoreline changes of five East African Rift Valley lakes: An empirical analysis using Landsat TM and ETM data, *International Journal of Remote Sensing*, 27(15), 3153–3181.
- Sheng, Y., Song, C., Wang, J., Lyons, E. A., Knox, B. R., Cox, J. S., & Gao, F. 2016. Representative lake water extent mapping at continental scales using multi-temporal Landsat-8 imagery. *Remote Sensing of Environment*, 185, 129-141.
- Xu, H., 2006. Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery, *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), 3025–3033.

# ANEXOS

## I. IMÁGENES SATELITALES UTILIZADAS EN EL ANÁLISIS PRINCIPAL

**TABLA I. IMÁGENES LANDSAT UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS DE CHAXA Y BARROS NEGROS**

Sensor	Fecha	Sensor	Fecha	Sensor	Fecha	Sensor	Fecha
Landsat 5	13-02-1986	Landsat 5	28-11-1992	Landsat 5	17-02-1999	Landsat 7	24-11-2005
Landsat 5	05-06-1986	Landsat 5	16-02-1993	Landsat 5	24-05-1999	Landsat 7	28-02-2006
Landsat 5	08-08-1986	Landsat 5	07-05-1993	Landsat 7	04-08-1999	Landsat 7	17-04-2006
Landsat 5	28-11-1986	Landsat 5	27-08-1993	Landsat 5	28-08-1999	Landsat 7	07-08-2006
Landsat 5	04-03-1987	Landsat 5	15-11-1993	Landsat 5	02-12-1999	Landsat 7	11-11-2006
Landsat 5	30-10-1987	Landsat 5	03-02-1994	Landsat 7	12-02-2000	Landsat 7	15-02-2007
Landsat 5	19-02-1988	Landsat 5	26-05-1994	Landsat 7	18-05-2000	Landsat 7	22-05-2007
Landsat 5	25-05-1988	Landsat 5	13-07-1994	Landsat 7	06-08-2000	Landsat 7	26-08-2007
Landsat 5	13-08-1988	Landsat 5	18-11-1994	Landsat 7	14-02-2001	Landsat 7	30-11-2007
Landsat 5	17-11-1988	Landsat 5	05-01-1995	Landsat 7	21-05-2001	Landsat 7	18-02-2008
Landsat 5	21-02-1989	Landsat 5	29-05-1995	Landsat 7	09-08-2001	Landsat 7	24-05-2008
Landsat 5	28-05-1989	Landsat 5	01-08-1995	Landsat 7	21-03-2002	Landsat 7	12-08-2008
Landsat 5	16-08-1989	Landsat 5	07-12-1995	Landsat 7	24-05-2002	Landsat 7	16-11-2008
Landsat 5	20-11-1989	Landsat 5	09-02-1996	Landsat 7	12-08-2002	Landsat 7	20-02-2009
Landsat 5	24-02-1990	Landsat 5	31-05-1996	Landsat 7	31-10-2002	Landsat 7	11-05-2009
Landsat 5	29-04-1990	Landsat 5	03-08-1996	Landsat 7	04-02-2003	Landsat 7	15-08-2009
Landsat 5	19-08-1990	Landsat 5	23-11-1996	Landsat 7	27-05-2003	Landsat 7	19-11-2009
Landsat 5	07-11-1990	Landsat 5	11-02-1997	Landsat 7	03-11-2003	Landsat 7	07-02-2010
Landsat 5	11-02-1991	Landsat 5	02-05-1997	Landsat 7	23-02-2004	Landsat 7	30-05-2010
Landsat 5	18-05-1991	Landsat 5	22-08-1997	Landsat 7	29-05-2004	Landsat 7	18-08-2010
Landsat 5	06-08-1991	Landsat 5	10-11-1997	Landsat 7	17-08-2004	Landsat 7	06-11-2010
Landsat 5	10-11-1991	Landsat 5	14-02-1998	Landsat 7	21-11-2004	Landsat 7	26-02-2011
Landsat 5	29-01-1992	Landsat 5	06-06-1998	Landsat 7	25-02-2005	Landsat 7	17-05-2011
Landsat 5	18-04-1992	Landsat 5	09-08-1998	Landsat 7	16-05-2005	Landsat 7	21-08-2011
Landsat 5	24-08-1992	Landsat 5	29-11-1998	Landsat 7	20-08-2005	Landsat 7	09-11-2011

**TABLA I. IMÁGENES LANDSAT UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS DEL SISTEMA SONCOR  
(CONT.)**

Sensor	Fecha	Sensor	Fecha	Sensor	Fecha	Sensor	Fecha
Landsat 7	29-02-2012	Landsat 8	26-02-2014	Landsat 8	26-08-2016	Landsat 8	13-06-2018
Landsat 7	19-05-2012	Landsat 8	17-05-2014	Landsat 8	14-11-2016	Landsat 8	29-06-2018
Landsat 7	23-08-2012	Landsat 8	21-08-2014	Landsat 8	02-02-2017	Landsat 8	15-07-2018
Landsat 7	27-11-2012	Landsat 8	25-11-2014	Landsat 8	06-03-2017	Landsat 8	31-07-2018
Landsat 7	15-02-2013	Landsat 8	13-02-2015	Landsat 8	09-05-2017	Landsat 8	16-08-2018
Landsat 7	06-05-2013	Landsat 8	20-05-2015	Landsat 8	13-08-2017	Landsat 8	01-09-2018
Landsat 8	14-05-2013	Landsat 8	24-08-2015	Landsat 8	17-11-2017	Landsat 8	17-09-2018
Landsat 8	18-08-2013	Landsat 8	28-11-2015	Landsat 8	21-02-2018	Landsat 8	03-10-2018
Landsat 7	26-08-2013	Landsat 8	16-02-2016	Landsat 8	12-05-2018	Landsat 8	19-10-2018
Landsat 8	22-11-2013	Landsat 8	22-05-2016	Landsat 8	28-05-2018	Landsat 8	04-11-2018

**TABLA II. IMÁGENES LANDSAT UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS DEL SISTEMA PEINE**

Sensor	Fecha	Sensor	Fecha	Sensor	Fecha	Sensor	Fecha
Landsat 5	13-02-1986	Landsat 5	19-08-1990	Landsat 5	13-07-1994	Landsat 5	09-08-1998
Landsat 5	05-06-1986	Landsat 5	07-11-1990	Landsat 5	17-10-1994	Landsat 5	29-11-1998
Landsat 5	08-08-1986	Landsat 5	27-02-1991	Landsat 5	05-01-1995	Landsat 5	17-02-1999
Landsat 5	28-11-1986	Landsat 5	18-05-1991	Landsat 5	29-05-1995	Landsat 5	24-05-1999
Landsat 5	04-03-1987	Landsat 5	06-08-1991	Landsat 5	01-08-1995	Landsat 7	04-08-1999
Landsat 5	30-10-1987	Landsat 5	10-11-1991	Landsat 5	07-12-1995	Landsat 5	28-08-1999
Landsat 5	19-02-1988	Landsat 5	29-01-1992	Landsat 5	09-02-1996	Landsat 7	24-11-1999
Landsat 5	25-05-1988	Landsat 5	18-04-1992	Landsat 5	31-05-1996	Landsat 5	02-12-1999
Landsat 5	13-08-1988	Landsat 5	24-08-1992	Landsat 5	18-07-1996	Landsat 7	12-02-2000
Landsat 5	17-11-1988	Landsat 5	28-11-1992	Landsat 5	23-11-1996	Landsat 7	18-05-2000
Landsat 5	21-02-1989	Landsat 5	16-02-1993	Landsat 5	11-02-1997	Landsat 7	06-08-2000
Landsat 5	28-05-1989	Landsat 5	07-05-1993	Landsat 5	02-05-1997	Landsat 7	26-11-2000
Landsat 5	16-08-1989	Landsat 5	27-08-1993	Landsat 5	22-08-1997	Landsat 7	14-02-2001
Landsat 5	20-11-1989	Landsat 5	15-11-1993	Landsat 5	10-11-1997	Landsat 7	21-05-2001
Landsat 5	24-02-1990	Landsat 5	03-02-1994	Landsat 5	14-02-1998	Landsat 7	25-08-2001
Landsat 5	29-04-1990	Landsat 5	26-05-1994	Landsat 5	06-06-1998	Landsat 7	13-11-2001

**TABLA II. IMÁGENES LANDSAT UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS DEL SISTEMA PEINE  
(CONT.)**

Sensor	Fecha	Sensor	Fecha	Sensor	Fecha	Sensor	Fecha
Landsat 7	21-03-2002	Landsat 5	19-11-2006	Landsat 5	29-08-2011	Landsat 8	22-05-2016
Landsat 7	24-05-2002	Landsat 5	07-02-2007	Landsat 5	01-11-2011	Landsat 8	26-08-2016
Landsat 7	12-08-2002	Landsat 5	14-05-2007	Landsat 7	29-02-2012	Landsat 8	14-11-2016
Landsat 7	31-10-2002	Landsat 5	18-08-2007	Landsat 7	19-05-2012	Landsat 8	02-02-2017
Landsat 7	04-02-2003	Landsat 5	05-10-2007	Landsat 7	23-08-2012	Landsat 8	06-03-2017
Landsat 7	27-05-2003	Landsat 5	10-02-2008	Landsat 7	27-11-2012	Landsat 8	09-05-2017
Landsat 5	23-08-2003	Landsat 5	14-04-2008	Landsat 7	15-02-2013	Landsat 8	13-08-2017
Landsat 5	11-11-2003	Landsat 5	20-08-2008	Landsat 7	06-05-2013	Landsat 8	17-11-2017
Landsat 5	15-02-2004	Landsat 5	24-11-2008	Landsat 7	26-08-2013	Landsat 8	21-02-2018
Landsat 5	21-05-2004	Landsat 5	12-02-2009	Landsat 8	22-11-2013	Landsat 8	12-05-2018
Landsat 5	24-07-2004	Landsat 5	03-05-2009	Landsat 8	26-02-2014	Landsat 8	16-08-2018
Landsat 5	29-11-2004	Landsat 5	07-08-2009	Landsat 8	17-05-2014	Landsat 8	19-10-2018
Landsat 5	17-02-2005	Landsat 5	27-11-2009	Landsat 8	21-08-2014	Landsat 8	04-11-2018
Landsat 5	08-05-2005	Landsat 5	15-02-2010	Landsat 8	25-11-2014		
Landsat 5	12-08-2005	Landsat 5	06-05-2010	Landsat 8	13-02-2015		
Landsat 5	16-11-2005	Landsat 5	26-08-2010	Landsat 8	20-05-2015		
Landsat 5	20-02-2006	Landsat 5	14-11-2010	Landsat 8	24-08-2015		
Landsat 5	11-05-2006	Landsat 5	02-02-2011	Landsat 8	28-11-2015		
Landsat 5	31-08-2006	Landsat 5	09-05-2011	Landsat 8	16-02-2016		

**TABLA III. IMÁGENES SATELITALES UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS DE AGUAS DE  
QUELANA**

Imagen	Fecha	Imagen	Fecha
QuickBird	10-11-2005	QuickBird	04-04-2013
QuickBird	29-03-2006	Geoeye-1	04-04-2014
QuickBird	06-04-2007	WorldView-2	17-04-2015
QuickBird	26-04-2008	Geoeye-1	12-04-2016
QuickBird	16-04-2009	Geoeye-1	01-04-2017
WorldView-2	03-04-2010	Geoeye-1	04-04-2018
WorldView-2	09-04-2011	Geoeye-1	02-04-2019
QuickBird	01-04-2012	WorldView-3	04-04-2020

**TABLA IV. IMÁGENES LANDSAT UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS DE PUILAR**

Sensor	Fecha	Sensor	Fecha	Sensor	Fecha	Sensor	Fecha
Landsat 5	13-02-1986	Landsat 5	28-11-1992	Landsat 5	17-02-1999	Landsat 7	24-11-2005
Landsat 5	05-06-1986	Landsat 5	16-02-1993	Landsat 5	24-05-1999	Landsat 7	28-02-2006
Landsat 5	08-08-1986	Landsat 5	07-05-1993	Landsat 7	04-08-1999	Landsat 7	17-04-2006
Landsat 5	28-11-1986	Landsat 5	27-08-1993	Landsat 5	28-08-1999	Landsat 7	07-08-2006
Landsat 5	04-03-1987	Landsat 5	15-11-1993	Landsat 5	02-12-1999	Landsat 7	11-11-2006
Landsat 5	30-10-1987	Landsat 5	03-02-1994	Landsat 7	12-02-2000	Landsat 7	15-02-2007
Landsat 5	19-02-1988	Landsat 5	26-05-1994	Landsat 7	18-05-2000	Landsat 7	22-05-2007
Landsat 5	25-05-1988	Landsat 5	13-07-1994	Landsat 7	06-08-2000	Landsat 7	26-08-2007
Landsat 5	13-08-1988	Landsat 5	18-11-1994	Landsat 7	14-02-2001	Landsat 7	30-11-2007
Landsat 5	17-11-1988	Landsat 5	05-01-1995	Landsat 7	21-05-2001	Landsat 7	18-02-2008
Landsat 5	21-02-1989	Landsat 5	29-05-1995	Landsat 7	25-08-2001	Landsat 7	24-05-2008
Landsat 5	28-05-1989	Landsat 5	01-08-1995	Landsat 7	21-03-2002	Landsat 7	12-08-2008
Landsat 5	16-08-1989	Landsat 5	07-12-1995	Landsat 7	24-05-2002	Landsat 7	16-11-2008
Landsat 5	20-11-1989	Landsat 5	09-02-1996	Landsat 7	12-08-2002	Landsat 7	20-02-2009
Landsat 5	24-02-1990	Landsat 5	31-05-1996	Landsat 7	31-10-2002	Landsat 7	11-05-2009
Landsat 5	29-04-1990	Landsat 5	03-08-1996	Landsat 7	04-02-2003	Landsat 7	15-08-2009
Landsat 5	19-08-1990	Landsat 5	23-11-1996	Landsat 7	27-05-2003	Landsat 7	19-11-2009
Landsat 5	07-11-1990	Landsat 5	11-02-1997	Landsat 7	03-11-2003	Landsat 7	07-02-2010
Landsat 5	11-02-1991	Landsat 5	02-05-1997	Landsat 7	23-02-2004	Landsat 7	30-05-2010
Landsat 5	18-05-1991	Landsat 5	22-08-1997	Landsat 7	29-05-2004	Landsat 7	18-08-2010
Landsat 5	06-08-1991	Landsat 5	10-11-1997	Landsat 7	17-08-2004	Landsat 7	06-11-2010
Landsat 5	10-11-1991	Landsat 5	14-02-1998	Landsat 7	21-11-2004	Landsat 7	26-02-2011
Landsat 5	29-01-1992	Landsat 5	06-06-1998	Landsat 7	25-02-2005	Landsat 7	17-05-2011
Landsat 5	18-04-1992	Landsat 5	09-08-1998	Landsat 7	16-05-2005	Landsat 7	21-08-2011
Landsat 5	24-08-1992	Landsat 5	29-11-1998	Landsat 7	20-08-2005	Landsat 7	09-11-2011

**TABLA IV. IMÁGENES LANDSAT UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS DEL SISTEMA PUILAR  
(CONT.)**

Sensor	Fecha	Sensor	Fecha	Sensor	Fecha
Landsat 7	29-02-2012	Landsat 8	21-08-2014	Landsat 8	02-02-2017
Landsat 7	19-05-2012	Landsat 8	25-11-2014	Landsat 8	09-05-2017
Landsat 7	23-08-2012	Landsat 8	13-02-2015	Landsat 8	13-08-2017
Landsat 7	27-11-2012	Landsat 8	20-05-2015	Landsat 8	17-11-2017
Landsat 7	15-02-2013	Landsat 8	24-08-2015	Landsat 8	21-02-2018
Landsat 8	14-05-2013	Landsat 8	28-11-2015	Landsat 8	28-05-2018
Landsat 8	18-08-2013	Landsat 8	16-02-2016	Landsat 8	16-08-2018
Landsat 8	22-11-2013	Landsat 8	22-05-2016	Landsat 8	20-11-2018
Landsat 8	26-02-2014	Landsat 8	26-08-2016	Landsat 8	02-02-2017
Landsat 8	17-05-2014	Landsat 8	14-11-2016	Landsat 8	09-05-2017



## II. IMÁGENES SATELITALES UTILIZADAS EN EL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

**TABLA I. IMÁGENES LANDSAT UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS DE CHAXA Y BARROS NEGROS**

Sensor	Fecha	Sensor	Fecha	Sensor	Fecha	Sensor	Fecha
Landsat 5	13-02-1986	Landsat 5	28-11-1992	Landsat 5	17-02-1999	Landsat 7	24-11-2005
Landsat 5	05-06-1986	Landsat 5	16-02-1993	Landsat 5	24-05-1999	Landsat 7	28-02-2006
Landsat 5	08-08-1986	Landsat 5	07-05-1993	Landsat 7	04-08-1999	Landsat 7	17-04-2006
Landsat 5	28-11-1986	Landsat 5	27-08-1993	Landsat 5	28-08-1999	Landsat 7	07-08-2006
Landsat 5	04-03-1987	Landsat 5	15-11-1993	Landsat 5	02-12-1999	Landsat 7	11-11-2006
Landsat 5	30-10-1987	Landsat 5	03-02-1994	Landsat 7	12-02-2000	Landsat 7	15-02-2007
Landsat 5	19-02-1988	Landsat 5	26-05-1994	Landsat 7	18-05-2000	Landsat 7	22-05-2007
Landsat 5	25-05-1988	Landsat 5	13-07-1994	Landsat 7	06-08-2000	Landsat 7	26-08-2007
Landsat 5	13-08-1988	Landsat 5	18-11-1994	Landsat 7	14-02-2001	Landsat 7	30-11-2007
Landsat 5	17-11-1988	Landsat 5	05-01-1995	Landsat 7	21-05-2001	Landsat 7	18-02-2008
Landsat 5	21-02-1989	Landsat 5	29-05-1995	Landsat 7	09-08-2001	Landsat 7	24-05-2008
Landsat 5	28-05-1989	Landsat 5	01-08-1995	Landsat 7	21-03-2002	Landsat 7	12-08-2008
Landsat 5	16-08-1989	Landsat 5	07-12-1995	Landsat 7	24-05-2002	Landsat 7	16-11-2008
Landsat 5	20-11-1989	Landsat 5	09-02-1996	Landsat 7	12-08-2002	Landsat 7	20-02-2009
Landsat 5	24-02-1990	Landsat 5	31-05-1996	Landsat 7	31-10-2002	Landsat 7	11-05-2009
Landsat 5	29-04-1990	Landsat 5	03-08-1996	Landsat 7	04-02-2003	Landsat 7	15-08-2009
Landsat 5	19-08-1990	Landsat 5	23-11-1996	Landsat 7	27-05-2003	Landsat 7	19-11-2009
Landsat 5	07-11-1990	Landsat 5	11-02-1997	Landsat 7	03-11-2003	Landsat 7	07-02-2010
Landsat 5	11-02-1991	Landsat 5	02-05-1997	Landsat 7	23-02-2004	Landsat 7	30-05-2010
Landsat 5	18-05-1991	Landsat 5	22-08-1997	Landsat 7	29-05-2004	Landsat 7	18-08-2010
Landsat 5	06-08-1991	Landsat 5	10-11-1997	Landsat 7	17-08-2004	Landsat 7	06-11-2010
Landsat 5	10-11-1991	Landsat 5	14-02-1998	Landsat 7	21-11-2004	Landsat 7	26-02-2011
Landsat 5	29-01-1992	Landsat 5	06-06-1998	Landsat 7	25-02-2005	Landsat 7	17-05-2011
Landsat 5	18-04-1992	Landsat 5	09-08-1998	Landsat 7	16-05-2005	Landsat 7	21-08-2011
Landsat 5	24-08-1992	Landsat 5	29-11-1998	Landsat 7	20-08-2005	Landsat 7	09-11-2011

**TABLA I. IMÁGENES LANDSAT UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS DEL SISTEMA SONCOR  
(CONT.)**

Sensor	Fecha	Sensor	Fecha	Sensor	Fecha	Sensor	Fecha
Landsat 7	29-02-2012	Landsat 8	26-02-2014	Landsat 8	26-08-2016	Landsat 8	13-06-2018
Landsat 7	19-05-2012	Landsat 7	18-02-2014	Landsat 7	15-06-2016	Landsat 7	20-05-2018
Landsat 7	23-08-2012	Landsat 7	23-04-2014	Landsat 7	18-08-2016	Landsat 7	05-06-2018
Landsat 7	27-11-2012	Landsat 7	29-08-2014	Landsat 7	22-11-2016	Landsat 7	07-07-2018
Landsat 7	15-02-2013	Landsat 7	03-12-2014	Landsat 7	09-01-2017	Landsat 7	11-10-2018
Landsat 7	06-05-2013	Landsat 7	05-02-2015	Landsat 7	14-03-2017	Landsat 7	27-10-2018
Landsat 7	14-05-2013	Landsat 7	12-05-2015	Landsat 7	17-05-2017	Landsat 7	28-11-2018
Landsat 7	18-08-2013	Landsat 7	01-09-2015	Landsat 7	05-08-2017		
Landsat 7	26-08-2013	Landsat 7	20-11-2015	Landsat 7	09-11-2017		
Landsat 7	14-11-2013	Landsat 7	11-03-2016	Landsat 7	01-03-2018		

**TABLA II. IMÁGENES LANDSAT UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS DEL SISTEMA PEINE**

Sensor	Fecha	Sensor	Fecha	Sensor	Fecha	Sensor	Fecha
Landsat 5	13-02-1986	Landsat 5	19-08-1990	Landsat 5	13-07-1994	Landsat 5	09-08-1998
Landsat 5	05-06-1986	Landsat 5	07-11-1990	Landsat 5	17-10-1994	Landsat 5	29-11-1998
Landsat 5	08-08-1986	Landsat 5	27-02-1991	Landsat 5	05-01-1995	Landsat 5	17-02-1999
Landsat 5	28-11-1986	Landsat 5	18-05-1991	Landsat 5	29-05-1995	Landsat 5	24-05-1999
Landsat 5	04-03-1987	Landsat 5	06-08-1991	Landsat 5	01-08-1995	Landsat 7	04-08-1999
Landsat 5	30-10-1987	Landsat 5	10-11-1991	Landsat 5	07-12-1995	Landsat 5	28-08-1999
Landsat 5	19-02-1988	Landsat 5	29-01-1992	Landsat 5	09-02-1996	Landsat 7	24-11-1999
Landsat 5	25-05-1988	Landsat 5	18-04-1992	Landsat 5	31-05-1996	Landsat 5	02-12-1999
Landsat 5	13-08-1988	Landsat 5	24-08-1992	Landsat 5	18-07-1996	Landsat 7	12-02-2000
Landsat 5	17-11-1988	Landsat 5	28-11-1992	Landsat 5	23-11-1996	Landsat 7	18-05-2000
Landsat 5	21-02-1989	Landsat 5	16-02-1993	Landsat 5	11-02-1997	Landsat 7	06-08-2000
Landsat 5	28-05-1989	Landsat 5	07-05-1993	Landsat 5	02-05-1997	Landsat 7	26-11-2000
Landsat 5	16-08-1989	Landsat 5	27-08-1993	Landsat 5	22-08-1997	Landsat 7	14-02-2001
Landsat 5	20-11-1989	Landsat 5	15-11-1993	Landsat 5	10-11-1997	Landsat 7	21-05-2001
Landsat 5	24-02-1990	Landsat 5	03-02-1994	Landsat 5	14-02-1998	Landsat 7	25-08-2001
Landsat 5	29-04-1990	Landsat 5	26-05-1994	Landsat 5	06-06-1998	Landsat 7	13-11-2001

**TABLA II. IMÁGENES LANDSAT UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS DEL SISTEMA PEINE (CONT.)**

Sensor	Fecha	Sensor	Fecha	Sensor	Fecha	Sensor	Fecha
Landsat 7	21-03-2002	Landsat 5	19-11-2006	Landsat 5	29-08-2011	Landsat 7	11-03-2016
Landsat 7	24-05-2002	Landsat 5	07-02-2007	Landsat 5	01-11-2011	Landsat 7	15-06-2016
Landsat 7	12-08-2002	Landsat 5	14-05-2007	Landsat 7	29-02-2012	Landsat 7	18-08-2016
Landsat 7	31-10-2002	Landsat 5	18-08-2007	Landsat 7	19-05-2012	Landsat 7	22-11-2016
Landsat 7	04-02-2003	Landsat 5	05-10-2007	Landsat 7	23-08-2012	Landsat 7	09-01-2017
Landsat 7	27-05-2003	Landsat 5	10-02-2008	Landsat 7	27-11-2012	Landsat 7	14-03-2017
Landsat 5	23-08-2003	Landsat 5	14-04-2008	Landsat 7	15-02-2013	Landsat 7	17-05-2017
Landsat 5	11-11-2003	Landsat 5	20-08-2008	Landsat 7	06-05-2013	Landsat 7	05-08-2017
Landsat 5	15-02-2004	Landsat 5	24-11-2008	Landsat 7	26-08-2013	Landsat 7	09-11-2017
Landsat 5	21-05-2004	Landsat 5	12-02-2009	Landsat 7	14-11-2013	Landsat 7	01-03-2018
Landsat 5	24-07-2004	Landsat 5	03-05-2009	Landsat 7	18-02-2014	Landsat 7	20-05-2018
Landsat 5	29-11-2004	Landsat 5	07-08-2009	Landsat 7	23-04-2014	Landsat 7	05-06-2018
Landsat 5	17-02-2005	Landsat 5	27-11-2009	Landsat 7	29-08-2014	Landsat 7	07-07-2018
Landsat 5	08-05-2005	Landsat 5	15-02-2010	Landsat 7	03-12-2014	Landsat 7	11-10-2018
Landsat 5	12-08-2005	Landsat 5	06-05-2010	Landsat 7	05-02-2015	Landsat 7	27-10-2018
Landsat 5	16-11-2005	Landsat 5	26-08-2010	Landsat 7	12-05-2015	Landsat 7	28-11-2018
Landsat 5	20-02-2006	Landsat 5	14-11-2010	Landsat 7	01-09-2015		
Landsat 5	11-05-2006	Landsat 5	02-02-2011	Landsat 7	20-11-2015		
Landsat 5	31-08-2006	Landsat 5	09-05-2011	Landsat 7	23-01-2016		

**TABLA IV. IMÁGENES LANDSAT UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS DE PUILAR**

Sensor	Fecha	Sensor	Fecha	Sensor	Fecha	Sensor	Fecha
Landsat 5	13-02-1986	Landsat 5	28-11-1992	Landsat 5	17-02-1999	Landsat 7	24-11-2005
Landsat 5	05-06-1986	Landsat 5	16-02-1993	Landsat 5	24-05-1999	Landsat 7	28-02-2006
Landsat 5	08-08-1986	Landsat 5	07-05-1993	Landsat 7	04-08-1999	Landsat 7	17-04-2006
Landsat 5	28-11-1986	Landsat 5	27-08-1993	Landsat 5	28-08-1999	Landsat 7	07-08-2006
Landsat 5	04-03-1987	Landsat 5	15-11-1993	Landsat 5	02-12-1999	Landsat 7	11-11-2006
Landsat 5	30-10-1987	Landsat 5	03-02-1994	Landsat 7	12-02-2000	Landsat 7	15-02-2007
Landsat 5	19-02-1988	Landsat 5	26-05-1994	Landsat 7	18-05-2000	Landsat 7	22-05-2007
Landsat 5	25-05-1988	Landsat 5	13-07-1994	Landsat 7	06-08-2000	Landsat 7	26-08-2007
Landsat 5	13-08-1988	Landsat 5	18-11-1994	Landsat 7	14-02-2001	Landsat 7	30-11-2007
Landsat 5	17-11-1988	Landsat 5	05-01-1995	Landsat 7	21-05-2001	Landsat 7	18-02-2008
Landsat 5	21-02-1989	Landsat 5	29-05-1995	Landsat 7	25-08-2001	Landsat 7	24-05-2008
Landsat 5	28-05-1989	Landsat 5	01-08-1995	Landsat 7	21-03-2002	Landsat 7	12-08-2008
Landsat 5	16-08-1989	Landsat 5	07-12-1995	Landsat 7	24-05-2002	Landsat 7	16-11-2008
Landsat 5	20-11-1989	Landsat 5	09-02-1996	Landsat 7	12-08-2002	Landsat 7	20-02-2009
Landsat 5	24-02-1990	Landsat 5	31-05-1996	Landsat 7	31-10-2002	Landsat 7	11-05-2009
Landsat 5	29-04-1990	Landsat 5	03-08-1996	Landsat 7	04-02-2003	Landsat 7	15-08-2009
Landsat 5	19-08-1990	Landsat 5	23-11-1996	Landsat 7	27-05-2003	Landsat 7	19-11-2009
Landsat 5	07-11-1990	Landsat 5	11-02-1997	Landsat 7	03-11-2003	Landsat 7	07-02-2010
Landsat 5	11-02-1991	Landsat 5	02-05-1997	Landsat 7	23-02-2004	Landsat 7	30-05-2010
Landsat 5	18-05-1991	Landsat 5	22-08-1997	Landsat 7	29-05-2004	Landsat 7	18-08-2010
Landsat 5	06-08-1991	Landsat 5	10-11-1997	Landsat 7	17-08-2004	Landsat 7	06-11-2010
Landsat 5	10-11-1991	Landsat 5	14-02-1998	Landsat 7	21-11-2004	Landsat 7	26-02-2011
Landsat 5	29-01-1992	Landsat 5	06-06-1998	Landsat 7	25-02-2005	Landsat 7	17-05-2011
Landsat 5	18-04-1992	Landsat 5	09-08-1998	Landsat 7	16-05-2005	Landsat 7	21-08-2011
Landsat 5	24-08-1992	Landsat 5	29-11-1998	Landsat 7	20-08-2005	Landsat 7	09-11-2011

**TABLA IV. IMÁGENES LANDSAT UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS DEL SISTEMA PUILAR  
(CONT.)**

Sensor	Fecha	Sensor	Fecha	Sensor	Fecha
Landsat 7	29-02-2012	Landsat 7	03-12-2014	Landsat 7	17-05-2017
Landsat 7	19-05-2012	Landsat 7	05-02-2015	Landsat 7	05-08-2017
Landsat 7	23-08-2012	Landsat 7	12-05-2015	Landsat 7	09-11-2017
Landsat 7	27-11-2012	Landsat 7	01-09-2015	Landsat 7	01-03-2018
Landsat 7	15-02-2013	Landsat 7	20-11-2015	Landsat 7	20-05-2018
Landsat 7	06-05-2013	Landsat 7	11-03-2016	Landsat 7	05-06-2018
Landsat 7	26-08-2013	Landsat 7	15-06-2016	Landsat 7	07-07-2018
Landsat 7	14-11-2013	Landsat 7	18-08-2016	Landsat 7	11-10-2018
Landsat 7	18-02-2014	Landsat 7	22-11-2016	Landsat 7	27-10-2018
Landsat 7	23-04-2014	Landsat 7	09-01-2017	Landsat 7	28-11-2018
Landsat 7	29-08-2014	Landsat 7	14-03-2017		