

Santiago 29 de Agosto 2018.-

Señora
Marie Claude Plumer Bodin
Fiscal Instructor
División Sanción y Cumplimiento
Superintendencia del Medio Ambiente
Presente



Ref : Se adjunta respuesta en forma y fecha
Expediente Rol D-056-2015

Alfonso Muñoz Galleguillos, en representación de Agrícola Vitahue Limitada, en el marco del procedimiento sancionatorio seguido bajo el Rol D-056-2015, mediante la presente y dentro del plazo otorgado en fecha y forma según información solicitada en fecha 9 Agosto 2018 y la ampliación de plazo otorgada con fecha 22 de Agosto 2018, se adjunta la información solicitada en los puntos II 1, 1a,1b, 2 y 3.

Se adjunta los siguientes documentos:

- Balance hídrico del predio Vitahue 2016
- Procesamiento y Análisis de Imágenes Satelitales Tranque Vitahue 2 periodo Enero - Octubre 2016
- Pendrive 38 GB de imágenes satelitales digitalizadas crudo y procesadas
- Declaración Jurada Notarial administrador predio Sr Sebastian Prado R-T
- Fotografías y sus Coordenadas UTM Vaciado tranque Vitahue 2 2016

Esperando haber dado respuesta a sus requerimientos, se despide atentamente,

A large, stylized handwritten signature in black ink, appearing to be "Alfonso Muñoz Galleguillos".

Alfonso Muñoz Galleguillos
Agrícola Vitahue Ltda.

INFORME DE BALANCE HÍDRICO 2016

Región de Valparaíso, Chile

Agosto 2018



Contenido

1. Descripción General del Proyecto
2. Balance Hídrico Periodo Enero-Octubre 2016
3. Análisis Imágenes que dan Testimonio Tranque Vitahue 2 No Volvió Temporada 2016 - 2017
 - I. Imágenes de Fotografía In Situ
 - II. Análisis de Imágenes Satelitales que den Cuenta que el Tranque No Volvió a Llenarse
4. Conclusiones

Informe del balance hídrico predio Vitahue 2016

1. Descripción General Declaración Impacto Ambiental Proyecto Tranque Vitahue

El proyecto denominado "Tranque Vitahue", en adelante el Proyecto, se presenta al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, con el propósito de darlo a conocer y regularizarlo bajo a las disposiciones que establece la ley 19.300, el relación a construir un embalse.

El Proyecto se ubica en el predio llamado Lote B1 y Lote B2, del predio de subdivisión Vitahue, reserva CORA n° 13 del PP Unión Aconcagua, roles 230-325 y 230-384, por una superficie total de 220 ha, ambos de la comuna de Cabildo, provincia de Petorca, Región de Valparaíso, de propiedad Juan Pablo Fernández Pérez, Rut 6.779.616-0, quien tiene cedido la explotación comercial de ambos predios, vía contrato de arriendo, a Agrícola Vitahue Ltda., RUT 77.620.930-9, representada legalmente por don Juan Pablo Fernández Pérez, que en lo sucesivo será el Titular.

La explotación agrícola de ambas propiedades que conforman el predio Vitahue, consideró la plantación de paltos en una superficie de 100 hectáreas, estas fueron plantadas entre los años 2000-2006 y se abastecían de riego desde los pozos de agua subterránea debidamente inscritos que se acreditan más adelante.

Debido a la sequía que ha golpeado fuertemente a la agricultura especialmente en esta zona, la comuna fue declarada en estado de emergencia por primera vez para Petorca y La Ligua el año 1990, y en años sucesivos desde el año 2012 en adelante, lo que ha obligado a los agricultores a buscar formas de enfrentar este problema. De este modo el Titular durante el año 2013 decide construir el primer tranque de capacidad de 48.000 m³ y de altura de muro menor a 5 m, y que no requiere DIA. Luego en el año 2015 dado el aumento y permanencia de la fuerte sequía se decide construir un segundo tranque de similares características técnicas.

Las dimensiones de construcción del primer tranque en el año 2013 estuvieron basados en un balance hídrico para el predio sustentado en los caudales aportantes de los pozos (9 unidades), esto era de 61,5 Lt/seg aunque ya disminuidos, al continuar la sequía este valor vuelve a caer severamente entre los años 2013-2015. Por lo mismo se hace necesario construir el segundo tranque, con un costo no previsto por el Titular y construido en el plazo más breve, pues simplemente dejó de llover y los paltos corrían serios daños de mortalidad, tanto así que entre los años 2011-2014 se tuvieron que eliminar 40 hectáreas de paltos, y en consecuencia disminuir en un 40 % la superficie productiva de frutales.

La decisión de contar con un tranque tiene que ver con los *peak* de demanda. El caudal máximo instantáneo ocurre en los meses de mayor demanda para los paltos, esto es entre Diciembre y

Marzo, situación que en el caso de este predio se alcanza con 96.000 m³ de agua embalsada, en los meses de invierno.

Por esta razón se construye el primer tranque el año 2013, pero al continuar disminuyendo el caudal de los pozos a 1/3 de sus caudales inscritos (hoy 21 lt/seg), se genera la necesidad de construir el segundo tranque en el año 2015, y por el cual se presenta esta DIA.

La presente DIA cumple con los compromisos adquiridos con el Programa de Cumplimiento Ambiental, causa rol D-56-2015 aprobado por resolución exenta N° 5 de fecha 28 de diciembre 2015 por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA).

Basado en el estudio y análisis y evaluación de todas las variables ambientales que deben considerarse en el desarrollo de estas obras civiles, se puede concluir que éstas no se verán afectadas, y por tal se determina que esta obra no genera efectos adversos significativos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables, según lo indicado en el artículo 6 del Título II del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (D.S. N° 95/01) del Ministerio Secretaría General de Gobierno.

La inversión es de US\$ 170.000 y tendrá una vida útil de 25 años, dando lugar de trabajo a 8 familias en forma directa al construir el tranque, e indirectamente a muchas más familias pues permite mantener dando trabajo a la actividad agrícola exportadora de la zona, que se estima en 1 familia por hectárea productiva.

El Proyecto considera la regularización del segundo tranque, construido en el año 2015, pues la altura de muro en su parte más desfavorable superaría los 5 m de altura, y su volumen es de 48.000 m³.

2. Balance hídrico periodo Enero - a Octubre 2016

Basado en la Adenda II donde se solicita un compromiso de un balance hídrico de la propiedad, comprende el uso adecuado y requerido con el cual es posible de regar las 60 hectáreas de paltos, esto comprende un **sistema hídrico integral** de la propiedad y que es:

- 2.1. El predio se abastece de 9 pozos subterráneos con derechos inscritos, por una cantidad de 60 lt/seg, pero desde los años secos el caudal posible de explotar es de solo 21 lt/seg.
- 2.2. Este caudal se bombea anualmente, y su volumen se acumula en un tranque de tipo pulmón de 2000 m³, y desde este acumulador se distribuye directamente hacia los cuarteles de paltos, o en épocas de excedencia (invierno) se envía hacia el tranque Vitahue 1 y luego hacia el tranque Vitahue 2.

- 2.3. En épocas donde el caudal demandado por los paltos supera el caudal aportante de los pozos, entonces se inicia la descarga gravitacional de los tranques, primero desde el Vitahue 1 hacia el tranque pulmón, y desde ahí a los cuarteles de riego de los paltos, y en la medida del descenso del volumen de este tranque se descarga gravitacionalmente el Vitahue 2 hacia el Vitahue 1.
- 2.4. En este sentido las bombas desde el tranque pulmón sirven tanto para el llenado de los tranques, y luego en contraestacion para el riego de los paltos.

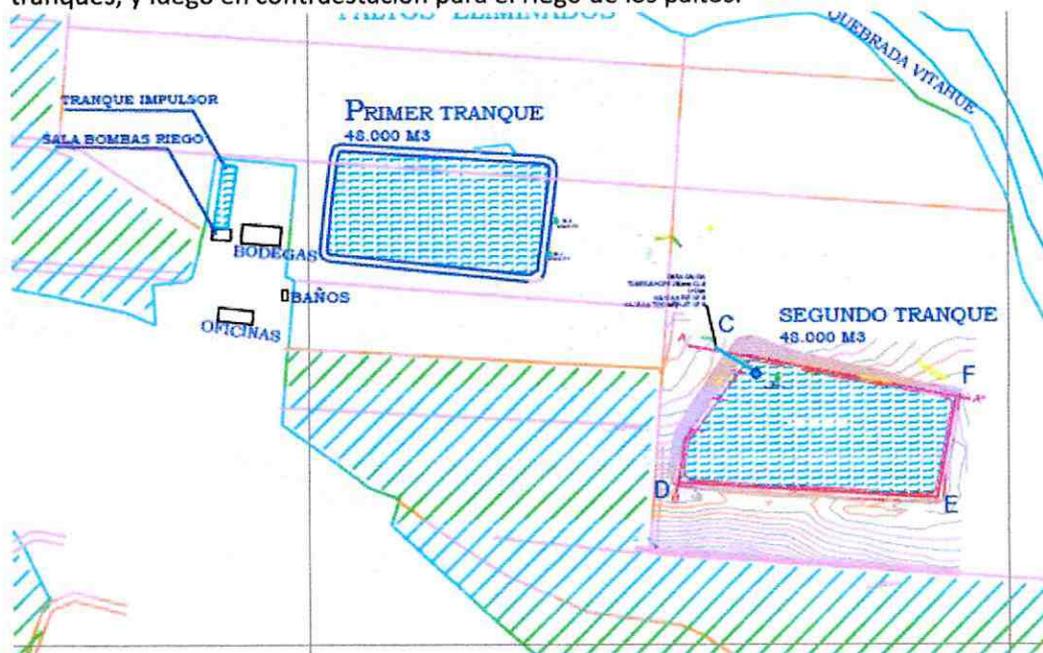


Imagen sistema hídrico integrado, el receptor de las aguas e los pozos, en el tranque pulmón o impulsor, luego el primer tranque Vitahue 1 y finalmente el segundo tranque Vitahue 2.

- 2.5. En consecuencia tal cual se aprecia en la tabla N° 2, de no haberse llenado el tranque Vitahue 2 entre los meses de Junio a Agosto del año 2016, entonces ya no existe una excedencia del recurso hídrico proveniente de los pozos que permita regar los paltos y a la vez llenar el tranque Vitahue 2, es decir el agua se debe conducir hacia el riego de los paltos pues no alcanza para el llenado del Vitahue 2.
- 2.6. El color rojo demuestra los meses en que el aporte de los pozos es inferior a la demanda del cultivo, en consecuencia se deben utilizar los tranques para incrementar el caudal o volumen que se requiere en el periodo.

Tabla 1 Balance Hídrico Proyecto Tranque Vitahue

MES	Caudal disponible pozos Mts 3 / mes	Demanda paltos		Disponible riego m3 m3	Vol embalse MM3 96 Vol tranque m3
		m3/ha	Total m3		
octubre	54.432	1.053	54.675	-243	95.757
noviembre	54.432	1.078	64.699	-10.267	85.490
diciembre	54.432	1.215	72.900	-18.468	67.022
enero	54.432	1.245	74.723	-20.291	46.732
febrero	54.432	1.199	71.928	-17.496	29.236
marzo	54.432	1.043	62.585	-8.153	21.083
abril	54.432	923	55.404	-972	20.111
mayo	54.432	425	25.486	28.946	49.057
junio	41.472	214	12.830	28.642	77.699
julio	41.472	280	16.796	24.676	96.000
agosto	41.472	428	25.661	15.811	96.000
septiembre	41.472	719	43.157	-1.685	94.315
Total		9.822	580.000	-77.574	
Paltos 60 hectareas					

Tabla N° 2 Disponibilidad Hídrica en los tranques en la medida de la demanda

Año	MES	Caudal disponible pozos (m3)	Vol (m3) Huerto	Disponible riego m3	Vol embalse Vitahue 1 (m3)	Traspaso Vitahue 2 al Vitahue 1 (m3)	Vol embalse Vitahue 2 (m3)
2015	octubre	54.432	54.675	-243,0	46.125,6		46.369
	noviembre	54.432	64.699	-10.266,8	34.061,0		44.454
	diciembre	54.432	72.900	-18.468,0	13.713,5		42.181
2016	enero	54.432	74.723	-20.290,5	5.161,8	10.000,0	30.087
	febrero	54.432	71.928	-17.496,0	3.089,3	14.000,0	14.526
	marzo	54.432	62.585	-8.152,7	3.165,2	7.000,0	6.253
	abril	54.432	55.404	-972,0	3.402,5		5.775
	mayo	54.432	25.486	28.946,2	33.057,2		5.171
	junio	41.472	12.830	28.641,6	48.000,0		6.197
	julio	41.472	16.796	24.675,8	48.000,0		6.179
	agosto	41.472	25.661	15.811,2	48.000,0		5.506
	septiembre	41.472	43.157	-1.684,8	46.315,2		4.624
	octubre	54.432	54.675	-243,0	47.757,0		3.783
Total			580.000	-77.816,7		31.000,0	

Nota: Cultivo Paltos 60 hectáreas; 9,600 m3/ha/año

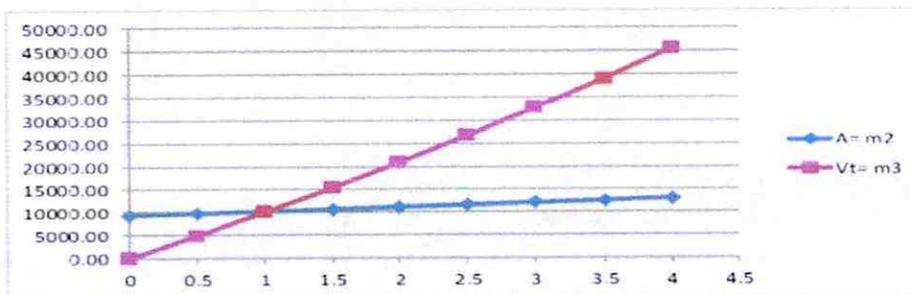
El cuadro anterior considera la perdida por evaporación desde los tranques, según su nivel dado el volumen remanente en cada mes, e incluye las precipitaciones.

Mes	Etp			PP		Area según nivel llenado	
	mm	Tr-1/m3	Tr-2/m3	mm	m3	Area tra 1 (m2)	Area tra 2 (m2)
octubre	125	1631	1631		0	13051	13051
noviembre	149	1798	1915		0	12066	12850
diciembre	179	1880	2273		0	10500	12700
enero	177	1726	2106	1	13,1	9750	11900
febrero	146	1424	1562		0,0	9750	10697
marzo	126	1229	1273		0,0	9750	10100
abril	87	818	870	30	391,5	9400	10000
mayo	61	709	604		0,0	11615	9900
junio	44	574	436	112	1461,7	13051	9900
julio	49	613	485	35,8	467,2	12500	9900
agosto	68	887	673		0,0	13051	9900
septiembre	90	1125	882		0,0	12500	9800
octubre	125	1538	1213	28,5	372,0	12300	9700
Total		15949	15922	207,3	2705,5		

Nota: Las pp (mm) desde Estacion DGA Hierro viejo, y Evapotranspiracion de CNR

Y por último el volumen en función de la cota de llenado, la superficie asociada para determinar la precipitación o evaporación en cada mes.

CURVA DEL EMBALSE



Cota	Altura de agua	A= m2	Vp	Vt= m3
111.7	0	9376.78		0
112.2	0.5	9809.20	4892	4892
112.7	1	10249.31	5115	10007
113.2	1.5	10697.10	5341	15348
113.7	2	11152.59	5571	20919
114.2	2.5	11615.77	5806	26725
114.7	3	12086.63	6044	32769
115.2	3.5	12565.18	6286	39055
115.7	4	13051.43	6532	45587

3. Análisis imágenes que dan testimonio tranque Vitahue 2 no volvió operar temporada 2016-2017

3.1. Imágenes de fotografías in situ

Tal cual se ha sostenido en el informe de fecha 10 de febrero 2017, los hechos sostenidos sobre informes reportados con anterioridad en el uso de imágenes son:

- i. En fecha 19/01/2016 se adjunta una imagen que demuestra el nivel de vaciado del tranque, se estima en 1m, esto equivaldría según curva embalse 32.769 m³, y habría coincidencia con el balance hídrico de la tabla N° 2.
- ii. En la imagen siguiente de fecha 22/2/2016, se observa que el nivel desciende nuevamente en 1,5 m adicional, lo que equivale a 15.348 m³, en la tabla 2 el volumen coincide cercanamente en 14.526 m³.

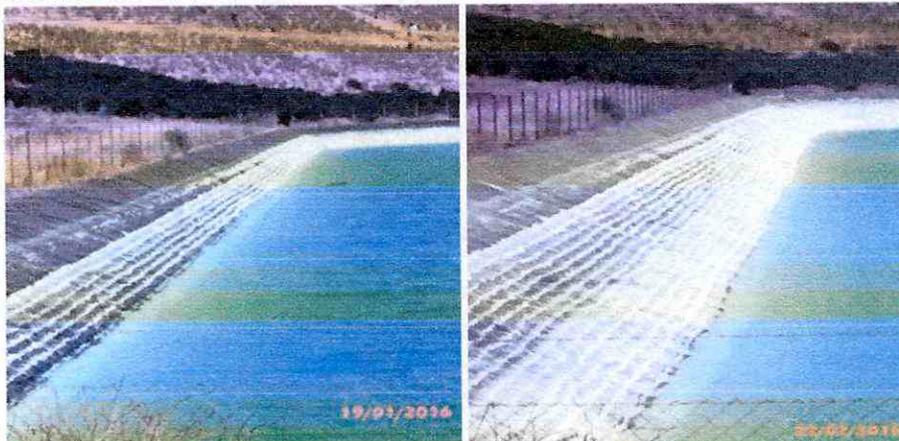


Foto N° 1 Nivel Tranque 19 Enero 2016 → → Foto N° 2 Nivel Tranque 22 Febrero 2016

- iii. Por ultimo en esta temporada de riego, el 10 de marzo 2016, se tiene una nueva imagen del nivel vaciado del tranque, se observa un descenso de 2.80 m en la curva del embalse o sea 9.600 m³, en tanto en la tabla 2 el volumen debía ser 6.253, eso tiene que ver con un nivel de traspaso al tranque 1 que no está registrado a fines de marzo en una lectura más cercana.

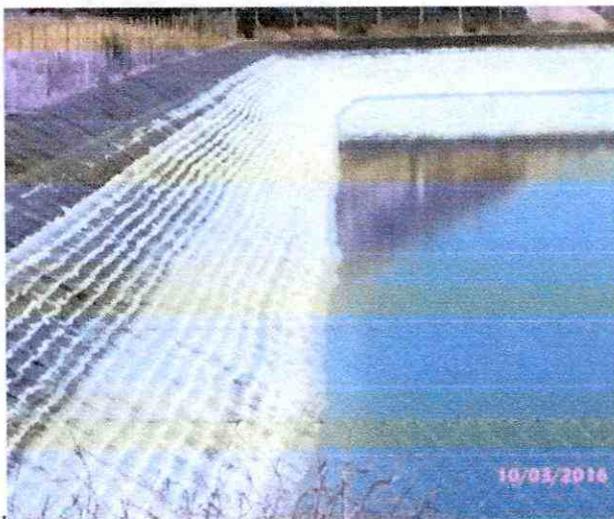
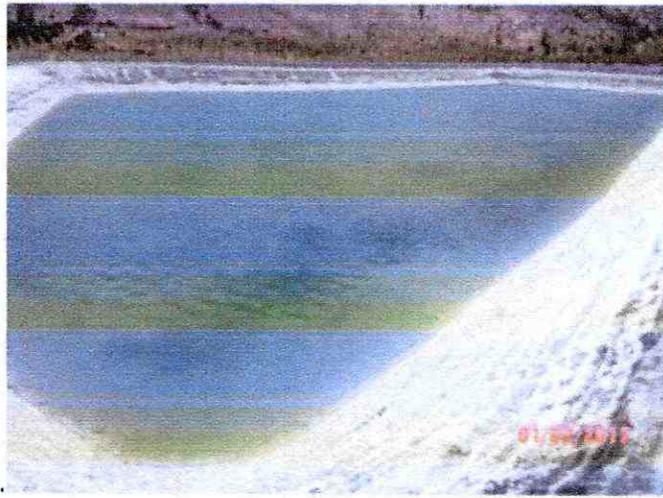


Foto N° 3 Nivel Tranque 10 Marzo 2016 → → ...

- iv. En el resto del año no se volvió a llenar según lo dice y lo reafirma el administrador Sr Sebastian Prado Ruiz Tagle en declaración jurada notarial acompañado en el informe de fecha 10 febrero 2017, se adjunta.
- v. En función de la tabla 2 y de la descripción del sistema hídrico integrado de los tranques y pozos, con lo que se puede regar las 60 ha de paltos, una vez que está lleno el tranque Vitahue 1 y se inicie el periodo de riego, el volumen diario bombeados desde los pozos pasa desde el tranque pulmón directamente al riego de los paltos, es decir no habría excedencias para llenar el Vitahue 2, como lo señala el balance hídrico y lo afirmado por el Administrador Sr Sebastian Prado.
- vi. Esto es posible corroborar con una imagen de fecha 1º febrero de 2017, donde se muestra extremadamente seco, casi sin agua se estima menos de 40 cm o menos de agua, un color cafe de sedimentos de material particulado, se estima en menos de 2100 m3 (ver informe de fecha 10 febrero 2017).



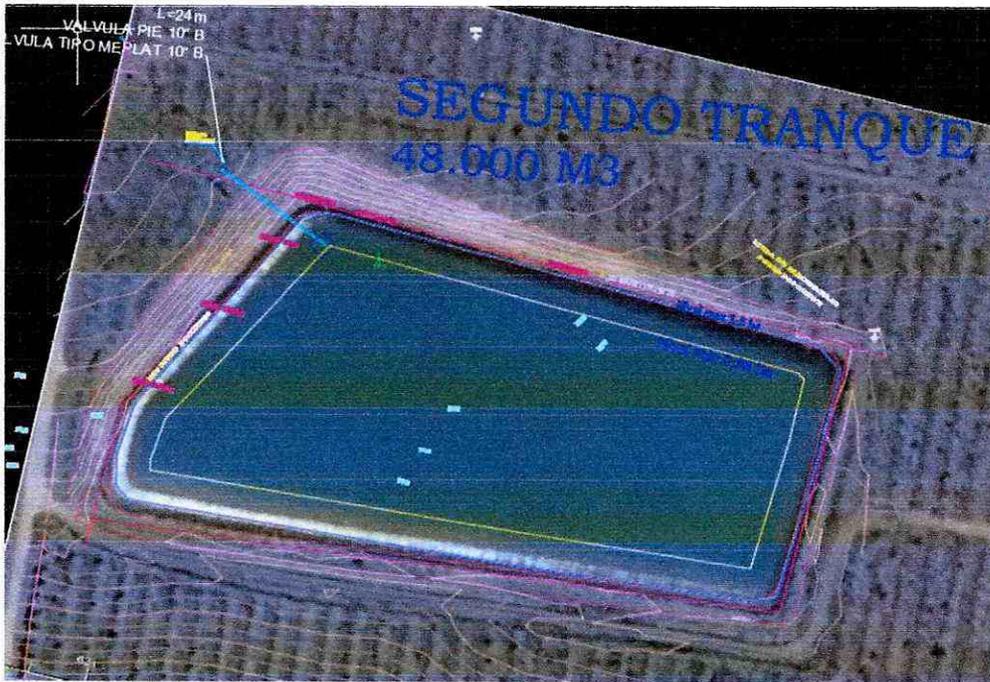
.....Foto-Nº-4-Nivel-Tranque-1º-Febrero-2017

- vii. Se adjunta cartografía de topografía del tranque, con imagen posterior de google earth, de fecha 8 marzo 2016, que muestra la "línea blanca" que denota la disminución del volumen del tranque.

3.2. Análisis imágenes satelitales que den cuenta que el tranque no volvió a llenarse

Imagen Google earth

La primera imagen posible de obtener es la de google earth de fecha 6 marzo 2016, sobre puesta en un plano topográfico del embalse, en esta se puede apreciar un borde "blanco" de las sales en que se visualizan sobre le plástico negro de HDPE, esta imagen se pude corroborar con la fotografía de fecha 10 marzo que muestra el efecto de borde blanco en la fotografía.

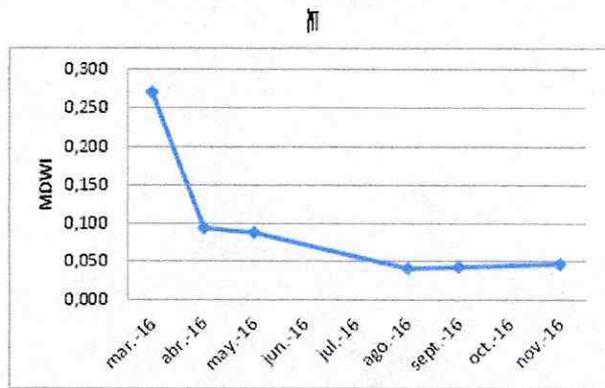


La imagen anterior sobrepuesta en un plano topográfico, permite visualizar la superficie de espejo de agua según la curva de llenado, el nivel máx. de 1.3 ha, y el mínimo de 0.98 ha, y la foto demuestra coincidencia entre el balance hídrico, la foto de fecha 10 de marzo 2016, y con la de google earth de fecha 6 marzo 2016.

Imágenes satelitales

El análisis de imágenes satelitales corresponde a un informe denominado Procesamiento y análisis de imágenes satelitales Tranque Vitahue 2, preparado la consultora Gasic & asociados, que básicamente establece concordancia que el tranque no volvió a llenarse durante el año 2016, en particular al mes de Octubre.

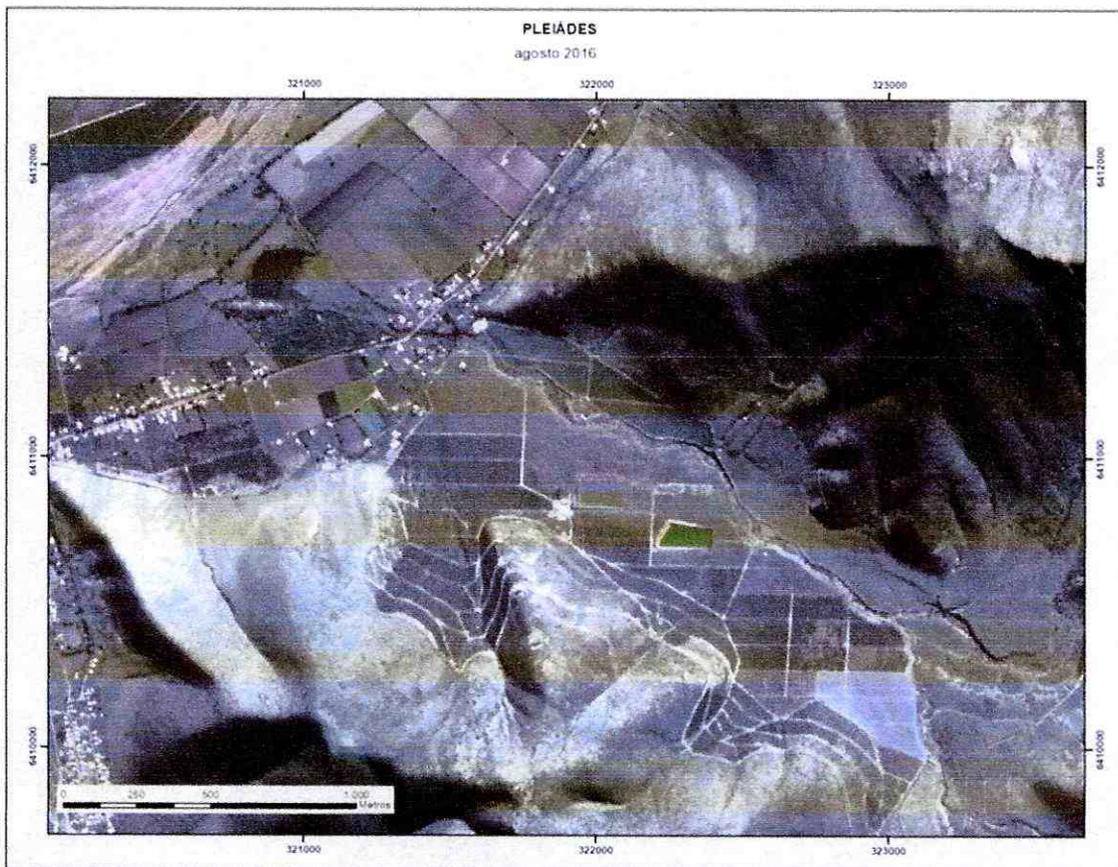
Gráfico-1. Valores promedio índice **MNDWI** dentro del cuerpo de agua.†



Conclusiones del informe imágenes satelitales:

Las estimaciones del volumen de agua en el tranque Vitahue 2 proporcionas por el balance hídrico y la contratación de estos volúmenes con los índices MNDWI y NDWI calculados mediante las imágenes satelitales recopiladas y procesadas, permiten concluir que la altura de agua en el tranque fue disminuyendo entre marzo y octubre 2016, tanto para las imágenes Lansat 8 como Sentinel 2-B. En este último sensor respecto de los meses de octubre y diciembre de 2016.

Finalmente, cabe destacar que la imagen Pleiades de agosto 2016 permite estimar una superficie del espejo de agua de 1,04 hectárea, lo cual corresponde a una superficie cercana al nivel mínimo de diseño de llenado del tranque, que es de 0,98 hectárea.



4. Conclusiones

Las conclusiones del presente informe del balance hídrico asociado al sistema hídrico del predio son concluyentes, las fotografías del tranque en fechas sucesivas durante el año 2016 y luego la revisión de imágenes satelitales y cálculo del área cubierta por el espejo de agua y su baja profundidad son

Informe Balance Hídrico 2016
Predio Vitahue
Res Ex Nº 7 Rol D 056-2015

conducentes para establecer que el tranque Vitahue 2 no volvió a llenarse, dándose por cierto los parámetros definidos en el balance hídrico señalado en la Tabla Nº 1.



Alfonso Muñoz Galleguillos

Ing Forestal

28 Agosto 2018

Procesamiento y Análisis de Imágenes Satelitales Tranque Vitahue 2 Enero - Octubre 2016



Informe Final

27 agosto 2018

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	3
2. OBJETIVO	3
3. METODOLOGÍA	3
3.1 Descarga y procesamiento de imágenes satelitales	3
3.2 Procesamiento y corrección radiométrica de las imágenes multiespectrales	5
3.3 Estimación índices del cuerpo de agua y superficie del espejo de agua	6
4. RESULTADOS	7
5. CONCLUSIONES	11
6. REFERENCIAS	11
7. ANEXOS (Figura B)	12

Tabla de Revisiones

Rev.	Fecha	Preparó	Revisó	Aprobó
B	27.08.2018	Felipe Cerda <i>Licenciado Geografía</i>	Cecilia Gasic <i>Ingeniera Agrónoma</i>	Cecilia Gasic <i>Ingeniera Agrónoma</i> Alfonso Muñoz <i>Ingeniero Forestal</i>
C	28.08.2018	Felipe Cerda <i>Licenciado Geografía</i>	Cecilia Gasic <i>Ingeniera Agrónoma</i>	Cecilia Gasic <i>Ingeniera Agrónoma</i> Alfonso Muñoz <i>Ingeniero Forestal</i>

1. INTRODUCCIÓN

En relación al requerimiento de la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA) del expediente Res. Ex. N° 7 / rol D-056-2015, de fecha 9 de Agosto de 2018, respecto de realizar un análisis a través de imágenes satelitales para el periodo comprendido entre enero y octubre 2016, en donde se evalúe la presencia de agua en el tranque Vitahue 2, a continuación se presenta el referido análisis de imágenes satelitales, las imágenes satelitales originales utilizadas, las imágenes resultantes originales (ambas en medio digital) y el análisis de las imágenes efectuado donde se detalla la metodología de pre y post procesamiento.

2. OBJETIVO

El objetivo es evaluar si el tranque volvió a ser utilizado en el periodo de enero a octubre 2016, es decir una vez vaciado durante el periodo de riego, y no necesariamente hasta quedar sin nada de agua, por lo tanto, el propósito fue evaluar si volvió a ser llenado en el mencionado periodo.

3. METODOLOGÍA

A continuación se presenta la metodología utilizada en el procesamiento, análisis de las imágenes, exposición de los resultados y discusión de éstos.

3.1 Descarga y procesamiento de imágenes satelitales

La descarga y procesamiento de imágenes Multiespectrales se efectuó descargando dos tipos de imágenes, las que corresponde a imágenes multiespectrales de mediana resolución espacial, con un tamaño de pixel medio (Landsat 8 OLI y Sentinel-2). Además, se procedió a la adquisición de una imagen de alta resolución espacial Pleiades para la estimación detallada de la superficie del espejo de agua.

Las imágenes multiespectrales corresponden a los proyectos Landsat-8 OLI y Sentinel-2B, el primero lanzado en febrero de 2013 cuyo objetivo es proporcionar información detallada y sistemática para el gobierno de Estados Unidos y el mundo; el segundo sensor es de propiedad de la Agencia Espacial Europea, lanzado en junio del año 2015 y cuyo objetivo es efectuar un seguimiento de la evolución de los bosques, los cambios en la corteza terrestre y la gestión de desastres naturales.

Las características de ambos sensores se detalle a continuación.

Bandas Landsat 8 (Sensores OLI y TIRS) 2, Nombre,			
Banda	Nombre	Longitud de onda	Resolución
1	Costera - Aerosoles	0.435 - 0.451	30
2	Azul	0.452 - 0.512	30
3	Verde	0.533 - 0.590	30
4	Rojo	0.636 - 0.673	30
5	Infrarrojo cercano (NIR)	0.851 - 0.879	30
6	Infrarrojo de onda corta 1	1.566 - 1.651	30
10	(TIR 1)	10.60 - 11.19	100
11	(TIR 2)	11.50 - 12.51	100
7	Infrarrojo de onda corta 2	2.107 - 2.294	30
8	Pancromática	0.503 - 0.676	15
9	<i>Cirrus</i>	1.363 - 1.384	30

Las imágenes Landsat 8 son capturadas a partir de un satélite cuya órbita es de 705 km de altura, con una revisita un mismo punto sobre a superficie de la tierra cada 16 días.

Bandas Sentinel-2B, Nombre, Resolución		
Banda	Nombre	Resolución
1	443 nm (azul)	60
2	490 nm (azul)	10
3	560 nm (verde)	10
4	665 nm (rojo)	10
5	705 nm (rojo)	20
6	740 nm (ultrarrojo)	20
7	783 nm (rojo lejano)	20
8	842 nm (infrarrojo cercano)	10
9	940 nm (vapor de agua)	60
10	1375 nm (onda corta inlarroja -	60
11	1610 nm (onda corta infrarrojo)	20
12	2190 nm (onda corta infrarrojo 2)	20

Las imágenes Sentinel-2B hace una revisita cada 6 días y posee un área de barrido de 290 km.

Como marco de referencia se definió analizar la evolución de la cantidad de agua del cuerpo de agua Tranque Vitahue, durante los meses de enero a octubre del año 2016, en

consecuencia se descargó el mayor número de imágenes multiespectrales disponibles en para este periodo considerando esencialmente imágenes con coberturas de nubes menores al 40% y que no contuvieran errores significativos en sus capturas.

La descarga de las imágenes multiespectrales Landsat 8 se efectuó desde la página <http://glovis.usgs.gov/>, mientras que las imágenes Sentinel-2B se descargaron desde la dirección web <https://scihub.copernicus.eu/>.

Finalmente, se realizó la adquisición de una imagen de alta resolución Pleiades, lo cual se efectuó por medio del representante legal de Airbus Defense and Space en Chile que corresponde a la empresa Digimapas.

Las características de este último sensor se presentan a continuación.

Pléiades 2, Modo, Banda, Banda Espectral

Modo	Banda	Banda espectral
multiespectral	1	430 - 550 nm (azul)
multiespectral	2	490 - 610 nm (verde)
multiespectral	3	600 - 720 nm (rojo)
multiespectral	4	750 - 950 nm (infrarrojo cercano)
pancromático	P	480 -830 nm (blanco y negro)
Resolución	Pancromático: 50 cm	
	Multiespectral: 2 m	
	Pansharpened: 50 cm	
	Bundle: 50 cm PAN y 2 m MS	
Huella	Franja de 20 km	
	Mosaicos de hasta 100 km x 100 km con una	

Cabe señalar, lo importante de considerar la diferencia del tamaño de pixel de cada una de las imágenes multiespectrales utilizadas, disminuyendo su precisión al momento de hacer una estimación inversamente proporcional al tamaño de cada pixel.

Las imágenes y la lista de imágenes utilizadas se presentan en la figura A y tabla 3.

3.2 Procesamiento y corrección radiométrica de las imágenes multiespectrales

El procesamiento y corrección radiométrica de las imágenes Landsat 8 se efectuó con el módulo de corrección Automático del Software ENVI 5.3, el cual aprovechando los datos contenidos en los archivos de metadata (*_MDT.txt) de cada imagen, transformando los números digitales de cada pixel a una imagen compuesta corregida radiométricamente.

Las imágenes Sentinel-2B, son corregidas Radiométricamente utilizando el Plugin "Semi-Automatic Classification Plugin" del software libre Qgis en su versión 3.2.1, el cual al igual que con las imágenes anteriores, se aprovechan los datos contenidos en los archivos de metadata (MTD_TL.XML), transformando así los datos crudos en imágenes multispectrales corregidas radiométricamente.

Finalmente, la Imagen Pleiades, se corrige automáticamente, utilizando el modulo abierto Orfeo Toolbox, el cual es un opersource de uso libre y código abierto enfocado al tratamiento y corrección de imágenes multispectrales e hiperespectrales.

3.3 Estimación índices del cuerpo de agua y superficie del espejo de agua

Una vez corregida radiométricamente la imagen Pleiades, se procedió a la estimación del **Índice Diferencial Normalizado de Aguas** del cuerpo de agua, basado en los métodos Gao (1996) y McFeeters (1996) mencionado en Xu (2006), los cuales aplican relaciones entre bandas que permite maximizar la reflectancia del agua al trabajar con longitudes de ondas en la banda verde, maximizando la reflectancia de la vegetación y minimiza la reflectancia de masas de agua gracias al uso de la banda del Infrarojo Cercano. Cabe señalar, que este índice se utilizó, ya que la imagen en cuestión solo posee 4 bandas espectrales lo que restringe la posibilidad de utilización de métodos más modernos.

Índice Diferencial Normalizado de Aguas:

$$NDWI = (GREEN-NIR)/(GREEN+NIR)$$

Para el caso de las imágenes Sentinel-2B y Landsat 8, se procedió a estimar el índice del cuerpo de agua mediante el método **Índice Modificado Diferencial Normalizado de Aguas** o MNDWI de Xu (2006), el cual contempla una mejora a los otros métodos mencionados, pues utiliza datos de las bandas del infrarojo cercano y medio como base de análisis.

Índice Modificado Diferencial Normalizado de Aguas:

$$MNDWI = (GREEN-SWIR)/(GREEN+SWIR)$$

En ambos casos se hace referencia a índices normalizados que poseen valores que van de -1 a 1 siendo los números positivos los que indicarían la presencia de agua.

Finalmente, se procedió a calcular los valores mínimos, máximos y promedios de los índices **MNDWI** y **NDWI** del cuerpo de agua detectado. De la misma forma, se procedió a estimar la superficie del espejo de agua a través de la respuesta espectral de cada una de las imágenes.

4. RESULTADOS

En tabla 1 y 2 se presentan los valores mínimos, máximos y promedio de los índices **MNDWI** y **NDWI**. El promedio **MNDWI** de las imágenes Landsat 8 es de 0,097 y de las imágenes Sentinel 2B de 0,1. De Por lo tanto, se observa que ambos índices (**MNDWI** y **NDWI**) poseen un comportamiento de valores relativamente bajos, los cuales son los esperados para un cuerpo de agua poco profundo.

Además, se muestra la superficie estimada promedio del espejo de agua de 0,69 hectáreas promedio con las imágenes Sentinel 2B.

De esta forma, se observa que la superficie del espejo de agua muestra una correlación con los valores promedios de los índices **MNDWI** y **NDWI**, y con los valores embalsados calculados en el balance hídrico (Informe del Balance Hídrico predio Vitahue).

Tabla 1. Cálculo Índice MNDWI (GREEN-SWIR)/(GREEN+SWIR) y Superficie Espejo Agua.							
Sensor	Fecha	MNDWI min.	MNDWI max.	MNDWI media	MDWI desv. Estandar	Vol. embalse Vitahue 2 (m3)*	Superficie Espejo Agua (ha)
Landsat 8 OLI	03-03-2016	0,160	0,363	0,271	0,063	7.327,0	0,90
	04-04-2016	0,074	0,114	0,095	0,014	6.900,0	1,53
	22-05-2016	0,072	0,103	0,088	0,009	6.192,0	1,35
	26-08-2016	0,040	0,047	0,042	0,002	6.047,0	0,99
	11-09-2016	0,040	0,045	0,043	0,002	4.922,0	0,72
	14-11-2016	0,040	0,050	0,046	0,004	-	1,26
Promedio		0,071	0,120	0,097	0,016	6.277,600	1,125
Desv. Estandar		0,046	0,122	0,088	0,024	920,160	0,305
Sentinel-2B	01-10-2016	0,020	0,286	0,108	0,070	3.756,0	0,65
	30-12-2016	0,020	0,192	0,092	0,035	-	0,73
Promedio		0,020	0,239	0,100	0,052	3.756,000	0,690
Desv. Estandar		0,000	0,067	0,011	0,024	-	0,057

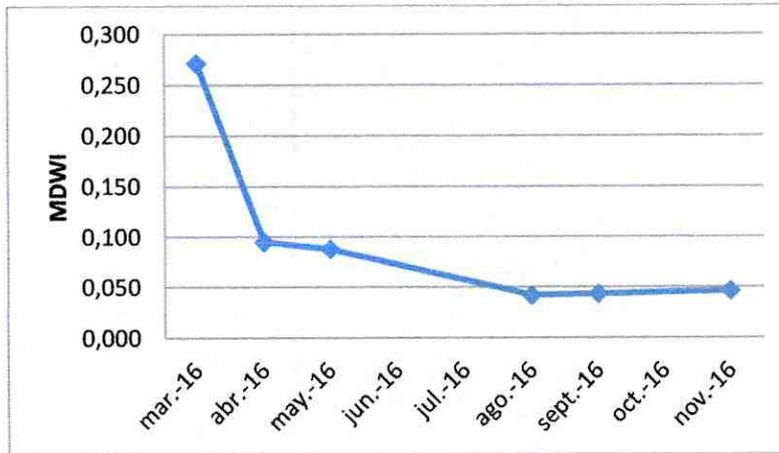
*Información proporcionada por Riverside, Informe del Balance Hídrico predio Vitahue, según curva llenado.

Tabla 2. Cálculo Índice NDWI = (GREEN-NIR)/(GREEN+NIR) y Superficie Espejo de Agua.						
Sensor	Fecha	NDWI min.	NDWI max.	NDWI media	Vol embalse Vitahue 2 (m3)	Superficie Espejo Agua (ha)
Pleiades	04-08-2016	0,705	0,817	0,79	6.047,0	1,04

Como fue solicitado, se adjuntan en medio digital las imágenes crudas y procesadas utilizadas para la ejecución de los cálculos presentados.

En el siguiente gráfico, se muestran los valores promedio del índice **MNDWI** dentro del cuerpo de agua estimado con las imágenes Landsat 8.

Gráfico 1. Valores promedio índice **MNDWI** dentro del cuerpo de agua.



A continuación, en el gráfico 2, se muestra la estimación del volumen de agua del embalse Vitahue 2 en los meses de marzo a octubre 2016, obtenido del balance hídrico entregado para el presente informe, observándose un comportamiento tendiente a la baja.

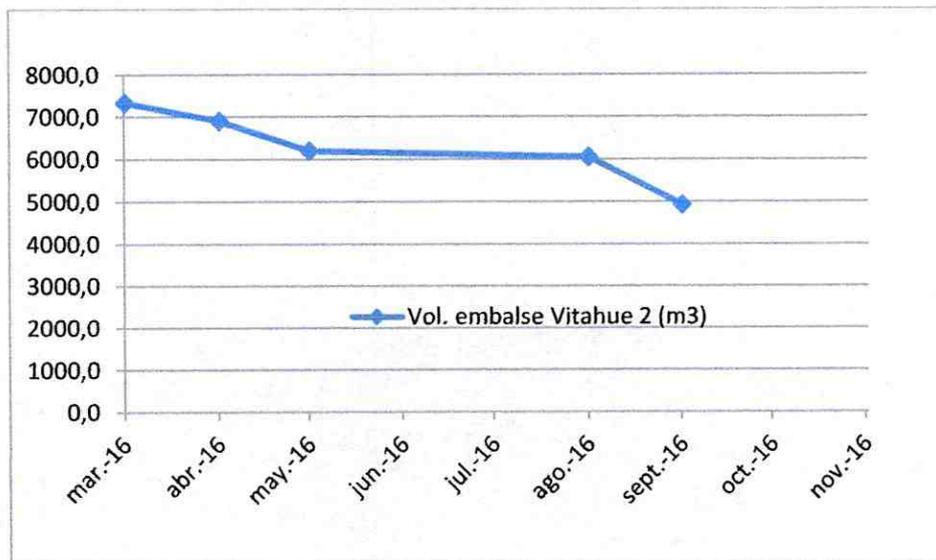
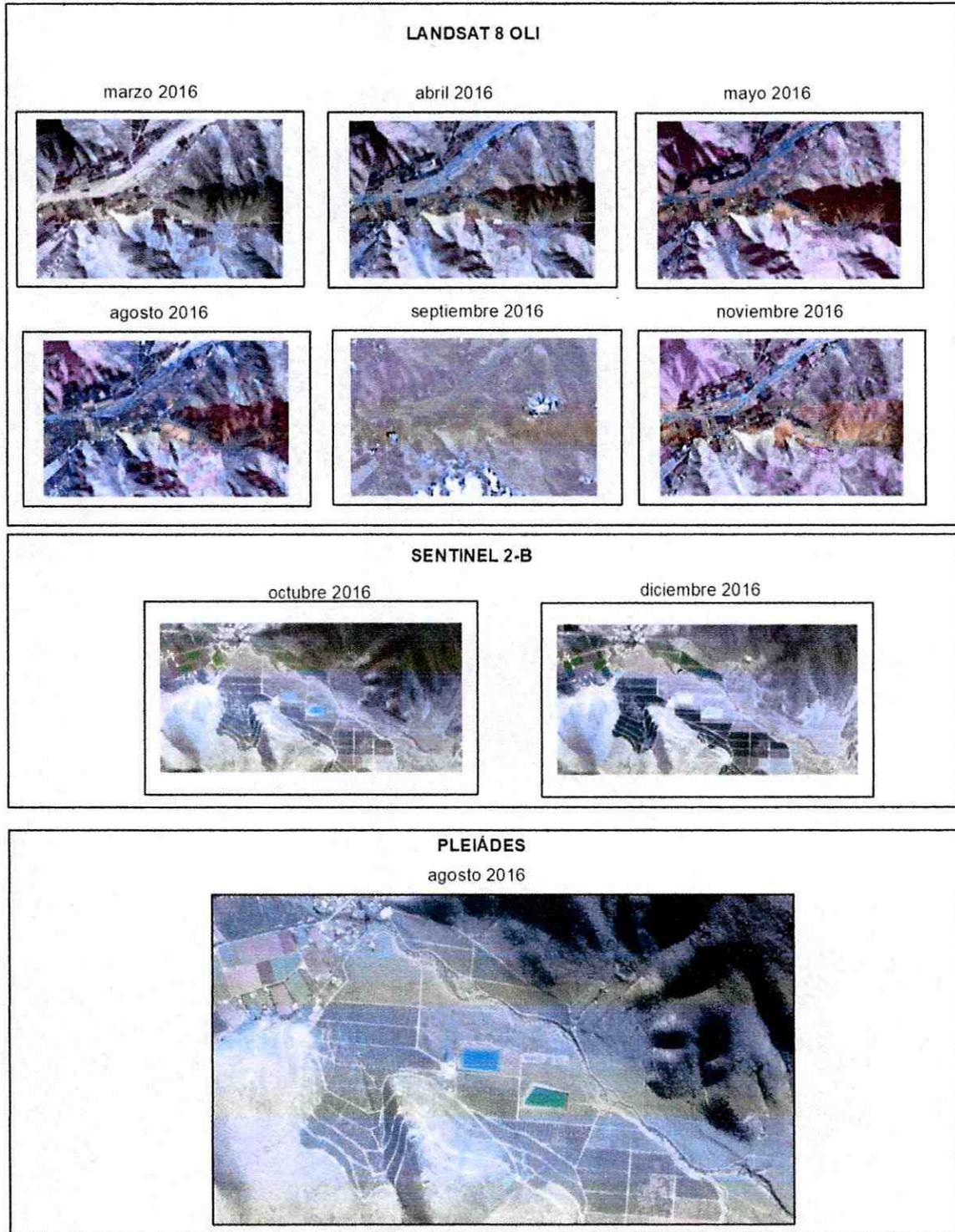


Gráfico 2. Estimación Volumen del embalse Vitahue 2 meses marzo a octubre 2016 (proveniente balance hídrico).

Tabla 3. Listado de imágenes utilizadas.

Pleiades	Fecha
2963_1808_Sector_Cabildo_SO18022318-2-01_DS_PHR1B_201608041446259_FR1_PX_W071S33_0117_06186	04-08-2016
Sentinel 2	Fecha
S2A_MSIL1C_20161001T145122_N0204_R096_T19HCE_20161001T145121.SAFE	01-10-2016
S2A_MSIL1C_20161230T145122_N0204_R096_T19HCE_20161230T145120.SAFE	03-12-2016
Lansat 8 OLI	Fecha
LC08_L1TP_233082_20160303_20180528_01_T1.tar	03-03-2016
LC082330822016040401T1-SC20180823172904.tar	04-04-2016
LC082330822016052201T1-SC20180823084359.tar	02-05-2016
LC082330822016082601T1-SC20180823095144.tar	26-08-2016
LC082330822016091101T1-SC20180823084328.tar	11-09-2016
LC082330822016111401T1-SC20180823173002.tar	14-11-2016

Figura A. Imágenes utilizadas.



5. CONCLUSIONES

Las estimaciones del volumen de agua en el tranque Vitahue 2 proporcionas por el balance hídrico y la contrastación de estos volúmenes con los índices **MNDWI** y **NDWI** calculados mediante las imágenes satelitales recopiladas y procesadas, permiten concluir que la altura de agua en el tranque fue disminuyendo entre marzo y octubre 2016, tanto para las imágenes Lansat 8 como Sentinel 2-B. En este último sensor respecto de los meses de octubre y diciembre de 2016.

Finalmente, cabe destacar que la imagen Pleiades de agosto 2016 permite estimar una superficie del espejo de agua de 1,04 hectárea, lo cual corresponde a una superficie cercana al nivel mínimo de diseño de llenado del tranque, que es de 0,98 hectárea.

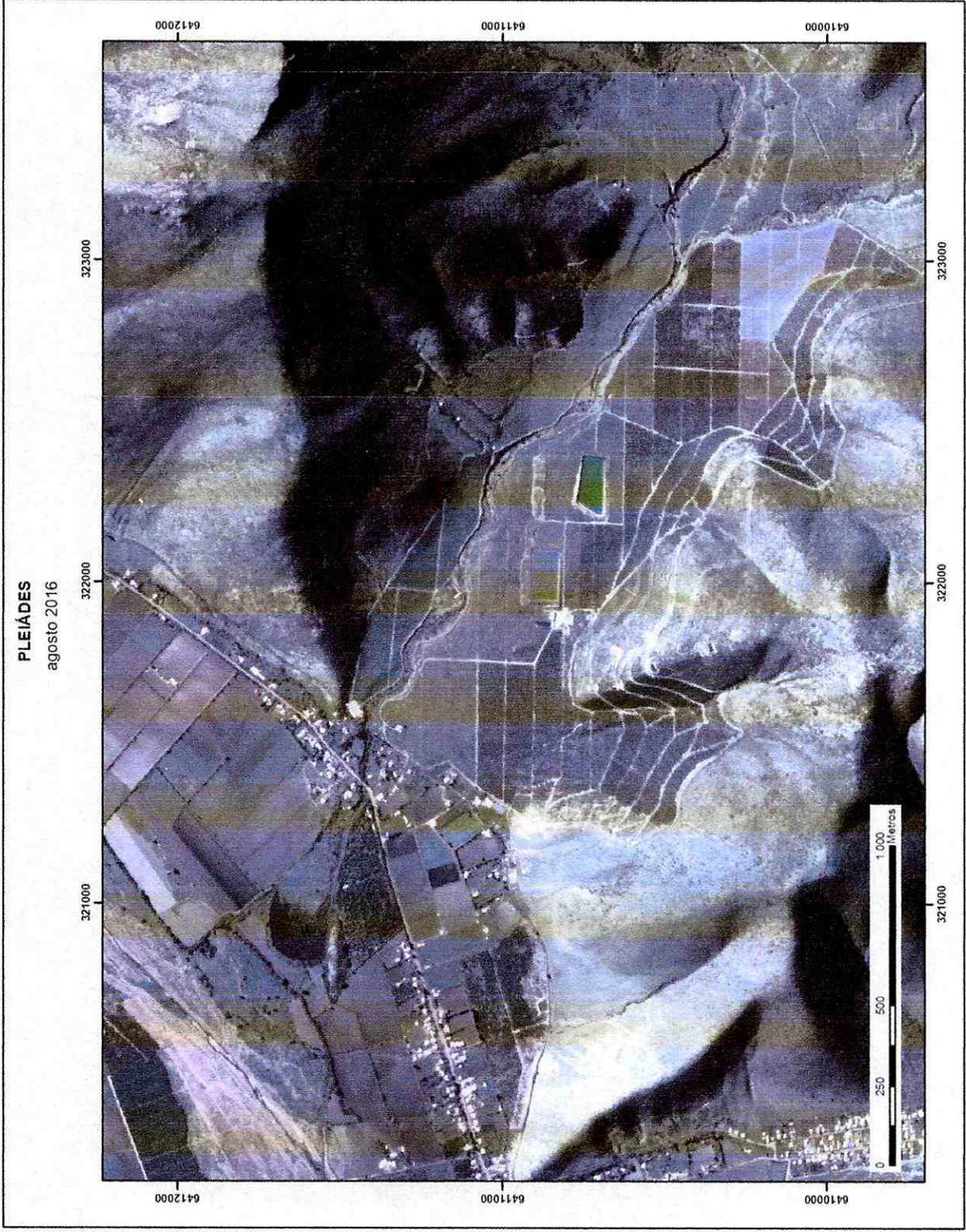
6. REFERENCIAS

Gao, B. C. 1996. NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment* 58: 257-266.

Xu, Hanqiu. 2006. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27:14, 3025-3033, DOI: 10.1080/01431160600589179.

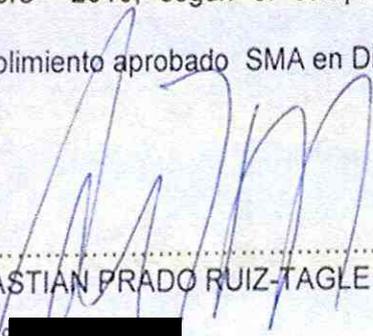
Chuvienco, Emilio. 2008. Teledetección Ambiental. La observación de la tierra desde el espacio. Ariel Ciencia. 3^{era} Edición.

7. ANEXOS (Figura B)



DECLARACION JURADA NOTARIAL

Yo, SEBASTIAN PRADO RUIZ-TAGLE, cédula de identidad N° [REDACTED] domiciliado en calle Humeres casa N°10, Villa Enami, comuna de Cabildo, de paso en ésta, administrador del predio Vitahue, declaro bajo juramento que el tranque Vitahue no fue llenado con agua de pozos entre el periodo de invierno 2015 y Octubre 2016, según el compromiso adquirido en virtud del Programa de Cumplimiento aprobado SMA en Diciembre 2015.


.....
SEBASTIAN PRADO RUIZ-TAGLE

C.I. N° [REDACTED]



Autorizo la firma de don SEBASTIÁN PRADO RUIZ-TAGLE, cédula de identidad N°7.007.448-6.- En Quillota, a 07 de Febrero de 2017.- cdo.-



Anexo

Fotografías y sus coordenadas UTM del Vaciado del Tranque Vitahue 2 Período 2016-17

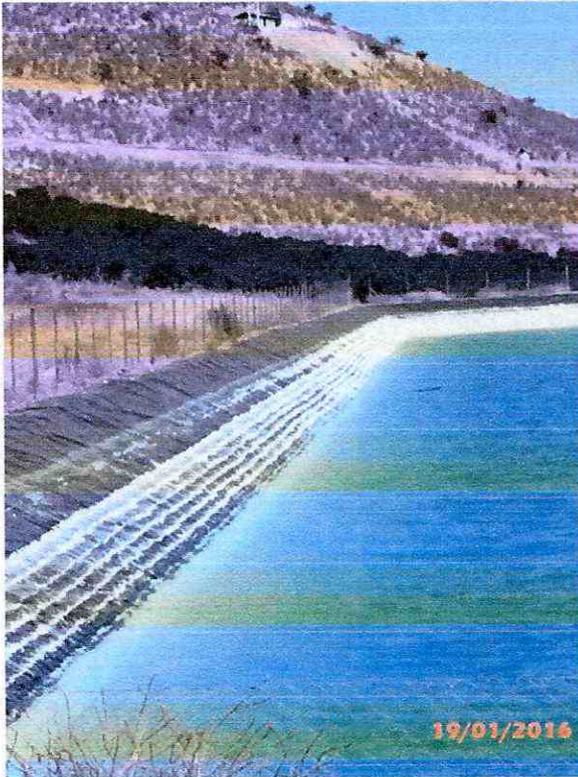


Foto N° 1 Nivel Tranque 19 Enero 2016



Foto N° 2 Nivel Tranque 22 Febrero 2016



Foto N° 3 Nivel Tranque 10 Marzo 2016

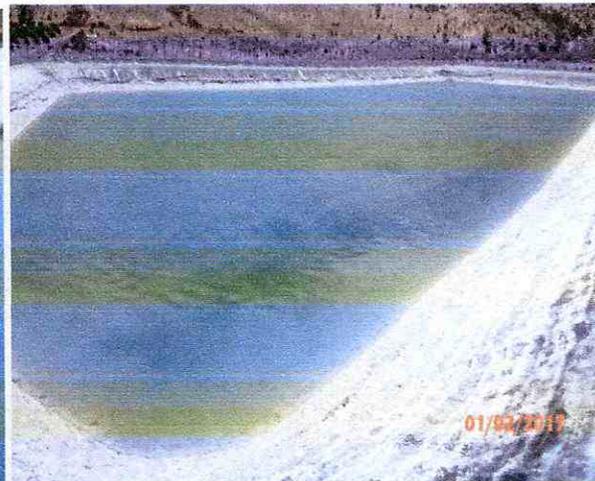


Foto N° 4 Nivel Tranque 1º Febrero 2017

Localización Tranques según coordenadas



Fotografía Google earth, de fecha 8 marzo 2016 , bordes blancos, similar a foto nº 3 de fecha 10 marzo 2016.-

Coordenadas UTM Datum WGS 84 H 19S, desde donde se tomaron las fotografías:

Fotografías	Coordenadas UTM	
	Norte	Este
Nº 1	6.410.666	322.393
Nº 2 y 3	6.410.709	322.395
Nº 4	6.410.677	322.193