

CARTA PL-18-2016.

ANT.: Res. Ex. D.S.C./P.S.A. N° 60, de 25 de enero de 2016.

REF.: Expediente Sancionatorio N° A-002-2013

MAT.: Acompaña informe pericial.

Santiago, 10 de febrero de 2016



Sra.
Camila Martínez Encina
Fiscal Instructora
División de Sanción y Cumplimiento
Superintendencia del Medio Ambiente
Presente

JAVIER VERGARA FISHER, abogado, en representación convencional de **Compañía Minera Nevada SpA ("CMN")**, ambos domiciliados para estos efectos en calle La Concepción N° 141, oficina 1106, comuna de Providencia, en el expediente del proceso sancionatorio **Rol N° A-002-2013**, a Ud. respetuosamente digo:

Que, encontrándome dentro del plazo otorgado por la Res. Ex. D.S.C./P.S.A. N° 60, de 25 de enero de 2016, a través de la presente hago entrega del informe pericial emitido por don Alexis Zepeda Contreras y doña Tania Altamirano Azócar, ambos de BIOMA Consultores Ambientales S.A. y su anexo, quienes fueran designados por esta parte como peritos para acompañar a la Superintendencia del Medio Ambiente en la inspección personal a la faena minera Pascua Lama realizada en los días 19 y 20 de enero de 2016.

Dicho documento se adjunta en papel y copia magnética. No se adjuntan los curriculum de los peritos dado que ya se adjuntaron anteriormente.

POR TANTO,

Solicito a Ud. tener por evacuado el informe pericial de BIOMA Consultores Ambientales S.A.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'J. Vergara Fisher'.

Inspección Personal – Cía. Minera Nevada SPA

Causa ROL A-002-2013

Informe pericial

Fecha de inspección: 20 de Enero de 2016

Fecha realización del Informe: 10 de Febrero de 2016

Índice

1	Resumen Ejecutivo.....	3
2	Introducción.....	5
3	Objetivo	6
4	Metodología.....	6
5	Resultados	9
6	Discusión.....	17
7	Conclusiones	26

1 Resumen Ejecutivo

Con fecha 20 de Enero de 2016 se realizó una actividad de inspección en dependencias de la faena minera Pascua-Lama, por parte de profesionales de la Superintendencia de Medio Ambiente, SMA, en colaboración con el Servicio Agrícola y Ganadero, SAG. Estas actividades se encuentran asociadas al proceso de sanción Rol A-002-2013 y en cuyas diligencias participaron representantes de Compañía Minera Nevada SpA (CMN SpA) y de otros interesados que más adelante se detallan.

En relación al procedimiento Rol A-002-2013 se visitaron las dos vegas afectadas por el aluvión del mes de enero 2013, Vega Norte y Vega Sur, asociadas el Expediente de Fiscalización Ambiental DFZ-2013-63-III-RCA-IA. La actividad, conducida por profesionales del SAG, consistió en la realización de un track por el borde externo de ambas vegas, el que fue acompañado sólo por los peritos de las partes interesadas con el objeto de minimizar el impacto sobre las vegas.

Las mediciones se iniciaron en la Vega Sur donde se observó la presencia de fauna silvestre (guanacos) en conducta de forrajeo. En la Vega Norte, se recorrió y registró el borde externo de la vega y el borde que comprende el sector afectado por el aluvión. En este último, los profesionales del SAG realizaron una transecta con el objetivo de realizar un seguimiento del estado de recuperación de la vegetación.

Para las mediciones se utilizaron equipos GPS manuales y de alta precisión.

Las actividades realizadas en terreno dieron como resultado la generación de polígonos que para efectos de este informe se compararon con la base de datos de la Adenda N°3 de 2006 (Sección 9 Flora y Fauna, Figura 9.2: Pequeñas vegas ubicadas en el sector de NE-5) y con imágenes satelitales adquiridas por Bioma Consultores S.A. con el objetivo de establecer el comportamiento de estas vegas en el periodo 2005-2014 (Imágenes Ikonos, GeoEye, WordView2 y Pleiades).

La comparación de las mediciones realizadas en terreno en el mes de Enero de 2016 con la base de datos e imágenes adquiridas, muestran diferencias derivadas de la metodología y análisis realizados. Es así como el análisis de falso color (NDVI) realizado para diferenciar vegetación de agua y suelo inerte para el periodo 2005-2014, arroja que el sector de vega afectado al norte de la vega sur, no corresponde a vegetación si no que a un ojo de agua de aparición esporádica como se señala en el informe ORD. N°664/2015 del SAG.

Las diferencias en las superficies medidas están asociadas a las metodologías utilizadas para realizar estos cálculos (fotointerpretación de imágenes de baja resolución de la base de datos, fotointerpretación de imágenes de alta resolución y medición “in-situ” con equipos de alta precisión).

No es posible relacionar directamente la información presente en la base de datos de la Adenda N°3 de 2006, obtenida mediante fotointerpretación de imágenes satelitales, con la información obtenida en terreno en Enero de 2016 con equipos geodésicos avanzados de alta precisión ya que las diferencias, dada la escala de trabajo en la cual se encuentran, pueden ser atribuibles al margen de error acumulado de las diferentes metodologías empleadas.

Las Vegas asociadas al procedimiento de inspección fueron recorridas por su borde externo (track) con el objeto de determinar la superficie de ambas vegas. En la vega Norte, sin embargo, se realizó un segundo track por el perímetro del área afectada por el aluvión y una transecta de 20 m con evaluación de contactos cada 20 cm (método Point Quadrat). Todas las actividades fueron conducidas por profesionales del SAG.

Finalmente, y en relación a la recuperabilidad de la vega, se observó la presencia de densos cojines de musgos (briófitas) entre el mantillo, especies pioneras en las etapas de sucesión natural (ecológica) y que dan paso al establecimiento de nuevas especies. La mantención permanente del suministro hídrico natural de ambas vegas (escorrentía superficial y recarga de los acuíferos) y la presencia de musgos son factores importantes a considerar en la revegetación y recuperación natural de la zona afectada. La identificación de las especies presentes de musgos será entregada posteriormente.

2 Introducción

En virtud del proceso de sanción Rol A-002-2013, la Superintendencia de Medio Ambiente, SMA, en colaboración con el Servicio Agrícola y Ganadero, SAG, realizó una inspección a las vegas afectadas por el fenómeno de remoción en masa ocurrido el 10 de Enero de 2013 con el objeto de determinar la superficie de las vegas afectadas por este evento. En este sentido, las actividades realizadas en el mes de Enero de 2016 se llevaron a cabo en compañía de representantes de los interesados y personal de CMN SpA, como se detalla en la Tabla N° 1 siguiente.

Tabla 1: Participantes en la actividad¹

SMA	CMNSpA
<ul style="list-style-type: none"> • Camila Martínez Encina* • Bastián Pastén Delich • Paulina Abarca Cortés* • Alberto Rojas Segovia • Patricio Walker Huyghe 	<ul style="list-style-type: none"> • Gonzalo Montes* • Francisca Olivares Poch* • Ignacio Mujica Torres • Eduardo Wegener K. • Patricio Alfaro Tapia* • Christian González* • Misael González • Tania Altamirano • Alexis Zepeda
SAG	
<ul style="list-style-type: none"> • Mario Ahumada • Carmen Gloria Maldonado • José Andaur • Patrice Cathalifaud 	
COMUNIDADES VALLE DEL HUASCO	AGRICULTORES ALTO DEL CARMEN
<ul style="list-style-type: none"> • Constanza San Juan S.* • Gonzalo Amigo Pisk* • Orlando Macari Rosale 	<ul style="list-style-type: none"> • Gabriel del Río* • Nicolás del Río*

De acuerdo con el Expediente de Fiscalización Ambiental DFZ-2013-63-III-RCA-IA, Anexo 6, las Vegas cercanas a la “Obra Salida del Canal Perimetral Norte Inferior” (CPNI), fueron alcanzadas por remoción de material ocasionado por un aumento en el volumen de agua de deshielos ocurrido en la quebrada Q9. La magnitud del evento habría afectado dos zonas de vega dejándolas bajo capas de diversa densidad y profundidad de material sólido constituido por piedra y lodo. Dicho evento habría afectado tanto la cobertura vegetal como la calidad fitosanitaria de dos sectores de la vega conforme se visualiza en la Figura 1 siguiente.

¹ (*) no participaron de la inspección de las vegas visitadas.

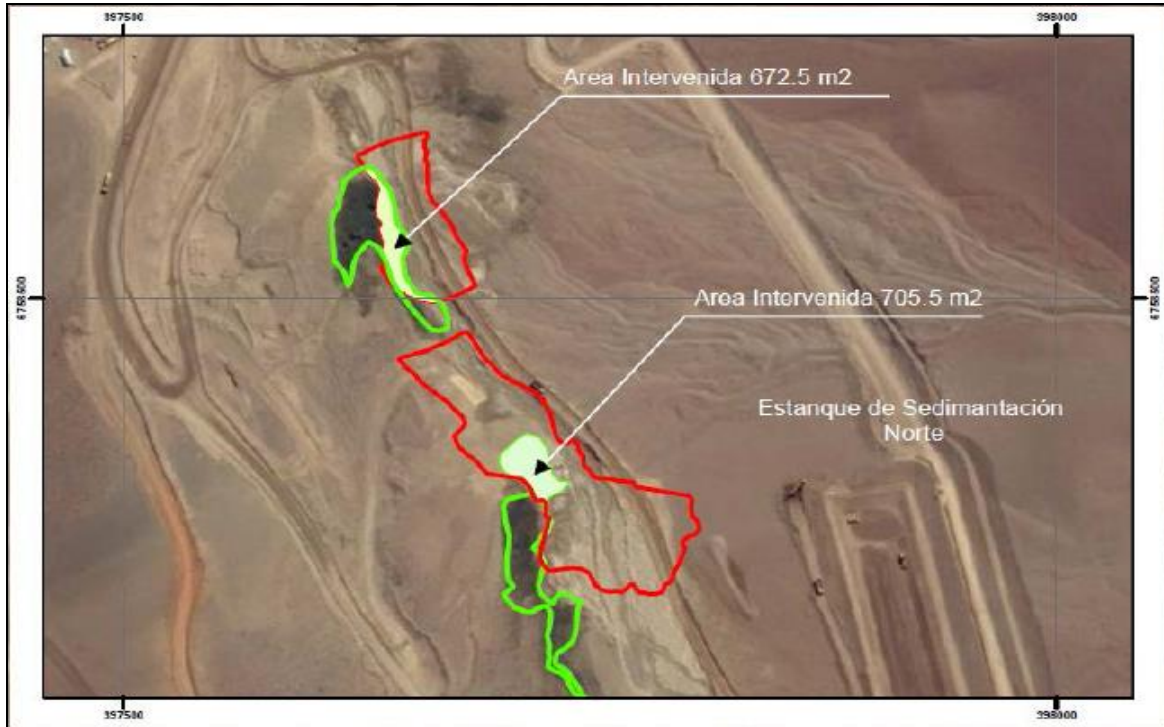


Figura 1: Vegas afectadas. Fuente: Informe Fiscalización Ambiental DFZ-2013-63-III-RCA-IA, Superintendencia de Medio Ambiente (SMA).

3 Objetivo

Inspección personal de la Fiscal Instructora de la SMA, en colaboración con el SAG, respecto de los sectores de Vega afectados por el aluvión del mes de enero de 2013, materia del procedimiento sancionatorio.

4 Metodología

El área de estudio, en este caso el área de inspección, se encuentra ubicada al sur de la región de Atacama y norte de la región de Coquimbo proyecto Pascua-Lama. Para el caso de la inspección realizada el día 20 de enero de 2016, el área específica corresponde a pequeñas vegas ubicadas en la zona alta del río del Estrecho frente a la Plataforma N°7, sector NE-5, (coordenadas UTM 395.009 N, 6765.629 E y 404.283 N, 6.754.727 E, Datum WGS 84, Huso 19S), y se encuentra inserta en un área de transición climática entre la región de Antofagasta con condiciones de hiper-aridez, y la región de Coquimbo con condiciones mediterráneas semi-áridas (Juliá et al, 2008). Figura 2.

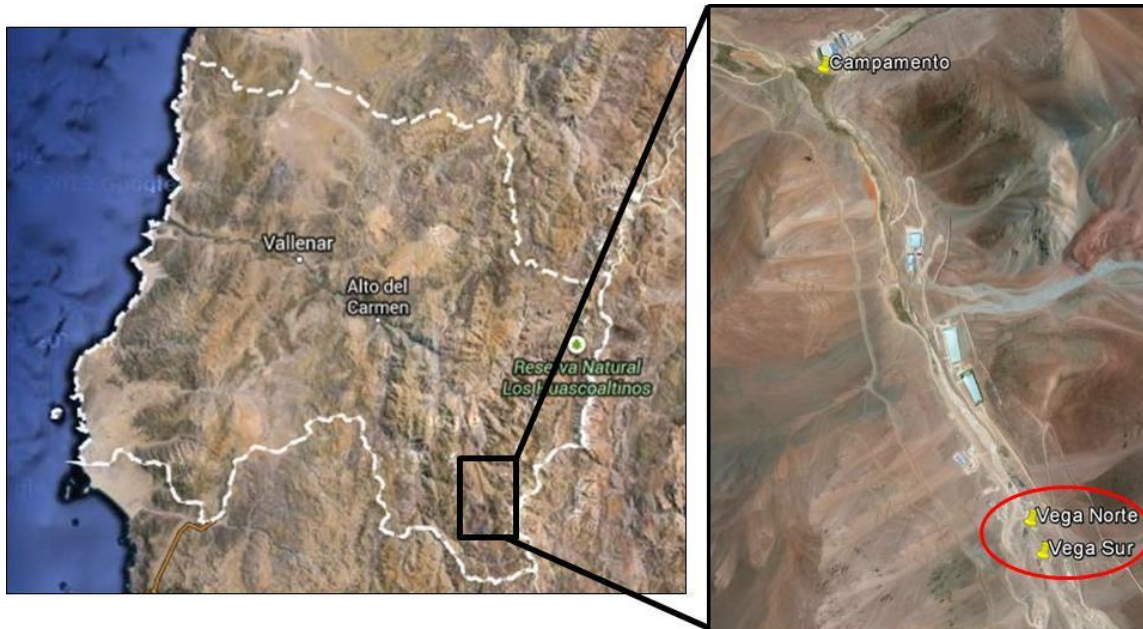


Figura 2: Área de Estudio.

En esta zona las condiciones climáticas se encuentran determinadas por la confluencia de tres rasgos fundamentales: la presencia del Anticiclón Subtropical del Pacífico Sur, las últimas manifestaciones del cinturón de vientos de oeste de latitudes templadas hacia el sur de la región y el cinturón de vientos Alisios provenientes de la vertiente amazónica hacia el norte de la misma (Miller, 1976; Garreaud et al., 2003; Juliá et al., 2008). En esta zona la distribución de las precipitaciones se encuentra regulada por la altitud y la distancia a la costa (Juliá et al., 2008); se concentran en los meses de invierno y son escasas, superando los 100 mm por año lo que se incluye a la región en la categoría de zona árida (Henríquez, 2013). Sin embargo, junto con las precipitaciones invernales, las lluvias convectivas estivales (invierno boliviano) aportan precipitaciones en la alta cordillera de manera decreciente de norte a sur (Gajardo 1994; Garread et al. 2008). En este lugar la distribución de la vegetación se encuentra determinada por las precipitaciones estivales, pendiente, exposición, altitud y las características de suelo (Ahumada & Faúndez, 2001).

La formación vegetal que se desarrolla en esta zona es compleja y transicional y se extiende desde el sur de la Región de Atacama hasta el norte de la Región de Coquimbo, siendo reconocida como estepa alto andina (Gajardo, 1994).

La zona de vegas, objeto de esta inspección, se inserta en la parte alta de la cuenca del Río del Estrecho y su dinámica de restauración y recuperación depende del comportamiento de la

escorrentía superficial y de la recarga de los acuíferos que se producen en la parte alta de la cuenca (Quebrada La Olla) de acuerdo con los estudios de nivel freático realizados por la Universidad de Waterloo los años 2012 a 2015² en la vega NE-5 y las mediciones consideradas en la RCA N°24 de 2006. Ambos documentos señalan que las aguas que alimentan las vegas en el tramo superior del Rio del Estrecho son distintas a las del rio en composición fisicoquímica (ej. rio pH 3-4 y surgencias pH 6-7).

El tipo de vega de la formación afectada corresponde a vega no salina compuesta por especies de crecimiento rizomatoso que forman un césped parejo o desarrollo de cojines herbáceos menores a 40 cm de altura y presenta afloramientos salinos con porcentajes menores al 20% en los periodos de mayor aridez (inicios de primavera) de acuerdo con la “Guía descriptiva de los sistemas vegetacionales azonales hídricos terrestres de la ecorregión altiplánica” de Ahumada y Faúndez, SAG 2008.

Con el objeto de replicar el recorrido pedestre realizado por los profesionales de la SMA y SAG, se contó con apoyo de geomensura de CMN quienes registraron el trayecto con un equipo Trimble R8 con sistema de navegación por satélite GNSS de alta precisión que cuenta con un equipo GPS de doble frecuencia de medición Geodésica de 440 canales. La precisión del equipo es del orden de 8mm en el plano horizontal y 15 mm en el plano vertical. Las coordenadas que entrega este equipo están configuradas en UTM 19 S, Datum WGS84 (Sirgas 2000). Las actividades también fueron registradas con un equipo Garmin E-Trex 30, el cual cuenta con un margen de error de 3 a 5 metros. El recorrido por las vegas se realizó por el borde externo de las vegas y consideró sólo la vegetación que depende directamente del suministro hídrico, excluyéndose las formaciones de Azorella.

² Dichos informes fueron enviados al Director Regional del Servicio de Evaluación Ambiental de la Región de Atacama el 6 de junio de 2012, mediante carta PL-078/2012. Respecto de los años siguientes, se subieron los antecedentes de dicho informe al portal web de la SMA con fecha 27 de julio de 2015 (código verificador 34484).

Tanto los recorridos registrados como la Base de Datos fueron comparados con imágenes satelitales adquiridas por Bioma Consultores S.A. para el periodo 2005-2014 con el objeto de realizar un estudio multitemporal y análisis NDVI³ y NDWI⁴, que miden vigor vegetativo (fotosíntesis) y humedad respectivamente.

5 Resultados

Los recorridos por el perímetro de las Vegas Norte y Sur se realizaron de acuerdo con lo planificado al inicio de la actividad, como se muestra en las Figuras 3 y 4. Las actividades se iniciaron en la Vega Sur donde se observó la presencia de seis guanacos (*Lama guanicoe*) en conducta de forrajeo. Además se constató la presencia de abundantes fecas y plumas, las cuales evidencian de forma indirecta la presencia de microfauna y avifauna los que ocupan regularmente estas vegas como fuente de alimento, refugio y en el caso de guanacos, como revolcaderos.

³ Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI por sus siglas en Inglés)

⁴ Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI por sus siglas en Inglés)



Figura 3: Vega Sur: Recorrido por el borde externo de la vega.



Figura 4: Vega Norte: Recorrido por el borde externo de la vega.

Mientras que en la Vega Sur sólo se realizó el track del recorrido por el perímetro de la vega, en la Vega Norte se delimitó además, el área afectada por el aluvión del mes de enero de 2013, como se muestra en la Figura 5. En este sector, los profesionales del SAG realizaron una transecta de 20 m con evaluación de contactos cada 20 cm (método Point Quadrat) como se observa en las Figuras 5 y 6.



Figura 5: Delimitación del área afectada en la vega Norte en base a imagen tomada el día 20 de enero de 2016, por Tania Altamirano, perito de Bioma Consultores S.A.



Figura 6: Transecta realizada por profesionales del Servicio Agrícola y Ganadero en Vega Norte. Imagen tomada por Tania Altamirano el 20 de enero de 2016.

El registro del recorrido realizado, con equipo Trimble R8, se muestra en la Figura 7. Este se puede apreciar sobre imagen satelital WordView2 de fecha 2 de Abril de 2014 que cuenta con una resolución multispectral de 2,0 metros y de 0,5 metros en el espectro pancromático.

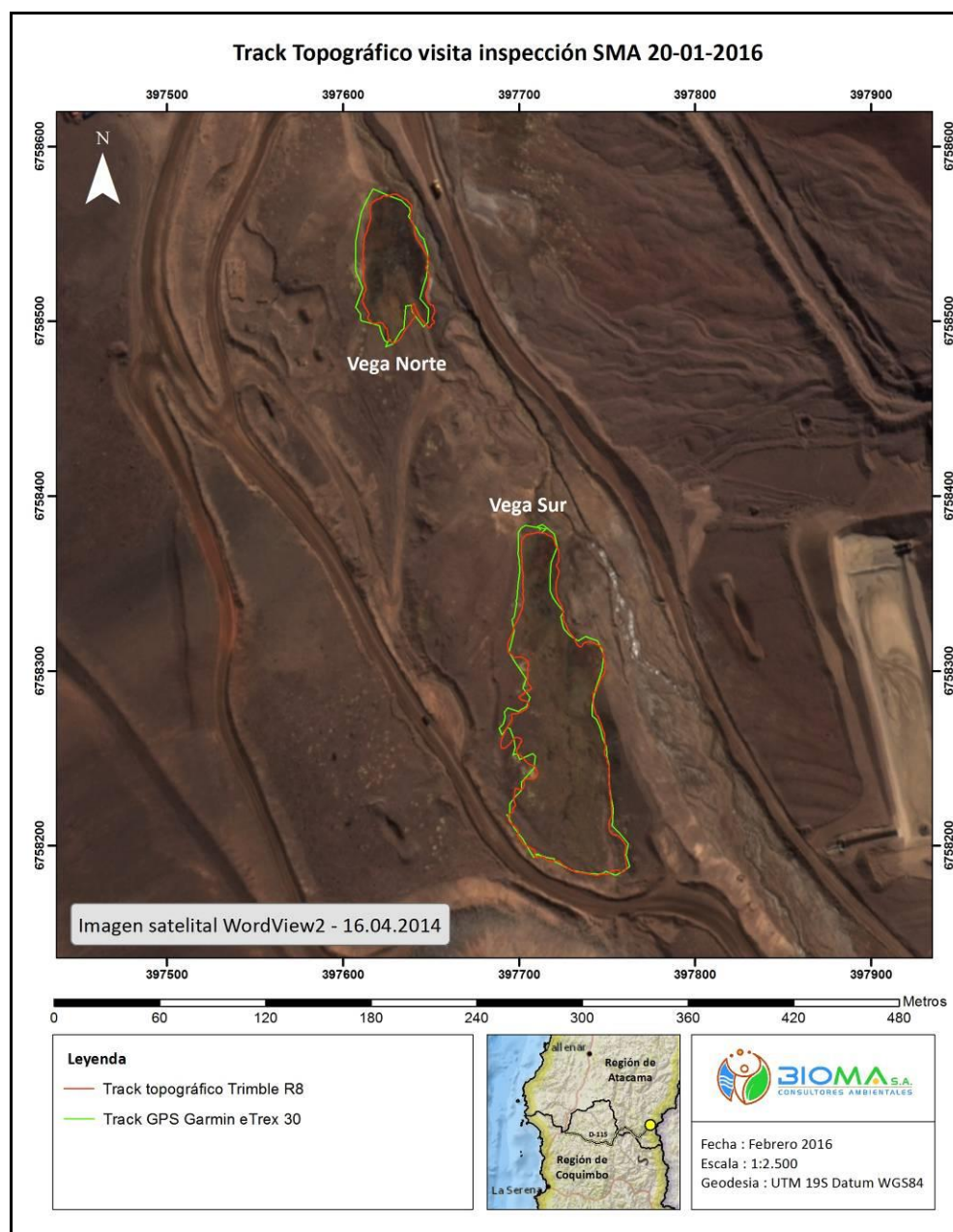


Figura 7: Registro del recorrido realizado con equipos Trimble R8 y Garmin E-Trex 30 el día 20 de Enero de 2016. Elaboración propia.

El cálculo de las superficies medidas en las Vegas Norte y Sur, con los equipos Trimble y Garmin se muestran en la Tabla 2 siguiente.

Tabla 2: Cálculo de superficies vegas Norte y Sur con equipos de alta precisión y manual.

COBERTURA VEGAS	SUPERFICIE (Ha)	
	VEGA NORTE	VEGA SUR
Trimble R8	0,238	0,777
Garmin E-Trex 30	0,264	0,800

El registro del área afectada en la Vega Norte, así como la transecta realizada por los profesionales del SAG, se muestran en la Figura 8.

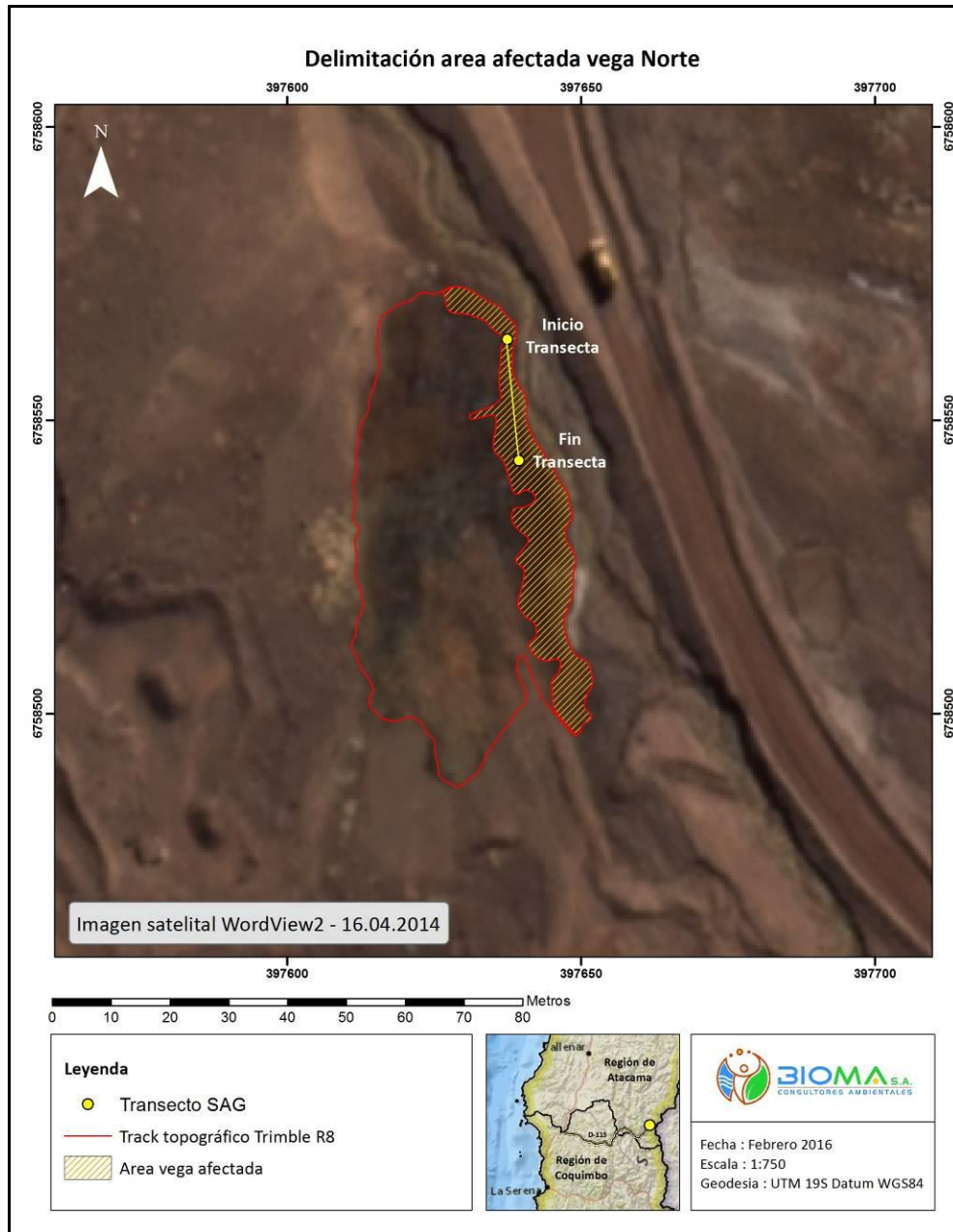


Figura 8: Delimitación superficie afectada en Vega Norte y transecta realizado con equipo Trimble R8. Fuente: Elaboración Propia.

La superficie catastrada con el equipo Trimble R8 arroja una superficie total de la vega evaluada (Norte) de 0,238 há (2382,2 m²) y de 0,047 há (477,6 m²) para la superficie afectada en este sector.

La Figura 9 muestra rebrotes de vegetación observados en la zona afectada así como la presencia de musgos, especies pioneras en las sucesiones naturales que como se puede observar en la imagen (C) crece sobre los restos de materia muerta convertida en sustrato.



Figura 9: Presencia de musgos entre rebrotes de *Oxychloe* (A) y bajo el mantillo (B). Cojín de musgos creciendo sobre cojín muerto que forman el mantillo (C). Imágenes tomadas el día 19 de enero de 2016, por Tania Altamirano, perito de Bioma Consultores S.A.

Para efectos de monitorear la evolución del estado de esta Vega, se recomienda utilizar los mismos puntos comprendidos en la transecta realizada por personal del SAG en la inspección del día 20 de enero de 2016. En este sentido, es necesario conocer los detalles de la información levantada en terreno por el SAG. La señalada información permitirá efectuar un seguimiento de los niveles de recuperación del mencionado ecosistema. Cabe destacar que la realización de una transecta supone la realización de actividades de seguimiento para efectos de constatar la evolución del proceso de recuperación del área en cuestión, las cuales deberían realizarse durante el mes de marzo del presente año, dadas las particularidades de estos ecosistemas.

No obstante lo anterior las fotografías de la Figura 9 anterior, claramente dan cuenta del inicio de un proceso de recuperación natural en las zonas donde CMN SpA efectuó actividades de limpieza posteriores al incidente investigado en este proceso.

En esta vega también fue posible observar otras especies, muchas de ellas en flor como se muestra en la Figura 10 siguiente.



Figura 10: Flora y vegetación registrada durante la actividad de inspección. Especies de los géneros *Oxychloe*, *Calandrinia*, *Ranunculus*, *Arenaria*, *Mimulus*, *Junellia* y *Azorella* entre otros, además de la presencia de algunas especies de musgo sobre el mantillo. Imágenes tomadas el día 20 de enero de 2016, por Tania Altamirano, perito de Bioma Consultores S.A.

Durante la inspección de la Vega Norte se observó una tubería y brote de agua. Este punto corresponde a un pozo surgente (emergente o artesiano) ubicado en las coordenadas 6758821N 397832E, cuyo monitoreo se encuentra comprometido en la Adenda N°2 de 2005, RCA N°24/2006 Respuesta a Observaciones 7.1 a.2), Adenda N°2/2005 Sección 2 Recursos Hídricos y Anexo II-D-2 Plan de Monitoreo de Calidad de Aguas 2005. Este punto de monitoreo es identificado como BT-2 (Figura 11).



Figura 11: Punto de monitoreo BT-2 en Vega Norte.

Por otro lado se observaron tramos del río Estrecho, frente a la Vega Norte, con precipitados de color rojizo y blanco (Figura 12). Este fenómeno se produce debido a la presencia natural de minerales en el agua producto del cambio de pH que experimenta el río Estrecho (pH 3-4) al recibir el aporte de aguas desde La Olla (pH 6-7) (Waterloo, 2013). Este fenómeno se encuentra descrito en la RCA 24/2006. La variación estacional en las concentraciones de los minerales, la diferencia en la conductividad, la temperatura, presencia de sulfatos y bicarbonatos en las aguas que se mezclan, generan reacciones químicas que es posible apreciar a simple vista en forma de precipitados.



Figura 12: Fenómeno natural de precipitación de minerales en el río.

6 Discusión

Análisis de metodologías de delimitación espacial utilizadas

Las actividades realizadas en las Vegas guardan relación con el compromiso adquirido en la Adenda N°3 de 2006, Sección 9 Flora y Fauna, figura 9.2 como se muestra en la Figura 13.

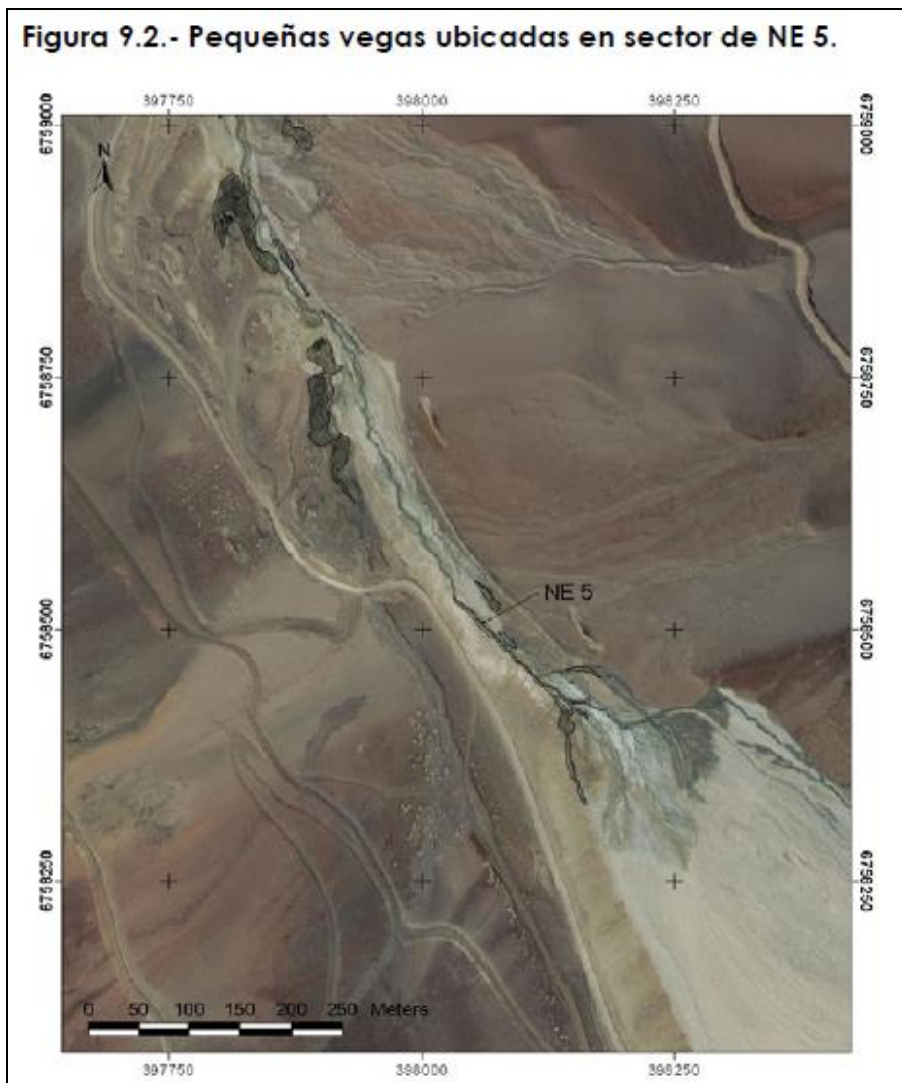


Figura 13: Figura 9.2, sección 9 Adenda 3 de 200 muestra la delimitación de las vegas mediante fotointerpretación. Fuente: Adenda N°3/2006.

Se debe tener en cuenta que, tal como se señaló en el informe pericial relativo a la visita de la Vega Pascua (Campamento Barriales), existen diversos métodos para la delimitación de áreas, ya sea mediante imágenes satelitales o con mediciones in-situ, pero se deben considerar las ventajas y desventajas de cada una de las metodologías elegidas. Por un lado, la fotointerpretación mediante imágenes satelitales tiene la ventaja de ser una metodología rápida y que permite identificar grandes coberturas, sin embargo adolece de no ser precisa a grandes escalas, es decir cuando se trabaja a escalas menores a 1:1.500. En el sector identificado como “Pequeñas Vegas” (Figura 13) se identificaron vegas mediante fotointerpretación en base a la imagen satelital del sensor IKONOS del año 2005 que cuenta con una resolución multispectral de 3,2 metros y de 0,8

metros en el espectro pancromático metodología que debe considerar los errores los errores a los cuales está asociada como:

- **Ortorectificación.** Las imágenes satelitales en crudo (como las toma el sensor) deben ser ortorectificadas (corrección geométrica) en sus primeras etapas de procesamiento, lo cual minimiza errores de desplazamiento causados por la inclinación del sensor y el relieve del terreno, sin embargo estos errores no son posibles de eliminar en su totalidad, presentándose desviaciones topográficas que se acentúan al realizar fotointerpretación de áreas a escalas mayores a 1:2.500.
- **Resolución espacial.** La fotointerpretación de la imagen multispectral (dada la ventaja de apreciar tonalidades de color), presenta un error de delimitación de al menos 3,2 metros que es el tamaño de cada pixel, por lo tanto se puede clasificar en el polígono dibujado, áreas que en la práctica no corresponden a lo que se desea identificar. Por otra parte, si se dibuja mirando la imagen pancromática que tiene mejor resolución, se pierde nivel de detalle en zonas con bajo contraste, y por ende, tampoco es precisa la delimitación de polígonos. Por consiguiente, hay elementos cartográficos donde no es posible discriminar en las imágenes citadas anteriormente debido, básicamente, a la resolución detectable (que es función directa de la resolución espacial y que define finalmente la escala) que no permite discriminar objetos que estén por debajo del tamaño que presenta este valor.

La medición en terreno por su parte, es un método de obtención de datos “in-situ” mediante herramientas avanzadas de topografía, como es el caso de lo realizado en la reciente visita de inspección de la SMA al sector de las Vegas Norte y Sur. Esta forma de medición es muy puntual y precisa comparada con la fotointerpretación. Sin embargo, y al igual que la metodología de fotointerpretación, presenta aspectos técnicos a considerar. Para el caso de las actividades realizadas junto a la SMA y SAG, la medición se realizó utilizando un sistema Trimble R8 GNSS, tecnología de medición geodésica avanzada que utiliza el código y la fase de las observaciones GNSS en modalidad diferencial RTK (medición en tiempo real), obteniendo posiciones con un error menor a los 3 cm.

Para realizar cálculos y comparaciones con polígonos de delimitación de áreas se debe tener en cuenta los aspectos técnicos mencionados ya que sólo es posible comparar polígonos generados bajo igualdad de condiciones y métodos de muestreo. De compararse polígonos realizados con

metodologías distintas como por ejemplo, la foteointerpretación (utilizada el 2006) versus medición in-situ (utilizada el 2016), el margen de error se incrementa considerablemente, pudiendo incluso llegar a compararse áreas distintas. Lo anterior queda graficado al acoplar la información obtenida el día 20 de Enero de 2016 en terreno con equipo Trimble R8 (Figura 7) con la información presente en la Base de Datos de la Adenda N°3 (Figura 13). El cruce de esta información se muestra en la Figura 14.

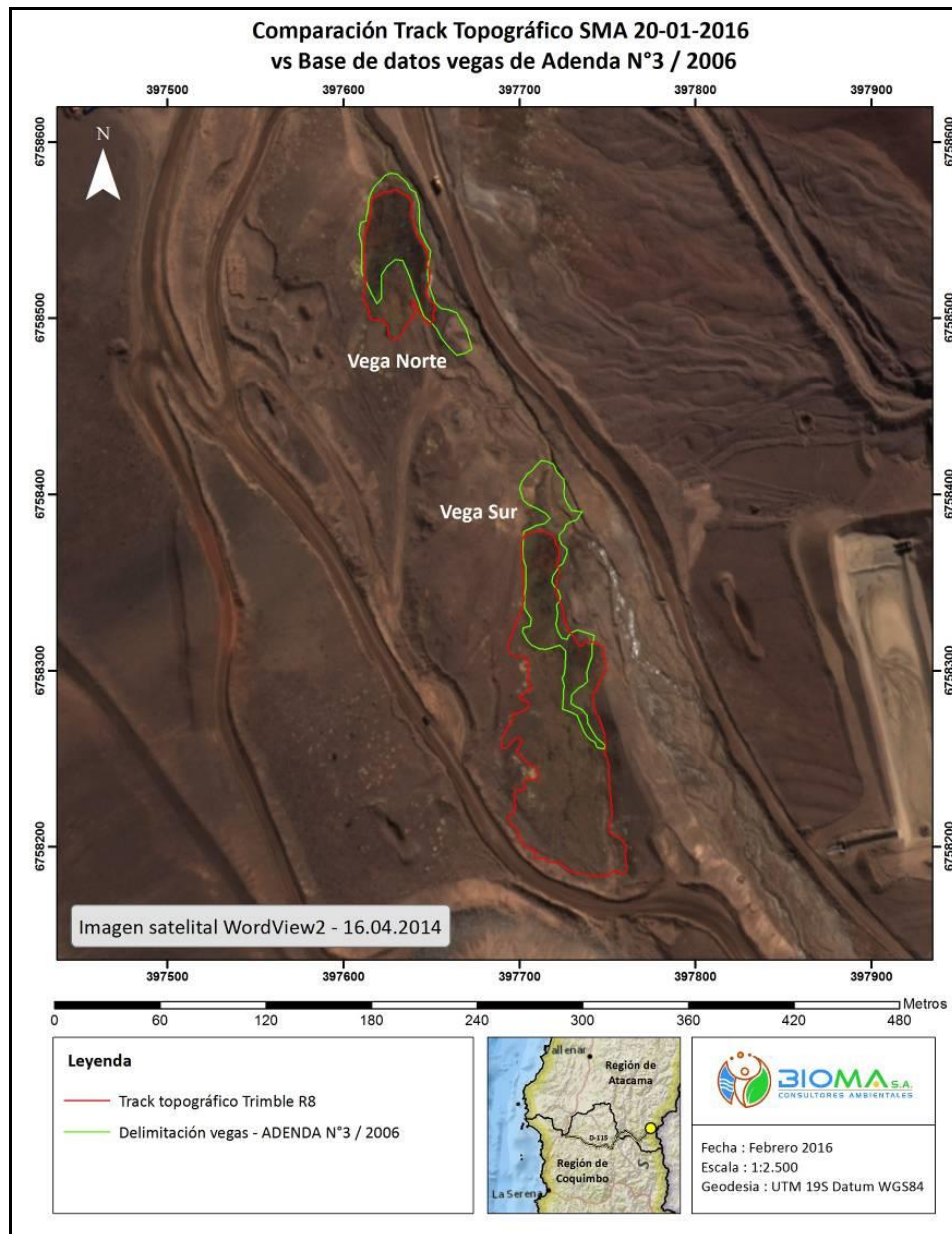


Figura 14: Superposición de información topográfica obtenida en terreno (Enero 2016) y base de datos Adenda N°3/2006. La imagen de fondo utilizada corresponde a una fusión del espectro multispectral y pancromático lo que da como resultado una imagen a color de resolución 0,5m.

La diferencia de superficie que se evidencia en la Figura 14, se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2: Cálculo de superficies.

SECTOR	COBERTURA VEGAS (Ha)		
	BASE DATOS (ADENDA N°3/2006)	EQUIPO TRIMBLE R8	GPS GARMIN E-Trex 30
VEGA NORTE	0,236	0,238	0,264
VEGA SUR	0,266	0,777	0,800

Las diferencias constatadas tienen su origen, por un lado en la utilización de metodologías que no son directamente comparables a estas escalas y por otro, al factor estacional que puede subestimar la cobertura vegetal efectiva. Adicionalmente se debe considerar que en la Vega Sur, se identificó erróneamente como parte de la vega una superficie que no presenta vegetación, la que de acuerdo al estudio multitemporal realizado por Bioma Consultores S.A., y según lo informado por el SAG (Ordinario 664-2015), corresponde a una superficie con agua (“ojo de agua”).

La comparación topográfica de superficies es válida siempre y cuando las metodologías de delimitación de los polígonos sean las mismas o equivalentes dentro de parámetros espaciales, considerando el margen de error que estos presenten.

De este modo, si se realiza una fotointerpretación de imágenes satelitales, será factible comparar dichas coberturas con otras realizadas bajo similitud de condiciones, entendiéndose por tal, imágenes con el mismo nivel de ortorectificación (corrección geométrica), resolución espacial (igualdad de tamaño del pixel) e igual sistema de referencia en el polígono final. Sin embargo, y tomando incluso los mismos parámetros metodológicos, las áreas igualmente estarán afectas a un margen de error, principalmente por la ortorectificación que no elimina todos los errores de desviación topográfica, y de la resolución espacial en donde el propio tamaño del pixel define la escala de discriminación de objetos. Por tanto, la fotointerpretación será acertada mientras se comparen superficies de gran tamaño, ya que su margen de error será pequeño, en cambio al comparar superficies pequeñas, el margen de error aumenta.

Si la delimitación es mediante medición en terreno utilizando herramientas avanzadas de topografía, la precisión de este será en torno a los centímetros, pudiendo delimitar de forma muy acabada alguna cobertura, sin embargo esta misma precisión se debe tomar en cuenta al hacer comparación de superficies, ya que al momento de hacer el registro, una pequeña diferencia en la ruta del catastro, significará diferencias en la cobertura registrada.

La comparación de superficies en donde se utilicen metodologías distintas de delimitación, no es precisa y conlleva un gran margen de error, como sucede en el caso de las vegas en estudio, en donde la superficie de las vegas identificadas en la Adenda 3 son producto de la fointerpretación de la imagen satelital del sensor IKONOS del año 2005, que cuenta con una resolución multiespectral de 3,2 metros, mientras que la cobertura registrada en la visita de la SMA fue realizada “in-situ” mediante medición topográfica avanzada (con precisión centimétrica). Es decir, las metodologías utilizadas no son comparables a la escala de trabajo, ya que el margen de error es considerable, llegando a desplazamientos topográficos evidentes (ver Figura 14).

Análisis de imágenes mediante aplicación de metodología de falso color

El procesamiento de imágenes (falso color) permite discriminar áreas con presencia de vegetación de aquellas donde esta no está presente. Gracias a la aplicación de esta metodología es posible apreciar que la zona de la Vega Sur, identificada como afectada en el proceso A-002-2013, no presenta vegetación entre los años 2005 a 2014⁵ y que lo identificado en la Adenda N°3 corresponde a acumulación de agua que no responden a variaciones estacionales como muestra la Figura 15 (ver Anexo 1, análisis multitemporal).

⁵ Cabe hacer presente que no se incluyen imágenes del año 2006, puesto que no existen imágenes satelitales disponibles del sector que cuenten con la misma resolución con la cual se realizó el análisis.

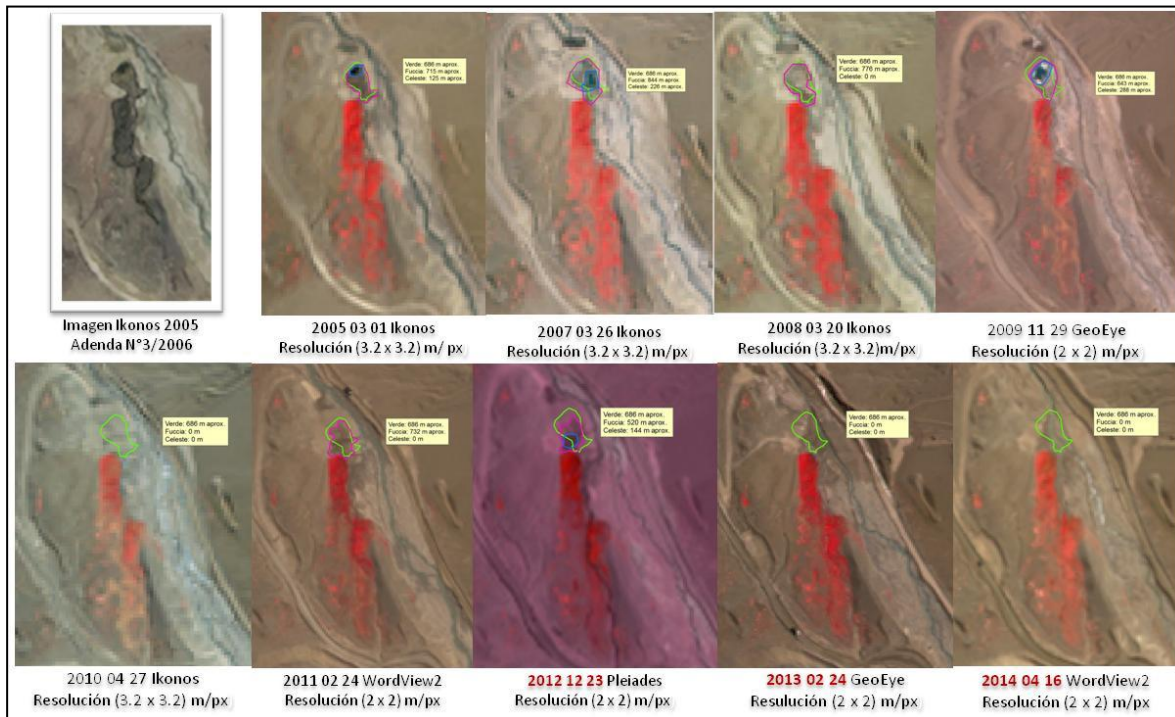


Figura 15: Imágenes satelitales resolución submétrica en Falso color (4-3-2) de la Vega Sur en comparación con imagen de la Base de Datos, Adenda N°3/2006. Verde: delimitación según Base de Datos Adenda 3/2006; Fucsia: modificación espacio-temporal de la superficie identificada en la Adenda N°3/2006; Celeste: modificación espacio-temporal de la superficie con agua.

Se debe considerar que estos sistemas presentan un corto periodo de desarrollo acotado a la estación de verano (Squeo et al, 2006), donde la disponibilidad de agua controla aspectos tan importantes como la productividad primaria (Convención de Ramsar y Grupo de Contacto EHAA, 2008). De acuerdo con Ahumada y Faúndez (2009), el mes que presenta el menor déficit hídrico para realizar evaluaciones anuales de estos sistemas es el mes de Marzo.

Respecto de los sectores de vegas visitadas se pudo constatar en terreno la disponibilidad de recurso hídrico para la mantención y recuperación de estos sistemas.

Adicionalmente, las imágenes satelitales de alta resolución son una herramienta que permite realizar procesamiento de imágenes con el objeto de discriminar vegetación, agua y suelo estéril (análisis NDVI y NDWI), las cuales constituyen la base del estudio multitemporal que se acompaña como ANEXO I a este documento y que resumidamente se describe a continuación.

La Figura 16 siguiente, muestra la aplicación de esta herramienta para los años 2011, 2012, 2013 y 2014, considerando el año 2011 como la Imagen Objetivo, o imagen del sistema previa al evento.

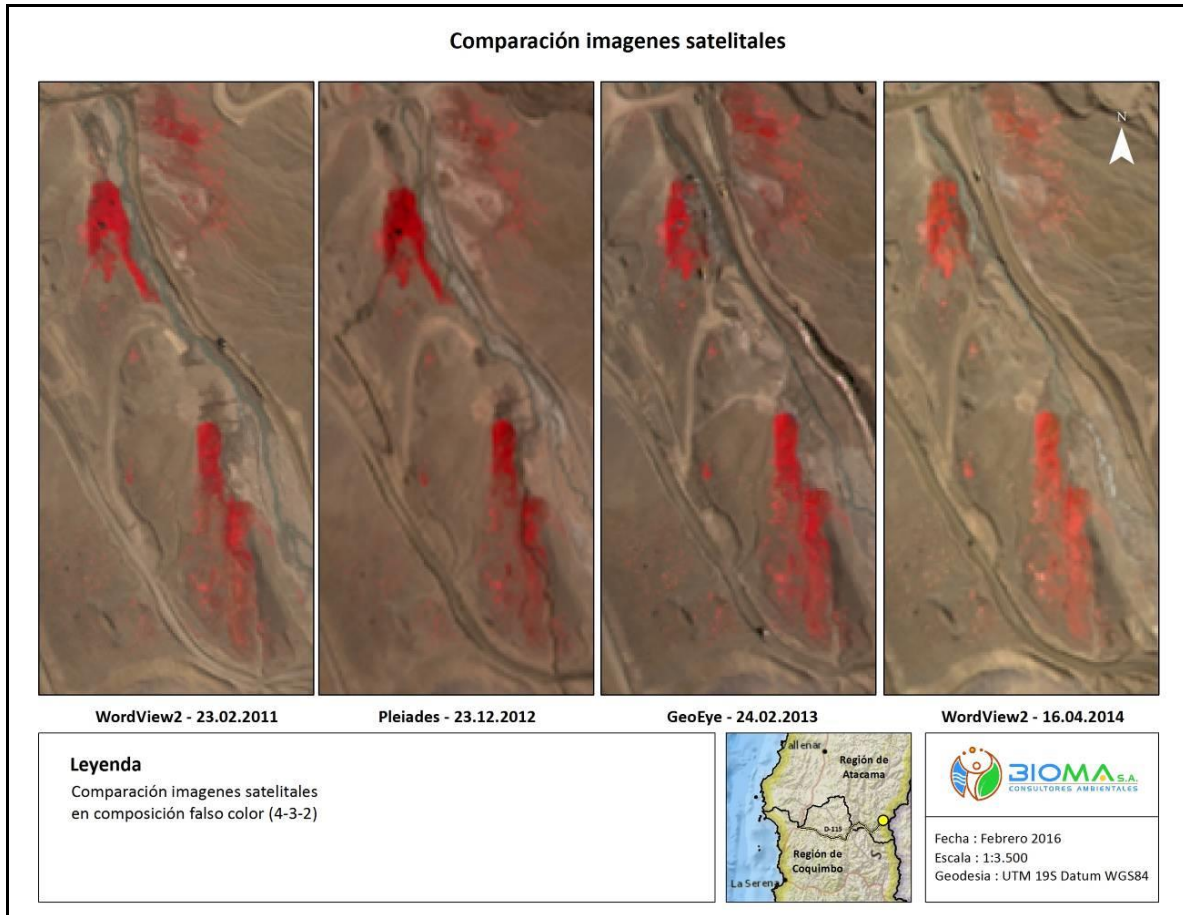


Figura 16: Imágenes satelitales resolución submétrica en Falso color (combinación de bandas 4-3-2) de las Vega Norte y Sur entre los años 20011 y 2014.

La imagen 2012 fue tomada el día siguiente al primer evento de remoción en masa (aluvión) y permite constatar que este evento no tuvo efectos sobre las vegas objeto de este peritaje. La imagen 2013 en tanto, de fecha 24 de Febrero, evidencia en el sector de la vega Norte, la alteración producida tras el evento aluvional. Esta imagen es posterior a las actividades de limpieza ejecutadas por la empresa.

En la imagen 2014, en tanto, al compararla con la imagen 2013, se evidencia actividad vegetativa (recuperación) en las zonas dañadas de la Vega Norte a un año de ocurrido el evento.

De esta forma, la información y análisis de las imágenes satelitales explicadas precedentemente es consistente con lo constatado en terreno el día de la visita respecto de la recuperación de la Vega Norte, en tanto, se evidencia actividad vegetativa.

Por su parte, respecto de la existencia del ojo de agua en la Vega Sur, nuevamente la información y análisis de las imágenes satelitales es consistente con lo constatado en terreno el día de la visita en tanto no existe en esta zona presencia de vega.

7 Conclusiones

No es posible relacionar directamente la información presente en la base de datos de la Adenda N°3 de 2006, obtenida mediante fotointerpretación de imágenes satelitales, con la información obtenida en terreno el día 20 de Enero de 2016 con equipos geodésicos avanzados de alta precisión, ya que las diferencias de superficie evidencian la utilización de metodologías no directamente comparables.

Las diferencias constatadas tienen su origen, por un lado en la utilización de metodologías que no son directamente comparables a estas escalas y por otro, al factor estacional que puede subestimar la cobertura vegetal efectiva. Adicionalmente se debe considerar que en la Vega Sur, se identificó erróneamente como vega una superficie que no presenta vegetación, la que de acuerdo al estudio multitemporal realizado por Bioma Consultores S.A., corresponde a una superficie con agua (ojo de agua), lo cual fue confirmado en terreno.

Por otro lado, el resultado del estudio multitemporal (ANEXO I) y el análisis de imágenes de falso color realizado por Bioma Consultores S.A. permitió identificar el impacto del evento aluvional del mes de enero acotado al sector de la Vega Norte y confirmar que una de las zonas identificadas como afectadas por el evento (extremo norte de Vega Sur) no presentaba vegetación en ninguno de los años analizados y que correspondía a un área de acumulación esporádica de agua (formación de un “ojo de agua”) en épocas de mayor disponibilidad del recurso, tal como lo confirma el informe ORD N°664/2015 del SAG y la visita a terreno de fecha 20 de enero de 2016.

El estudio realizado por Bioma Consultores S.A. también permitió redefinir la cobertura de las vegas en el sector y confirmar que éstas se mantienen e incluso podrían estar aumentando al compararse con la cobertura del año anterior al evento (2011). Esta situación se vio confirmada en la visita a terreno del día 20 de enero de 2016. Todo lo anterior permite concluir que las vegas del sector deben considerarse como un sistema ecológico variable compuesto por vegetación y cuerpos de agua que en conjunto conforman un humedal altoandino donde perturbaciones naturales, como aluviones, constituyen dinámicas que regulan la estructura y funcionamiento de los humedales de quebrada, alteran su memoria ecológica y los mantienen en un estado inicial sucesional constante, con materia orgánica alóctona, metabolismos heterótrofos y rápida capacidad de recuperación o resiliencia (Ahumada y Faúndez, 2009).

Se evidenció en la visita del día 20 de Enero de 2016, que los procesos sucesionales se han iniciado observándose especies pioneras como los musgos, con presencia de más de una especie perteneciente a este grupo, conforme se puede observar en la Figura 9 del informe.

Por otro lado se debe considerar que se han mantenido aportes hídricos en el sector, reconocidos como fuente principal en el sustento de las vegas de la parte alta del río Estrecho (aportes desde Quebrada La Olla), lo cual constituye una condición indispensable para su mantención y recuperación.

Finalmente, la constatación directa de guanacos en conducta de forrajeo sobre la vega, sumado a la detección indirecta de micromamíferos y avifauna, evidencia la mantención de las funciones ecológicas de las vegas Norte y Sur que sustentan a la fauna silvestre del lugar.



Alexis Zepeda Contreras
Médico Veterinario



Tania Altamirano Azócar
Bióloga Ambiental

ANEXO I

Análisis Multitemporal Vegas Afectadas por Eventos Aluvionales Proyecto Pascua-Lama

Elaboración de informe: Septiembre 2015.

INDICE

1 INTRODUCCION.....	30
2 OBJETIVOS	31
2.1 Objetivo general	31
2.2 Objetivos específicos	31
3 METODOLOGIA	31
3.1 Caracterización y pre- procesamiento de imágenes satelitales.....	31
3.2 Índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI)	32
3.3 Índice normalizado del agua (NDWI).....	33
3.4 Integración de índices.....	34
3.5 Calculo de áreas en vegas afectadas	34
4 RESULTADOS.....	36
4.1 Preparación inicial de imágenes satelitales	36
4.2 Estimación de la superficie de las Vegas Pascua-Lama.	38
4.3 Índices de vegetación y agua disponible.	43
5 DISCUSIÓN	58
6 BIBLIOGRAFIA.....	60

1 INTRODUCCION

Se presenta el siguiente informe a raíz de los eventos aluviales estivales ocurridos entre Diciembre de 2012 y Enero de 2013, y que afectaron un sector de vegas ubicadas en la zona alta del rio Estrecho (coordenadas UTM (Huso 19S, WGS84) 397.670 Este y 6.758.450 Norte, aproximadamente).

Dados los antecedentes recopilados a la fecha se planteó la necesidad de analizar la cobertura real del sector identificado como vegas afectadas por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), actividad contemplada en la primera etapa del diseño del Plan de Recuperación Ambiental.

La adquisición de imágenes satelitales multiespectrales del área afectada se realizó con el objetivo de determinar la variación multitemporal de la cobertura vegetal y del agua en las áreas asociadas. Las imágenes adquiridas corresponden al año 2005 y el periodo entre los años 2007 a 2014, no existiendo imágenes satelitales del área en estudio para el año 2006.

El análisis contempló el cálculo del “Índice de Vegetación Diferencial Normalizado” (NDVI), así como también del “Índice Normalizado del Agua” (NDWI). El NDVI, es un índice que se expresa como la diferencia de entre las bandas de infrarrojos cercanos y rojos, y que es normalizado por la suma de esas bandas. Es utilizado comúnmente para evaluar la existencia de organismos que realizan fotosíntesis. Su escala de medición varía entre -1 y 1, donde valores <0 representa sectores sin vegetación superficial, y valores >0 sectores con presencia de vegetación. En el caso de NDWI, el índice considera la diferencia de entre la banda verde y la banda de infrarrojos cercanos, normalizado por la suma de estas bandas, siendo utilizado para determinar sectores con presencia de agua (valores >0) de aquellos sectores con baja probabilidad de encontrar agua (valores <0). Mediante la aplicación de estos índices se estimaron las coberturas de vegetación y sus áreas asociadas, visualizándose la dinámica de ubicación espacial de estos elementos en el periodo de los años de análisis.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Determinar la variación de cobertura, superficie y distribución multitemporal de las vegas afectadas por el evento aluvional.

2.2 Objetivos específicos

- Estimar la cobertura vegetal mediante la aplicación del índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI).
- Estimar la cobertura de los espejos de agua asociados a las vegas mediante la aplicación del índice de Normalizado del Agua” (NDWI).
- Generar cartografía temática integrando los índices NDVI y NDWI para cada año de estudio.
- Identificar las áreas que han sido afectadas por los aluviones y las posibles consecuencias de este evento.

3 METODOLOGIA

Se propone un análisis geoespacial para el periodo comprendido entre los años 2005-2014, con especial énfasis en los años pre y post evento aluvional (2012 y 2014). Esta metodología describe cada una de las herramientas y procedimientos que buscan dar una respuesta satisfactoria a los requerimientos de la autoridad.

3.1 Caracterización y pre- procesamiento de imágenes satelitales

El análisis contempla la utilización de imágenes satelitales multiespectrales correspondientes a los satélites descritos en la Tabla 1. Se debe tener en consideración que las imágenes corresponden a distintos meses (dada la disponibilidad de imágenes en la zona de estudio), por lo tanto las coberturas de vegetación y agua estimadas pueden variar dependiendo del mes en que fue capturada la imagen. Otro factor a considerar es que no existen imágenes de la zona para el año 2006, lo que impide realizar los cálculos respectivos para ese año.

Tabla 1. Satélites utilizados en estudio multitemporal de vegas altoandinas en el sector de la Cuenca alta del río Estrecho.

Sensor	Resolución Multiespectral	Resolución pancromática	Fecha de captura
Ikonos	3.2 x 3.2 m	0.8 x 0.8 m	Marzo, 2005
Ikonos	3.2 x 3.2 m	0.8 x 0.8 m	Marzo, 2007
Ikonos	3.2 x 3.2 m	0.8 x 0.8 m	Marzo, 2008
GeoEye	2 x 2 m	0.5 x 0.5 m	Noviembre, 2009
Ikonos	3.2 x 3.2 m	0.8 x 0.8 m	Abril, 2010
WorldView-2	2 x 2 m	0.5 x 0.5 m	Febrero, 2011
Pleiades	2 x 2 m	0.5 x 0.5 m	Diciembre, 2012
GeoEye	2 x 2 m	0.5 x 0.5 m	Febrero, 2013
WorldView-2	2 x 2 m	0.5 x 0.5 m	Abril, 2014

Todas las imágenes analizadas cuentan con información multiespectral de 4 bandas (espectro Azul, Verde, Rojo e Infrarrojo cercano), además de una banda pancromática. Cada imagen fue georreferenciada a través de puntos de control localizados mediante fotointerpretación de una imagen actual. Tanto la georreferenciación como los cálculos fueron realizados mediante el uso combinado de software ArcGis 10 e Idrisi Selva 17.

3.2 Índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI)

El “Índice de Vegetación Diferencial Normalizado” (NDVI por sus siglas en inglés), se basa en el comportamiento radiométrico de la vegetación, en donde una cubierta vegetal en buen estado, absorbe gran parte de la radiación del espectro Rojo y por el contrario, refleja gran parte del espectro Infrarrojo cercano (Jensen, 2000 en Polidorio, 2005), lo que se define en la siguiente fórmula:

$$NDVI = \frac{IRC - R}{IRC + R}$$

Donde *IRC* corresponde a la banda espectral del Infrarrojo cercano y *R* a la banda espectral del Rojo. Este índice arroja como resultado valores que oscilan entre -1 y 1 para cada pixel de la imagen. Se considera que valores sobre 0 hay una alta probabilidad de presencia de vegetación.

Una vez calculado el NDVI para cada año de estudio, se procedió a realizar una clasificación en 4 rangos (Tabla 2) para poder discriminar mejor visualmente y facilitar la identificación de aquellas áreas que tienen mayor probabilidad de ser vegetación.

Tabla 2. Rangos de clasificación índice NDVI.

Rango	Valores NDVI	Clasificación
1	< 0	Sin vegetación
2	0 a 0,2	Baja densidad vegetal
3	0,2 a 0,4	Mediana densidad vegetal
4	> 0,4	Alta densidad vegetal

3.3 Índice normalizado del agua (NDWI)

El “Índice Normalizado del Agua” (NDWI por sus siglas en inglés) maximiza la reflectancia del agua usando para ello la banda espectral del Infrarrojo Cercano y la absorción de la vegetación y de suelo adyacente en la banda de la banda espectral Verde (Polidorio et al., 2005). La fórmula para calcular es la siguiente:

$$NDWI = \frac{V - IRC}{V + IRC}$$

Donde V corresponde a la banda espectral del Verde, en tanto IRC corresponde a la banda espectral Infrarrojo cercano. Este índice arroja como resultado valores que oscilan entre -1 y 1 para cada pixel de la imagen, en donde aquellos valores sobre 0 se considera con una alta probabilidad de ser agua, o bien vegetación o suelo con alto contenido de humedad superficial.

Se realizó una clasificación del NDWI en 3 rangos para poder identificar más fácilmente aquellas áreas que tienen mayor probabilidad de ser agua o aquellas con algún grado de humedad. En la tabla 3 se presentan los rangos utilizados para en el análisis del índice NDWI.

Tabla 3. Rangos de clasificación índice NDWI.

Rango	Valores NDWI	Clasificación
1	< 0	Sin agua
2	0 a 0,1	Cobertura con humedad
3	> 0,1	Cuerpo de agua

3.4 Integración de índices

Para poder realizar la integración de ambos índices en una cartografía unificada, se procedió a reclasificar sectores mal catalogados por los índices, mediante la ayuda de imágenes pancromáticas, las que cuentan con una mejor resolución espacial.

Una vez reclasificadas las imágenes para los índices de NDVI y NDWI, se generó una cartografía unificada con los resultados, validando aquellos sectores conflictivos (superposición de identificación) mediante fotointerpretación con ayuda de imágenes pancromáticas.

En el siguiente diagrama se detalla el procesamiento de imágenes satelitales.

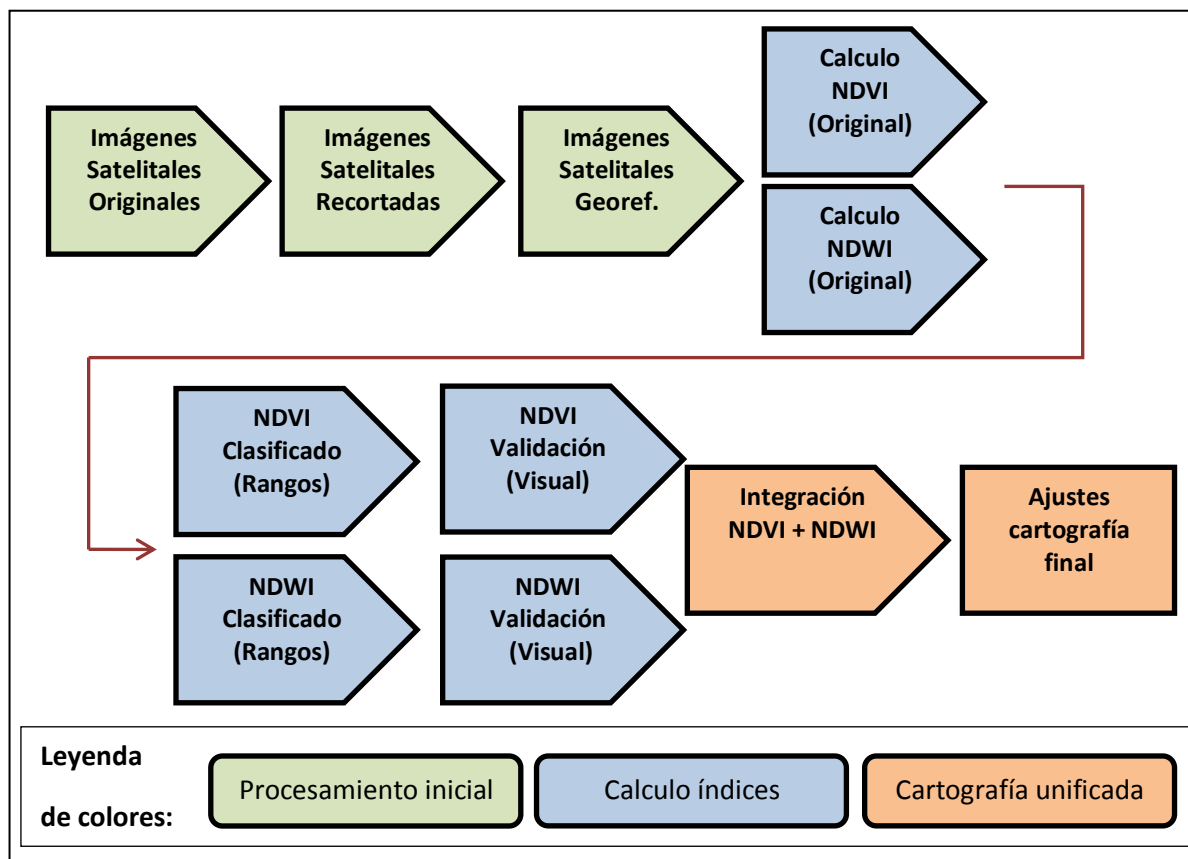


Figura 1. Diagrama procesamiento de imágenes.

3.5 Cálculo de áreas en vegas afectadas

Inicialmente se utilizaron los polígonos identificados por la SMA (Informe de Fiscalización Ambiental DFZ-2013-63-III-RCA-IA), los que fueron obtenidos por fotointerpretación en base a una imagen del año 2005, como se aprecia en la Figura 2. Sin embargo, también se consideraron polígonos de las vegas afectadas obtenidos a partir de fotointerpretación de

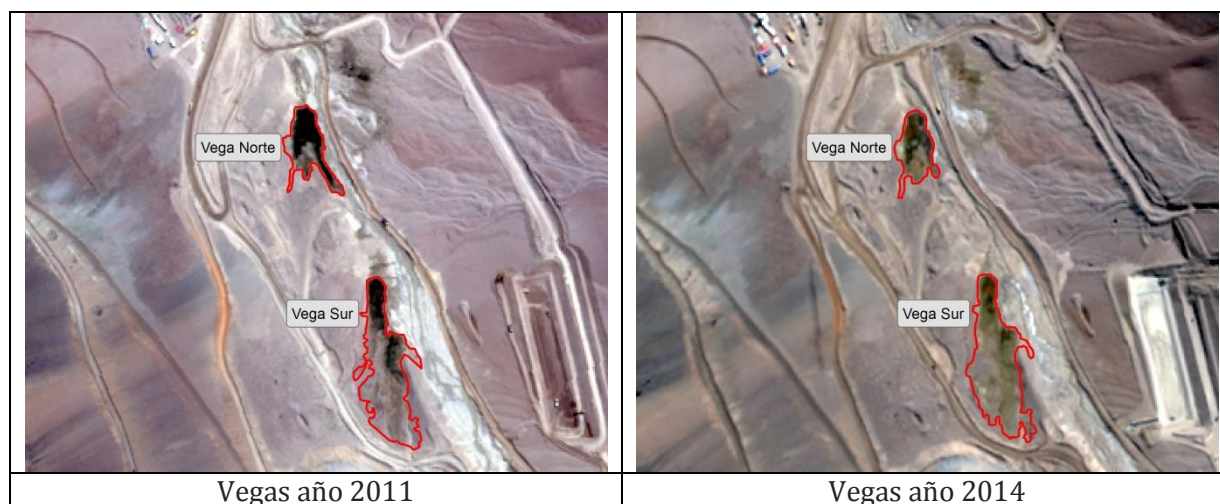
imágenes satelitales en falso color (Bandas 432), lo que permitió discriminar con mayor exactitud las áreas de las vegas afectadas (Tabla 4).



Figura 2. Fotointerpretación vegas afectadas. Fuente: Elaboración propia. Imagen de fondo Ikonos, marzo de 2005. Los polígonos corresponden a shapes oficiales asociados a la Adenda N°3 de 2006.

Con estos polígonos se procedió a calcular el área ocupada por vegetación y cuerpos de agua, según lo obtenido por los índices NDVI y NDWI, para cada uno de los años en los cuales se disponía de información.

Tabla 4. Delimitación de vegas correspondiente a los años 2011 y 2014. Se puede observar la variación natural en la cobertura vegetal entre ambos años en los sectores no afectados por el aluvión.



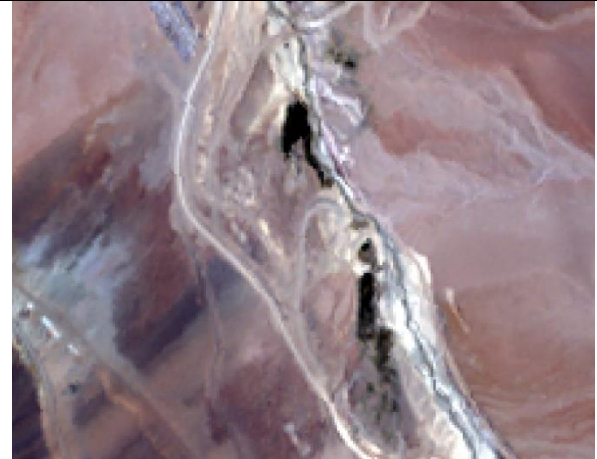





Con esta cobertura de vegas, se calculó las áreas de vegetación y cuerpos de agua para los años pre y post evento aluvional.

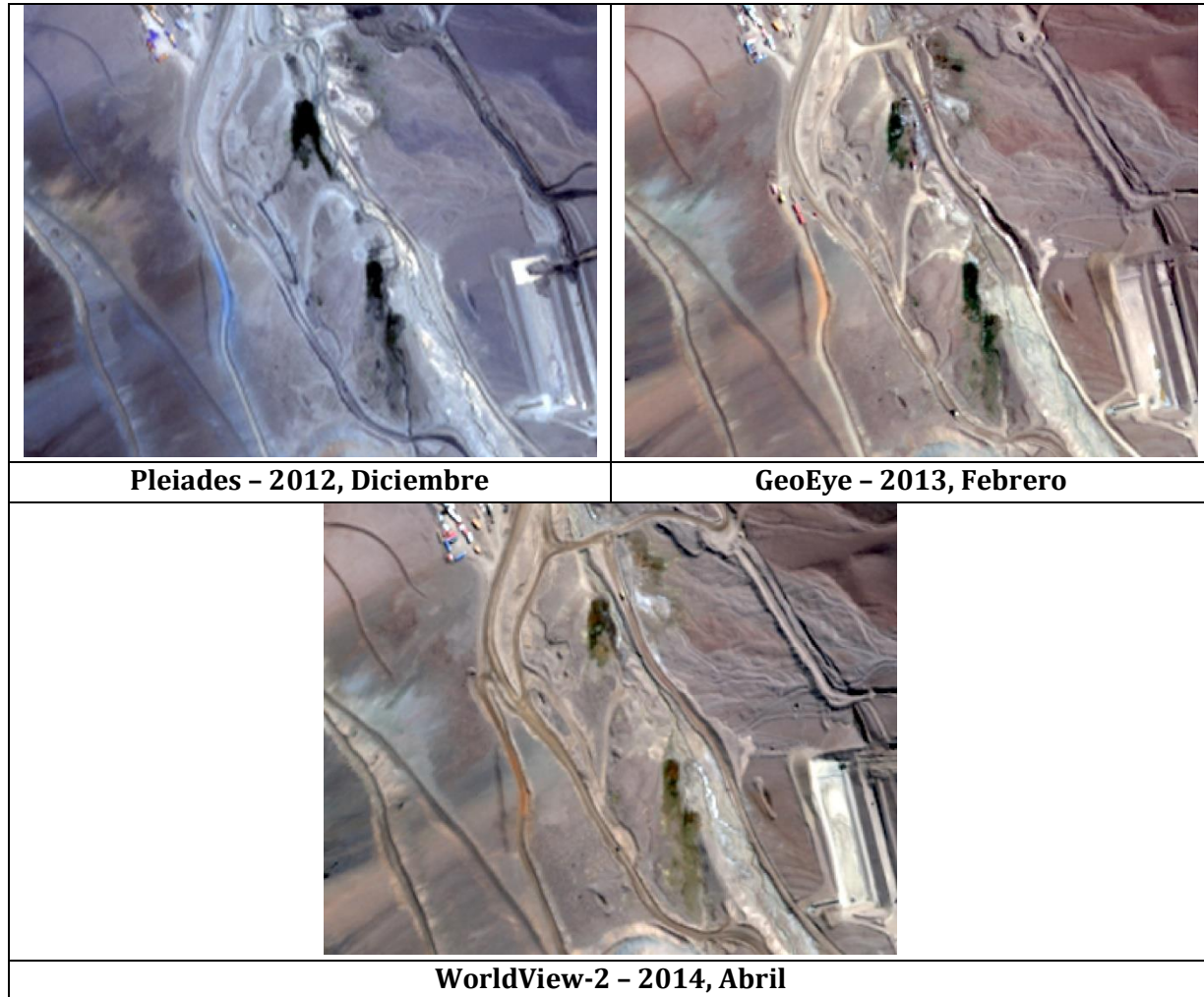
4 RESULTADOS

4.1 Preparación inicial de imágenes satelitales

A continuación se presenta el set de imágenes obtenidas para el área de estudio (Tabla 5), las que serán procesadas para la obtención de los índices NDVI y NDWI. Cabe mencionar que la variación en la presencia de vegetación o cuerpos de agua en las vegas corresponde a una variación estacional, debido a que las imágenes corresponden a distintos meses del año, por lo tanto sólo las imágenes de los mismos meses son comparables entre sí.

Tabla 5. Imágenes Satelitales en configuración de bandas RGB 321.

	
Ikonos - 2005, Marzo	Ikonos - 2007, Marzo
	
Ikonos - 2008, Marzo	GeoEye - 2009, Noviembre
	
Ikonos - 2010, Abril	WorldView-2 - 2011, Febrero



4.2 Estimación de la superficie de las Vegas Pascua-Lama

ESTIMACIÓN DE LA SUPERFICIE DE VEGAS PASCUA-LAMA PREVIO A EVENTO ALUVIONAL

La estimación inicial de la superficie ocupada por las vegas de Pascua-Lama se realizó mediante fotointerpretación de una imagen Ikonos del año 2005, la cual describía la formación de dos vegas (Figura 3). De esta imagen se obtuvieron los shapes oficiales de las vegas descritos en la Adenda 3, los que han sido utilizados en los procesos sancionatorios por la SMA. De acuerdo con esto, la superficie oficial de las vegas corresponde a 2.569 m² en el caso de la Vega Norte y de 2.189 m² para la Vega Sur. Sin embargo, al analizar la imagen Ikonos de Marzo del 2005 (adquirida en 2015), y con un análisis de falso color que resalta vegetación (combinación de bandas 432), se identifican tres sectores (A, B y C). Tanto el sector A como C corresponden a vegas, sin embargo el sector B se debe excluir ya que su reflectancia indicaría que no corresponde a vegetación. Otro antecedente a considerar es la superficie descrita para el sector

C, donde el polígono oficial no concuerda con la superficie real estimada a través del análisis de imágenes con falso color, por lo tanto, se debe redefinir la superficie de las vegas mediante un nuevo polígono. A partir del análisis anterior, en la Figura 3, se presenta nuevos polígonos de las vegas en estudio que han sido validados en función de su reflectancia, resultando que la Vega Norte posee una superficie de 3.815 m² y la Vega Sur 8.431 m².

A partir del análisis anterior se delimitó la superficie de las vegas en base a una imagen WorldView-2 de Febrero del año 2011, periodo previo al suceso aluvional ocurrido en diciembre del año 2012. Los resultados indican que la superficie de la Vega Norte corresponde a 3.251 m² y la Vega Sur a 7.966 m² (Figura 3 y 4).

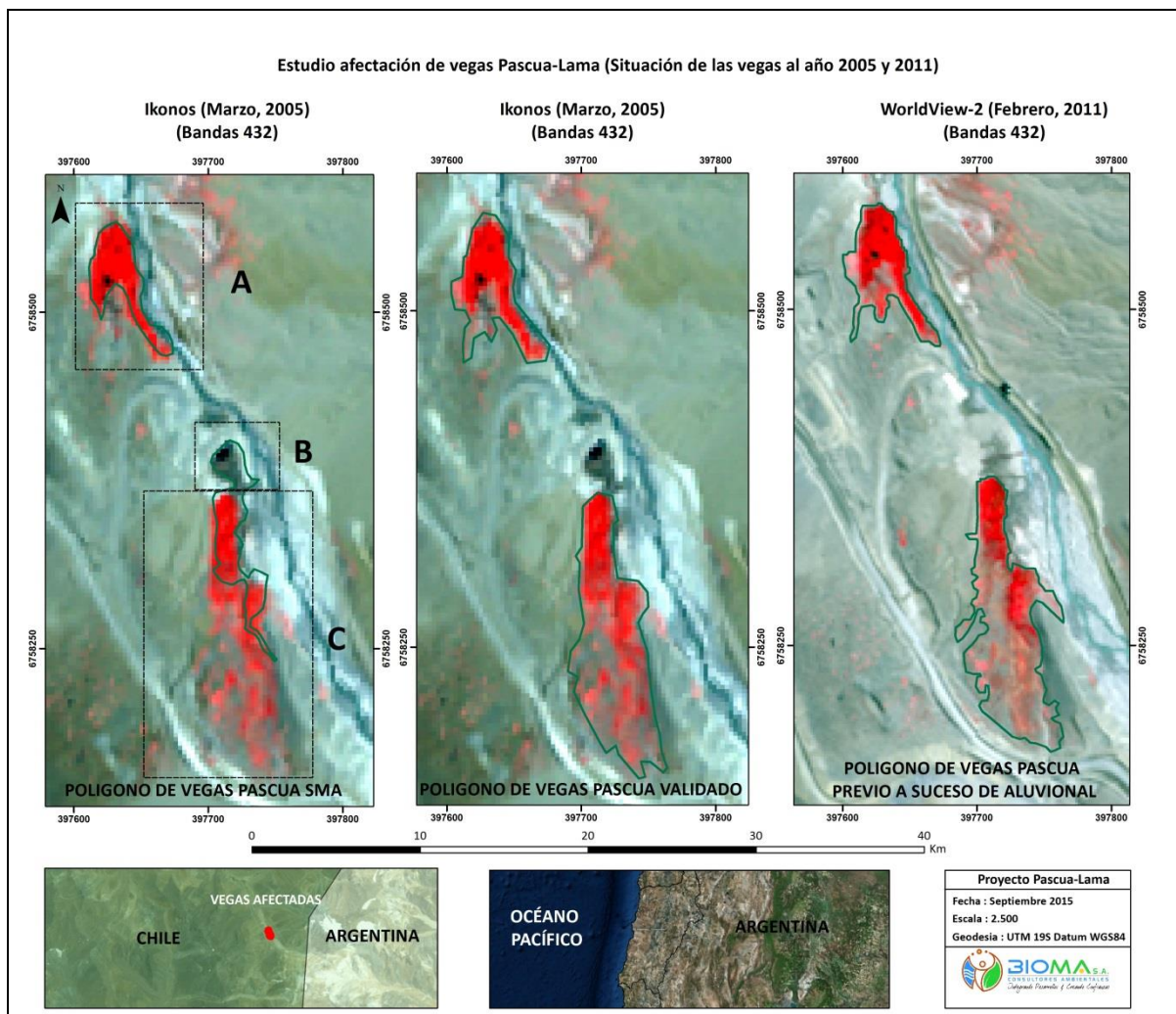


Figura 3. Análisis de superficies de las vegas Pascua-Lama.

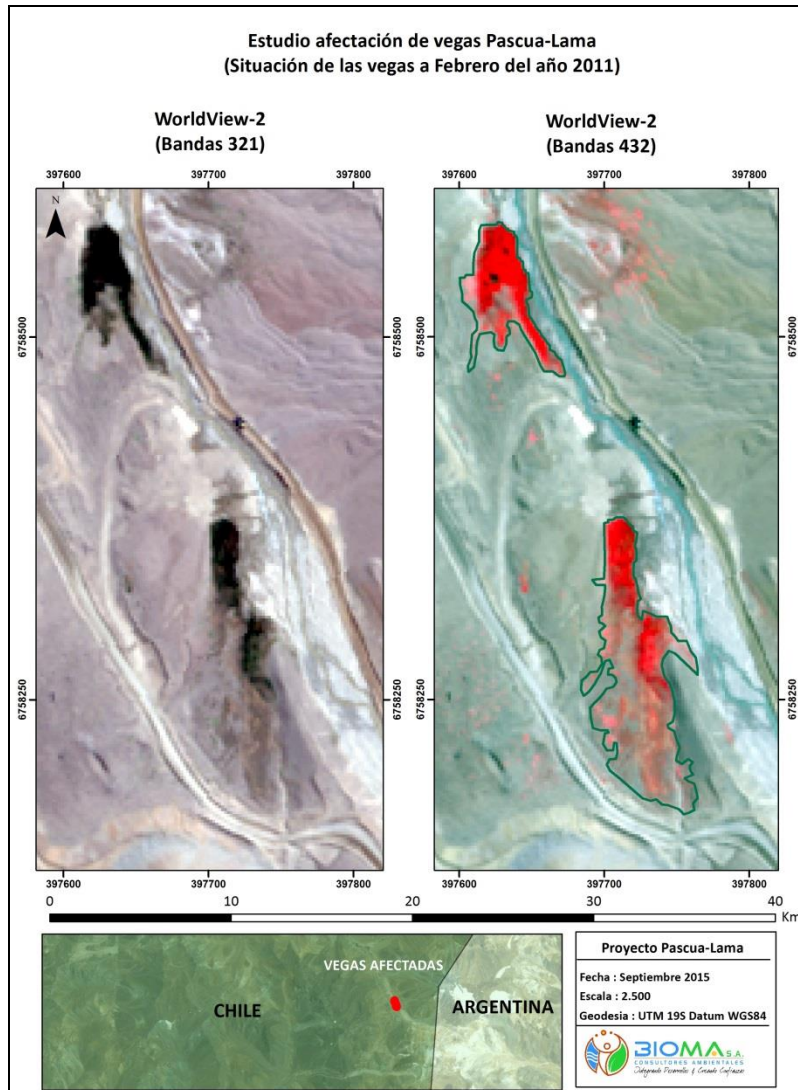


Figura 4. Superficie de las Vegas Pascua-Lama previo al evento aluvional.

ESTIMACIÓN DE LA SUPERFICIE DE VEGAS PASCUA-LAMA POSTERIOR A EVENTO ALUVIONAL

El análisis de los eventos aluvionales ocurridos en Diciembre 2012 y Enero 2013, se realizó mediante la fotointerpretación de las imágenes satelitales disponibles. Para el primer evento se obtuvo una imagen Pleiades obtenida un día después del evento y sus resultados se muestran en la Figura 5. La superficie estimada de la Vega Norte corresponde a 3.361 m² y la superficie de la Vega Sur es 7.663 m². Estos valores son similares a los registrados para el año 2011, lo que implica el nulo efecto del primer evento aluvional sobre la vegetación de las vegas en estudio.

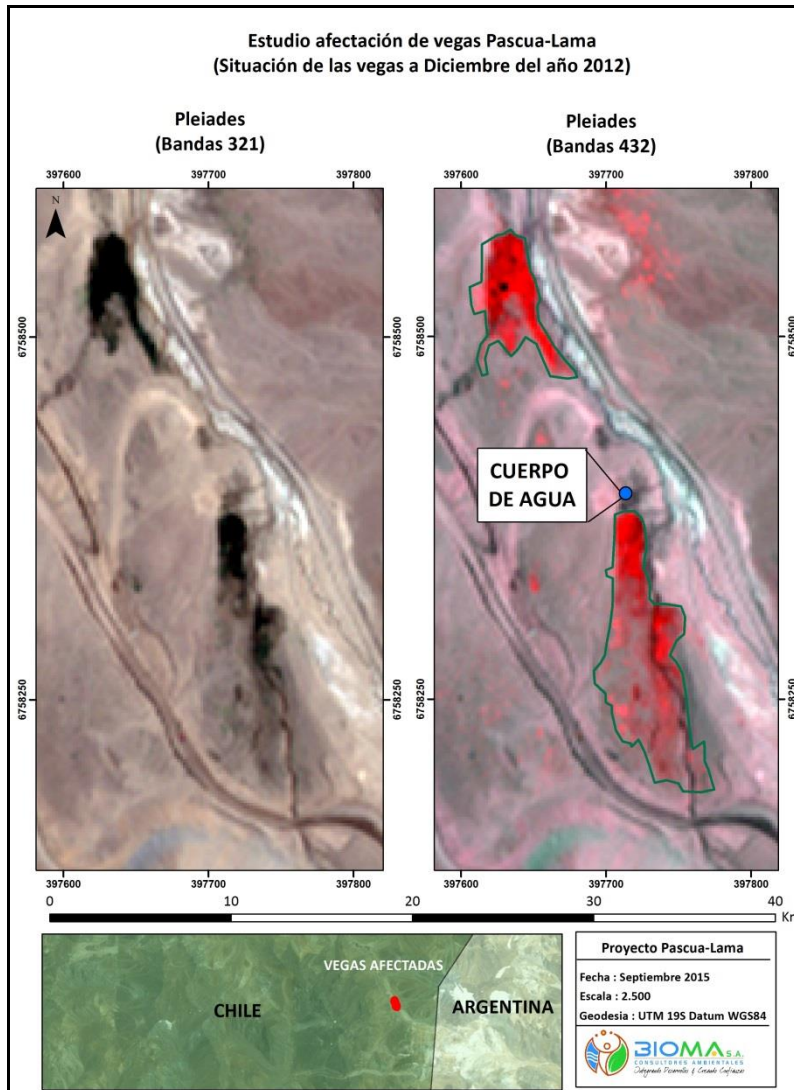


Figura 5. Análisis de las superficies de las vegas Pascua-Lama posterior al primer evento aluvional (23 de Diciembre de 2012).

El segundo evento aluvional ocurrido en Enero 2013 se analiza en la Figura 6, donde la superficie de la Vega Norte se ve afectada al disminuir su superficie a 2.382 m², En cambio, en la Vega Sur no se aprecia una disminución de su superficie.

Posterior a los eventos aluvionales se procedió a realizar trabajos de recuperación de los cursos de agua y las vegas afectadas, lo que ha posibilitado la recuperación de la vegetación propia del área de estudio. Los resultados se muestran en la Figura 7, donde la superficie de la Vega Norte alcanza los 2.928 m², lo cual son 433 m² inferior a lo registrado en el año 2011. Sin embargo, hay que tener precaución con estos valores debido a que las estimaciones se han realizado con imágenes satelitales de meses distintos. En la Vega Sur para el año 2014 la superficie aumenta

hasta los 8.310 m², lo que indica un incremento de 647 m² con respecto a lo registrado en el año 2011.

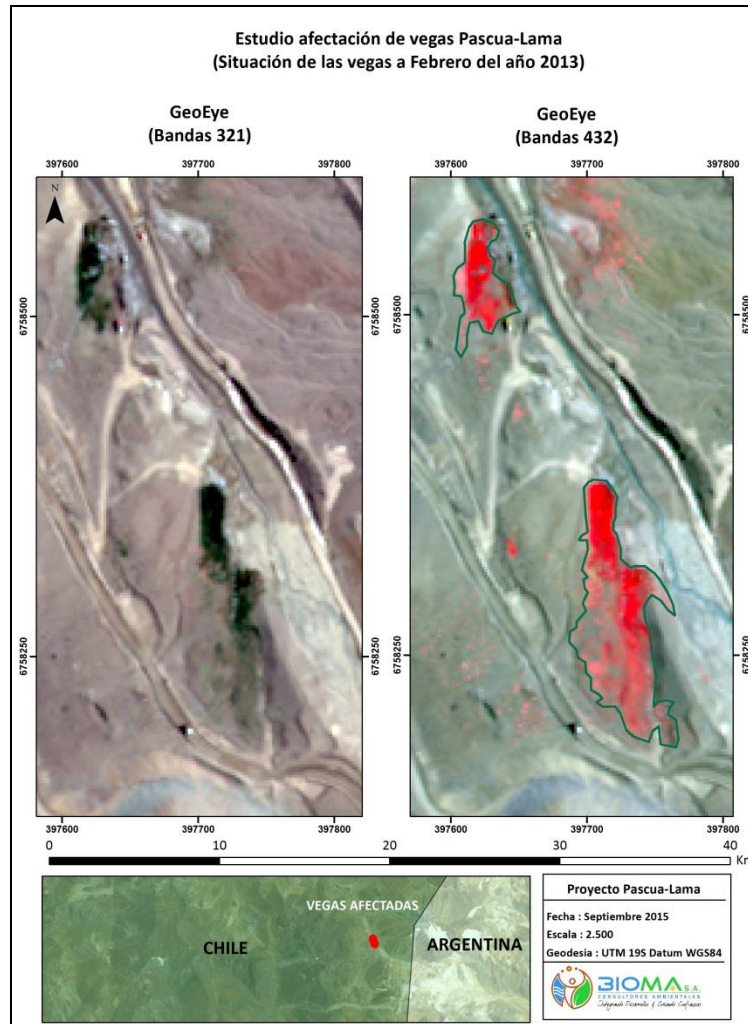


Figura 6. Análisis de las superficies de las vegas Pascua-Lama posterior al segundo evento aluvional.

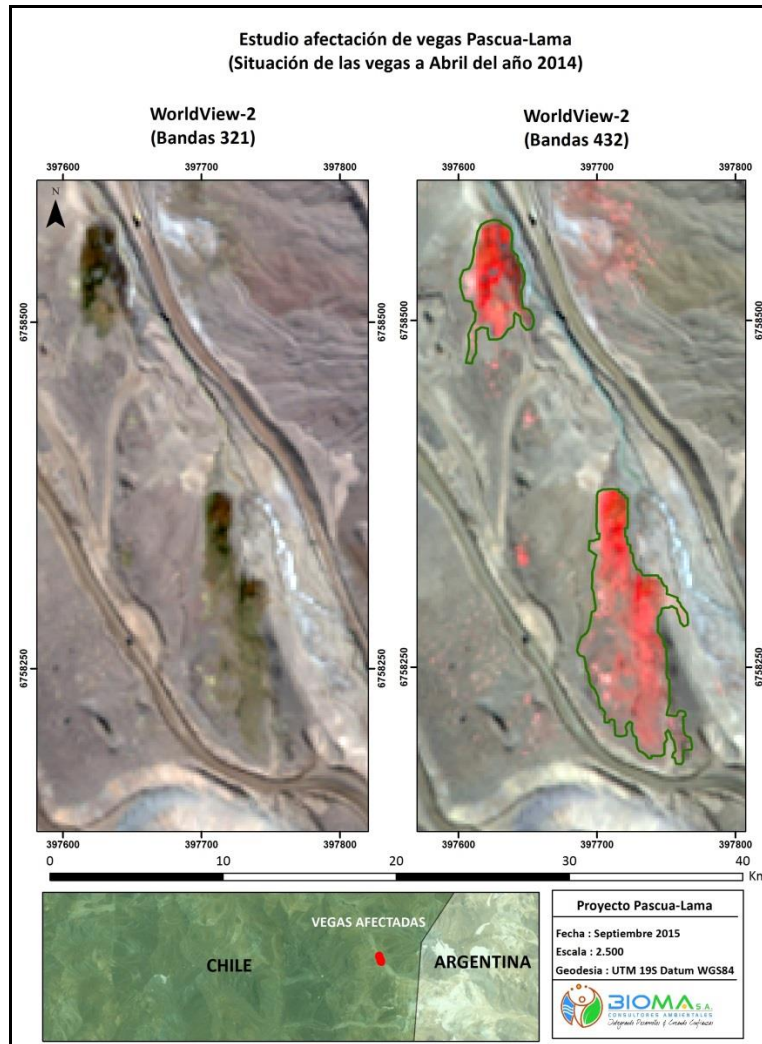


Figura 7. Análisis de las superficies de las vegas Pascua-Lama en la actualidad.

4.3 Índices de vegetación y agua disponible.

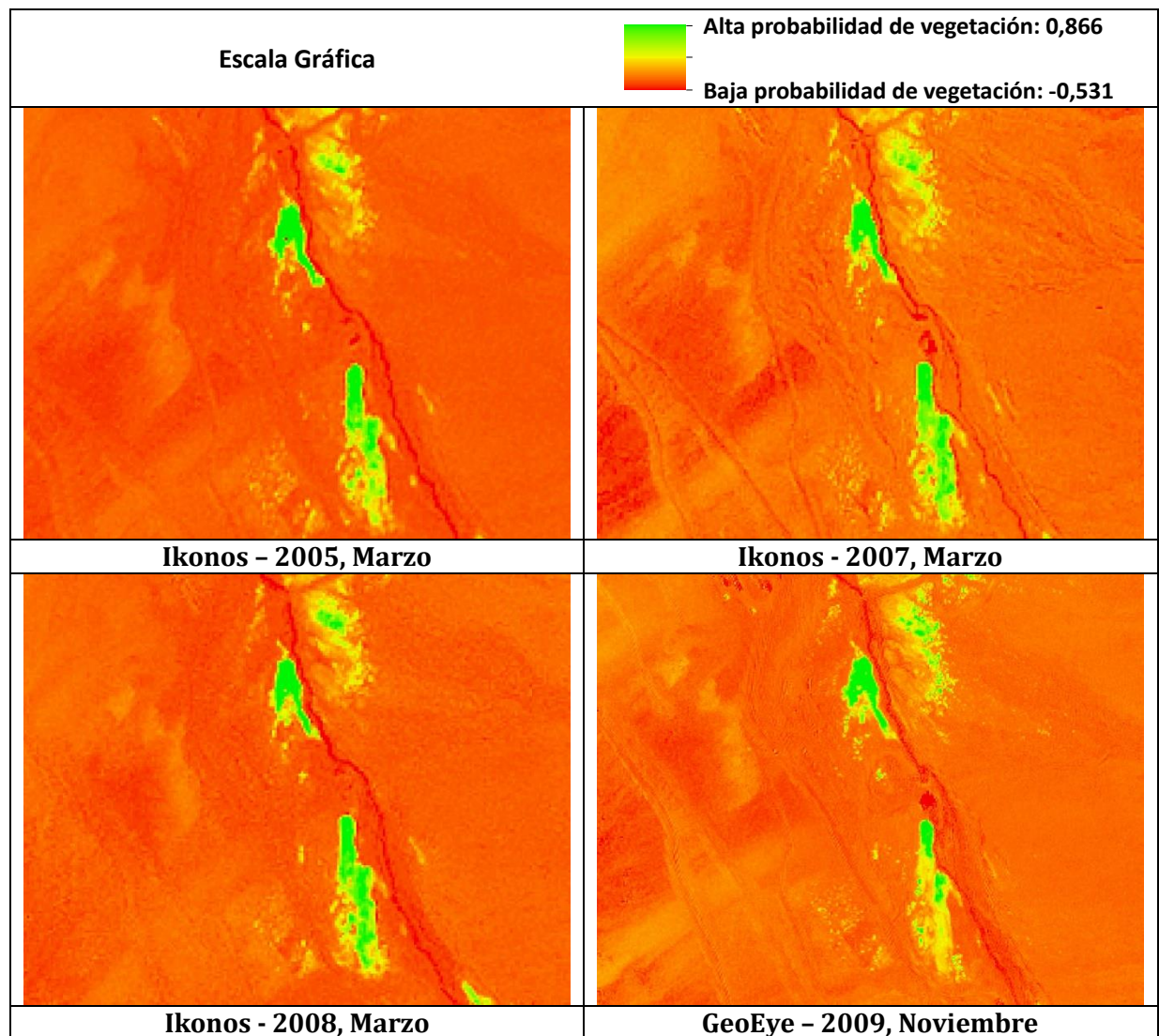
INDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA (NDVI)

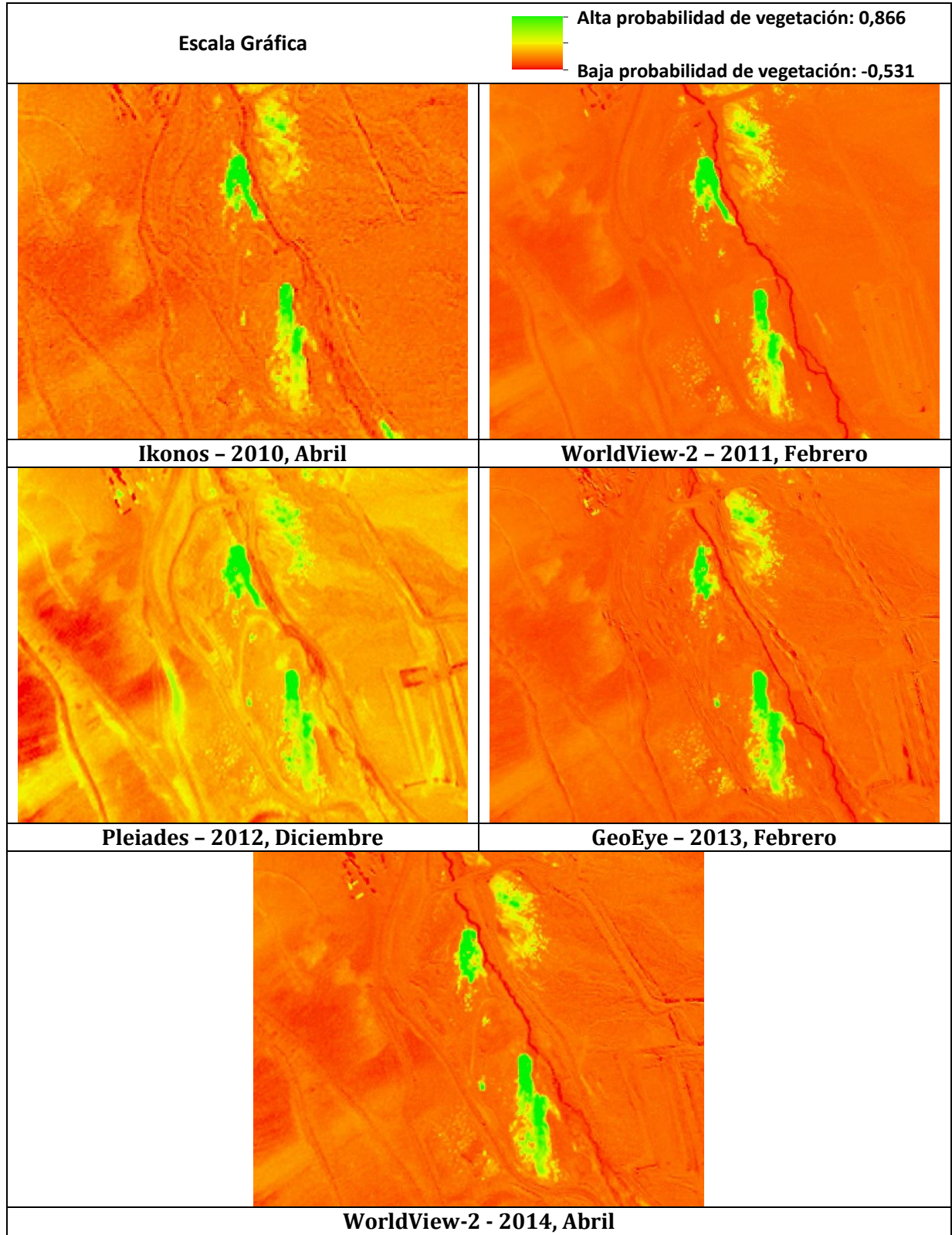
Los resultados de la aplicación del índice (NDVI) muestran una variación de los valores entre -0,531 y 0,866, donde todos los valores >0 indican la presencia de vegetación en el área (Tabla 6). En la tabla 7, se visualizan los resultados obtenidos a través de una paleta cromática que varía desde el rojo al verde, donde aquellos valores negativos representan una baja o nula cobertura vegetal (tonos rojos), en tanto los valores positivos adquieren tonalidades verdes que indicaría sectores con vegetación.

Tabla 6. Rango de valores índice NDVI

Rango de valores NDVI	Sensor satelital - Año
-0,312 a 0,623	Ikonos - 2005
-0,531 a 0,658	Ikonos - 2007
-0,145 a 0,696	Ikonos - 2008
-0,195 a 0,866	GeoEye - 2009
-0,236 a 0,479	Ikonos - 2010
-0,091 a 0,800	WorldView-2 - 2011
-0,151 a 0,671	Pleiades - 2012
-0,101 a 0,789	GeoEye - 2013
-0,167 a 0,671	WorldView-2 - 2014





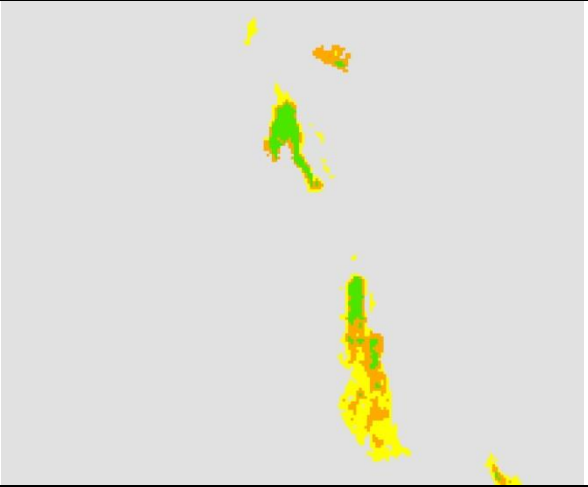
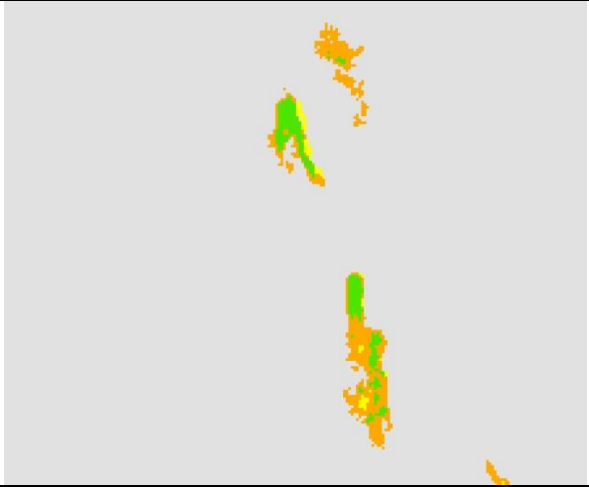
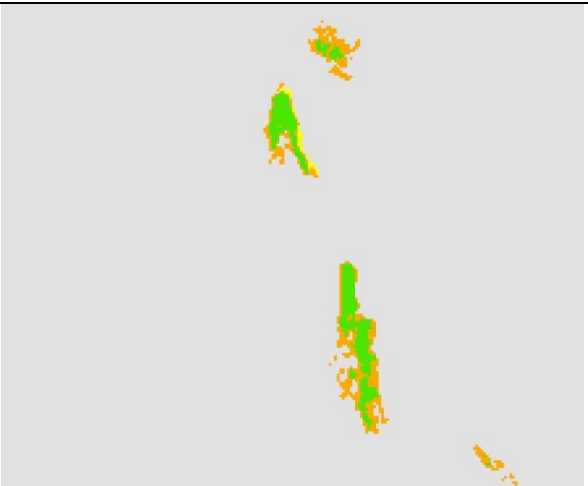
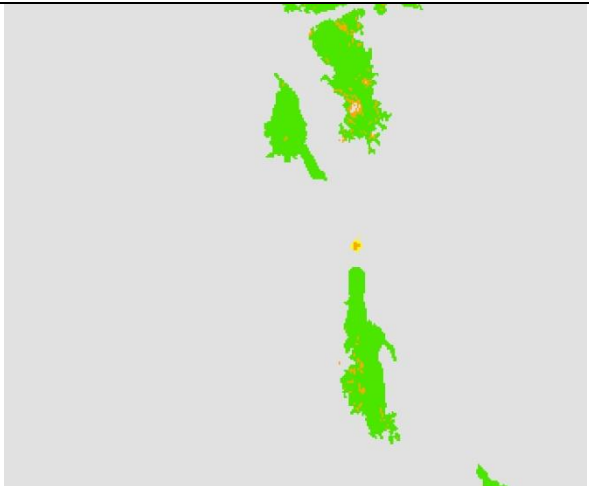
Tabla 7. Imágenes con valores de NDVI.






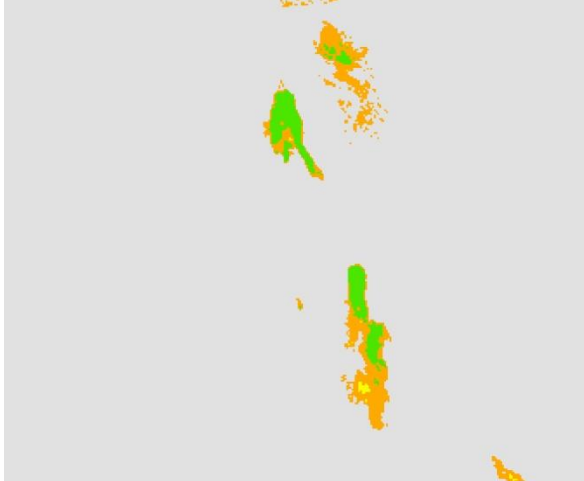

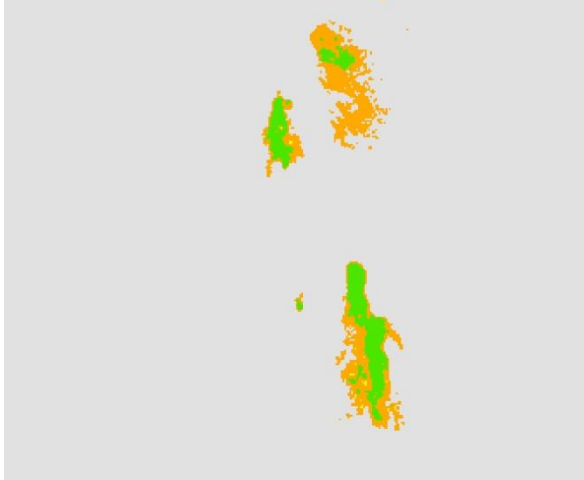


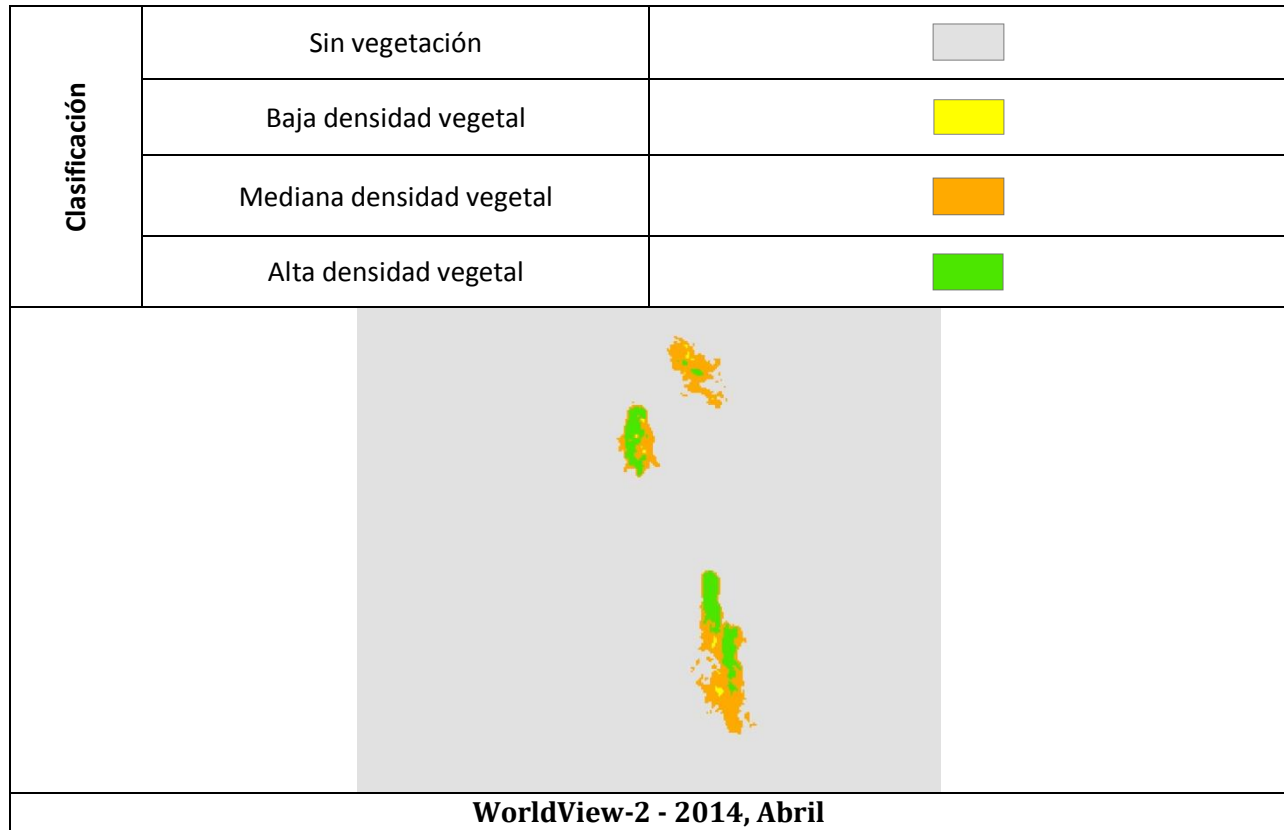


Se realizó una reclasificación del índice en cuatro categorías, donde valores < 0 corresponde a sectores Sin vegetación, valores entre 0 a 0,2 es Baja densidad vegetal, valores entre 0,2 a 0,4 corresponde a una Mediana densidad vegetal, y valores $> 0,4$ corresponde a una Alta densidad vegetal. Los resultados se muestran gráficamente en el set de imágenes de la Tabla 8.

Tabla 8. Clasificación por colores índice NDVI.

Clasificación	Sin vegetación		
	Baja densidad vegetal		
	Mediana densidad vegetal		
	Alta densidad vegetal		
			
Ikonos - 2005, Marzo		Ikonos - 2007, Marzo	
			
Ikonos - 2008, Marzo		GeoEye - 2009, Noviembre	

Clasificación	Sin vegetación	
	Baja densidad vegetal	
	Mediana densidad vegetal	
	Alta densidad vegetal	
		
Ikonos - 2010, Abril		WorldView-2 - 2011, Febrero
		
Pleiades - 2012, Diciembre		GeoEye - 2013, Febrero



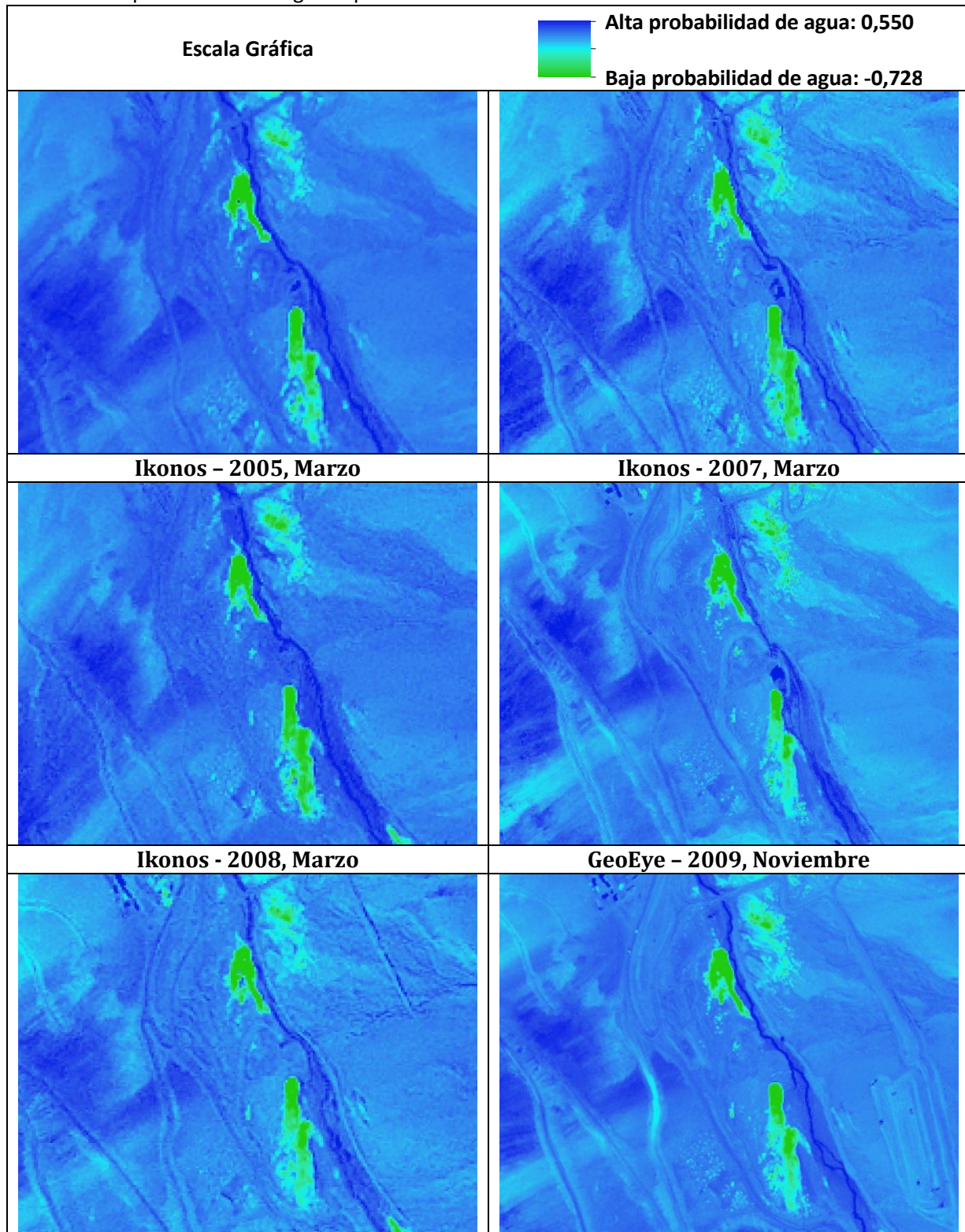
INDICE DIFERENCIAL DE AGUA NORMALIZADO

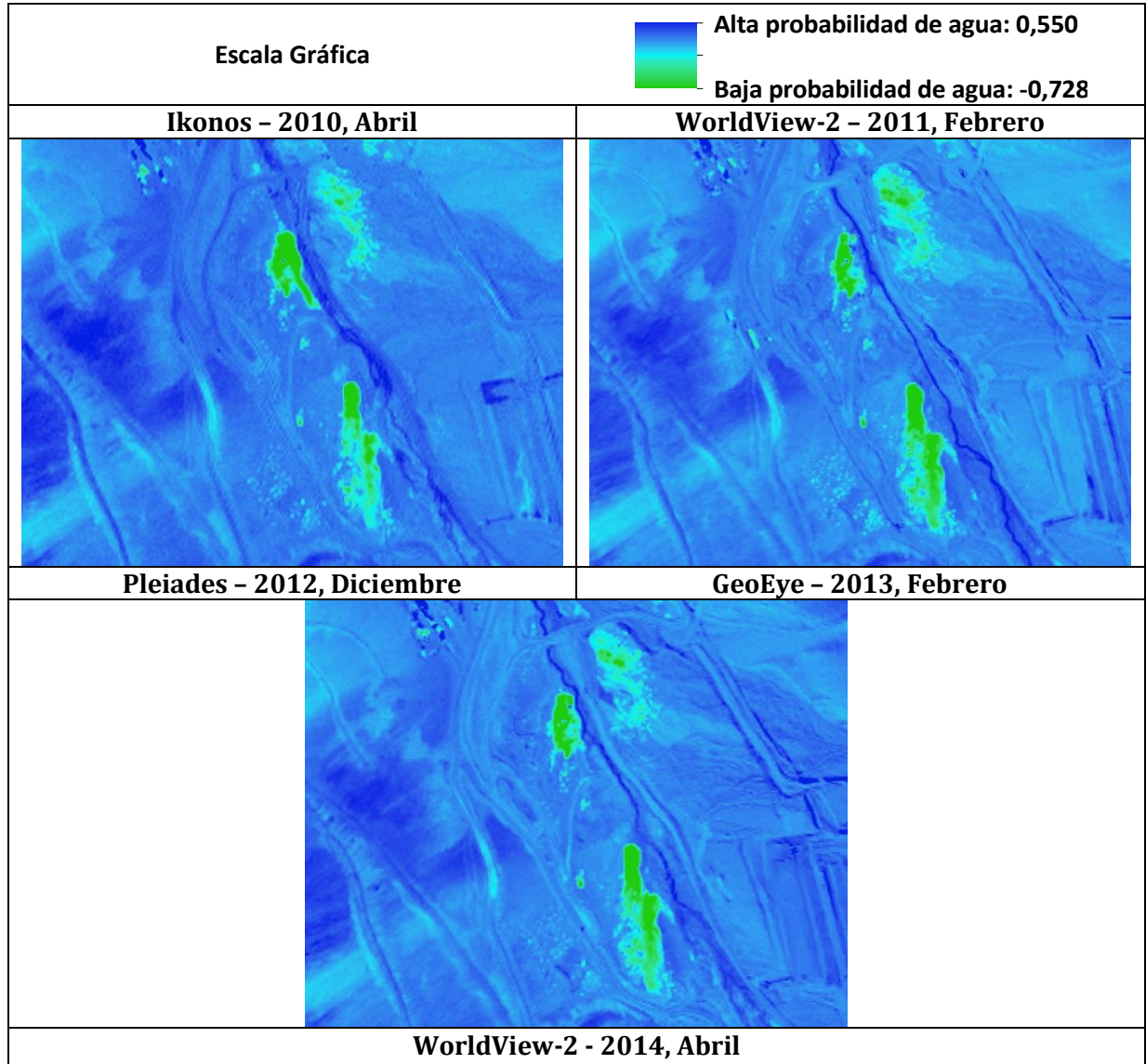
Los resultados de la aplicación del índice (NDWI) muestran una variación de valores entre -0,728 y 0,550, donde todos los valores >0 indican la presencia de humedad o cuerpos de agua (Tabla 9). En la tabla 10, se visualizan los resultados obtenidos a través de una paleta cromática que varía desde el verde al azul, donde aquellos valores negativos representan una baja o nula cobertura hídrica (tonos verdes), en tanto los valores positivos adquieren tonalidades azules indicaría sectores con cobertura hídrica o sectores con humedad.

Tabla 9. Rango de valores índice NDWI.

Rango de valores NDWI	Sensor satelital - Año
-0,550 a 0,443	Ikonos - 2005
-0,655 a 0,535	Ikonos - 2007
-0,682 a 0,130	Ikonos - 2008
-0,717 a 0,485	GeoEye - 2009
-0,456 a 0,337	Ikonos - 2010
-0,720 a 0,159	WorldView-2 - 2011
-0,664 a 0,140	Pleiades - 2012
-0,728 a 0,138	GeoEye - 2013
-0,535 a 0,550	WorldView-2 - 2014




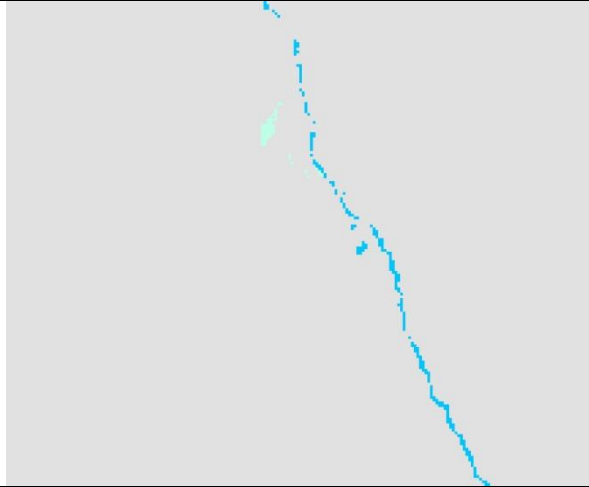
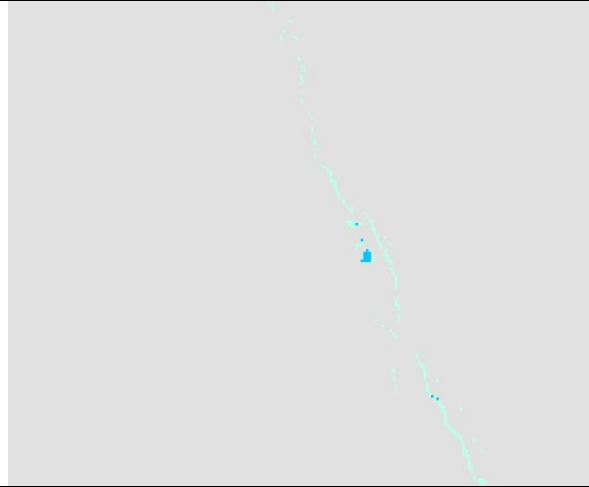

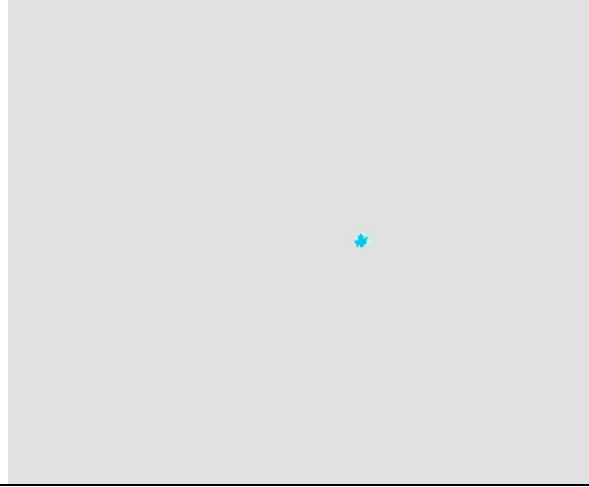
Tabla 10. Rango de valores índice NDWI. Las imágenes muestran los resultados en bruto, por lo tanto, se muestran sectores con una alta probabilidad de agua o humedad que deben ser previamente validados mediante comparación con imágenes pancromáticas.













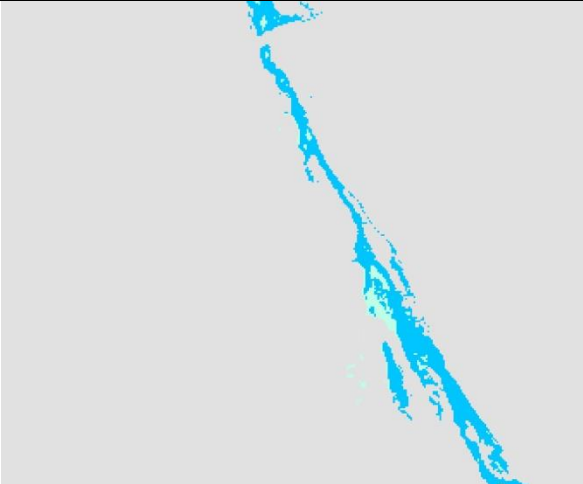


Se realizó una reclasificación del índice NDWI en tres categorías, donde valores < 0 corresponde a sectores Sin agua, valores entre 0 a 0,1 a sectores con cobertura con humedad y valores $> 0,1$ corresponden a sectores con cuerpos de agua. Los resultados se muestran gráficamente en el set de imágenes de la Tabla 11.

Tabla 11. Clasificación por colores índice NDWI.

Clasificación	Sin agua	
	cobertura de humedad	
	cuerpos de agua	
	Ikonos - 2005, Marzo	
	Ikonos - 2007, Marzo	
	Ikonos - 2008, Marzo	
	GeoEye - 2009, Noviembre	






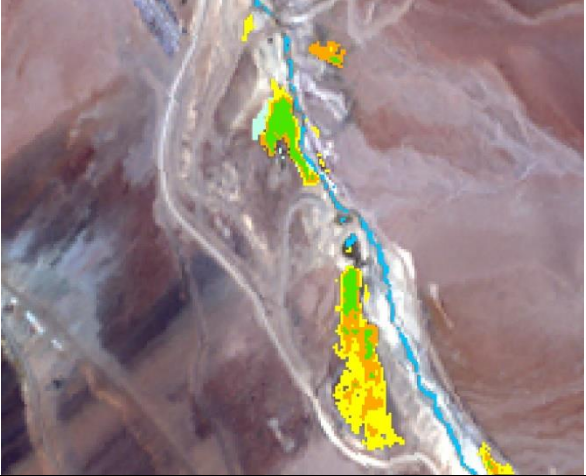
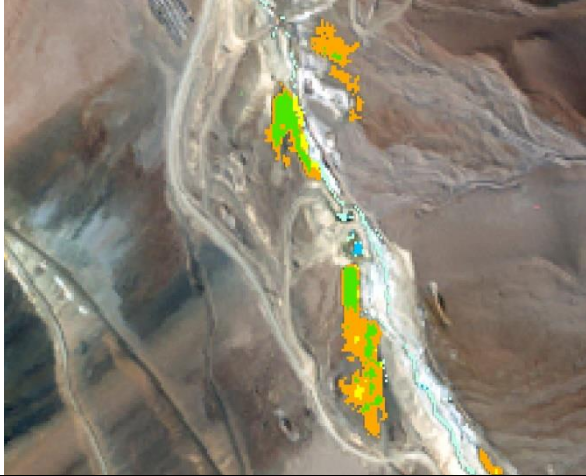
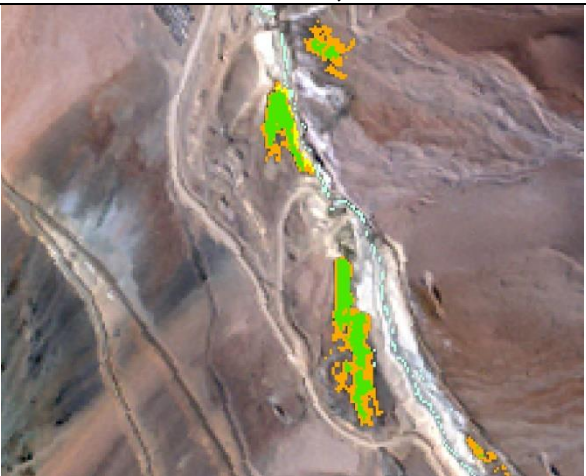
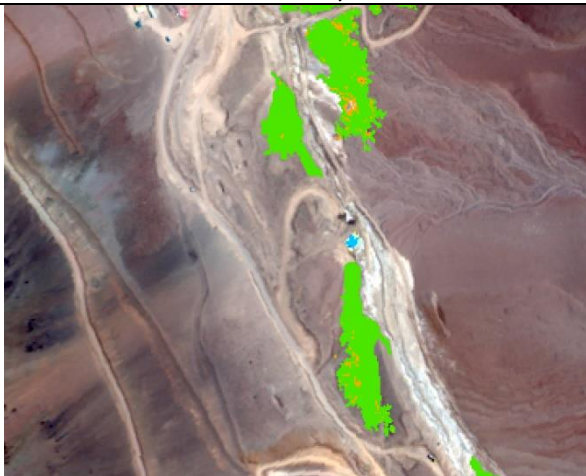
Clasificación	Sin agua	
	cobertura de humedad	
	cuerpos de agua	
		
	Ikonos - 2010, Abril	WorldView-2 - 2011, Febrero
		
	Pleiades - 2012, Diciembre	GeoEye - 2013, Febrero






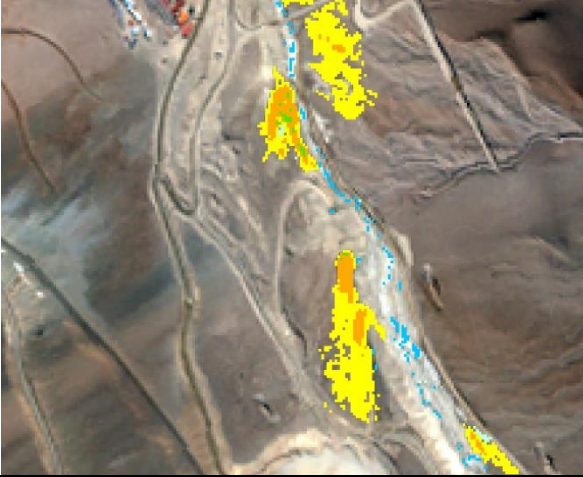
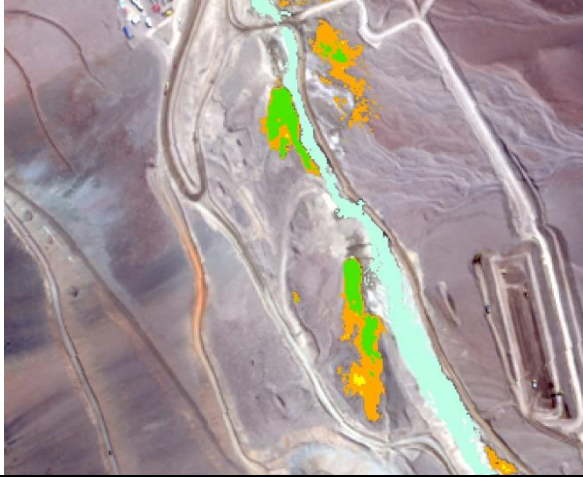

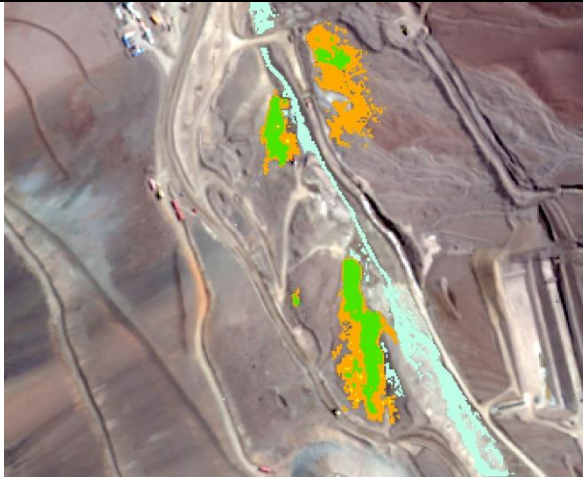
Clasificación	Sin agua	
	cobertura de humedad	
	cuerpos de agua	
		
WorldView-2 - 2014, Abril		






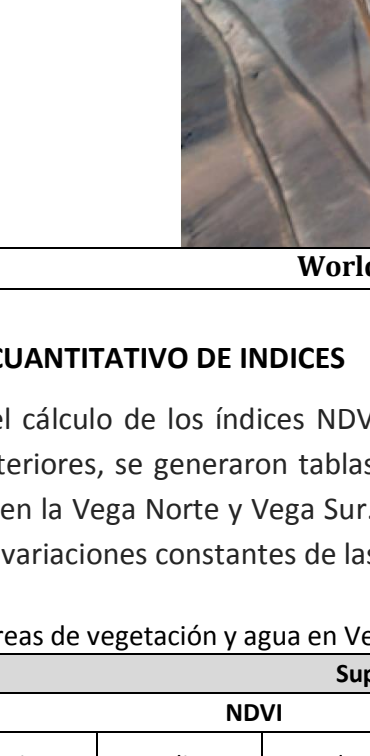
INTEGRACIÓN DE ÍNDICES Y CARTOGRAFÍA FINAL

Los resultados de la integración de los índices NDVI y NDVI se muestran en la Tabla 12. Se utiliza como fondo de referencia, las respectivas imágenes de color natural (RGB 321) para cada año.

Tabla 12. Cartografía unificada índices NDVI + NDWI

Clasificación	Cobertura con humedad				
	Cuerpo de agua				
	Baja densidad vegetal				
	Mediana densidad vegetal				
	Alta densidad vegetal				
					
Ikonos - 2005, Marzo			Ikonos - 2007, Marzo		
					
Ikonos - 2008, Marzo			GeoEye - 2009, Noviembre		

Clasificación	Cobertura con humedad	
	Cuerpo de agua	
	Baja densidad vegetal	
	Mediana densidad vegetal	
	Alta densidad vegetal	
		
Ikonos - 2010, Abril		WorldView-2 - 2011, Febrero
		
Pleiades - 2012, Diciembre		GeoEye - 2013, Febrero

Clasificación	Cobertura con humedad	
	Cuerpo de agua	
	Baja densidad vegetal	
	Mediana densidad vegetal	
	Alta densidad vegetal	
		
WorldView-2 - 2014, Abril		

ANALISIS CUANTITATIVO DE INDICES

A partir del cálculo de los índices NDVI y NDWI, y la superficie de las vegas obtenidas en los análisis anteriores, se generaron tablas comparativas con las superficies de vegetación y agua presenten en la Vega Norte y Vega Sur. Los resultados indican el comportamiento cíclico de las vegas, con variaciones constantes de las superficies año a año (Tabla 13 y 14).

Tabla 13. Áreas de vegetación y agua en Vega Norte.

Superficie Vega Norte (m ²)								
Año	NDVI				NDWI			Superficie total (NDVI + NDWI)
	Baja densidad vegetal	Mediana densidad vegetal	Alta densidad vegetal	Superficie total de vegetación	Cobertura con humedad	Cuerpo de agua	Superficie total de humedad y agua	
2005	220,7	325,9	1504,4	2050,9	64,2	58,3	122,5	2173,4
2007	112,2	549,1	1391,2	2052,5	7,8	0,0	7,8	2060,3
2008	105,8	435,9	1287,7	1829,4	0,5	0,0	0,5	1829,9
2009	0,0	14,8	1897,0	1911,8	0,0	0,0	0,0	1911,8
2010	706,5	1046,7	149,0	1902,2	53,4	0,0	53,4	1955,6
2011	0,4	484,7	1512,5	1997,6	15,1	0,0	15,1	2012,7
2012	0,0	62,5	1645,7	1708,2	4,0	0,0	4,0	1712,2
2013	0,0	429,9	764,9	1194,8	185,5	0,0	185,5	1380,3
2014	0,0	633,6	914,0	1547,6	92,9	221,6	314,5	1862,1

Tabla 14. Áreas de vegetación y agua en Vega Sur.

Superficie Vega Sur (m ²)								
Año	NDVI				NDWI			Superficie total (NDVI + NDWI)
	Baja densidad vegetacional	Mediana densidad vegetacional	Alta densidad vegetacional	Superficie total de vegetación	Cobertura con humedad	Cuerpo de agua	Superficie total de humedad y agua	
2005	206,0	736,4	890,4	1832,8	0,0	98,8	98,8	1931,6
2007	35,1	664,4	928,5	1628,0	49,1	127,6	176,7	1804,7
2008	0,0	458,3	863,2	1321,5	0,0	0,0	0,0	1321,5
2009	0,0	4,0	1764,1	1768,1	13,2	24,2	37,4	1805,5
2010	898,6	644,8	19,7	1563,1	0,0	39,3	39,3	1602,4
2011	4,0	570,0	1254,5	1828,5	21,8	0,0	21,8	1850,3
2012	0,0	0,0	1095,2	1095,2	6,2	0,0	6,2	1101,4
2013	1,3	308,0	1539,3	1848,6	121,2	0,0	121,2	1969,8
2014	24,0	520,0	1334,5	1878,5	150,1	308,7	458,8	2337,3

Estas variaciones responden en primera instancia a la disponibilidad de recursos durante todo el periodo analizado, y en segundo lugar a posibles alternancias ocasionadas por factores ambientales u otros. En relación al periodo afecto a los eventos aluvionales, se registró una baja de superficie para el año 2013 para la Vega Norte. Sin embargo, podemos indicar que al año 2014 la superficie de la vega retomó sus valores normales. En relación a la Vega Sur, al año 2014 se presenta la mayor superficie cubierta por agua y/o vegetación en todo el periodo en estudio.

Si consideramos las superficies calculadas a partir de imágenes satelitales para los años 2011 y 2014 (Tabla 15). Los resultados indican que la Vega Norte presenta una baja de su superficie. Sin embargo, en la Vega Sur sucede lo contrario con un aumento de su superficie.

En términos globales, si consideramos los análisis realizados en este estudio, donde se identificó la superficie real de las vegas norte y sur. Se puede indicar que las vegas después del evento de aluvional han mantenido o aumentado levemente su superficie considerando los periodos pre y post evento.

Tabla 15. Coberturas de vegetación y agua vegas, años 2011 y 2014.

Superficie Vega Norte (m ²)								
Año	NDVI				NDWI			Superficie total (NDVI + NDWI)
	Baja densidad vegetal	Mediana densidad vegetal	Alta densidad vegetal	Superficie total de vegetación	Cobertura con humedad	Cuerpo de agua	Superficie total de humedad y agua	
2011	12,1	903,8	2023,0	2938,9	5,7	0,0	5,7	2944,6
2014	20,0	1228,9	1180,0	2428,9	61,3	25,8	87,0	2515,9
Superficie Vega Sur (m ²)								
Año	NDVI				NDWI			Superficie total (NDVI + NDWI)
	Baja densidad vegetal	Mediana densidad vegetal	Alta densidad vegetal	Superficie total de vegetación	Cobertura con humedad	Cuerpo de agua	Superficie total de humedad y agua	
2011	149,6	3416,3	1766,9	5332,8	1,1	0,0	1,1	5333,9
2014	79,0	3877,9	2032,0	5988,9	299,1	8,5	307,6	6296,5

5 DISCUSIÓN

A raíz de los eventos aluviales ocurridos entre Diciembre 2012 y Enero 2013, se generó un estudio detallado de las variaciones multitemporales (2005-2014) de la cobertura de vegetación y de agua en las Vegas Norte y Sur ubicadas en la zona alta del río Estrecho (397.670 E - 6.758.450 N; Coordenadas UTM, Huso 19S).

Los resultados permitieron clasificar la vegetación en tres categorías: (1) Baja densidad vegetal, (2) Mediana densidad vegetal y (3) Alta densidad vegetal. En la Vega Norte, si consideramos una densidad vegetal media, la superficie va aumentando gradualmente desde el año 2012 hasta el año 2014; En el caso de la cobertura vegetal alta hay una disminución de su superficie para el año 2013. Sin embargo, hay una recuperación para el año 2014. En términos globales, solo considerando la vegetación presente en la Vega Norte, en el año 2013 hay una baja sustancial en la superficie de la vega. Esta disminución de la cobertura puede deberse a un año con bajos aportes hídricos o a consecuencia de obtener imágenes satelitales de distintos periodos del año. Esto se respalda, con la información obtenida para el año 2014, donde la cobertura vegetal alcanza una superficie de 1.548 m². En el caso de la Vega Sur, no hay mayores diferencias en las superficies con vegetación, incluso hay un aumento de 753 m² desde el año 2012 al 2013, y se mantiene constante al año 2014.

En el caso de los cuerpos de agua, estos se clasificaron en dos categorías: (1) Cobertura con humedad, y (2) Cuerpo de agua. En la Vega Norte, se identificaron periodos con abundante cobertura hídrica (años 2005, 2013 y 2014). Sin embargo, para el periodo comprendido entre 2007 a 2012, la superficie ocupada por cuerpos de agua ha sido mínima y esta superficie ha sido ocupada por la vegetación propia del lugar. En la Vega Sur, se presenta una situación similar donde se presentan cuatro años con cuerpos de agua por sobre los 100 m² (2005, 2007, 2013, y

2014).

Al delimitar las superficies de Vegas para los años 2011 y 2014 (años pre y post evento aluvional) y comparar estas superficies con el índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI) y el índice normalizado de agua (NDWI), se obtuvo que en la Vega Norte, la superficie total de vegetación y agua para el año 2014, es menor en 429 m² que lo estimado para el año 2011. En cambio, en la Vega Sur, la superficie total de vegetación y agua para el año 2014 es mayor en 963 m². Esto responde a un efecto cíclico en los procesos naturales de las vegas, tanto para los componentes de vegetación como recurso hídrico. Esto queda demostrado en las variaciones de superficie registradas tanto en las vegas Norte como Sur (tablas 13 y 14), donde la superficie de vegetación y agua van aumentando paulatinamente y luego hay una disminución de su cobertura que posteriormente va aumentando en forma consistente.

En base a los análisis anteriores, Las Vegas Norte y Sur se consideran como un sistema ecológico variable compuesto por vegetación y cuerpos de agua que en conjunto conforman un humedal altoandino y no a una vega como se describió en el proceso de fiscalización. Las variaciones de superficie tanto de vegetación y cuerpos de agua en el área de estudio están afectas a las condiciones ambientales y la disponibilidad de recursos, y el efecto de los aluviones registrados en el periodo Diciembre 2012 y Enero 2013, no tuvo un efecto adverso sobre las vegas ubicadas en la zona alta del río Estrecho.

6 BIBLIOGRAFIA

Ariza, A., Garcia, S., et al. (2014). DESARROLLO DE UN MODELO DE CORRECCIÓN DE IMÁGENES DE SATÉLITE PARA INUNDACIONES: (CAIN - CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA E ÍNDICES DE INUNDACIÓN). Disponible en (PDF): <http://www.un-spider.org/sites/default/files/ModeloCAIN.pdf>

Barrick. (2006). Adenda N°3: Capítulo 9. Flora y Fauna. 31 p.

Jeness, J. y J. J. Wynne. (2007). KAPPA ANALYSIS (KAPPA_STATS.AVX) EXTENSION FOR ARCVIEW 3.X. JENNESS ENTERPRISES. Disponible en: http://www.jennessent.com/arcview/kappa_stats.htm.

Oyola, N. (2009). IDENTIFICACIÓN DE HUMEDALES DEL NORTE GRANDE DE CHILE UTILIZANDO TÉCNICAS GEOMÁTICAS EN IMÁGENES SATELITALES LANDSAT. Disponible en (PDF): http://mascn.forestaluchile.cl/wp-content/uploads/2009/05/Proyecto_Natacha-Oyola.pdf

Polidorio, A., et al. (2005). SEGMENTAÇÃO DE CORPOS D'ÁGUA EM IMAGENS MULTIESPECTRAIS E TEMPORAIS USANDO WATERSHED COM MARCADORES AUTOMATICAMENTE DEFINIDOS.

SMA. (2013). Informe de Fiscalización ambiental, DFZ-2013-63-III-RCA-IA. Pascua Lama. Disponible en (PDF): http://portalsnifa.sma.gob.cl/documentos/fiscalizaciones/DFZ-2013-63-III-RCA-IA/Informe_Fiscalizacion_Pascua_Lama_Final.pdf