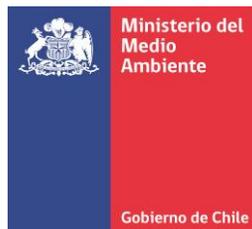


CONSTRUCCIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES NACIONALES A PARTIR DE INFORMACIÓN PROVENIENTE DEL ANÁLISIS DE IMÁGENES SATELITALES

608897-65-LE16

INFORME FINAL



Santiago, Diciembre de 2016

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	4
2. ANTECEDENTES GENERALES RELACIONADOS CON LA CONSTRUCCIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES A PARTIR DEL ANALISIS DE IMÁGENES SATELITALES	5
2.1 ¿Qué es un Indicador Ambiental?	5
2.2 Antecedentes para la construcción de Indicadores Ambientales basada en imágenes satelitales	6
2.2.1 Proyectos y Programas de Observación Terrestre	6
2.2.2 Principales características espectrales de los sensores satelitales seleccionados.....	8
2.2.3 Fuentes de insumos satelitales y criterios de selección.....	11
3. PROPUESTA DE UN SET DE INDICADORES, CONSTRUIDOS EN BASE A IMÁGENES SATELITALES, PARA CARACTERIZAR Y MONITOREAR LOS AMBIENTES GLACIAR, LACUSTRE Y EL BOSQUE NATIVO	12
3.1 Pre tratamiento y normalización de los insumos espaciales y satelitales.....	13
3.2 Índices espectrales y variables físicas.....	13
3.3 Indicadores ambientales propuestos para los ambientes glaciar, lacustre y bosque nativo.....	15
4. CONSTRUCCIÓN DEL SET DE INDICADORES SELECCIONADOS PARA LA CARACTERIZACIÓN Y EL MONITOREO, A NIVEL NACIONAL Y REGIONAL, DE LOS AMBIENTES GLACIAR, LACUSTRE Y EL BOSQUE NATIVO	19
4.1 Resultados obtenidos para los indicadores ambientales construidos	19
4.1.1 Superficie anual cubierta por cuerpos glaciares (SACCG).	19
4.1.2 La superficie anual del cuerpo lacustre (SACL).....	24
4.1.3 Superficie anual cubierta por bosque nativo (SACBN)	27
4.1.4 Vigor vegetacional anual del bosque nativo (VVABN).....	29
4.1.5 Obtención de tendencias del vigor vegetacional en Áreas Protegidas	30
4.2 Resultados obtenidos para los indicadores ambientales en desarrollo	36
4.2.1 Superficie del bosque nativo incendiado (SBNI)	36
4.2.2 Superficie cubierta por alta concentración de Clorofila a (SCACCa)	39
5. PROPUESTA DE UN SET DE INDICADORES AMBIENTALES, CONSTRUIDOS EN BASE A IMÁGENES SATELITALES, PARA CARACTERIZAR Y MONITOREAR LOS PROCESOS DE CAMBIO CLIMÁTICO, EL CRECIMIENTO VERDE Y EL CRECIMIENTO AZUL	41
5.1 Marco conceptual para el set de indicadores	41
5.2 Set de indicadores propuestos para monitorear el cambio climático, el crecimiento verde y el crecimiento azul	43
6. ELABORACIÓN DE CUENTAS AMBIENTALES A PARTIR DEL ANÁLISIS DE IMÁGENES SATELITALES: CASO PILOTO DESARROLLADO EN LA REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O’HIGGINS	46
6.1 Marco conceptual para la elaboración de cuentas ambientales.....	46
6.1.1 ¿Qué son las Cuentas Ambientales?	46

6.1.2	Clasificación de los activos ambientales en el Marco Central.....	47
6.1.3	Cuentas de activos respecto de la tierra	49
6.1.4	Clasificación de los usos de la tierra	50
6.1.5	Clases de cubierta terrestre	51
6.1.6	Cuentas de activos físicos sobre las tierras	52
6.1.7	Cuentas de activos físicos sobre los bosques y otras tierras boscosas	54
6.2	Diseño y elaboración del caso piloto a nivel regional	57
6.2.1	Plan de trabajo	59
6.2.2	Levantamiento de información en terreno	59
6.2.3	Procesamiento y síntesis de información de cobertura y usos de la tierra	62
6.3	Resultados obtenidos para las cuentas de activos físicos para las coberturas de la tierra.....	64
6.4	Limitaciones y problemas metodológicos del piloto de cuentas ambientales.....	71
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
8.	BIBLIOGRAFÍA CITADA	74
9.	ANEXOS	78
8.1	Ejemplo de fichas de Observación en terreno:	78
8.2	Clases recolectadas en terreno	79
8.3	Fichas metodológicas	87
8.4	Puntos de terreno.....	95
8.5	Inventario de imágenes satelitales usadas en SACBN	100
8.6	Inventario de imágenes satelitales usadas en SACCG y SACL.....	102

1. INTRODUCCIÓN

La formulación de indicadores ambientales en el presente proyecto, elaborado por el Ministerio del Medio Ambiente (MMA) y el Centro de Inteligencia Territorial de la Universidad Adolfo Ibáñez (CIT-UAI), se enmarca en el trabajo que se encuentra realizando el MMA para mejorar la gestión, el monitoreo y el análisis medioambiental en el territorio nacional, acercándose a los estándares internacionales entregados por organismos como la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y la Organización de las Naciones Unidas (ONU), a través de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Además, se han considerado los trabajos relevantes realizados en la materia por países como Estados Unidos, España e India, específicamente en lo referente a la construcción de indicadores ambientales mediante Teledetección, percepción remota o imágenes satelitales.

Dentro de las indicaciones y recomendaciones que surgen a partir de la Evaluación de Desempeño Ambiental de la OCDE y la CEPAL del año 2005, se señala la necesidad de “desarrollar un conjunto nacional de indicadores para medir el desempeño ambiental con respecto a objetivos nacionales y a compromisos internacionales” (OCDE-CEPAL, 2005: 18), como parte del mejoramiento de la gestión ambiental del país. En el mismo documento se indica el deber de perfeccionar la información ambiental, en lo referente a la relevancia de las políticas y la capacidad de medición (periodicidad, cobertura nacional y comparabilidad ambiental), apuntando a “producir información ambiental, informes de la situación del medio ambiente e indicadores ambientales con el fin de fortalecer la toma de decisiones y la información pública, tomando en cuenta las metodologías internacionales” (OCDE-CEPAL, 2005: 32).

El objetivo principal de este estudio se relaciona a la construcción de indicadores ambientales nacionales a partir de información proveniente del análisis de imágenes satelitales, que apoyen la gestión y planificación ambiental del país. También se ha dado un avance en la elaboración de cuentas ambientales siguiendo el mismo camino metodológico, abriendo la posibilidad de explorar este camino para otros contextos geográficos.

En cuanto a los métodos utilizados para el desarrollo de indicadores, el uso de metodologías relacionadas a la Teledetección y el análisis de imágenes satelitales permiten su construcción de manera más eficiente que los métodos clásicos de toma de datos *in situ*. La información que proveen los sensores espaciales multiespectrales se caracteriza por ser obtenida en grandes volúmenes, de forma económica, rápida, precisa y con cobertura global. Por esta razón, el análisis de imágenes satelitales y el uso de tecnologías de información permiten la construcción y la periódica actualización de indicadores ambientales de manera automatizada, permitiendo estudiar las tendencias y las dinámicas de los distintos ambientes, en escalas espacio temporales multidimensionales.

2. ANTECEDENTES GENERALES RELACIONADOS CON LA CONSTRUCCIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES A PARTIR DEL ANALISIS DE IMÁGENES SATELITALES

2.1 ¿Qué es un Indicador Ambiental?

El concepto de indicadores ambientales utilizado en el presente documento hace referencia a la definición realizada por el MMA y los organismos internacionales a los cuales Chile pertenece. El MMA define el concepto de indicadores utilizando como fuente al Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), cuyas referencias se encuentran en el Cuadro 1, en el que se sintetizan algunos aspectos relevantes de las definiciones utilizadas, así como también sus principales características.

Cuadro 1: Indicadores Ambientales según Instituciones y Organismos Internacionales.

Institución u Organismo	Definición y características
PNUMA (2009)	<ul style="list-style-type: none"> • Valor observado representativo de un fenómeno a ser estudiado. • Los indicadores señalan, brindan información y describen el estado del medio ambiente con una relevancia superior a la observación. • Cuantifican la información al agregar y sintetizar datos distintos y múltiples, simplificando la información. • Son capaces de esclarecer fenómenos de gran complejidad.
OCDE (1997)	<ul style="list-style-type: none"> • Parámetro o valor derivado de parámetros que proporciona información para describir el estado de un fenómeno, ambiente o área, con un significado que va más allá del directamente asociado con el valor del parámetro en sí mismo
CEPAL (2009)	<ul style="list-style-type: none"> • Constituyen un sistema de información selecta que permite a los países, los actores interesados o bien a las comunidades de territorios específicos. • Permiten evaluar su progreso en cuanto a determinadas metas cuando éstas existen, o al menos con respecto a los niveles observados en un año base.

Elaboración propia. Fuente: MMA, 2015.

De esta forma, la importancia de utilizar indicadores medio ambientales se encuentra en:

- Permiten medir y dimensionar variables.
- Facilitan la comprensión y seguimiento de los fenómenos y cuerpos naturales
- Permiten la construcción de tendencias
- valuar lo que se ha realizado en la materia.

Con respecto a los modelos de clasificación y agrupamiento de los indicadores, se consignan cinco grandes grupos, principalmente referidos a las fuerzas motrices, las presiones, el estado, el impacto y las respuestas (MMA, 2013). En el Cuadro 2 se puede apreciar una clasificación de los distintos tipos de Indicadores Ambientales revisados, además de algunos aspectos relevantes.

Cuadro 2: Clasificación de Indicadores Ambientales (CEPAL).

Indicadores Ambientales	Aspectos relevantes
Fuerzas motrices (FM)	Se refieren a factores o variables indirectas que están detrás de las presiones más específicas que afectan al medio ambiente.
Presiones (P)	Se refieren a factores o variables directas que afectan el estado de los componentes del medio ambiente de manera individual o colectiva. Estas presiones pueden ser de orden antrópico o deberse a procesos naturales.
Estado (E)	Se refieren a la situación en que se encuentran los componentes del medio ambiente, producto de las fuerzas motrices y de las presiones.
Impacto (I)	El estado de los componentes ambientales está asociado a impactos de distinto orden, tanto en la calidad de vida o en la salud de las personas, así como en los servicios ecosistémicos que entrega el medio ambiente.
Respuestas (R)	Se refieren a las acciones que realizan tanto las autoridades y la sociedad, ya sea en orden a disminuir los impactos ambientales o también para adaptarse a éstos. Estas acciones afectarán el estado de los componentes del medio ambiente, así como las presiones y las fuerzas motrices.

Elaboración propia. Fuente: MMA, 2015.

2.2 Antecedentes para la construcción de Indicadores Ambientales basada en imágenes satelitales

En forma complementaria a los antecedentes bibliográficos recopilados por el estudio realizado por el MMA en la materia (2015)¹, en el presente estudio se han revisado y sistematizado los aportes de otros sensores satelitales relevantes en el monitoreo de los ambientes y ecosistemas. Además, se ha incorporado el detalle de sus bandas espectrales y los criterios utilizados para la selección y descarga de imágenes desde las plataformas virtuales pertenecientes a las Instituciones internacionales o gubernamentales que apoyan los Proyectos y Programas de Observación Terrestre.

A continuación, se detallan las principales características de estos, así como también los sensores seleccionados y con potencial desarrollo para el monitoreo ambiental periódico, junto a las fuentes de insumos y criterios de selección utilizados para conformar la base de datos con imágenes satelitales Landsat y productos MODIS.

2.2.1 Proyectos y Programas de Observación Terrestre

A partir de la información obtenida en la revisión bibliográfica, se recopilaron algoritmos y modelos utilizados en investigaciones, siendo algunos de ellos puestos a disposición de la comunidad científica internacional en diferentes plataformas virtuales. En forma adicional, se consultaron las principales fuentes virtuales de organismos e instituciones relacionadas con la temática.

A través de la integración de la información recopilada, se obtuvieron las expresiones matemáticas para las variables o índices espectrales desarrollados en las diferentes investigaciones analizadas. Por otra

¹ "Construcción De Indicadores Ambientales Nacionales A Partir De Información Proveniente Del Análisis De Imágenes Satelitales". ID N° 608897-12-LE15. Informe Final. MMA, 2015.

parte, de las plataformas virtuales visitadas se obtuvieron los insumos satelitales y la información relevante para crear estrategias o criterios de decisión, que permitieron seleccionar los métodos y las herramientas a utilizar para construir los indicadores ambientales.

En el Cuadro 3 se pueden apreciar los principales proyectos y programas de observación terrestre, desarrollados por países miembros o adherentes de la OCDE. Se ha incorporado un sensor radar, perteneciente al Programa de Observación Terrestre llamado Copernicus. El monitoreo con radar (Sentinel 1) permite integrar otra rama de la Percepción Remota a la construcción de indicadores ambientales, la que abre las posibilidades al monitoreo de zonas del país cubiertas con nubes permanentemente.

Cuadro 3: Principales características de los proyectos y programas de observación terrestre revisados.

Proyecto o programa	Instituciones o Estados patrocinantes	Plataformas satelitales	Sensores considerados	Cobertura temporal	Resolución espacial	Observaciones
Land Remote Sensing Program (LRSP)	U.S. Geological Survey (USGS) National Aeronautics and Space Administration (NASA)	Landsat 5	Thematic Mapper (TM)	1984 - 2011	30 m 100 m banda térmica	Media resolución espacial.
		Landsat 7	Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM)	1999 - presente		Sensor con problemas de barrido en algunos periodos.
		Landsat 8	Operational Land Imager (OLI)	2013 - presente	30 m	El sensor TIRS sufrió problemas de calibración gran parte del verano 2015 (HS).
			Thermal Infrared Sensor (TIRS)		100 m	
Earth Observing System (EOS)	NASA	Terra Aqua	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)	2000 - presente	250 - 1.000 m	Resolución espacial causa problemas de límites o contornos. Menor resolución espacial. Ideal para la caracterización de ciclos fenológicos y cambios de la cubierta del suelo, a escalas regionales.
	NASA Ministerio de Economía de Japón	Terra	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)	2000 - presente	15 – 30 m	El subsistema SWIR no funciona normalmente desde el año 2008.
SPOT-VEGETATION	Bélgica Francia	SPOT 4	VEGETATION - 1	1998 - presente		Solo vegetación, lo que restringe los

Proyecto o programa	Instituciones o Estados patrocinantes	Plataformas satelitales	Sensores considerados	Cobertura temporal	Resolución espacial	Observaciones
	Italia Suecia Comisión Europea	SPOT 5	VEGETATION - 2	2002 - presente		ambientes a estudiar. Mayor resolución espacial.
<i>Copernicus</i>	European Space Agency (ESA)	Sentinel 1	C-band Synthetic Aperture Radar (SAR)	1A: 2014 - presente 1B: 2016 - presente	<ul style="list-style-type: none"> • Modo <i>Interferometric wide-swath</i>: Escenas de 250 km, con celdas de 5x20 m • Modo Wave: Escenas de 20x20 km y celdas de 5x5 m • Modo Strip map: Escenas de 80 km y celdas de 5x5 m • Modo Extra wide-swath: Escenas de 20x40 km y celdas de 20x40 m 	Constelación que orbita la Tierra cada 6 días. Usado para el monitoreo de océanos congelados, tormentas marinas, cambios de la cubierta terrestre, inundaciones, terremotos, etc. Es operativo en todas las condiciones ambientales, tanto de día como en la noche. Proyección temporal: mínimo de 7 años.
		Sentinel 2	MultiSpectral Instrument (MSI)	2A: 2015 - presente	10 – 60 m	Su resolución temporal corresponde a 10 días. Su uso se enfoca en el monitoreo de la vegetación, los cambios de la cobertura terrestre, los suelos y los cuerpos de agua, entre otros.

Elaboración propia. Fuente: MMA, 2015.

Se seleccionaron las series de imágenes satelitales Landsat y MODIS, cuyas características se señalan en el siguiente capítulo, debido a su mejor resolución espacial, temporal y espectral, además del correcto funcionamiento de sus respectivas misiones, para la construcción de los indicadores ambientales en base a los programas de la USGS y la NASA.

2.2.2 Principales características espectrales de los sensores satelitales seleccionados

En los cuadros sintéticos que se presentan a continuación, se pueden apreciar las principales características de la familia Landsat y MODIS, junto a los rangos y resoluciones espectrales que caracterizan a cada banda espectral asociada a sus sensores. Cabe destacar que la mayor parte de los

sensores satelitales recorren los rangos del espectro electromagnético asociados a la luz visible (Blue, Green y Red) y la radiación infrarroja (infrarrojo cercano (NIR) y corto (SWIR)).

En forma complementaria, se entregan detalles espectrales de las imágenes satelitales provistas por el satélite Sentinel 2, con el objetivo de establecer relaciones entre los sensores seleccionados para el presente estudio y el potencial desarrollo de Copernicus, Programa de Observación Terrestre de la ESA.

En el Cuadro 4 se exponen las principales características de las bandas espectrales de los sensores a bordo de la familia de plataformas satelitales Landsat. Adicionalmente, se entregan las principales aplicaciones asociadas a cada rango espectral, los que se pueden asociar a las bandas espectrales de los otros sensores satelitales ópticos que conforman a los diferentes Programas de Observación de la Tierra.

Cuadro 4: Principales características de los de los sensores de la familia Landsat.

Sensor	Banda	Resolución		Aplicaciones
		Espectral (um)	Espacial (m)	
TM	B1 (Blue)	0,45 - 0,52	30	Mapeo de aguas costeras
	B2 (Green)	0,52 – 0,60		Mapeo vegetación
	B3 (Red)	0,63 – 0,69		Absorción de clorofila
	B4 (NIR)	0,76 – 0,90		Delimitación de cuerpos de agua
	B5 (SWIR1)	1,55 – 1,75		Agricultura
	B6 (LWIR)	10,40 – 12,50	120 (30)	Propiedades termales del suelo
	B7 (SWIR2)	2,08 – 2,35	30	Identificación de minerales
ETM	Bandas B1 a B7 similar a TM	0,45 – 12,50	30	Vegetación Calidad del agua Agricultura
	B8 (Pan)	0,52 – 0,90	15	Albedo
OLI	B1	0,43 – 0,45	30	Aguas costeras
	B2 (Blue)	0,45 – 0,51		Tipos de vegetación
	B3 (Green)	0,53 – 0,59		Calidad del agua
	B4 (Red)	0,64 – 0,67		Áreas urbanas
	B5 (NIR)	0,85 – 0,88		Áreas húmedas
	B6 (SWIR1)	1,57 – 1,65		Humedad en la vegetación
	B7 (SWIR2)	2,11 – 2,29		Agricultura
	B8 (Pan)	0,50 – 0,68		Albedo
	B9 (Cirrus)	1,36 – 1,38		Nubes
TIRS	B10 (LWIR1)	10,60 – 11,19	100 (30)	Corrientes marinas
	B11 (LWIR2)	11,50 – 12,51		Stress térmico en las plantas

Fuente: MMA, 2015.

De forma similar, en el cuadro 5 se presentan las principales características espectrales y espaciales de las bandas componentes de las imágenes satelitales provistas por MODIS, válidas para las plataformas Aqua y Terra. La correspondencia con las bandas de la imaginería Landsat se puede realizar directamente con los rangos espectrales en que se encuentran centradas cada una de ellas. Se puede apreciar que las bandas MODIS abarcan completamente el rango espectral de Landsat 8, incluyendo a los sensores OLI y TIRS.

En cada cuadro siguiente se anexa una columna con la correspondencia entre las bandas espectrales de los sensores. Se ha tomado como referencia a las bandas de Landsat 8 para establecer un vínculo entre los sensores caracterizados.

Cuadro 5: Principales características de los de los sensores de la familia MODIS.

Banda	Resolución espectral (um)	Resolución espacial (m)	Aplicaciones	Banda Landsat 8
B1 (Red)	0,620 – 0,670	250	Bordes de Tierra Nubes Aerosoles	B4
B2 (NIR)	0,841 – 0,876			B5
B3 (Blue)	0,459 – 0,479			B2
B4 (Green)	0,545 – 0,565	500	Propiedades de la Tierra Nubes Aerosoles	B3
B5 (NIR)	1,23 – 1,25			-
B6 (SWIR)	1,628 – 1,652			B6
B7 (SWIR)	2,105 – 2,155			B7
B8 – B16	0,405 – 0,877			1000
B17 – B19	0,89 – 0,965			
B20 – B23	3,66 – 4,08			
B24 – B25	4,43 – 4,55			
B26 – B28	1,36 – 7,47			
B29	8,40 – 8,70			
B30	9,58 – 9,88			
B31	10,78 – 11,28			
B32	11,77 – 12,27			
B33	13,18 – 13,48			
B35	13,78 – 14,08			
B36	14,08 – 14,38			

Fuente: MMA, 2015.

En el Cuadro 6 se resumen las resoluciones espaciales del sensor óptico MSI a bordo de la misión Sentinel 2 (Copernicus). Se describe el ancho mínimo de las celdas para cada banda espectral, así como su respectivo centro de longitud asociados a los rangos espectrales que abarcan. De manera semejante a la realizada con las imágenes MODIS, se ha incluido una columna que relaciona a cada banda de Sentinel 2 con las del sensor OLI de Landsat 8.

Cabe destacar que la resolución espacial que ofrece el sensor MSI es mejor que la de Landsat, aunque solo en la región espectral que abarca uno de los sensores (OLI). La misión de Sentinel 2 no incluye un sensor térmico como el TIRS, no obstante abarca de manera eficiente los rangos espectrales que se han utilizado en el presente estudio.

Cuadro 6: Principales características de las bandas espectrales del sensor MSI (Sentinel 2).

Banda	Resolución espacial (m)	Centro de longitud de onda (um)	Ancho de banda (um)	Banda Landsat 8
2	10	0,490	0,65	B2
3		0,560	0,35	B3
4		0,665	0,30	B4
8		0,842	1,15	B5
5	20	0,705	0,15	-
6		0,740	0,15	-
7		0,783	0,20	-
8a		0,865	0,20	B5
11		1,610	0,90	B6
12		2,190	1,80	B7
1	60	0,443	0,20	B1
9		0,945	0,20	-
10		1,380	0,30	B6

Elaboración propia. Fuente: ESA, 2015.

2.2.3 Fuentes de insumos satelitales y criterios de selección

Se visitaron las plataformas virtuales de las principales organizaciones e instituciones a cargo de la difusión de la información satelital recopilada y pre tratada para la comunidad científica. En el cuadro 7 sintetiza las fuentes de insumos satelitales más relevantes encontradas en la visita de las plataformas mencionadas. Para el presente estudio se seleccionó como imagerie base ala provista por la USGS y las plataformas satelitales Landsat, en particular las misiones 5 y 8. De MODIS se ha seleccionado el producto compuesto de cada 16 días, generado para la caracterización de la vegetación, el que contiene el índice vegetacional NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*).

Cuadro 7: Fuentes de insumos satelitales y criterios de selección.

Fuente	Criterios
<ul style="list-style-type: none"> • United States Geological Survey (USGS). (Earth Explorer, Glovis) • Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System (LAADS), de la National Aeronautics and Space Administration (NASA) de los Estados Unidos. • Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) de Brasil; • ASTER Global Digital Elevation Model (ASTER GDEM), puesta a disposición por el gobierno japonés y la NASA. 	<ul style="list-style-type: none"> • La cobertura espacial: imagen debería contener algún cuerpo glaciar, lacustre o Área Protegida considerada en el presente estudio. • Las distintas resoluciones de las imágenes satelitales consideradas. • La extensión de la superficie cubierta con nubes en cada una de ellas (máx. 60% en la escena). • En aquellas zonas del país donde no exista cobertura por algún satélite Landsat (cobertura espacial y temporal), principalmente en las zonas sur y austral del país, se podrían utilizar los productos MODIS, de menor resolución espacial, pero mayor resolución temporal y espectral. • Se debe analizar la correspondencia de la resolución espacial y la escala indicada para caracterizar a los cuerpos naturales.

Elaboración propia. Fuente: MMA, 2015.

3. PROPUESTA DE UN SET DE INDICADORES, CONSTRUIDOS EN BASE A IMÁGENES SATELITALES, PARA CARACTERIZAR Y MONITOREAR LOS AMBIENTES GLACIAR, LACUSTRE Y EL BOSQUE NATIVO

En el presente estudio se ha dado continuación a la construcción de indicadores ambientales desarrollada por el MMA (2015) en tres ambientes relevantes: los glaciares, los cuerpos lacustres y el bosque nativo. La construcción se ha profundizado en dos aspectos importantes:

- i. La obtención de los indicadores para la mayor cantidad de cuerpos naturales y Áreas Protegidas.
- ii. En aumentar el número de indicadores disponibles para su futura construcción y cálculo.

Siguiendo el diseño metodológico del estudio encargado por el MMA en el año 2015, los indicadores seleccionados para su construcción, y cálculo, son anuales y con cobertura nacional. Se han considerado a los ciclos estacionales o fenológicos de los cuerpos naturales para la determinación del número de imágenes satelitales necesarias por año para construir a los indicadores propuestos. De esta forma, para el caso de los cuerpos glaciares se ha considerado la época del año comprendida entre el verano y el otoño, seleccionando una imagen sin nubes o problemas técnicos, realizando un compuesto o unión espacial de los resultados en caso de existir más de una imagen de calidad en la época del año mencionada.

En el caso de los cuerpos lacustres y el bosque nativo se ha determinado un mínimo de dos imágenes satelitales por año, registradas en las estaciones húmeda y seca del ciclo fenológico de la vegetación, obteniendo las celdas inundadas y con vegetación detectadas a lo largo del año. Esta relación de imágenes y cuerpos naturales caracterizados se debe ajustar según sea el sensor satelital que se utilice en su monitoreo. La diversidad de resoluciones espaciales y temporales de los actuales satélites (Landsat, MODIS, Sentinel, entre otros), permite incluir modificaciones en el número base para la construcción de los indicadores; sin embargo, se debe respetar la inclusión de imágenes en diferentes épocas del año, que abarquen los diferentes ciclos y pulsos naturales que presentan los diferentes ambientes y ecosistemas monitoreados.

En reuniones de trabajo con la contraparte se determinó que los años de caracterización de los ambientes determinados serían 2010 y 2015, pudiendo complementar la información con imágenes satelitales de los años vecinos en caso de no existir cobertura en alguna zona del territorio nacional para los años mencionados. Además, se determinaron cuáles serían los indicadores que se calcularían y cuales serían considerados como un desarrollo piloto. De igual forma, la contraparte hizo entrega un conjunto de insumos cartográficos base para el presente estudio:

- Inventario de Glaciares: del que se seleccionaron a los glaciares de montaña, glaciaretos, Campos de hielo, entre otros.
- Cuerpos lacustres: del que se seleccionaron a los lagos principales y secundarios, así como también a las lagunas de ambos niveles.
- Áreas Protegidas: en las que se consideraron Monumentos Nacionales, Parques Nacionales, Reservas Nacionales, entre otras, para la caracterización del bosque nativo.
- Cartografía de usos del suelo: Carta de Ocupación de la Tierra con la integración de usos y coberturas del suelo.

- Catastro Forestal de CONAF: se contó con la información de los bosques del territorio nacional, con la salvedad de su desactualización según sea la región caracterizada.

A continuación, se describen los principales aspectos considerados en la construcción de los indicadores ambientales en cada ambiente seleccionado. Primero se expone una etapa de normalización de la información satelital, junto a la obtención de los índices espectrales y variables físicas base para la obtención de los indicadores en los ambientes requeridos. En forma posterior, se detalla en forma sintética el marco contextual, definiciones y características de los indicadores desarrollados, entregándose un cuadro resumen en el que se describen aspectos relevantes que se han considerado en su construcción y cálculo.

3.1 Pre tratamiento y normalización de los insumos espaciales y satelitales

Se ha considerado seguir la cadena de normalización de la información satelital compuesta por la siguiente serie de procesos es:

- Extracción de la información valida (pixeles No Data o Dummits).
- Re proyección cartográfica (WGS 1984. H 19 S, UTM).
- Extracción pixeles correspondientes al territorio nacional.
- Transformación a radiancia (Landsat 5).
- Transformación a reflectancia (Landsat 5 y 8).
- Corrección topográfica.

Conseguida la reflectancia espectral corregida topográficamente, se debe obtener una serie de índices espectrales mediante los que se realizará la caracterización de la superficie terrestre y los ambientes seleccionados.

3.2 Índices espectrales y variables físicas

En el Cuadro 8 pueden observar las principales variables o índices ambientales, caracterizados con su expresión o formulación, y las situaciones geográficas en las que se han estudiado. Las expresiones son aplicables a cualquier sensor que posea bandas centradas en las regiones espectrales similares a las del sensor OLI de Landsat 8. Se ha utilizado como fuente el estudio realizado por el MMA en el año 2015, en el que se desarrollan con mayor profundidad cada índice espectral considerado.

Cuadro 8: Índices y variables seleccionados por ambiente

Ambiente	Índice o Variable	Expresión o método	Situación geográfica
Bosques	Superficie cubierta por bosque nativo	$Sup\ BN = \alpha_1 L_1 + \alpha_2 L_2 + \alpha_3 L_3 + \alpha_4 L_4 + \alpha_5 L_5$ <p><i>L</i>: Radiancia espectral corregida bandas Landsat α: Parámetros obtenidos a través del método <i>Maximum Likelihood Classification</i></p>	Bosque Nativo a escala nacional al interior de las Áreas Protegidas

Ambiente	Índice o Variable	Expresión o método	Situación geográfica
	Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) ²	$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$ <p>NIR: reflectividad en la banda del infrarrojo cercano. RED: reflectividad en la banda del rojo.</p>	del SNASPE seleccionadas
	Normalized Burnt Ratio (NBR) ³	$NBR = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)}$ <p>SWIR: reflectividad en la banda del infrarrojo de onda corta.</p>	
Lacustre	Normalized Difference Water Index ⁴	$NDWI = \frac{(GREEN - NIR)}{(GREEN + NIR)}$ <p>GREEN: reflectividad en la banda del verde.</p>	Lagunas y lagos determinadas por el MMA y CIT
Glaciar	Normalized Difference Snow Index (NDSI) ⁵	$NDSI = \frac{(GREEN - SWIR)}{(GREEN + SWIR)}$	Glaciares de montaña, glaciaretos y campos de hielo

Fuente: CIT-UAI, 2015.

Para el caso de la estimación del albedo a partir de la serie de imágenes satelitales Landsat, entre otras, ha sido ampliamente abordada en diversas investigaciones, como también en diferentes contextos geográficos (Liang, 1999; Knap et al., 1999; Wouter & Oerlemans, 2004; Pope & Rees, 2013). Entre ellas se han escogido tres de los modelos propuestos, los que otorgan una mayor adaptabilidad a distintos contextos geográficos y se desempeñan de manera correcta en superficies cubiertas con hielo o nieve (Cuadro 9). Además, se han considerado modelos lineales y no lineales, los que son expuestos con los parámetros resultantes de cada contexto estudiado, por lo que se deben calibrar con la espacialización de los datos levantados in situ.

Cuadro 9: Modelos y algoritmos utilizados en la obtención del albedo superficial.

Modelo	Formulación
Knap et al. (1999)	$\alpha_{short} = -0,726\rho_3 - 0,322\rho_3^2 - 0,051\rho_5 + 0,581\rho_5^2$ <p>Dónde: α_{short} = Albedo total de onda corta ρ_3 = Reflectancia OLI3 ρ_4 = Reflectancia OLI4</p>
Liang (1999)	$\alpha_{short} = -0,00180 + 0,356\rho_2 + 0,130\rho_4 + 0,373\rho_5 + 0,085\rho_6 + 0,072\rho_7$

² Índice Normalizado de Diferencial De Vegetación

³ Índice de Calcinación Normalizado

⁴ Índice Normalizado de Diferencial De Agua

⁵ Índice Normalizado de Diferencia de Nieve

	Con: ρ_i = Reflectancia bandas OLI ($i = 2,4,5,6,7$)
Liang (2000)	$\alpha_{short} = 0,8558\rho_{pancromática} + 0,0015$ Considerando que $\rho_{pancromática}$ = reflectividad banda pancromática Landsat 8

Fuente: CIT-UAI, 2015.

3.3 Indicadores ambientales propuestos para los ambientes glaciar, lacustre y bosque nativo

En el presente estudio se han seleccionado y optimizado un grupo de indicadores desarrollados por el MMA en el año 2015. Se ha determinado que se propondría un grupo de indicadores por cada ambiente para su construcción a nivel nacional, basados en la certeza espacial y metodológica que los sustentara (indicadores consolidados), y otro grupo que fuera considerado como indicadores en desarrollo. Entre los indicadores consolidados se encuentran los indicadores de Estado relativos a las superficies de los cuerpos naturales caracterizados, mientras que entre los indicadores en desarrollo se han propuesto dos nuevos indicadores para glaciares, uno para el ambiente lacustre y otro para el bosque nativo.

La información base para la construcción de los indicadores ambientales se presenta en forma sintética en los cuadros siguientes. En el Cuadro 10 se entrega un marco conceptual de los indicadores seleccionados en cada ambiente, mientras que en el Cuadro 11 se pueden apreciar aspectos formales y técnicos del conjunto de indicadores propuesto. Finalmente, en el Cuadro 12 se detallan los indicadores, convenidos con la contraparte, a desarrollar en cada ambiente, junto a detalles generales para lograrlo y que serán parte de los entregables correspondientes al informe final.

Cuadro 10: Indicadores ambientales consolidados y en desarrollo, junto a sus marcos conceptuales, índices y variables consideradas.

Ambiente	Indicador	Tipo	Marco contextual	Índices espectrales/Variabiles físicas	Variables ambientales	Observaciones
Glaciar	Superficie Anual Cubierta por Cuerpos Glaciares	Consolidado	<ul style="list-style-type: none"> Según la Estrategia Nacional de Glaciares de la DGA, los glaciares se definen como “toda superficie de hielo y nieve permanente generada sobre suelo, que sea visible por períodos de al menos 2 años y de un área igual o superior a 0,01 km² (una hectárea). O cualquier superficie rocosa con evidencia superficial de flujo viscoso, producto de un alto contenido de hielo actual o pasado en el subsuelo”. El albedo corresponde al porcentaje de radiación que una superficie refleja respecto a la que incide sobre ella. De esta forma, el albedo de una superficie depende de su naturaleza, presentando valores mayores valores las superficies claras y brillantes (nieve y hielo) que las oscuras y opacas (rocas). 	NDSI	Superficie cubierta por los cuerpos glaciares, SCCG = NDSI ≥ 0,4	<ul style="list-style-type: none"> En el presente estudio se han considerado para su caracterización a los glaciares de montaña, los glaciaretos y campos de hielo. Se han considerado solo aquellas imágenes satelitales correspondientes a los meses del verano u otoño en los años caracterizados, con el fin de minimizar los errores espaciales del índice al diferenciar la nieve fresca del hielo. Variaciones estacionales en la composición superficial del cuerpo glaciar. Variaciones asociadas a fenómenos naturales: las erupciones de volcanes, incendios forestales, derrumbes o deslizamientos de laderas, entre otros. Variaciones asociadas a la acción antrópica: incendios, derrumbes de laderas, contaminación por levantamiento de polvo, entre otras. Variaciones asociadas al cambio climático: el aumento sostenido de la temperatura global acarrea el retroceso de los glaciares, provocando cambios en el albedo glaciar.
	Variación anual del albedo glaciar	En desarrollo		Albedo onda corta	Albedo estacional del cuerpo glaciar	
	Amplitud térmica anual del cuerpo glaciar	En desarrollo		Temperatura superficial	Temperatura superficial estacional del cuerpo glaciar	
Lacustre	Superficie anual cubierta por el cuerpo lacustre	Consolidado	El estado trófico de las aguas superficiales continentales es definido en el Decreto 122 del año 2010 y en el Decreto 19 del año 2013 como “la calidad del cuerpo de agua representado por el nivel de productividad biológica determinada por la concentración de nutrientes y los factores físicos y químicos que éste presente”.	NDWI	Superficie lámina de agua o superficie cuerpo lacustre, SCL = NDWI ≥ 0,2	
Marino	Eutrofización anual de la superficie marina*	En desarrollo		Clorofila a	Índice de eutrofización superficial marina, IESL = $\widehat{Ca} \cap SACL$, donde \widehat{Ca} es el valor de la clorofila a normalizada	<ul style="list-style-type: none"> El indicador de eutrofización anual de la superficie marina se ha tomado como un indicador piloto, debido a que necesita de una calibración con datos recolectados en terreno.
Bosques	Superficie anual cubierta por bosque nativo	Consolidado	Según la Ley N°20.283 de Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal, el bosque nativo corresponde a aquel “bosque formado por especies autóctonas, provenientes de generación natural, regeneración natural, o plantación bajo dosel con las mismas especies existentes en el área de distribución original, que pueden tener presencia accidental de especies exóticas distribuidas al azar”.	Firma espectral bosque nativo	Superficie cubierta por el bosque nativo (<i>Maximum Likelihood Classification</i>)	<ul style="list-style-type: none"> El método para obtener la superficie del bosque nativo no cuenta con una expresión matemática formal, debido a que se encuentra basada en los principios de normalidad y el teorema de Bayes. El indicador de superficie anual del bosque nativo incendiada se ha tomado como piloto, debido a la dificultad asociada a su delimitación y la pobreza de insumos espaciales para su detección.
	Vigor vegetacional anual del bosque nativo	Consolidado		NDVI	Vigor vegetacional promedio del bosque nativo en cada AP	
	Superficie anual del bosque nativo incendiada*	En desarrollo		NBR	Diferencia entre los NBR de años diferentes al incendio forestal: $Dif_{NBR} = NBR_{t1} - NBR_{t2}$ Donde NBR_{ti} es el índice espectral correspondiente a una fecha anterior y posterior al incendio.	

Fuente: MMA, 2015.

Cuadro 11: Resumen de las características formales y técnicas de las variables e indicadores ambientales desarrollados.

Ambiente	Nombre indicador ambiental	Expresión matemática indicador	Unidad variable física	Escala de análisis	Cobertura regional	Años del indicador	Frecuencia actualización del indicador	Satélites utilizados	Resolución espacial	Otros sensores	Temporada de las imágenes	Imágenes mínimas por año												
Glaciar	Superficie anual cubierta por cuerpos glaciares (SACCG)	$SACCG = \bigcup_{i=1}^{i=n} SCCG_i$	Km ²	Glaciares de montaña Glaciaretos Campos de Hielo	2010: XV-X 2015: XV-XII	Periodo quinquenal entre 1990-2015	Anual	Landsat	30 metros	MODIS ASTER Hyperion Sentinel 2	Finales de verano y principio de otoño (estaciones sin aporte de las primeras nevazones)	Dos												
	Variación anual del albedo glaciar	En desarrollo	%																					
	Amplitud térmica anual del cuerpo glaciar	En desarrollo	° C																					
Lacustre	Superficie anual de los cuerpos lacustres	$SACL = \bigcup_{i=1}^{i=n} SCL_i$	Km ²	Lagos y lagunas determinadas por el MMA y CIT							2010: XV-X 2015: XV-XII	Periodo quinquenal entre 1990-2015	Anual	Landsat	30 metros	MODIS ASTER Hyperion Sentinel 2	Una imagen por estación	Cuatro						
	Eutrofización anual de la superficie lacustre (EASL)*	$EASL = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} IEL_i$	Mg/m ³																					
Bosques	Superficie anual cubierta por bosque nativo (SACBN)	$SACBN = \bigcup_{i=1}^{i=n} SCBN_i$	Km ²	Bosque nativo a escala nacional al interior de las Áreas Protegidas del SNASPE													2010: XV-X 2015: XV-XII	Periodo quinquenal entre 1990-2015	Anual	Landsat	30 metros	MODIS ASTER Hyperion Sentinel 2	Estación húmeda y seca	Dos
	Vigor vegetacional anual del bosque nativo (VVABN)	$VVABN = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} NDVI_{BN_i}$	Adimensional																					
	Superficie anual de bosque nativo incendiado (SABNI)*	$SABNI = \bigcup_{i=1}^{i=n} SBNI_i$	Adimensional																					

Elaboración propia. Fuente: MMA, 2015. * Indicadores en desarrollo.

Cuadro 12: Indicadores Ambientales propuestos para obtener a nivel regional y nacional en el presente estudio.

Ambiente o ecosistema	Indicador Ambiental propuesto para continuar con su construcción	Tipos de cuerpos o áreas naturales	N° de cuerpos o áreas protegidas	% del total nacional	Fuente cartográfica	Plataforma y Sensor satelital	Resolución espacial	Superficie estadística mínima ambiente o ecosistema	Cobertura espacio-temporal	Indicadores propuestos para construir a nivel nacional y para piloto de cuentas ambientales*
Glaciares	Superficie anual cubierta por cuerpos glaciares (SACCG)	Glaciares de montaña	8.014	33,24	Inventario Nacional de Glaciares DGA (MMA)	Landsat 5, 7 y 8, sensores TM, ETM y OLI.	30 metros	45.000 m ²	Año 2010: Región de Arica y Parinacota - Región de Los Lagos	Superficie anual cubierta por cuerpos glaciares (SACCG)
		Glaciaretos	3.549	14,72						
	Variación anual del albedo glaciar	Glaciares de valle	301	1,25						
		Glaciares efluentes	363	1,51						
	Amplitud térmica anual del cuerpo glaciar	Total Glaciares	12.227	50,71						
Lacustre	Superficie anual cuerpos lacustres (SACL)	Lagos	296	1,76	Cuerpos lacustres MMA	Landsat 5, 7 y 8, sensores TM, ETM y OLI.	30 metros	45.000 m ²	Años 2015 y 2016: Nacional	Superficie anual cuerpos lacustres (SACL)
		Lagunas	7.178	42,67						
	Eutrofización anual de la superficie lacustre (EASL)	Salares	160	0,95						
		Total cuerpos lacustres	7.634	45,38						
	Bosque nativo	Superficie anual cubierta por bosque nativo (SACBN).	Monumentos Naturales	7						6,73
Parques Nacionales			27	25,96						
Vigor vegetacional anual del bosque nativo (VVABN).		Reservas Nacionales	18	17,31						
		Reservas forestales	20	19,23						
Superficie anual del bosque nativo incendiada (SABNI).		Total Áreas Naturales	72	69,23						
						250 metros	625.000 m ²		Vigor vegetacional anual del bosque nativo (VVABN)	

Elaboración Propia. Fuente: MMA, 2015.

4. CONSTRUCCIÓN DEL SET DE INDICADORES SELECCIONADOS PARA LA CARACTERIZACIÓN Y EL MONITOREO, A NIVEL NACIONAL Y REGIONAL, DE LOS AMBIENTES GLACIAR, LACUSTRE Y EL BOSQUE NATIVO

La construcción y obtención de los indicadores ambientales seleccionados para los glaciares, los cuerpos lacustres y el bosque nativo, se realizó teniendo como referencia la información contenida en el Cuadro 12, centrándose en los indicadores de Estado como primera etapa de la caracterización y monitoreo de los ambientes seleccionados. Se ha realizado la construcción a nivel nacional de cuatro indicadores ambientales referentes a las superficies de los cuerpos naturales caracterizados en el presente estudio, principalmente por ser la base para otro tipo de indicadores, como los relacionados con la obtención de la amplitud térmica, el estado trófico de cuerpos lacustres o el albedo glaciar anual, encontrándose entre ellos la superficie anual cubierta por cuerpos glaciares (SACCG), la superficie anual cuerpos lacustres (SACL), la superficie anual cubierta por bosque nativo (SACBN) y el vigor vegetacional anual del bosque nativo (VVABN).

Se han considerado los casos relacionados con dos indicadores en desarrollo, debido a su relevancia en cada ambiente: el grado de eutrofización de los cuerpos lacustres y la superficie incendiada de bosque nativo. En Anexos es posible encontrar las fichas metodológicas de estos indicadores construidos. A continuación, se detallan las principales actividades y procesos utilizados en la presente etapa.

4.1 Resultados obtenidos para los indicadores ambientales construidos

Los cuatro indicadores construidos a escala nacional y regional se detallan a continuación, entregando la información resumida en forma tabular y gráfica, destacando algunos casos en cada ambiente e ilustrando el alcance de los resultados obtenidos.

4.1.1 Superficie anual cubierta por cuerpos glaciares (SACCG).

La obtención de la superficie cubierta por los cuerpos glaciares seleccionados (glaciares de montaña, glaciaretos, glaciares de valle y glaciares efluentes), a nivel regional y nacional, se realizó mediante el uso del *Normalized Difference Snow Index* (NDSI). A través de la selección de los píxeles con valores del índice mayor que 0,2, se obtuvo la superficie de los cuerpos glaciares, teniendo como referencia espacial y de comparación cuantitativa a la cobertura con los cuerpos glaciares entregada por la contraparte.

Se han utilizado imágenes satelitales del final de las temporadas secas a nivel nacional, asegurándose de que solo se hayan incorporado imágenes de antes de la temporada de las primeras nevazones, bastando con una imagen por año, libre de nubes, para obtener la superficie del cuerpo glaciar en su momento del año con menor extensión superficial y alimentación estacional. Los resultados obtenidos para la superficie anual cubierta por cuerpos glaciares se pueden apreciar en el Cuadro 13, en el que se incluyó el número de cuerpos considerados por región.

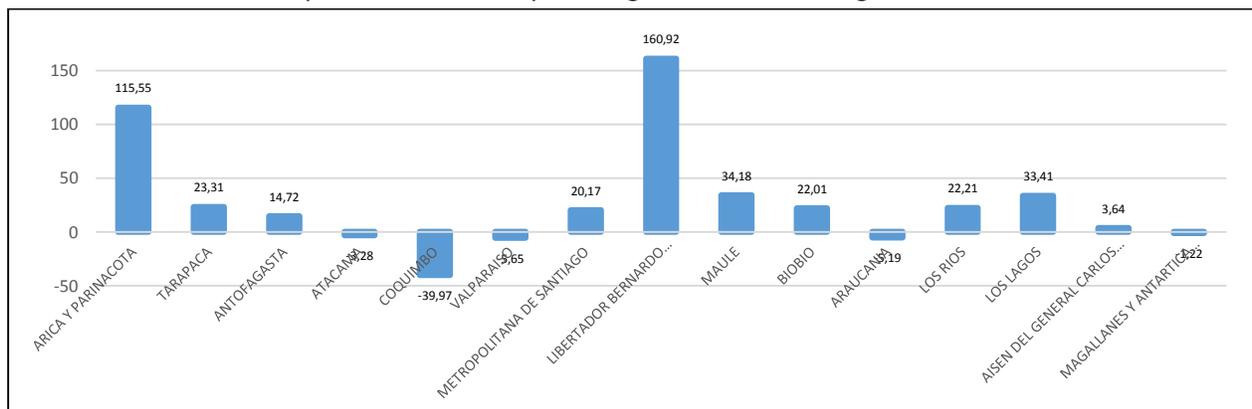
Cuadro 13: Resultados obtenidos para la superficie regional cubierta por glaciares.

Región	N° Glaciares seleccionados	Superficie 2010 (km2)	Superficie 2015 (km2)
ARICA Y PARINACOTA	25	2,40	5,17
TARAPACA	2	0,14	0,17
ANTOFAGASTA	6	0,79	0,90
ATACAMA	101	13,85	13,40
COQUIMBO	31	5,69	3,42
VALPARAISO	85	38,54	36,37
METROPOLITANA DE SANTIAGO	198	172,49	207,27
LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS	296	107,38	280,18
MAULE	106	18,35	24,62
BIOBIO	58	25,05	30,57
ARAUCANIA	77	57,31	54,33
LOS RIOS	19	28,30	34,59
LOS LAGOS	1.688	582,45	777,02
AISEN DEL GENERAL CARLOS IBAÑEZ DEL CAMPO	4.288	7.517,92	7.791,55
MAGALLANES Y ANTARTICA CHILENA	2.671	3.795,29	3.749,04
TOTAL	9.651	12.365,95	13.008,60

Fuente: CIT-UAI, 2016.

Como se puede apreciar, los mayores cambios observados se encuentran en las regiones con un incremento de la superficie cubierta por cuerpos glaciares, destacando las regiones de Arica y Parinacota, junto a la región del Libertador General Bernardo O'Higgins. En contraste, el decrecimiento de mayor importancia se manifiesta en la región de Coquimbo, seguida de más atrás por la región de Valparaíso. Estos cambios se encuentran condicionados por dos aspectos relevantes: la diferencia de resolución radiométrica de los sensores utilizados y en la baja calidad cartográfica de la cobertura con los cuerpos lacustres generada por el MMA. Esto queda más claro con las variaciones porcentuales de la superficie glaciar en cada región, las que se pueden apreciar en el Gráfico 1:

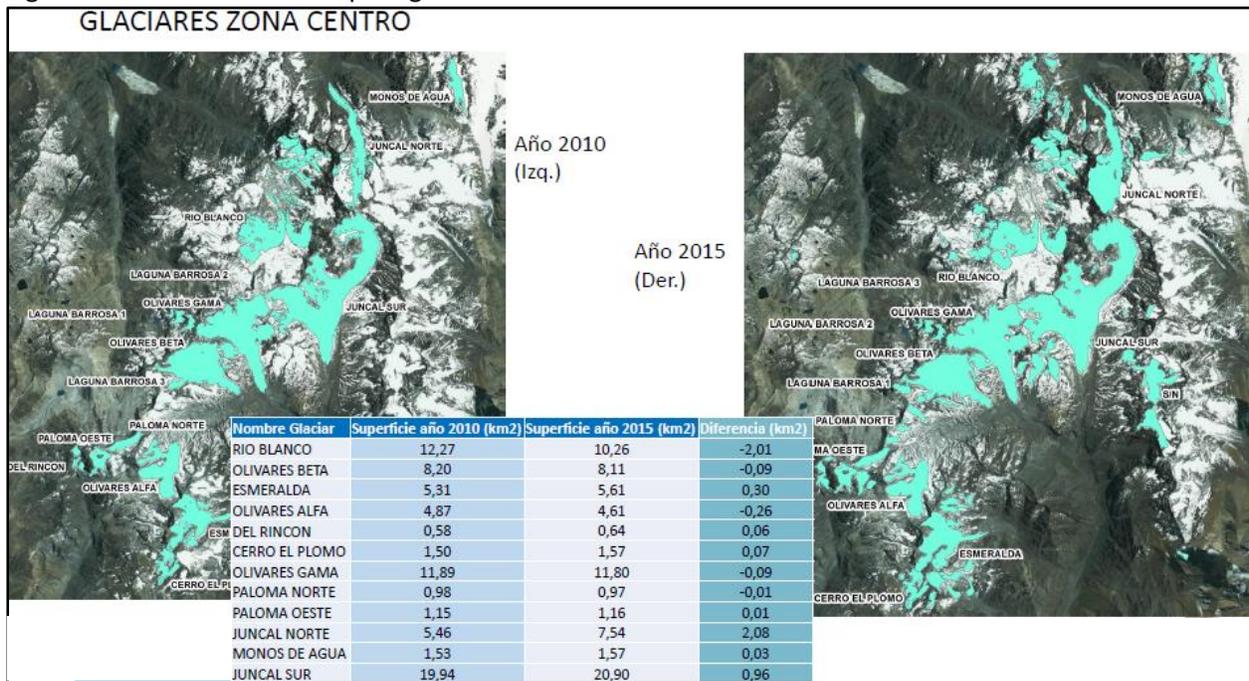
Gráfico 1: Variación porcentual de la superficie glaciar a nivel de regiones. Periodo 2010 – 2015.



Fuente: CIT-UAI, 2016.

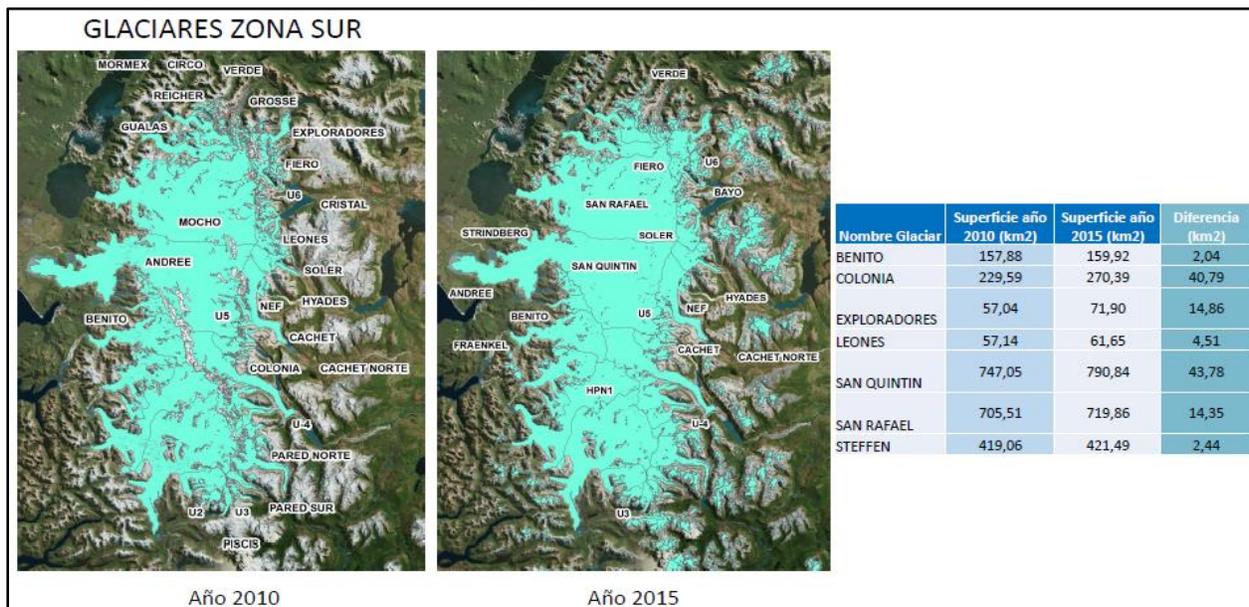
A continuación se presentan algunas estadísticas por zonas geográficas del país, acompañados de gráficas generadas a partir del uso de estos indicadores nacionales satelitales.

Figura 1: Monitoreo satelital para glaciares de zona central de Chile entre años 2010-2015



Fuente: Centro de Inteligencia Territorial, 2016

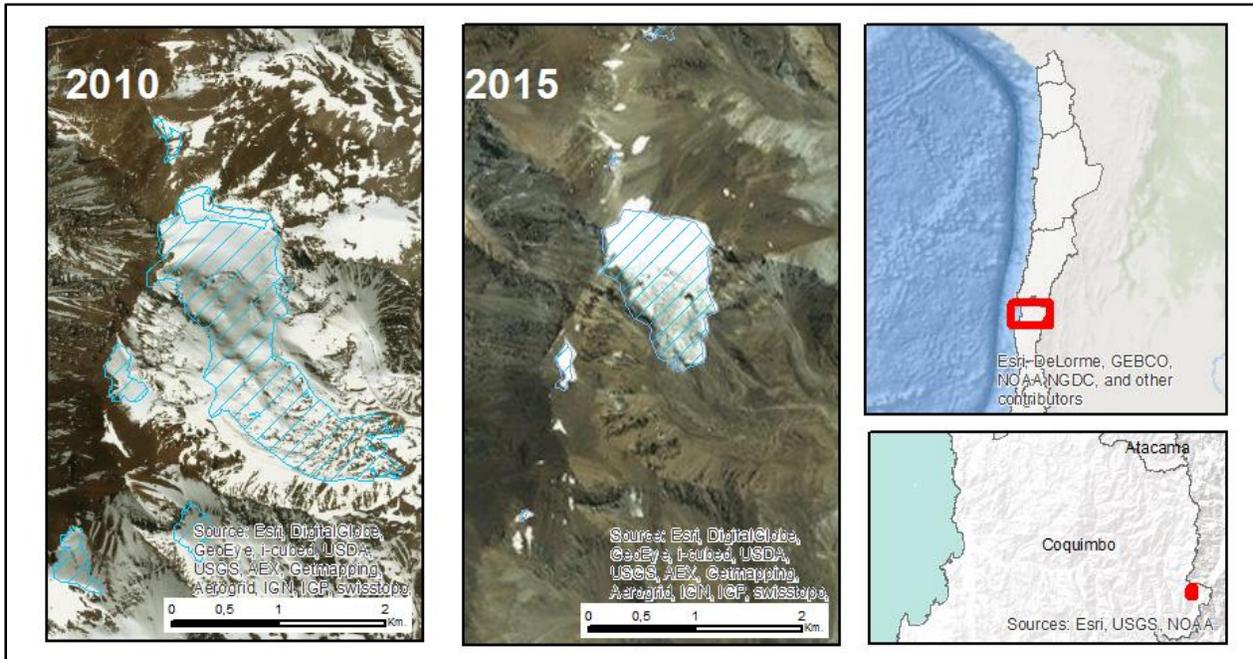
Figura 2: Monitoreo satelital para glaciares de zona sur de Chile entre años 2010-2015



Fuente: Centro de Inteligencia Territorial, 2016.

El glaciar Tapado en la comuna de Vicuña, región de Coquimbo, es un ejemplo de glaciar (de montaña) que de acuerdo a esta herramienta ha experimentado una de las mayores variaciones entre los años 2010 y 2015, tal como puede observarse en la siguiente figura.

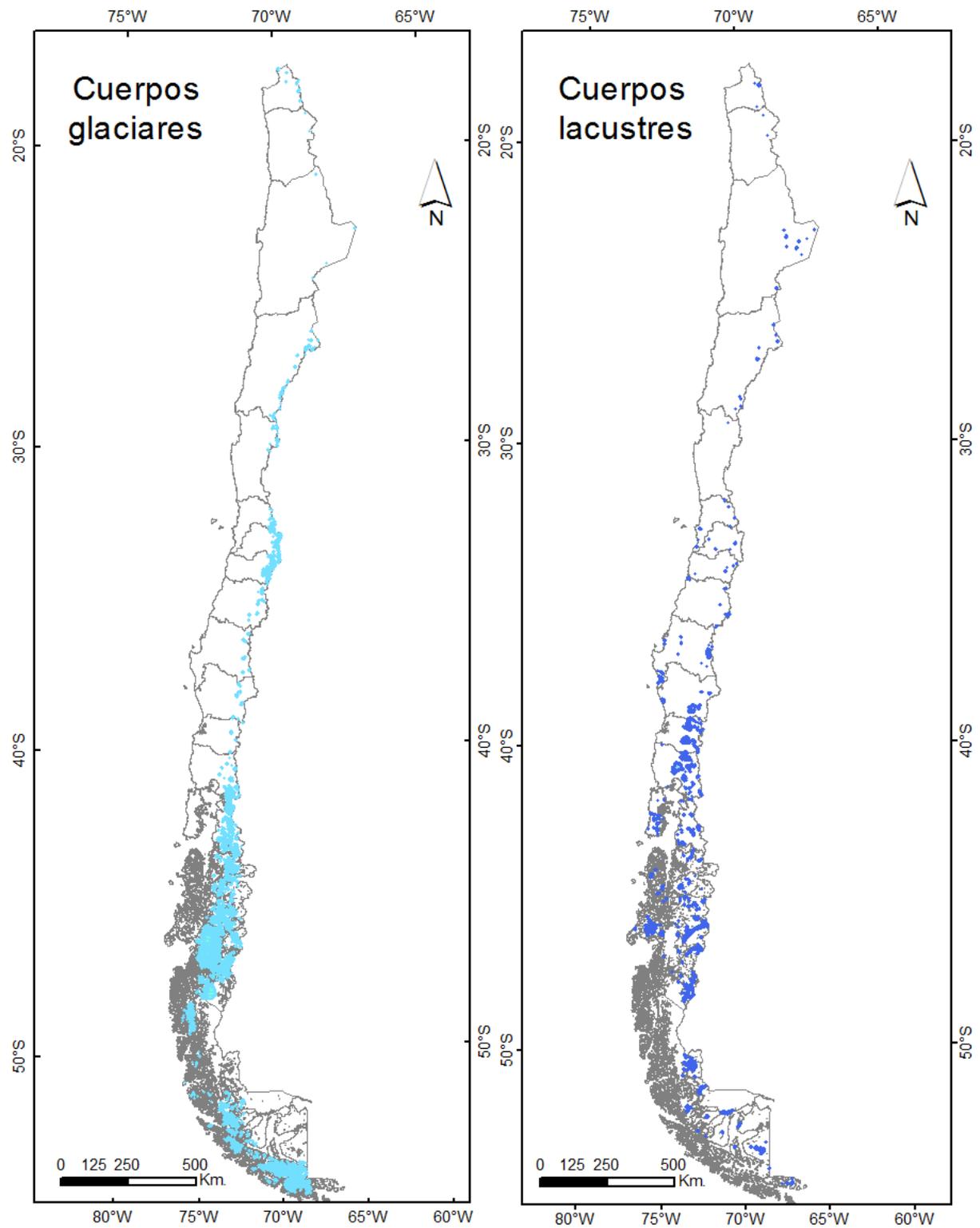
Figura 3: Monitoreo satelital para glaciar Tapado, región de Coquimbo, entre años 2010-2015.



Fuente: Centro de Inteligencia Territorial, 2016

Respecto de la superficie del territorio nacional cubierta por el monitoreo satelital disponible a través del uso de esta herramienta, se refiere a gran parte de éste, tal como puede observarse en la siguiente figura.

Figura 4: Extensión a nivel nacional de cuerpos glaciares y lacustres monitoreados satelitalmente



Fuente: Centro de Inteligencia Territorial, 2016

4.1.2 La superficie anual del cuerpo lacustre (SACL)

Los resultados obtenidos para los cuerpos lacustres se pueden apreciar en el Cuadro 24. En forma adicional, también se puede ver el número de cuerpos lacustres que se han considerado por región. En total se han obtenido resultados para un total de 384 cuerpos. En el anexo 8.6 se puede encontrar el detalle de las imágenes utilizadas para la obtención de este indicador.

La información de base para definir los cuerpos lacustres provino de la contraparte. Esta base de datos en formato .shp fue revisada y se seleccionaron aquellos polígonos que tuviesen nombre, presentasen un solo cuerpo principal bajo ese nombre y que la delimitación cartográfica correspondiese a la realidad (lo cual se determinó en base a un proceso de fointerpretación basado en imágenes de Google Earth y ESRI Maps); la base que se utilizó finalmente incluía un total de 301 cuerpos, los cuales pueden verse de manera general en la Figura 4.

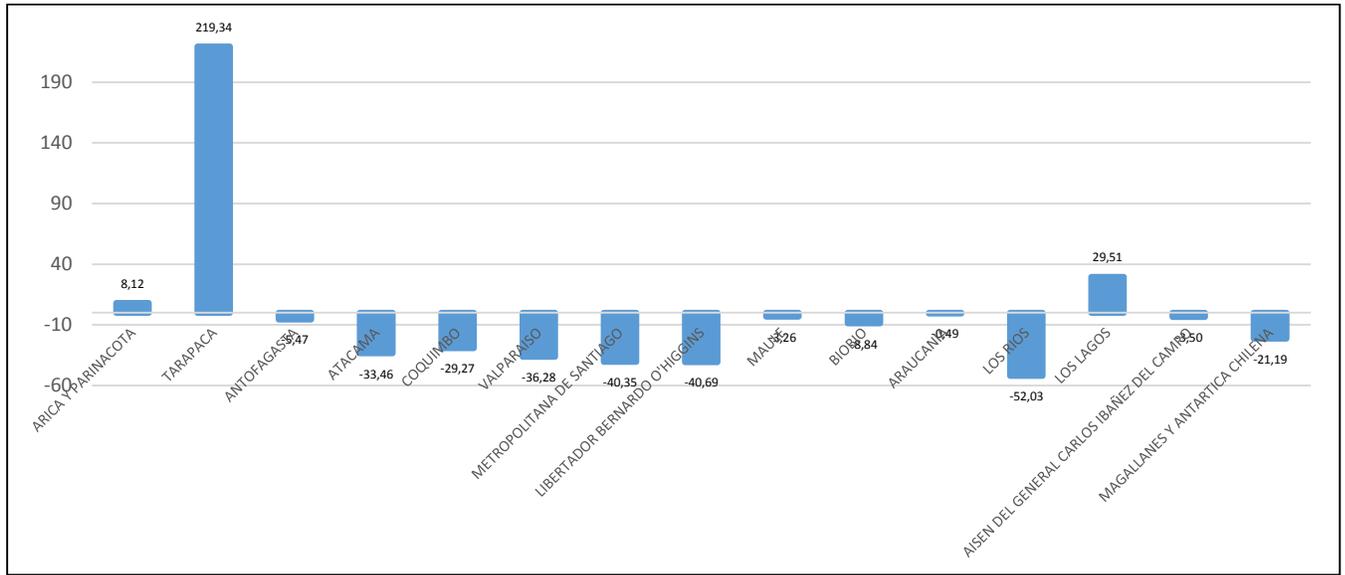
Cuadro 14: Resultados obtenidos para la superficie regional cubierta por cuerpos lacustres

REGIÓN	N° de Cuerpos Lacustres	Superficie 2010 (km2)	Superficie 2016 (km2)
ARICA Y PARINACOTA	4	21,93	23,71
TARAPACA	5	0,18	0,59
ANTOFAGASTA	14	22,89	21,64
ATACAMA	8	45,00	29,94
COQUIMBO	3	1,26	0,89
VALPARAISO	9	7,32	4,67
METROPOLITANA DE SANTIAGO	6	16,38	9,77
LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS	10	2,64	1,57
MAULE	15	75,22	72,76
BIOBIO	24	148,29	135,18
ARAUCANIA	9	468,36	466,04
LOS RIOS	20	572,17	274,49
LOS LAGOS	56	1.224,61	1.586,05
AISEN DEL GENERAL CARLOS IBAÑEZ DEL CAMPO	97	99,85	96,35
MAGALLANES Y ANTARTICA CHILENA	104	256,51	202,15

Fuente: CIT-UAI, 2016.

Las variaciones porcentuales de superficie lacustre en cada región se pueden ver en el Gráfico 2:

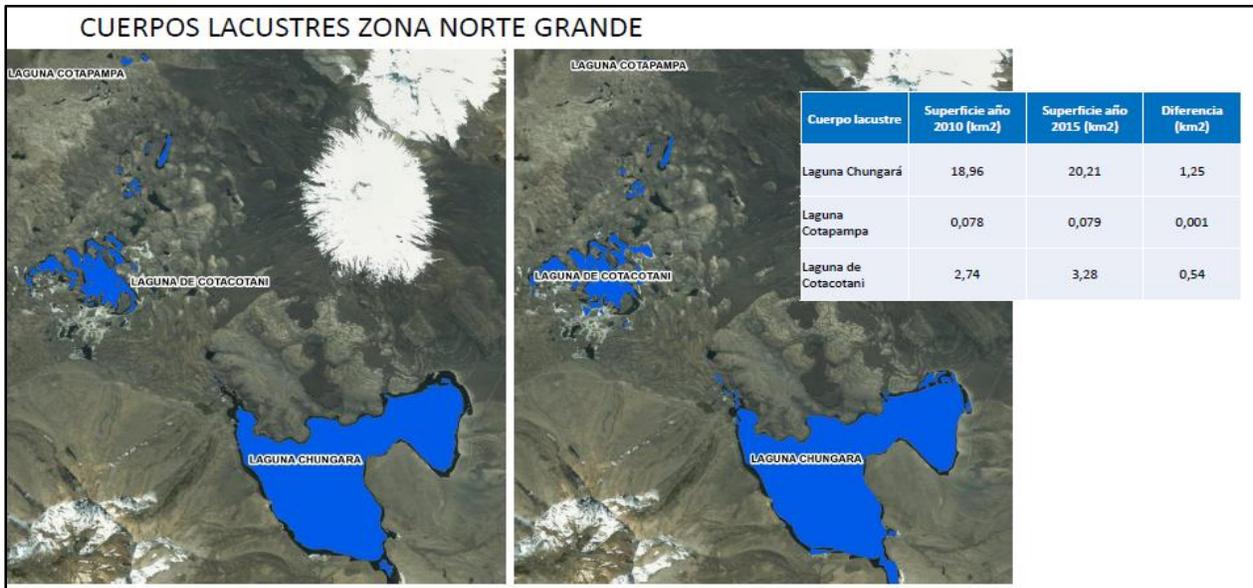
Gráfico 2: Variación porcentual de la superficie lacustre a nivel de regiones.



Fuente: CIT-UAI, 2016

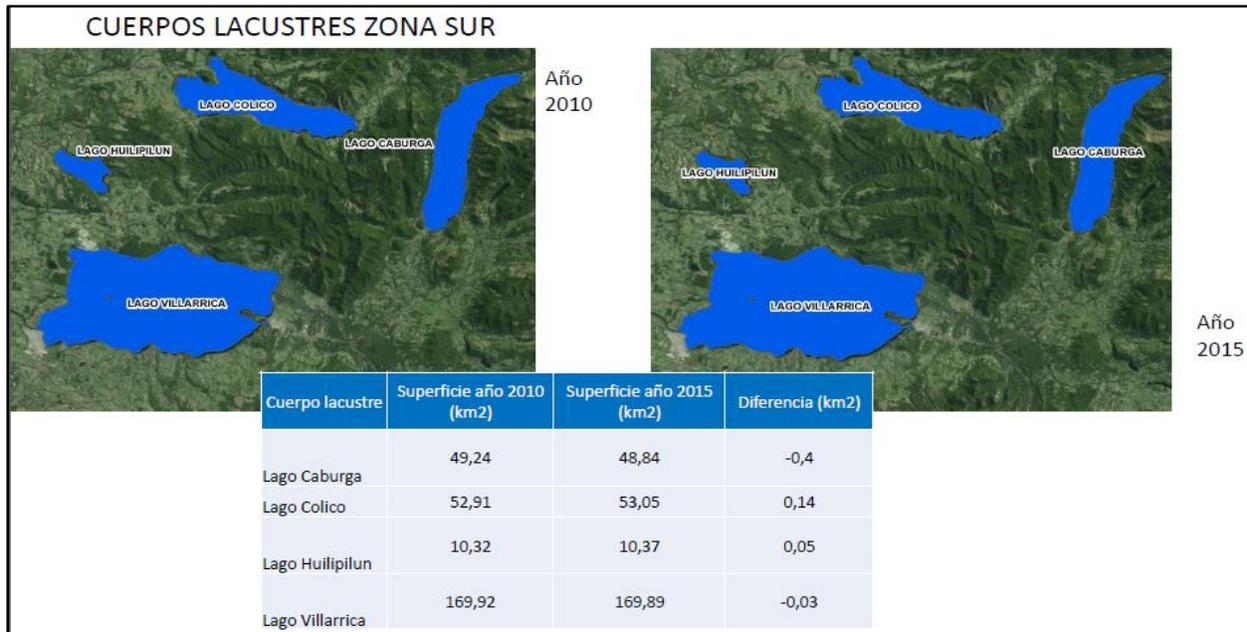
A continuación se presentan algunas estadísticas por zonas geográficas del país, acompañados de gráficas generadas a partir del uso de estos indicadores nacionales satelitales.

Figura 5: Monitoreo satelital para cuerpos lacustres de la zona del norte grande de Chile entre años 2010-2015.



Fuente: Centro de Inteligencia Territorial, 2016

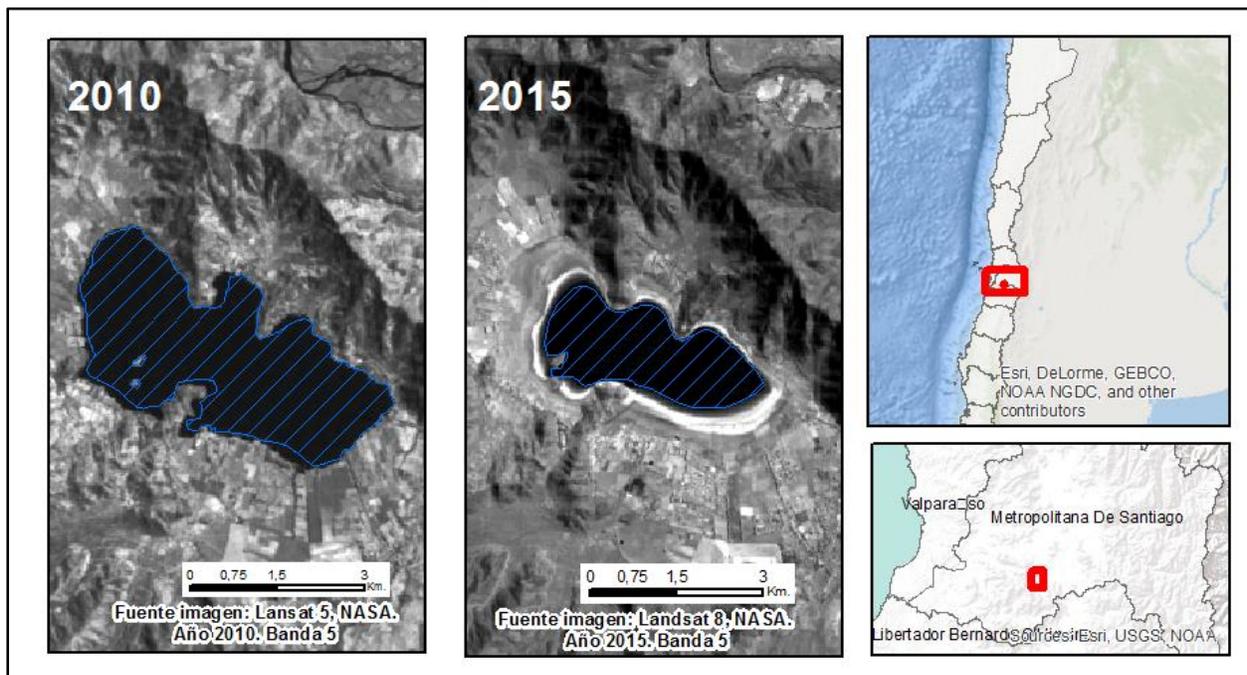
Figura 6: Monitoreo satelital para cuerpos lacustres de la zona sur de Chile entre años 2010-2015



Fuente: Centro de Inteligencia Territorial, 2016

Uno de los cuerpos lacustres que ha experimentado significativas variaciones es la Laguna de Aculeo, tal como se puede ver en la figura que se presenta a continuación.

Figura 7: Monitoreo satelital para Laguna de Aculeo, región Metropolitana, entre años 2010-2015.



Fuente: Centro de Inteligencia Territorial, 2016

4.1.3 Superficie anual cubierta por bosque nativo (SACBN)

La obtención de la superficie cubierta por el bosque nativo en las áreas protegidas por el Estado que han sido seleccionadas para su caracterización y monitoreo en el presente estudio (ver Cuadro 12), se logró utilizando una variación metodológica de la propuesta por el equipo de trabajo del CIT (MMA, 2015), manteniendo la estructura metodológica en cuanto a utilizar el método de clasificación supervisada, basada en la generación de una firma espectral y su integración con las bandas espectrales de la imagerie Landsat en el algoritmo de máxima verosimilitud entre celdas vecinas.

Se seleccionaron un total de 47 Áreas Protegidas, cuyos resultados se sintetizan en el Cuadro 15. Se encuentran celdas sin valores debido a que no se lograron obtener datos consistentes. Esto se relacionó con diversos motivos, entre ellos la inexistencia de imágenes satelitales de calidad (sin nubes o bandeado), limitaciones cartográficas de las capas usadas como referencia (COT, Land Cover y Catastro CONAF), entre otras.

Cuadro 15: Resultados para la superficie cubierta por el bosque nativo en las AP seleccionadas.

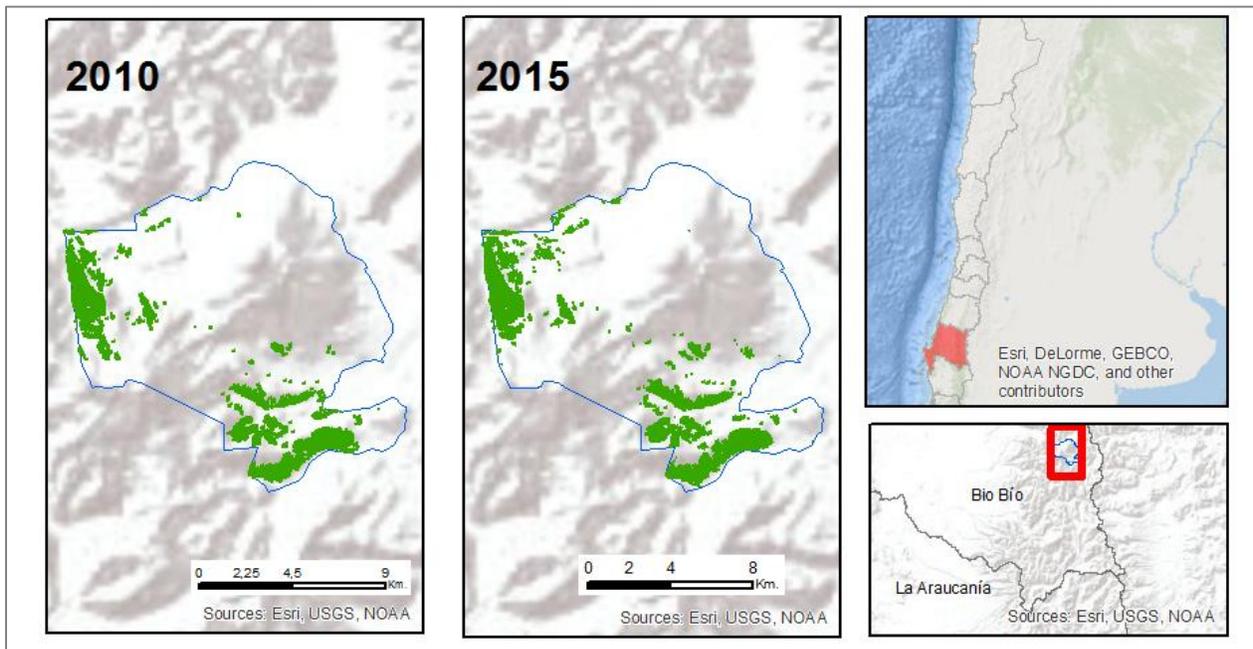
NOMBRE AP	CATEGORÍA	SUPERFICIE BOSQUE NATIVO (m ²)				
		Land_Cover	COT	Catastro CONAF	CIT_2010	CIT_2015
Altos de Lircay	Reserva Nacional	22.281.443,49	44.365.481,11	36.340.266,05	18.035.249,71	
Altos de Pemehue	Reserva Nacional	113.500.302,35	1.890,52	125.494.387,94	97.034.457,70	
Cerro Castillo	Reserva Forestal	301.405.230,60	375.643.866,34	396.582.664,74	331.346.070,23	
Conguillío	Parque Nacional	228.895.605,40	335.881.550,33	270.817.402,24	189.744.844,44	268.819.996,87
Coyhaique	Reserva Forestal	19.473.970,29	19.108.990,32	14.664.756,02	16.406.019,63	18.195.018,92
Huerquehue	Parque Nacional	90.969.377,81	314.642.832,61	97.278.694,52	64.199.652,54	87.016.114,95
Isla Magdalena	Parque Nacional	1.206.840.959,14	1.267.213.967,86	1.284.384.894,97	971.460.253,76	1.158.421.365,49
Katalalixar	Reserva Forestal	1.245.542.266,24	2.461.589.661,95	2.102.936.060,11	949.133.250,44	951.876.223,39
La Campana	Parque Nacional	19.285.691,33	58.160.347,50	51.361.537,59	20.669.913,97	
Lago Carlota	Reserva Forestal	108.083.324,48	203.539.831,25	150.980.363,49	102.131.787,64	
Lago Las Torres	Reserva Forestal	83.424.617,89	75.749.397,21	90.493.026,94	60.491.677,31	85.614.310,87
Lago Palena	Reserva Forestal	159.993.275,94	189.319.901,80	188.338.197,57	169.158.549,75	
Lago Peñuelas	Reserva Forestal	12.335.398,83	30.130.316,14	29.365.132,50	18.395.393,79	
Lago Rosselot	Reserva Forestal	89.590.235,06	40.585,24	95.261.904,69	77.765.466,73	
Laguna del Laja	Parque Nacional	7.816.713,78	19.494.407,92	15.619.534,70	10.565.798,16	12.359.214,98
Laguna Parrillar	Reserva Forestal	75.885.612,57	267.939.712,81	241.378.763,55	97.889.367,30	78.383.624,77
Llanquihue	Reserva Forestal	265.855.889,60	304.530.812,41	304.577.386,05	236.570.116,49	294.847.715,28
Los Bellotos del Melado	Reserva Nacional	1.205.419,06	615.262,02	602.959,59	748.185,62	1.219.545,06
Los Huemules de Niblinto	Reserva Nacional	53.119.519,42	69.747.032,35	64.434.921,91	49.267.389,66	
Magallanes	Reserva Forestal	115.528.350,30	413.853,07	21.692.135,99	115.442.549,76	109.432.356,63
Malleco	Reserva Forestal	90.648.636,49	622.140,73	104.679.041,00	63.013.357,66	112.891.283,09
Nahuelbuta	Parque Nacional	44.241.357,94	64.857.495,19	63.414.796,62	28.775.709,08	48.152.891,92
Naicas	Reserva Forestal	71.834.671,69	5.577.785,34	118.862.790,58	85.506.605,84	105.650.194,98
Nonguén	Reserva Nacional	25.235.265,46	27.185.162,08	28.100.298,26	23.748.043,65	
Ñuble	Reserva Forestal	82.585.731,11	149.755.535,77	168.381.815,66	127.875.584,79	169.135.143,66
Palmas de Cocalán	Parque Nacional	17.417.541,47	119.244.409,57	24.839.728,41	17.973.190,87	17.051.295,00
PN Villarrica	Parque Nacional	519.648.402,96	337.238.821,89	269.020.517,03		227.420.288,77
Puyehue	Parque Nacional	542.461.417,86	1.550.824.971,03	876.974.804,97	345.381.418,55	441.964.723,20

Queulat	Parque Nacional	720.749.757,99	1.006.899.613,98	807.852.865,34	634.909.722,90	
Radal Siete Tazas	Parque Nacional	14.601.681,30	15.971.755,28	11.858.552,79	12.128.681,52	
Ralco	Reserva Nacional	28.489.514,28	41.628.179,53	55.756.959,57	35.996.971,29	38.285.162,53
RF Villarrica	Reserva Forestal	519.648.402,96	337.238.821,89	269.020.517,03	211.733.894,31	327.514.139,98
Río Clarillo	Reserva Nacional	16.825.711,40	74.787.416,02	63.438.992,83	24.602.174,33	
Río Los Cipreses	Reserva Nacional	9.575.213,08	29.611.059,15	30.642.293,23	7.644.053,65	9.250.342,56
Río Simpsons	Reserva Nacional	216.154.461,19	258.862.719,50	267.752.891,90	197.597.680,11	242.005.161,21
Roblería del Cobre de Loncha	Reserva Nacional	36.771.135,18	106.893,67	52.122.216,90	32.798.837,53	
Tolhuaca	Parque Nacional	40.673.175,65	404.535.384,08	53.463.964,98		30.838.041,17
Trapananda	Reserva Nacional	15.027.763,03	17.806.058,72	18.988.968,98	16.081.491,02	15.146.020,85
Vicente Pérez Rosales	Parque Nacional	1.267.272.679,13	888.959.074,36	1.525.960.289,73	1.311.906.943,39	
Yendegaia	Parque Nacional	105.090.914,80	265.334.198,12	259.814.108,85	142.548.837,06	414.391.034,40

Fuente: CIT-UAI, 2016.

Mayores antecedentes de las imágenes utilizadas en los cálculos referidos al cuadro 15, se consignan en el anexo 8.5. A continuación, se presenta una ilustración del cálculo de la superficie de bosque nativo aplicado al Parque Nacional Laguna del Laja.

Figura 8: Monitoreo satelital para Bosque Nativo en Parque Nacional Laguna del Laja, Región del Biobío, entre años 2010-2015. 83,34.



Fuente: Centro de Inteligencia Territorial, 2016.

4.1.4 Vigor vegetacional anual del bosque nativo (VVABN)

Para obtener el vigor vegetacional de las superficies del bosque nativo contenido en las AP seleccionadas, se utilizó como base el *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), obteniendo estadísticas zonales del bosque, incluyendo los valores umbrales máximos, mínimos y el promedio, para ambos años determinados (2010 y 2015). Los resultados obtenidos se detallan en el Cuadro 16, en el que se entregan los valores para cada AP considerada.

Cuadro 16: Resultados para el vigor vegetacional del bosque nativo pertenecientes a las AP seleccionadas.

NOMBRE AP BN	VIGOR 2010			VIGOR 2015		
	MINIMO	MAXIMO	PROMEDIO	MINIMO	MAXIMO	PROMEDIO
La Campana	0,38	0,67	0,53	0,31	0,81	0,66
Palmas de Cocalán	0,39	0,71	0,59	0,42	0,79	0,65
Radal Siete Tazas	0,57	0,86	0,77	0,43	0,87	0,78
Laguna del Laja	0,09	0,87	0,73	0,15	0,82	0,66
Huerquehue	0,38	0,95	0,87	0,58	0,96	0,85
Nahuelbuta	0,70	0,90	0,84	0,74	0,88	0,84
Conguillío	0,42	0,93	0,84	0,27	0,96	0,83
Vicente Pérez Rosales	0,09	0,97	0,79	0,07	1,00	0,85
Hornopirén	-0,03	1,00	0,78	0,10	0,99	0,85
Isla Magdalena	0,05	0,99	0,64	0,35	0,99	0,86
Río Blanco	0,29	0,45	0,38	0,28	0,43	0,37
Lago Peñuelas	0,40	0,71	0,58	0,34	0,95	0,65
Río Clarillo	0,22	0,60	0,50	0,22	0,77	0,59
Roblería del Cobre de Loncha	0,37	0,78	0,61	0,42	0,76	0,68
Río Los Cipreses	0,34	0,65	0,53	0,21	0,73	0,57
Los Ruiles	0,54	0,88	0,82	0,65	0,90	0,82
Los Bellotos del Melado	0,55	0,75	0,67	0,50	0,79	0,67
Altos de Lircay	0,40	0,84	0,73	0,33	0,85	0,70
Ralco	0,47	0,87	0,80	0,42	0,94	0,79
Altos de Pemehue	0,69	0,90	0,85	0,63	0,92	0,81
Nonguén	0,82	0,88	0,85	0,72	0,91	0,84
Los Huemules de Niblinto	0,48	0,88	0,79	0,43	0,88	0,77
Ñuble	0,35	0,87	0,72	0,24	0,84	0,65
Villarrica	0,18	0,98	0,86	0,10	0,95	0,83
Malleco	0,63	0,90	0,85	0,51	0,96	0,83
Nalcas	0,39	0,89	0,82	0,20	0,89	0,78
Llanquihue	0,07	0,95	0,69	0,17	0,99	0,88
Lago Palena	0,04	0,99	0,77	0,09	0,94	0,69
Lago Rosselot	0,06	0,98	0,58	0,19	0,98	0,85
Río Simpson	0,21	0,98	0,78	0,10	0,99	0,84
Katalalixar	-0,03	0,99	0,75	-0,03	0,99	0,79
Coyhaique	0,48	0,91	0,83	0,42	0,86	0,74
Trapananda	0,72	0,89	0,86	0,45	0,79	0,56
Lago Carlota	0,28	0,98	0,80	0,28	0,83	0,64
Lago Las Torres	0,08	0,97	0,82	0,02	0,95	0,84

Cerro Castillo	0,20	0,96	0,79	0,11	0,97	0,68
Laguna Parrillar	0,15	0,89	0,79	0,06	0,93	0,57
Magallanes	0,39	0,91	0,79	0,18	0,87	0,66
Yendegaia	-0,12	0,97	0,81	-0,05	0,99	0,73

Fuente: Centro de Inteligencia Territorial, 2016

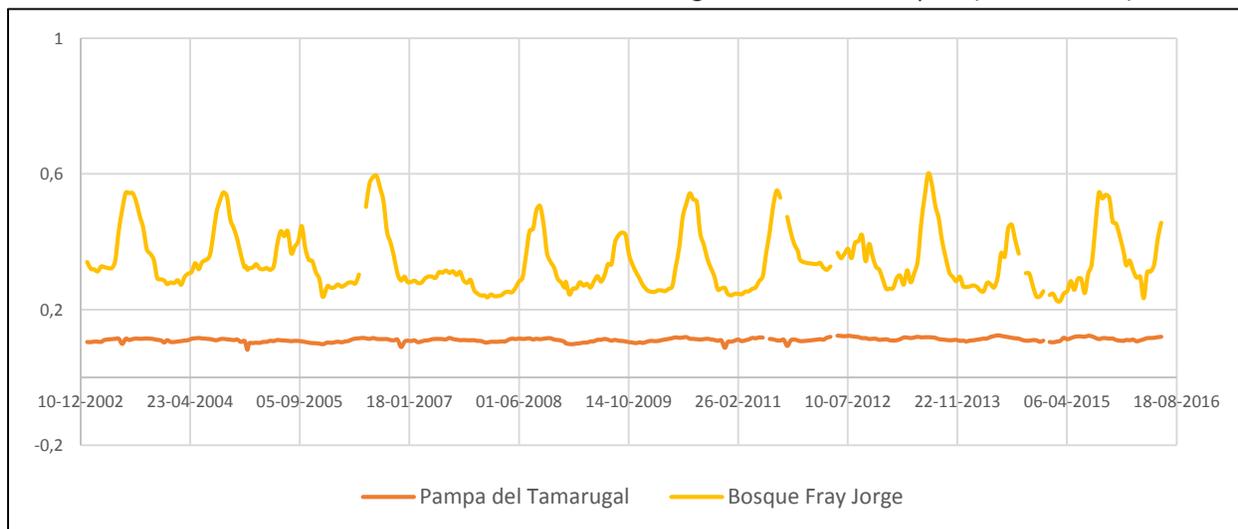
4.1.5 Obtención de tendencias del vigor vegetacional en Áreas Protegidas

Además de los indicadores señalados para el ambiente de bosques, obtenidos a través de la utilización de la imagerie satelital Landsat, se realizó un cálculo de las tendencias anuales del NDVI en las áreas protegidas a nivel nacional, a través del uso de los productos compuestos del sensor MODIS.

Los procesos considerados para llevar a cabo la definición de las tendencias en áreas protegidas fueron: extracción de componente NDVI de los archivos HDF; corte a través de mascara nacional; creación de mosaicos anuales a nivel nacional y cálculo de promedios de NDVI a través de máscaras de áreas protegidas.

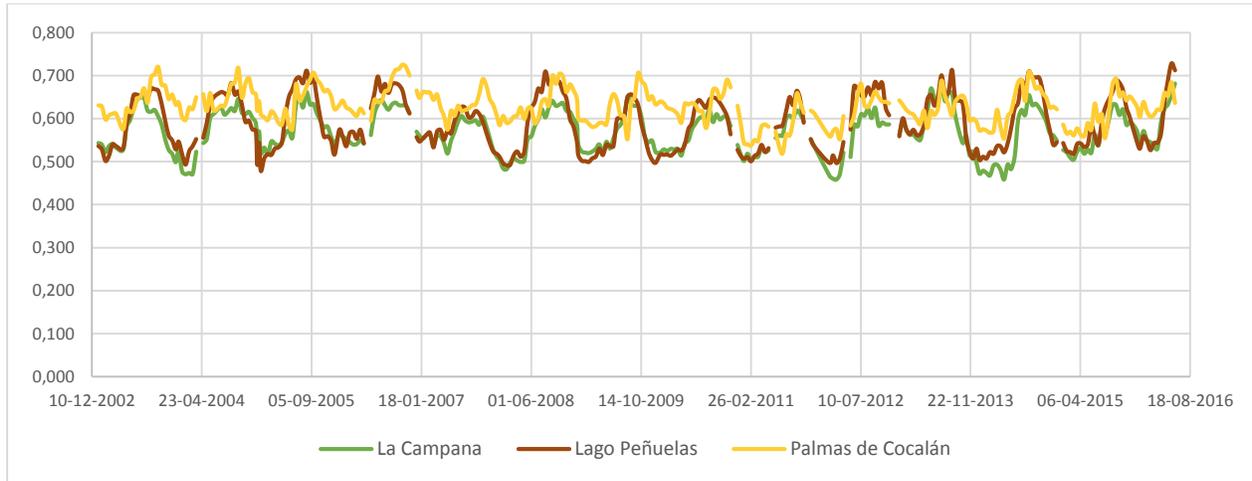
Se logró componer mosaicos cada 16 días del NDVI para el territorio nacional, a una resolución espacial de 250 m, abarcando el periodo comprendido entre los años 2003 y 2016. A través del uso de esa información, se logró elaborar curvas de tendencia del NDVI promedio de cada Área Protegida considerada en el presente estudio. A continuación, se presentan los resultados es obtenidos para la tendencia del NDVI por AP, segmentados por zona geográfica, de manera que sea directo apreciar la cantidad de AP por zona, así como también los ciclos intra e inter anual que caracterizan a cada macro región natural del país.

Gráfico 3: Tendencia del NDVI en las Áreas Protegidas del norte del país (2003 – 2016).



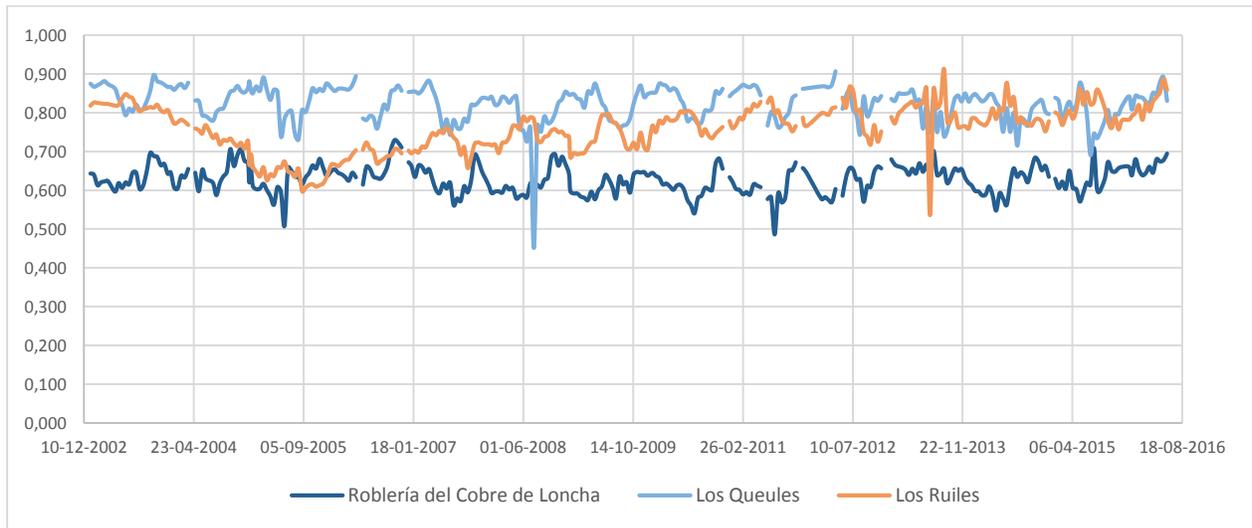
Fuente: CIT-UAI, 2016.

Gráfico 4: Tendencia del NDVI en las Áreas Protegidas en la zona centro-norte del país (2003 – 2016).



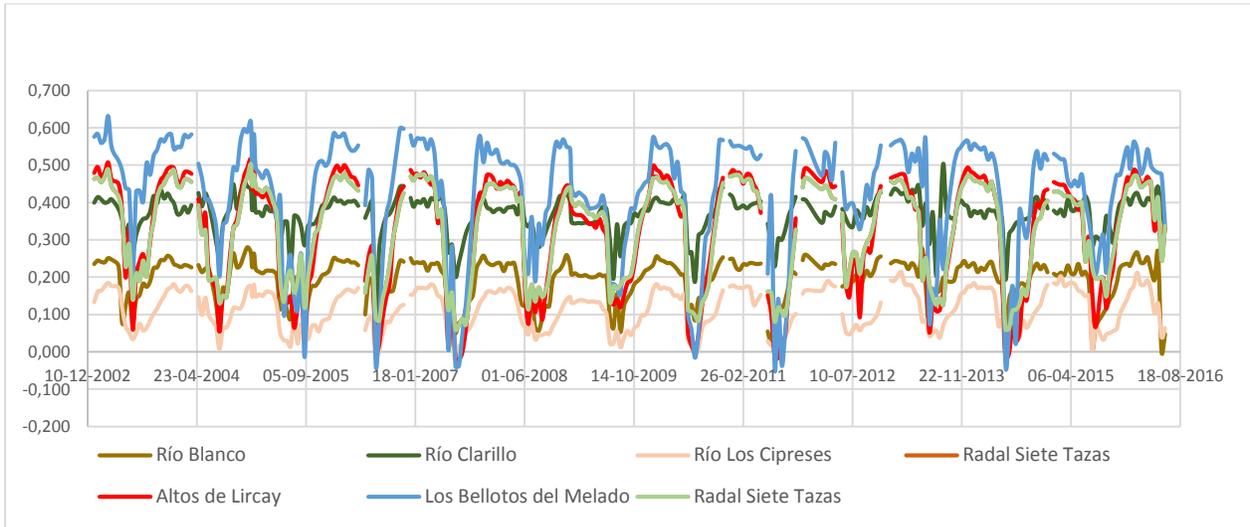
Fuente: CIT-UAI, 2016.

Gráfico 5: Tendencia del NDVI en las Áreas Protegidas de la zona centro del país (2003 – 2016).



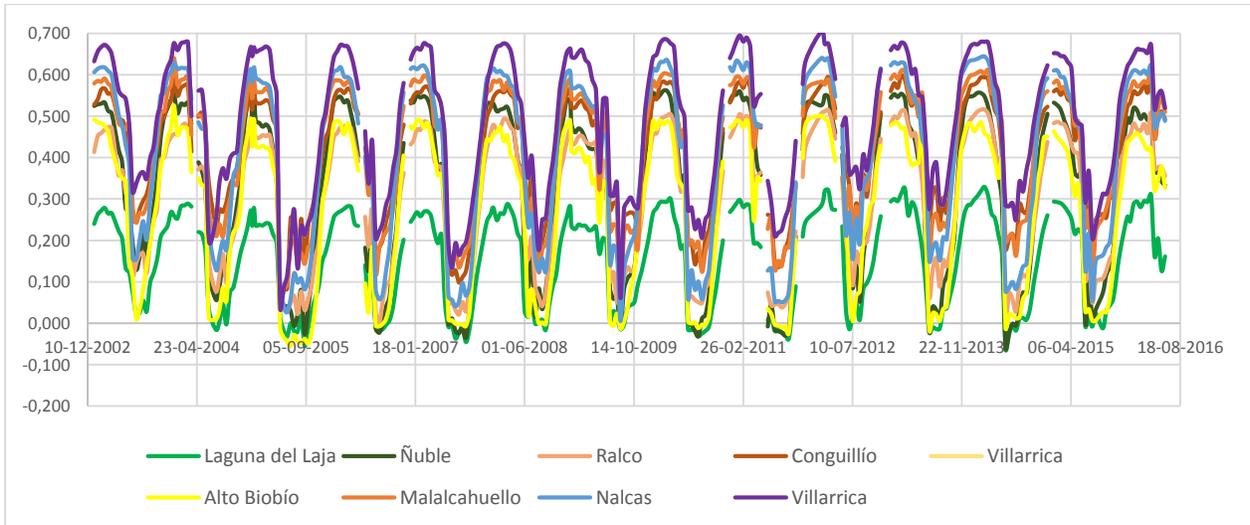
Fuente: CIT-UAI, 2016.

Gráfico 6: Tendencia del NDVI en las Áreas Protegidas de la zona centro - sur del país (2003 – 2016).



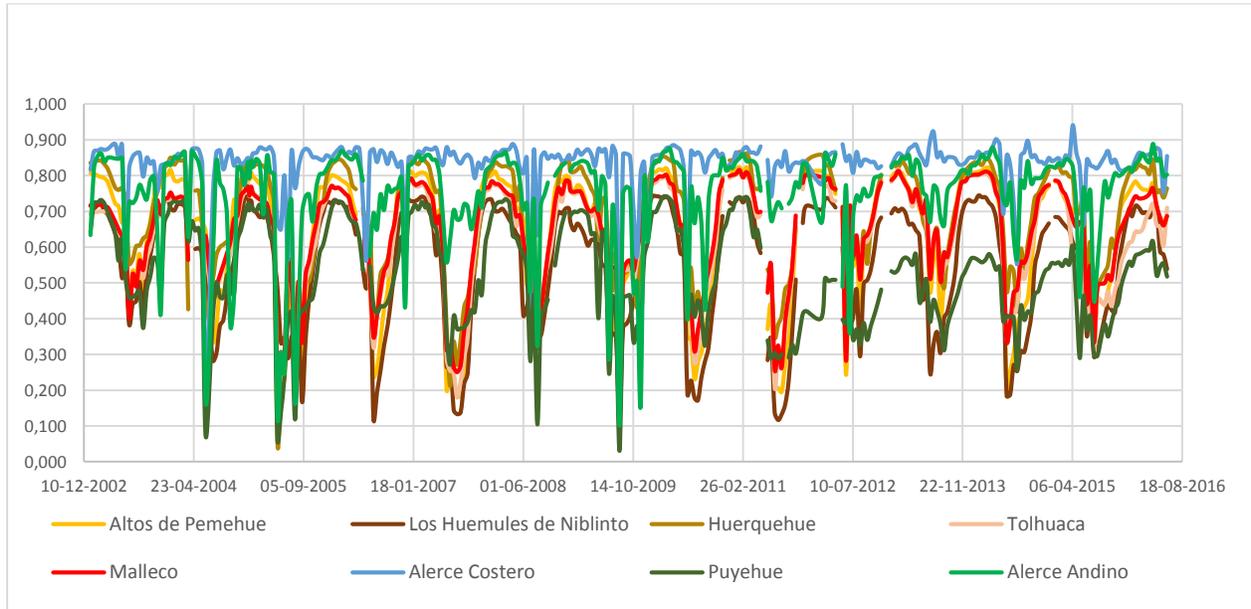
Fuente: CIT-UAI, 2016.

Gráfico 7: Tendencia del NDVI en las Áreas Protegidas de la zona sur del país (I) (2003 – 2016).



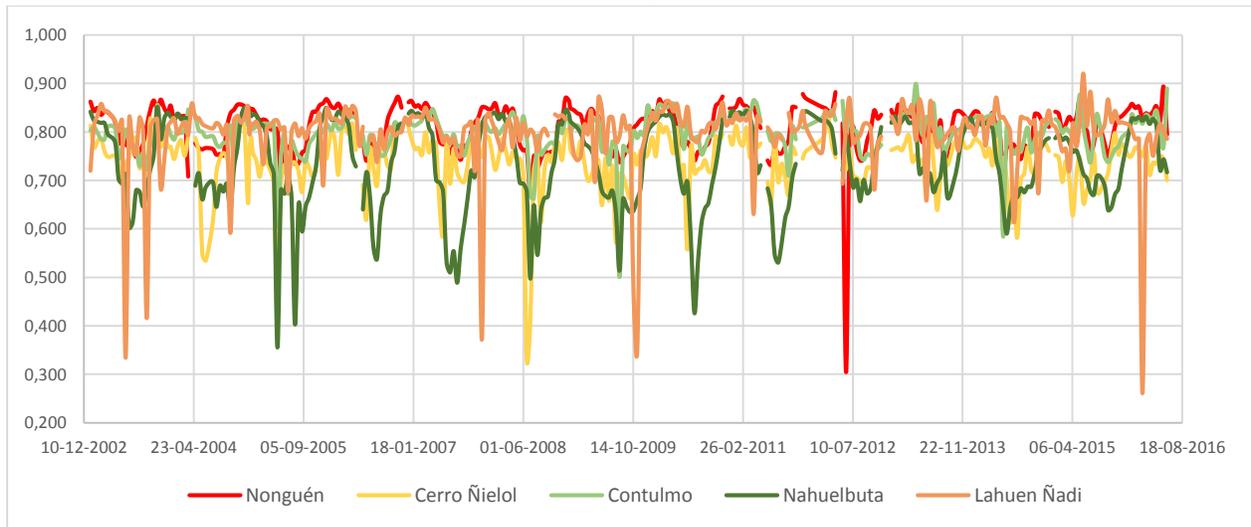
Fuente: CIT-UAI, 2016.

Gráfico 8: Tendencia del NDVI en las Áreas Protegidas de la zona sur del país (II) (2003 – 2016).



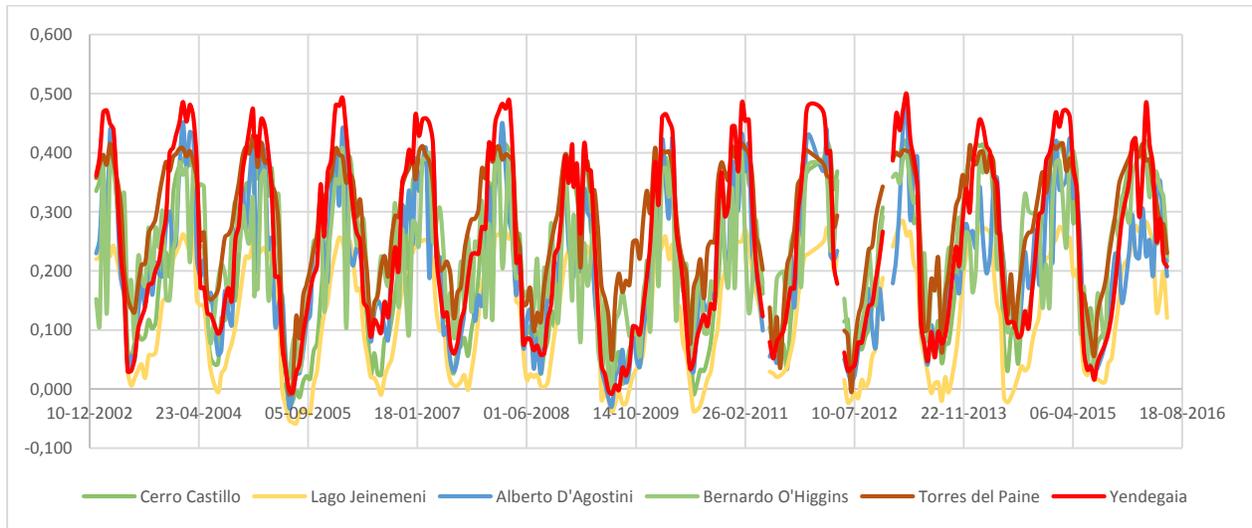
Fuente: CIT-UAI, 2016.

Gráfico 9: Tendencia del NDVI en las Áreas Protegidas de la zona sur del país (III) (2003 – 2016).



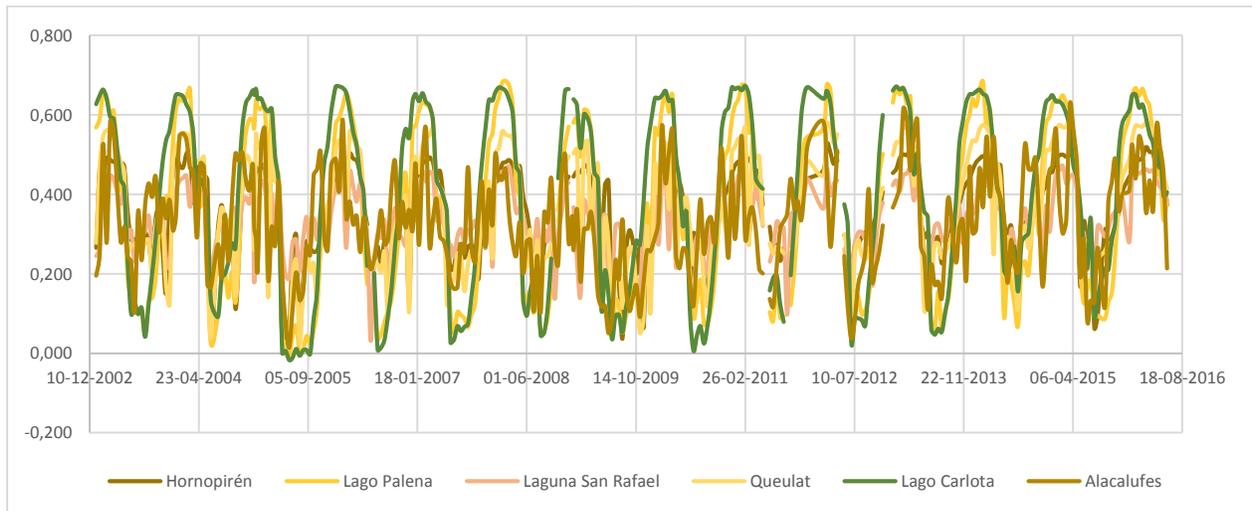
Fuente: CIT-UAI, 2016.

Gráfico 10: Tendencia del NDVI en las Áreas Protegidas de la zona austral del país (I) (2003 – 2016).



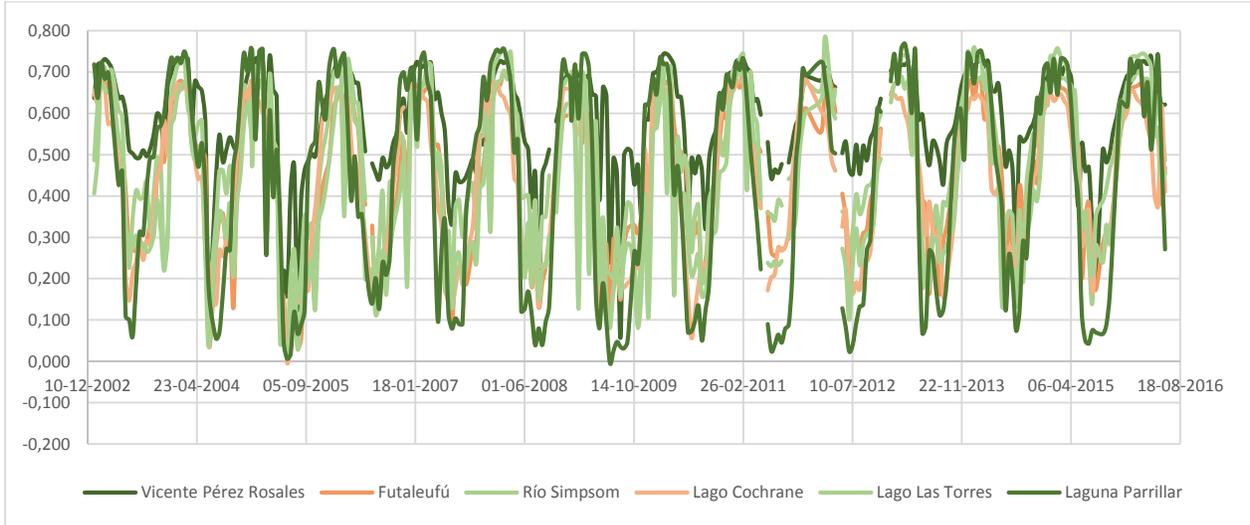
Fuente: CIT-UAI, 2016.

Gráfico 11: Tendencia del NDVI en las Áreas Protegidas de la zona austral del país (II) (2003 – 2016).



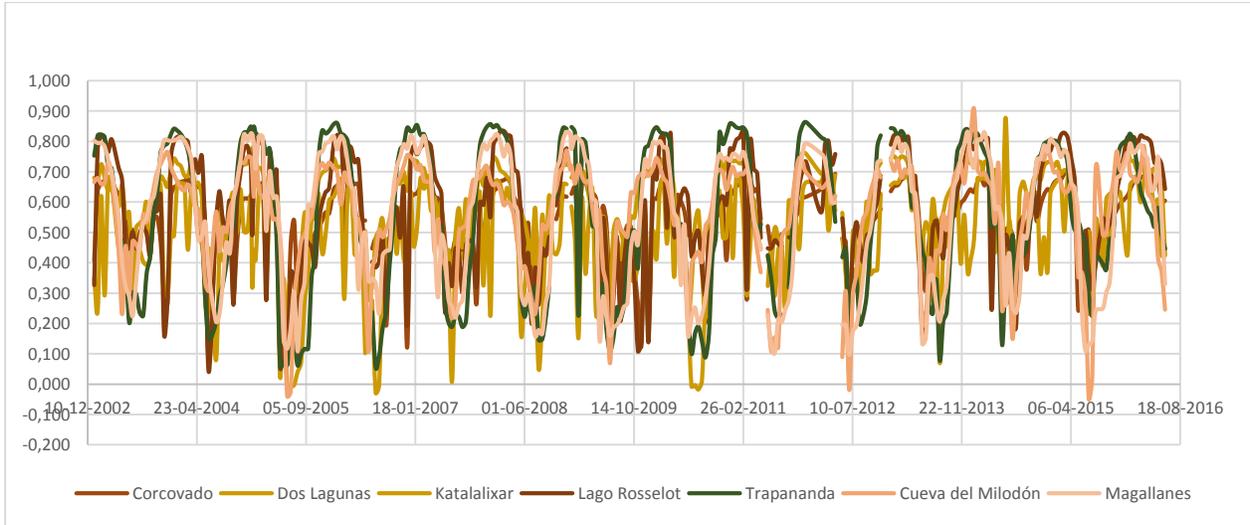
Fuente: CIT-UAI, 2016.

Gráfico 12: Tendencia del NDVI en las Áreas Protegidas de la zona austral del país (III) (2003 – 2016).



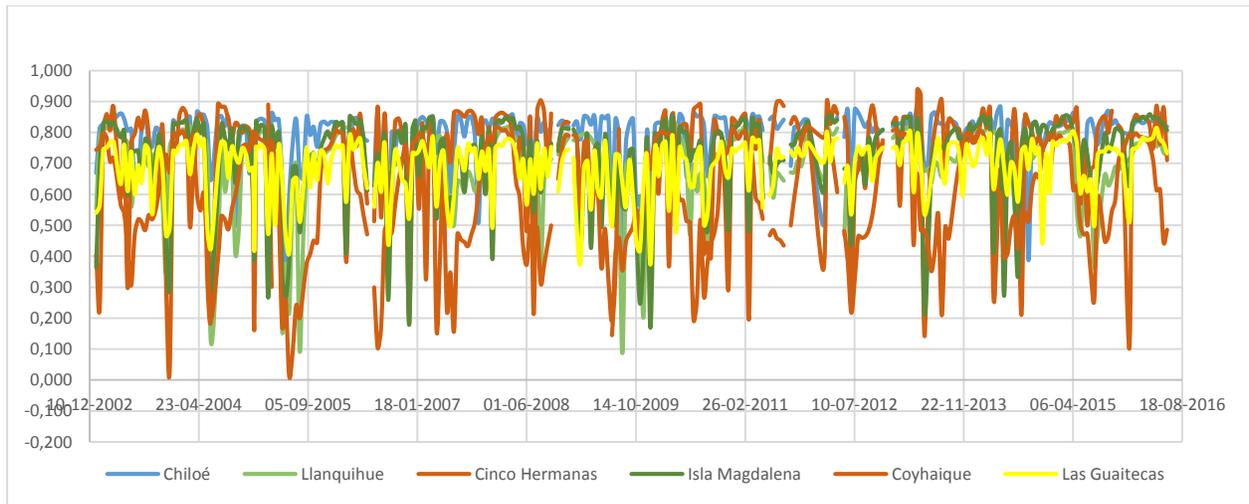
Fuente: CIT-UAI, 2016.

Gráfico 13: Tendencia del NDVI en las Áreas Protegidas de la zona austral del país (IV) (2003 – 2016).



Fuente: CIT-UAI, 2016.

Gráfico 14: Tendencia del NDVI en las Áreas Protegidas de la zona austral del país (V) (2003 – 2016).



Fuente: CIT-UAI, 2016.

4.2 Resultados obtenidos para los indicadores ambientales en desarrollo

4.2.1 Superficie del bosque nativo incendiado (SBNI)

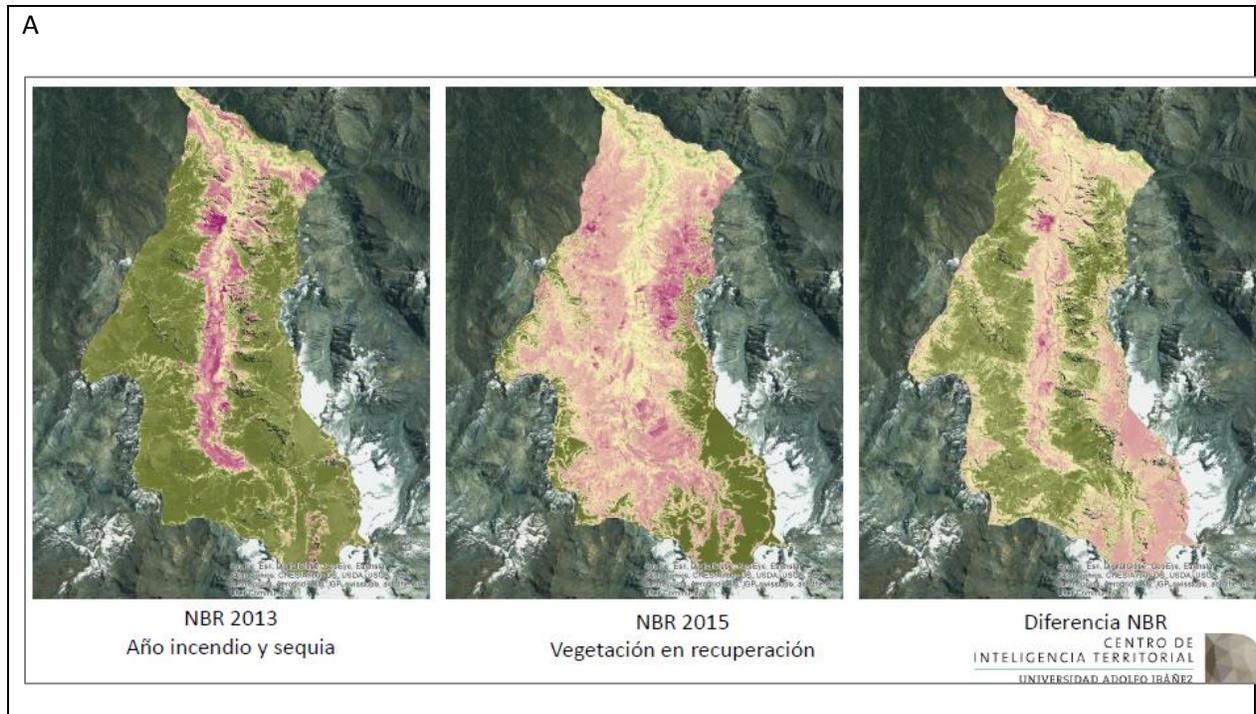
El indicador en desarrollo para el bosque nativo incendiado permite acercarse a los valores consignados por CONAF como superficie de bosque nativo incendiada. Se utilizó como base al índice espectral NBR (Ver Cuadro 8). Se escogió la Reserva Nacional Río Cipreses para realizar el ajuste del modelo generado para la obtención de la superficie incendiada del bosque protegido. En esta reserva se produjo un incendio forestal en el año 2013 afectando a cerca de 80 hectáreas de bosque nativo y matorrales (según CONAF). Al presente, esta vegetación se encuentra en proceso de recuperación natural, evidenciando el impacto del incendio en su volumen, superficie y vigor.

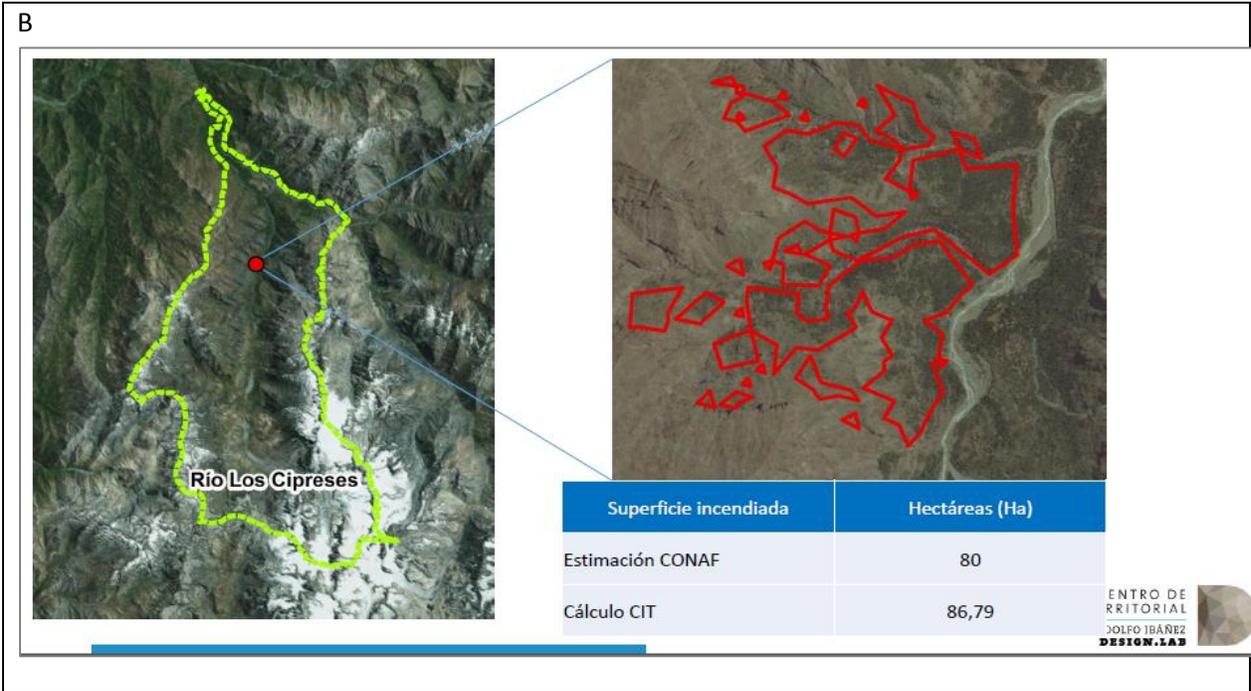
Se escogieron imágenes satelitales del año del incendio y para años posteriores, en los que la vegetación haya recuperado algo de su vigor (años 2014 y 2015). Se obtuvieron coberturas del NBR y se compararon sus resultados (Figura 9A) en los tres años, encontrando que las mejores diferencias se producían entre los NBR de los años 2013 (incendio) y 2015. A partir de la diferencia de los NBR, se procedió a contrastar la información puntual entregada por CONAF, verificando que el sector identificado como quemado por el modelo correspondía al sitio marcado por la institución forestal.

La constatación de los resultados obtenidos se realizó con una campaña de terreno a la reserva. Se caminó cerca de 2,5 horas al sitio del incendio, pudiendo verificar que el sitio obtenido como incendiado por el modelo correspondía con la realidad. La falta de accesibilidad a estos sitios es la principal causa de haber escogido tan solo un lugar como laboratorio natural que permitiera calibrar el modelo.

Luego de la calibración, se obtuvo que las áreas quemadas correspondían al intervalo $[0,3; 0,9]$ de la diferencia de los NBR de los años del incendio y uno posterior. Los resultados obtenidos se pueden apreciar en la Figura 9B, en la que se indica que el año 2013 fue de sequía, en referencia a la información provista por los guarda parqués de la reserva.

Figura 9: Aplicación piloto del indicador de superficie de bosque nativo incendiado en el área protegida Río Los Cipreses.





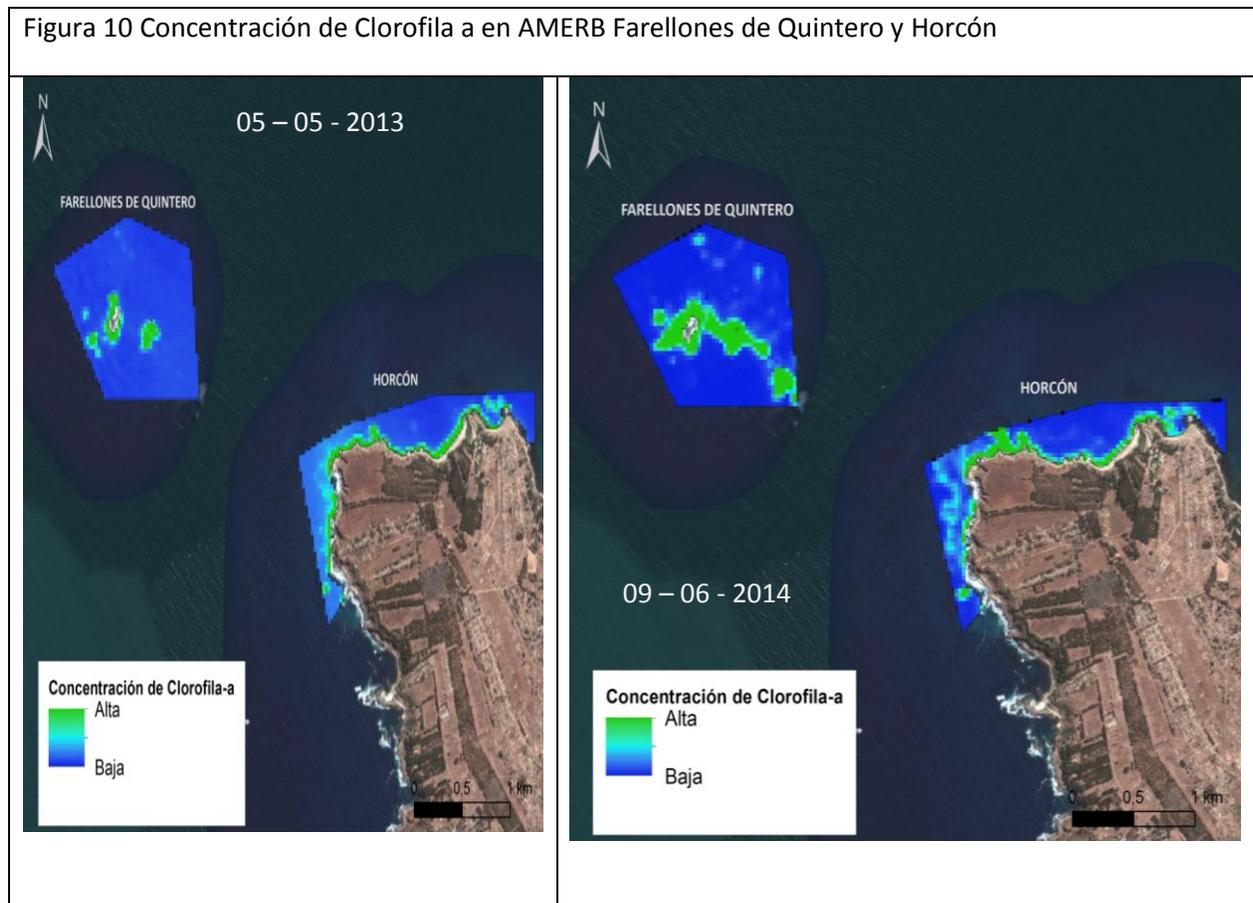
Fuente: Centro de Inteligencia Territorial, 2016.

4.2.2 Superficie cubierta por alta concentración de Clorofila *a* (SCACCa)

Este indicador permite obtener referencia respecto de la calidad del agua (específicamente respecto de la clorofila *a*, como proxy de la biomasa) de porciones de la superficie marina costera. Mayor referencia de este indicador es posible de obtenerse en el Cuadro 10.

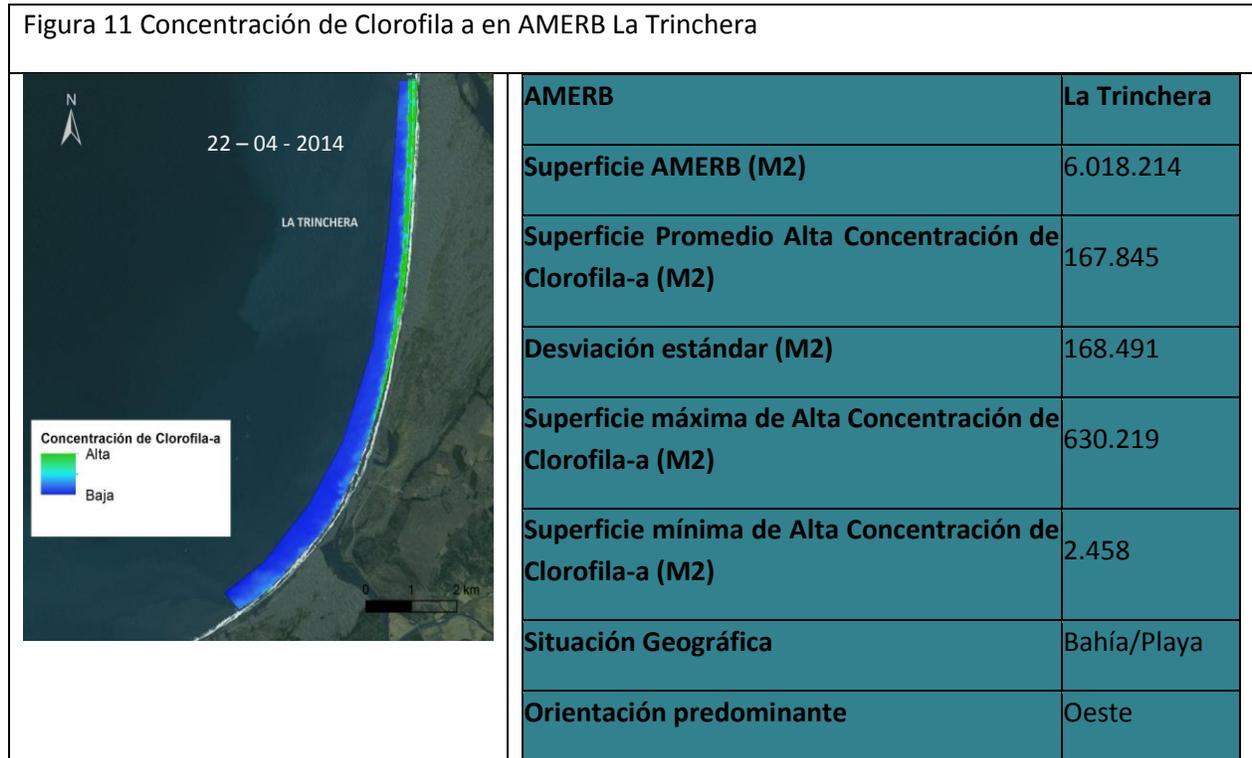
Para la aplicación experimental de este indicador se utilizaron imágenes satelitales Landsat 8. El periodo de tiempo correspondió a los años 2013-2014. En este caso los objetos de interés en el territorio correspondieron a Áreas de Manejo de Recursos Bentónico (AMERB) y su entorno (10 km a la redonda), específicamente las AMERB Farellones de Quintero, Horcón y La Trinchera.

Como se puede observar en la Figura 10, este indicador permite comprar las porciones de distintas AMERB que se encuentran con alto nivel de clorofila *a*.



Fuente: Centro de Inteligencia Territorial, 2016.

Asimismo mediante el uso de este indicador es posible comparar el comportamiento espacio temporal de la concentración de clorofila a , al interior de una misma AMERB, mediante el uso de parámetros estadísticos asociados a la superficie dominada por altos niveles de clorofila a , tal como los usados en la Figura 11, para el año 2014.



Fuente: Centro de Inteligencia Territorial, 2016.

5. PROPUESTA DE UN SET DE INDICADORES AMBIENTALES, CONSTRUIDOS EN BASE A IMÁGENES SATELITALES, PARA CARACTERIZAR Y MONITOREAR LOS PROCESOS DE CAMBIO CLIMÁTICO, EL CRECIMIENTO VERDE Y EL CRECIMIENTO AZUL

La propuesta de un set de indicadores obtenidos a través del análisis de imágenes satelitales que se encuentren relacionados con los procesos de cambio climático y las estrategias relacionadas con el crecimiento verde y el crecimiento azul, se configuró mediante la construcción de un marco conceptual base, simple de manejar y que de orientación hacia donde podría enfocarse el aporte de los métodos y técnicas asociados a la Percepción Remota. Posteriormente, se procedió a la elaboración de una justificación de la propuesta del set de indicadores, sintetizando la información en un cuadro resumen.

5.1 Marco conceptual para el set de indicadores

- Cambio Climático

Tal como lo indica el Panel de Expertos Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) en su comunicación del año 2014, el calentamiento en el sistema climático es inequívoco. Ya desde la década de 1950, muchos de los cambios observados no han tenido precedentes en los últimos decenios a milenios. Entre los cambios que más impacto tienen sobre el humano se encuentran:

1. Aumento de la temperatura de la atmósfera y los océanos
2. Los volúmenes de nieve y hielo han disminuido
3. El nivel del mar se ha elevado
4. Las concentraciones de gases de efecto invernadero han aumentado.

En comparación con los informes anteriores (por ejemplo con el cuarto informe aprobado en 2013 que apuntaba a levantar las bases físicas del cambio climático), en el Quinto Informe de Evaluación de la IPCC se hace más hincapié en la evaluación de los aspectos socioeconómicos del cambio climático y sus consecuencias para el desarrollo sostenible, los aspectos regionales, la gestión de riesgos y la elaboración de una respuesta mediante la adaptación y la mitigación.

En este sentido, la institucionalidad chilena a través del Ministerio del Medio Ambiente, recientemente⁶ indican que las acciones de mitigación y adaptación deben ser emprendidas con decisión por Chile, debido a que los estudios apuntan a que su territorio es altamente vulnerable a esta amenaza, porque es una oportunidad de desarrollo y *porque el cambio climático es una amenaza al bienestar de las personas, las ciudades, la infraestructura*. Para llevar a cabo acciones planificadas de adaptación y mitigación se indica que la información es esencial. Un reciente estudio realizado por el MMA permite llevar la información de temperaturas y lluvias nivel comunal, una escala inédita hasta el presente.

El uso de indicadores satelitales puede proveer de una herramienta sistemática para cuantificar estas variables físicas.

⁶ Columna del ministro Pablo Badenier con fecha de 20 de septiembre de 2016.

- Crecimiento Verde

De acuerdo a OECD las políticas públicas para el crecimiento verde apuntan a acortar la brecha y a obtener retornos a la innovación e inversión “verde”. También apuntan a minimizar las consecuencias distribucionales para los grupos de la sociedad menos aventajados y a administrar los impactos negativos de las empresas e industrias mientras que se mantienen los incentivos para los desempeños económicos mejorados.

La Plataforma de Conocimiento de Crecimiento Verde (GGKP) es una red global de organizaciones internacionales que identifica y trata las lagunas de conocimiento en la teoría del crecimiento verde y la práctica. El GGKP fue establecido por el Instituto Global de Crecimiento Verde (GGGI), la Organización para la Cooperación y el Desarrollo (OCDE), el Programa Medioambiental de las Naciones Unidas (UNEP) y el Banco Mundial para identificar las lagunas de conocimiento existentes en la teoría del crecimiento verde y práctica. El Comité de Investigación de métricas e indicadores del GGKP está haciendo balance de las métricas de crecimiento verdes existentes - tanto en términos de cobertura y la metodología a nivel de país. En su publicación del año 2016 GGKP⁷ identificó 5 principales líneas temáticas, entre las cuales se encuentran riesgos e inclusividad. El crecimiento verde inclusivo (IGG) apunta a proporcionar soluciones que se encuentren dentro del marco de los objetivos del crecimiento económico, desarrollo sustentable e inclusividad social.

Las metodologías recopiladas por GGKP para el diagnóstico en estos temas se basan en enfoques e indicadores que miden el estado presente, cambios a través del tiempo y tendencias futuras; se enfocan en los las consecuencias o impactos, tales como aquellos esperados del cambio climático, consecuencias de contaminación del aire y sus respectivos controladores, tales como las emisiones. En general, las metodologías al respecto apuntan a medir exposición o vulnerabilidad.

En el tema de la contaminación del aire, el Banco Mundial ha llevado a cabo esfuerzos por cuantificar el ahorro neto y riqueza total, que incluye una dimensión de daños ambientales debido a material particulado y emisiones CO₂.

La teledetección ofrece una oportunidad de monitoreo en temporal de aspectos ambientales cuantitativos y cualitativos. Por ejemplo, datos satelitales pueden ser combinados con modelos de transporte para derivar estimaciones de campo de contaminación del aire, para aquellos lugares donde los datos de campo no puedan ser obtenidos.

En Chile se ha presenciado un aumento en el último tiempo de zonas latentes, saturadas, planes de descontaminación y se requiere aumentar los niveles de calidad del aire, particularmente en la

⁷ Measuring Inclusive Green Growth at the Country Level. Taking Stock of Measurement Approaches and Indicators. GGKP Research Committee on Measurement & Indicators. Working Paper 02/2016. [http://www.greengrowthknowledge.org/sites/default/files/downloads/resource/Measuring_Inclusive_Growth_at_the_Country_Level.pdf](http://www.greengrowthknowledge.org/sites/default/files/downloads/resource/Measuring_Inclusive_Green_Growth_at_the_Country_Level.pdf)

espacialización de las concentraciones de gases y las partículas contaminantes, normalmente registradas en localizaciones puntuales fijas.

- Crecimiento Azul

El concepto de “economía azul” se acuñó en la Conferencia Río+20 de 2012 y hace hincapié en la conservación y la ordenación sostenible basándose en la premisa de que unos ecosistemas oceánicos saludables son más productivos y son esenciales para una economía basada en los océanos sostenible (FAO)⁸.

En aquella conferencia se planteó la relevancia de los océanos y su contribución a la erradicación de la pobreza, crecimiento económico sostenido, seguridad alimentaria, y la creación de modos de vida sustentables y fuentes dignas de trabajo. Para ello no se requeriría de sistemas naturales imperturbados, sino que sistemas que no hayan sufrido daños serios o irreparables⁹.

En un reciente foro sobre la estrategia de la Unión Europea para las regiones adriáticas e Ionianas (EUSAIR)¹⁰, llevada a cabo este año se mencionó el aporte de la información en el tópico de “Pesquerías y acuiculturas” respecto de Proyectos de cooperación entre pesquerías, institutos de investigación, y autoridades regionales o nacionales, con el propósito de incrementar los datos disponibles que posibiliten la toma de decisiones en orden a minimizar el daño causado por las actividades económicas.

En términos de indicadores ambientales, poder monitorear a escala de detalle y de manera sistemática en el tiempo, variables físicas que determinan la calidad del agua marina como la clorofila a, los sólidos en suspensión o turbidez significarían un avance en esta materia.

5.2 Set de indicadores propuestos para monitorear el cambio climático, el crecimiento verde y el crecimiento azul

Antes de construir el set de indicadores relacionados con las temáticas mencionadas, se procedió a la elaboración de una justificación que relacione los fenómenos en cuestión con el análisis de imágenes satelitales. Además de los elementos técnicos, tales como las distintas resoluciones implicadas (espacial, radiométrica, temporal), las escalas de análisis involucradas no permiten el estudio y monitoreo espacial en base a un solo sensor. Es por ello que se elaboró un marco que permitiera realizar una justificación para la propuesta del set de indicadores.

⁸ Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura: <http://www.fao.org/zhc/detail-events/es/c/234293/>

⁹ Naciones Unidas para el Desarrollo: <https://sustainabledevelopment.un.org/topics/oceanandseas>

¹⁰ Konstantopoulou, Mathilde. Blue Growth as a development tool: EUSAIR Pillar 1. Workshop "The EU Strategy for the Adriatic and Ionian Region (EUSAIR). University of Spilt, Faculty of Marine Studies, 17 May 2016. http://www.pm21st.eu/files/dvodnevna_radionica_plavi_rast/BLUE%20GROWTH%20&%20%20EUSAIR%20-%2017.5.2016.pdf

Cuadro 17: Justificaciones generales para la selección de los indicadores para cada fenómeno estudiado.

Fenómeno	Justificación
Cambio climático	La variable de mayor impacto en las actividades antrópicas y procesos fenológicos es la temperatura, en específico el cambio y velocidad de cambio de la temperatura promedio de una zona, por ello es una variable crítica y se propone.
Crecimiento verde	La mayoría de los indicadores que se están desarrollando en esta consultoría entran en este amplio fenómeno; por ello, y de manera adicional, se incluyó un nuevo indicador asociado a la contaminación del aire, por relevancia, contingencia, trayectoria técnica del equipo consultor. El tema de la contaminación del aire es un problema contingente en Chile, debido a las condiciones de circulación atmosférica en las principales ciudades del país, localizadas entre cordones montañosos.
Crecimiento azul	En el último tiempo Chile, en especial el sur de Chile ha sido escenario de acusaciones cruzadas por parte de diversos actores, aquellos ligados al mundo de la pesca artesanal, comercial, actores institucionales y técnicos, debido a la falta de monitoreo de la calidad del agua, que permitan detectar tendencias a tiempo y tomar decisiones de gestión acorde. El aumento sostenido de la temperatura del mar y el aumento en la proliferación de algas marinas a consecuencia de fenómenos naturales, pero favorecido por ambientes marino costeros más cargados de materia orgánica como consecuencia de la importante industria de la acuicultura.

Elaboración propia.

Utilizando como base la información del Cuadro 17, se procedió a la construcción del set de indicadores para los tres fenómenos ambientales analizados. Estos se sintetizan en el Cuadro 18, en el que se exponen las variables, insumos, sensores y resolución espacial, todos componentes necesarios para diseñar e implementar el monitoreo de los fenómenos ambientales requeridos.

Cuadro 18: Sistematización de los indicadores propuestos para cambio climático, crecimiento verde y azul.

Temática	Nombre Indicador	Variables	Insumos	Sensores	Resolución espacial
Cambio climático	Variación anual de la temperatura superficial terrestre	Temperatura superficial	Imágenes Landsat MODIS Sentinel	OLI, TIRS, MODIS, MIS	Desde 20 m hasta 1000 m
	Variación anual de la temperatura superficial del mar				
Crecimiento verde	Contaminación atmosférica	Partículas contaminantes, gases contaminantes	Productos MODIS	MODIS	1000 m
	Superficie cubierta por bosques	Superficie bosque nativos. Superficie plantaciones forestales	Landsat MODIS Sentinel 2	TM OLI TIRS MODIS MIS	Desde 20 m hasta 1000 m 30 m
	Otras superficies naturales vegetadas	Superficies de Matorrales, praderas, pastizales			

Crecimiento azul	Superficie costera cubierta con alta concentración de biomasa marina	Clorofila a			
	Superficie marina cubierta con sólidos en suspensión	Sólidos en suspensión			
	Variación estacional de la temperatura superficial del mar	Temperatura superficial del mar			
	Indicadores asociados a la calidad superficial del agua de mar o cuerpos lacustres	Variables contenidas en el Programa de Observación del Ambiente Litoral (POAL)			

Fuente: CIT-UAJ, 2016.

Cabe destacar que del POAL se ha podido sistematizar un conjunto importante de variables relacionadas con la calidad del agua de mar y cuerpos lacustres (Cuadro 19), las que potencialmente podrían ser incorporadas en el diseño y desarrollo futuro de nuevos indicadores para el Crecimiento azul.

Cuadro 19: Parámetros sistematizados de la base de datos POAL con potencial uso en la construcción de indicadores para el Crecimiento azul.

Parámetros POAL		
Aceites y Grasas	Fosfato	Solidos Suspendidos
Aluminio	Fosforo Total	Zinc Disuelto
Aluminio Disuelto	Hidrocarburos Totales	Zinc Total
Amonio	Hierro Disuelto	Pesticidas Clorados
Cadmio Disuelto	Hierro Total	Pesticidas Órgano-clorados
Cadmio Total	Salinidad	Plomo Disuelto
Carbono Orgánico Total	Materia Orgánica	Plomo Total
Clorofila a	Mercurio Disuelto	Solidos Disueltos
Cobre Disuelto	Mercurio Total	Cromo Disuelto
Cobre Total	Nitrato	Cromo Hexavalente
Coliformes Fecales	Nitrito	Cromo Total
Coliformes Totales	Nitrito más Nitrato (lagos)	Nitrógeno - Nitrato
Cromo	Nitrógeno Total	Oxígeno Disuelto

Elaboración propia. Fuente: MMA, 2012.

6. ELABORACIÓN DE CUENTAS AMBIENTALES A PARTIR DEL ANÁLISIS DE IMÁGENES SATELITALES: CASO PILOTO DESARROLLADO EN LA REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS

El caso piloto fue desarrollado en torno a la posibilidad de implementar un marco metodológico basado en elementos de Percepción Remota, capaz de sustentar con información ambiental pertinente y actualizada para ser incorporada en la elaboración de cuentas ambientales anuales. A continuación, se describen las principales actividades y procesos realizados en esta etapa.

6.1 Marco conceptual para la elaboración de cuentas ambientales.

Los conceptos y las estructuras metodológicas del área de la Teledetección usadas o potencialmente utilizables para la elaboración de cuentas ambientales, se obtuvieron a través de la revisión bibliográfica nacional e internacional existente en la temática, junto a la información provista por el MMA. Se mantuvo en especial atención en los siguientes estudios estadísticos y prospectivos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL):

- Cuentas ambientales: conceptos, metodologías y avances en los países de América Latina y el Caribe (2005).
- El Sistema de Cuentas Ambientales y Económicas (SCAE) 2012: fundamentos conceptuales para su implementación (2013).
- Una propuesta regional de estrategia de implementación del Sistema de Cuentas Ambientales Económicas (SCAE) 2012 en América Latina (2013).

A partir de esta información, y la entregada por la contraparte, se generaron definiciones base y criterios comunes para la correcta elaboración del caso piloto, tanto en términos conceptuales, como de desagregación territorial y escala de análisis. Para ello se seleccionó a la Región del Libertador Bernardo O'Higgins, estableciendo un Plan de trabajo consistente en la exploración de los conceptos y vías metodológicas concernientes, una campaña de levantamiento de información en terreno y el procesamiento de la imágenaría satelital disponible.

6.1.1 ¿Qué son las Cuentas Ambientales?

Para poder responder a esta interrogante, se ha utilizado como guía a la propuesta por el Marco Central del Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica (SCAE) (2012), que fue adoptado como norma internacional por la Comisión de Estadística de las Naciones Unidas, siendo la primera norma estadística internacional para la contabilidad económica y ambiental. Establece un marco conceptual con propósitos múltiples, principalmente destinado a comprender los efectos recíprocos entre la economía y el medio ambiente, además de describir las existencias de activos ambientales y sus variaciones.

La información suministrada por el SCAE puede utilizarse para crear indicadores coherentes destinados a la adopción de decisiones y generar cuentas o agregados con fines muy variados. También entrega información relacionada con un amplio conjunto de cuestiones ambientales y económicas que comprenden, en particular, la evaluación de las tendencias en el uso y la disponibilidad de recursos

naturales, el grado de las emisiones y descargas en el medio ambiente resultantes de la actividad económica, y el alcance de las actividades económicas efectuadas con fines ambientales.

Cuadro 20: Características de los Activos Ambientales considerados para Cuentas Ambientales.

Concepto de activo ambiental	Cambios en activos ambientales	Componentes considerados como activos ambientales
<ul style="list-style-type: none"> • Elementos de valor para la sociedad, tales como los componentes vivos o no vivos que constituyen el entorno biofísico, beneficiando a la humanidad. • Corresponden a la fuente de insumos naturales, cuya medición puede efectuarse tanto en términos físicos como en términos monetarios. 	<ul style="list-style-type: none"> • Incrementos de sus existencias: crecimiento natural o descubrimientos. • Disminuciones de sus existencias: la extracción o pérdidas naturales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Recursos minerales y energéticos • La tierra • Los recursos del suelo • Los recursos madereros, • Los recursos acuáticos • Otros recursos biológicos (distintos de los madereros y acuáticos) • Los recursos hídricos

Elaboración propia. Fuente: SCAE, 2012.

6.1.2 Clasificación de los activos ambientales en el Marco Central

La clasificación de los activos ambientales en el Marco Central se resume en el Cuadro 21 y está centrada en cada uno de los siete elementos. Para cada uno de estos activos ambientales se establece una frontera de medición en términos físicos y en términos monetarios para los fines de la contabilidad de activos.

Cuadro 21: Clasificación de activos ambientales en el SCAE.

Activo Ambiental	Categorías
Recursos minerales y energéticos	<ul style="list-style-type: none"> • Recursos petroleros • Recursos de gas natural • Recursos de carbón y turba • Recursos minerales no metálicos (sin considerar al carbón y la turba) • Recursos minerales metálicos
Tierras	<ul style="list-style-type: none"> • Agricultura • Silvicultura • Tierras usadas para la acuicultura • Urbanización y áreas conexas • Tierras usadas para el mantenimiento y restauración de funciones ambientales • Otros usos de la tierra n.c.p. (no clasificados particularmente en otra parte) • Tierras que no están en uso • Aguas interiores
Recursos madereros	<ul style="list-style-type: none"> • Recursos madereros cultivados

	<ul style="list-style-type: none"> • Recursos madereros naturales
Recursos acuáticos	<ul style="list-style-type: none"> • Recursos acuáticos cultivados • Recursos acuáticos naturales
Otros recursos biológicos	<ul style="list-style-type: none"> • Excluidos los recursos madereros y acuáticos
Recursos hídricos	<ul style="list-style-type: none"> • Aguas de superficie • Aguas subterráneas • Aguas del suelo

Elaboración propia. Fuente: CEPAL (2012).

En relación a las cuentas ambientales de Tierras y otras superficies, la CEPAL (2012) menciona que la conceptualización del suministro de materiales para la actividad económica (por ejemplo, en forma de pescado, madera o minerales), resulta ser sencilla, siendo la tierra una excepción a este respecto. La función primordial de la tierra en el SCAE consiste en proporcionar espacio, es donde se realizan las actividades económicas y de otra índole, y en donde están situados los activos. Esta función de la tierra, aunque no es de naturaleza física, es un insumo fundamental para la actividad económica y puede tener considerable valor.

El concepto de la tierra también puede aplicarse a las superficies marítimas sobre las cuales un país tiene derechos reconocidos, en particular su zona económica exclusiva. También abarca las superficies de aguas interiores, como las de ríos y lagos. Cabe mencionar que se realiza una distinción nítida entre la tierra y los recursos del suelo. Los insumos físicos del suelo se reflejan en su volumen y su composición en forma de nutrientes, agua de suelo y materia orgánica. Por último, en la valoración de la tierra son factores importantes tanto su ubicación como sus atributos físicos (la topografía, la altitud y el clima).

La tierra también es un elemento importante para la evaluación de la riqueza nacional y del sector institucional. La tierra se compra y se vende con sus características físicas (edificios, suelo, árboles), y su valor es un compuesto que abarca el valor del espacio mismo (el emplazamiento) como también el valor de las características físicas.

A su vez, en relación a los Bosques, en el SCAE, se consideran un tipo de cubierta de la tierra y la silvicultura constituye una categoría de uso de la tierra. Muchas veces, sin embargo, los bosques se consideran predominantemente recursos madereros; es decir, recursos de madera en pie. Pero los bosques se utilizan para la producción de un conjunto muy variado de productos, por lo que no debe considerarse equivalentes los bosques a los recursos madereros.

Cuadro 22: Tipos de variaciones de existencias consideradas para los activos ambientales.

Incrementos	Disminuciones
<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de las existencias: corresponden a aumentos de las existencias durante el período contable debido a su crecimiento. • Nuevos descubrimientos de existencias: se refieren al ingreso de nuevos recursos en las existencias y habitualmente resultan de la exploración y evaluación. • Reevaluaciones al alza: corresponden a cambios debidos al empleo de información actualizada que permite reevaluar el volumen físico de las existencias. • Reclasificaciones: se producen por lo general cuando se los utiliza con un propósito diferente; por ejemplo, se registran aquí los aumentos de las superficies de bosques debidos a la forestación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Extracción: debidas a que un activo ambiental se extrae mediante un proceso productivo. • Disminuciones normales de las existencias: corresponden a pérdidas previstas de existencias durante un período contable. • Pérdidas catastróficas: se deben a acontecimientos excepcionales y catastróficos se registran cuando se producen hechos de gran escala, individuales y reconocibles que pueden destruir una cantidad importante de activos dentro de cualquier categoría. • Reevaluaciones a la baja: corresponden a cambios debidos al empleo de información actualizada que permite reevaluar el volumen físico de las existencias. • Reclasificaciones: se producen por lo general cuando se los utiliza con un propósito diferente; por ejemplo, se registran aquí las disminuciones de las superficies de bosques debidas a la deforestación.

Elaboración propia. Fuente: CEPAL (2012).

6.1.3 Cuentas de activos respecto de la tierra

Algunas de las cuestiones que corresponde considerar en relación con las cuentas sobre la tierra, más allá de la evaluación de su propiedad y su uso como parte de la producción económica, son los efectos o externalidades asociadas a ciertos procesos y actividades, entre los que se encuentran:

- La urbanización.
- La intensidad de la producción agrícola.
- La cría de animales.
- La forestación y deforestación.
- El uso de recursos hídricos.
- Otras utilidades directas e indirectas de la tierra.

Aunque una evaluación general sobre las proporciones entre los distintos usos de la tierra y su cubierta puede facilitar la construcción de indicadores útiles para cotejar los cambios producidos, la verdadera eficacia de las cuentas sobre la tierra se manifiesta cada vez más a través del empleo de tecnologías cartográficas que permiten identificar los lugares en que se producen las alteraciones.

La tierra es un activo ambiental de características únicas, que delimita al espacio en el que se desarrollan las actividades económicas y los procesos antrópicos, pudiéndose analizar en múltiples formas y perspectivas. Además, las estadísticas sobre el uso de la tierra y la cubierta terrestre evidencian un especial interés en los medios por los cuales se obtienen los datos, con el fin de tener certeza en los resultados agregados. En términos generales, según el SCAE, se aplican dos métodos:

1. El estudio sobre el terreno: ofrece un grado de especificidad mayor acerca de la cubierta terrestre y, en particular, el uso de la tierra en un lugar determinado.

2. El análisis espacial en base a imágenes satelitales: permite una evaluación integral de todas las zonas de un país y, con el tiempo, la resolución más detallada de las imágenes está permitiendo nuevas formas de análisis. Se están compilando cada vez más datos basados en combinaciones de ambos métodos.

6.1.4 Clasificación de los usos de la tierra

Las estimaciones de la superficie de las tierras clasificadas según su tipo pueden tener considerable interés por comprender los problemas de la producción agrícola, la gestión forestal y la urbanización. Ofrecen la posibilidad de analizar de los cambios en el uso de la tierra a lo largo del tiempo. Según el SCAE, el uso de la tierra comprende:

- Las actividades que se realizan en el espacio geográfico.
- Las disposiciones institucionales en vigor para determinada superficie con fines de producción económica o de mantenimiento y restauración de funciones ambientales.

Las cuentas sobre el uso de la tierra comprenden tanto las superficies terrestres como las aguas interiores. La clasificación de los usos de la tierra en el SCAE se presenta en la Cuadro 23. Su nivel más alto corresponde a una clasificación según los tipos principales de superficie: tierras y aguas interiores. Esta clasificación corresponde a su empleo principal, como modo de comparar usos diferentes. En general, los tipos de uso de las superficies de aguas interiores y de las superficies terrestres son muy distintos, y lo probable es que se gestionen de distinta forma.

Dentro de cada tipo de superficie, la clasificación comprende varias categorías de usos. Las categorías no se definen sobre la base de la actividad económica, sino de la consideración del propósito general y el papel que desempeña la unidad que usa la superficie. En muchos casos ello concuerda con el alcance de la actividad económica; pero algunas veces, sobre todo respecto de la silvicultura, la superficie que se considera que está en uso puede ser mayor que la utilizada para la producción económica.

Cuadro 23: Clasificación de usos de la tierra (SCAE).

Tierras	Aguas interiores
<ul style="list-style-type: none"> • Agricultura • Silvicultura • Tierras usadas para la acuicultura • Urbanización y áreas conexas • Tierras usadas para el mantenimiento y restauración de funciones ambientales • Otros usos de la tierra n.c.p. (no clasificados particularmente en otra parte) • Tierras que no están en uso. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aguas interiores usadas para la acuicultura o estanques • Aguas interiores usadas para el mantenimiento y restauración de funciones del medio ambiente • Otros usos de las aguas interiores n.c.p. • Aguas interiores que no están en uso.

Elaboración propia. Fuente: SCAE, 2012.

Al mismo tiempo, respecto de las zonas de bosques no destinadas a la producción económica, como por ejemplo las reservas naturales en que no existe el propósito de extraer madera, su uso primario es el mantenimiento y restauración de funciones ambientales, o bien pueden constituir tierras que no están en

uso, según las designaciones que se hayan hecho a su respecto. También puede ocurrir que en algunos casos una superficie puede tener usos múltiples al mismo tiempo o bien, en un período contable, la misma superficie puede tener usos diferentes en distintos momentos, y puede haber interés en registrar todos los usos de zonas determinadas. En general, sin embargo, debe aplicarse el principio del uso primario o predominante para asegurar la clasificación de toda la superficie.

6.1.5 Clases de cubierta terrestre

La cubierta terrestre es la superficie del territorio observada desde el punto de vista físico y biológico, incluyendo a la vegetación natural y las superficies abióticas. Entre los aspectos y características relevantes se encuentran:

- En su nivel más simple, comprende la totalidad de los elementos que cubren la superficie dentro de un país.
- A los efectos de las estadísticas sobre la cubierta terrestre, esas superficies solo comprenden a las tierras y aguas interiores, quedando excluidas las superficies de aguas costeras.
- La cubierta terrestre actual está determinada por cambios naturales del medio ambiente y por el uso anterior y actual, en particular en las zonas agrícolas y boscosas.
- Aunque las características de la vegetación (como su carácter natural o cultivado) influyen en la cubierta terrestre de una superficie, no constituyen rasgos intrínsecos de la cubierta terrestre.
- Una descripción sistemática de las clases de cubierta terrestre permite que la clasificación se compare con la de los tipos de uso de la tierra sin perjuicio de mantener criterios propios de la cubierta terrestre.

La FAO ha elaborado un sistema de clasificación uniforme, el Sistema de Clasificación de la Cubierta Terrestre (LCCS, por sus siglas en inglés), versión 3, que puede usarse para registrar sistemáticamente las características biofísicas de todas las superficies de tierras en cualquier territorio. El método del LCCS permite generar una gran cantidad de rasgos diferentes de la cubierta terrestre, estableciendo una clasificación general que comprende 14 clases, que se pueden apreciar en el Cuadro 24.

Cuadro 24: Clasificación de la cubierta terrestre (SCAE).

Categoría	Criterio
Superficies artificiales (incluidas las zonas urbanas y conexas)	Esta categoría se compone de cualquier tipo de superficies artificiales.
Plantas herbáceas	Esta categoría se compone de una capa principal de plantas herbáceas cultivadas.
Plantas leñosas	Esta categoría se compone de una capa principal de plantas leñosas o arbustos cultivados.
Vegetación múltiple o en capas	Esta categoría se compone de por lo menos dos capas de plantas leñosas y herbáceas cultivadas, o diferentes capas de plantas cultivadas con vegetación natural.

Pastizales	Esta categoría se compone de una capa principal de vegetación herbácea natural con una cubierta de entre 10% y 100%.
Superficies cubiertas por árboles	Esta categoría se compone de una capa principal de árboles naturales con una cubierta de entre 10% y 100%.
Manglares	Esta categoría se compone de árboles naturales con una cubierta de entre 10% y 100% en superficies acuáticas o periódicamente inundadas de agua salada o salobre.
Superficies cubiertas por arbustos	Esta categoría se compone de una capa principal de arbustos naturales con una cubierta de entre 10% y 100%.
Vegetación de arbustos y herbáceas, acuática o periódicamente inundada	Esta categoría se compone de hierbas o arbustos naturales con una cubierta de entre 10% y 100% en superficies acuáticas o periódicamente inundadas con persistencia del agua durante 2 a 12 meses por año.
Superficies con vegetación natural poco densa	Esta categoría se compone de cualquier tipo de vegetación natural (de todas las formas de crecimiento) con una cubierta de entre 2% y 10%.
Tierras áridas	Esta categoría está compuesta por superficies naturales abióticas.
Glaciares y nieves permanentes	Esta categoría se compone de cualquier tipo de glaciares y nieves perennes, con persistencia de 12 meses por año.
Masas de aguas interiores	Esta categoría se compone de cualquier tipo de masa de aguas interiores, con una persistencia del agua de 12 meses por año.
Masas de agua costeras e intermareales	Esta categoría está formada sobre la base de características geográficas en relación con el mar (lagunas y estuarios) y superficies abióticas sujetas a la persistencia de agua (variaciones intermareales).

Elaboración propia. Fuente: CEPAL (2012).

Las 14 clases constituyen un conjunto de tipos de cubierta terrestre con fronteras claras, basadas en las definiciones del LCCS, que son mutuamente excluyentes e inequívocas. Esta clasificación de la cubierta terrestre puede emplearse en todas las escalas, con independencia del método de observación, lo que permite las referencias recíprocas entre los mapas locales o regionales y los continentales o mundiales, sin pérdida de información.

6.1.6 Cuentas de activos físicos sobre las tierras

Las cuentas sobre las tierras tienen por objetivo describir las superficies terrestres y sus variaciones durante un período contable, por lo general un año. Las unidades de medida de la tierra en términos físicos son unidades de superficie como la hectárea o el metro cuadrado. Además, puede realizarse todo un conjunto de diferentes cuentas físicas sobre las tierras, entre ellas:

- i. Sobre el uso de la tierra
- ii. Sobre la cubierta terrestre.
- iii. Sobre la propiedad (pertenencia a la industria o al sector institucional).

Considerando que en general la superficie total de un país permanece sin modificaciones de un período contable al siguiente, los cambios referentes a la tierra, entre las existencias a la apertura y al cierre del periodo, comprenderán principalmente modificaciones entre diferentes clases de tierra mencionados.

Una forma de cuantificar y apreciar directamente los cambios de la tierra es la *matriz de cambios de la cubierta terrestre*, indicada en el Cuadro 25, la que muestra la cubierta terrestre en dos momentos diferentes. Indica la superficie de los tipos de cubierta terrestre al comienzo del período de referencia (superficie a la apertura), los aumentos y disminuciones de esas superficies según los tipos de cubierta terrestre anteriores (en el caso de los incrementos) o de los tipos resultantes (en el caso de las disminuciones) y, por último, la superficie de los diferentes tipos de cubiertas terrestres al término del período de referencia (superficie al cierre).

El Cuadro 25 muestra cambios netos en la cubierta terrestre, lo que puede disimular datos importantes. Por ejemplo, cuando se pierden bosques naturales en un lugar, pero se añaden plantaciones forestales en otro, no aparecen cambios netos de la superficie cubierta de árboles.

Cuadro 25: Matriz de conversión para los cambios en la cubierta terrestre.

		Cobertura de la tierra en el periodo t									Total
		1. Bosques	2. Pastizales	3. Humedales	4. Otra vegetación	5. Cultivos	6. Barbecho	7. Superficies artificiales	8. Nieve y hielo	9. Agua	
Cobertura de la tierra en el periodo t-1	1. Bosques	A_t^{11}	A_t^{12}	A_t^{13}	A_t^{14}	A_t^{15}	A_t^{16}	A_t^{17}	A_t^{18}	A_t^{19}	$\sum A_{t-1}^{1j}$
	2. Pastizales	A_t^{21}	A_t^{22}	A_t^{23}	A_t^{24}	A_t^{25}	A_t^{26}	A_t^{27}	A_t^{28}	A_t^{29}	$\sum A_{t-1}^{2j}$
	3. Humedales	A_t^{31}	A_t^{32}	A_t^{33}	A_t^{34}	A_t^{35}	A_t^{36}	A_t^{37}	A_t^{38}	A_t^{39}	$\sum A_{t-1}^{3j}$
	4. Otra vegetación.	A_t^{41}	A_t^{42}	A_t^{43}	A_t^{44}	A_t^{45}	A_t^{46}	A_t^{47}	A_t^{48}	A_t^{49}	$\sum A_{t-1}^{4j}$
	5. Cultivos	A_t^{51}	A_t^{52}	A_t^{53}	A_t^{54}	A_t^{55}	A_t^{56}	A_t^{57}	A_t^{58}	A_t^{59}	$\sum A_{t-1}^{5j}$
	6. Barbecho	A_t^{61}	A_t^{62}	A_t^{63}	A_t^{64}	A_t^{65}	A_t^{66}	A_t^{67}	A_t^{68}	A_t^{69}	$\sum A_{t-1}^{6j}$
	7. Superficies artificiales	A_t^{71}	A_t^{72}	A_t^{73}	A_t^{74}	A_t^{75}	A_t^{76}	A_t^{77}	A_t^{78}	A_t^{79}	$\sum A_{t-1}^{7j}$
	8. Nieve y hielo	A_t^{81}	A_t^{82}	A_t^{83}	A_t^{84}	A_t^{85}	A_t^{86}	A_t^{87}	A_t^{88}	A_t^{89}	$\sum A_{t-1}^{8j}$
	9. Agua	A_t^{91}	A_t^{92}	A_t^{93}	A_t^{94}	A_t^{95}	A_t^{96}	A_t^{97}	A_t^{98}	A_t^{99}	$\sum A_{t-1}^{9j}$
	Total	$\sum A_t^{i1}$	$\sum A_t^{i2}$	$\sum A_t^{i3}$	$\sum A_t^{i4}$	$\sum A_t^{i5}$	$\sum A_t^{i6}$	$\sum A_t^{i7}$	$\sum A_t^{i8}$	$\sum A_t^{i9}$	$\sum A_t^{ij}$

Fuente: OCDE, 2015.¹¹

¹¹ Green growth headline indicators. Land Cover and Land Cover Change: Proposed Methodology and y results for OECD and G20 countries. OECD, Nov. 2015.

En el Cuadro 25, cada posición de la matriz de conversión representa el área A_t^{ij} que en el periodo t ha sido transformada desde la cobertura i a la cobertura j. De esta forma, A_t^{12} representa el área que ha cambiado de bosques a pastizales en el periodo t.

6.1.7 Cuentas de activos físicos sobre los bosques y otras tierras boscosas

Respecto de determinados usos de la tierra o tipos de cubierta terrestre también es posible elaborar cuentas básicas de activos físicos en la forma indicada para otros recursos. Tal es el caso de los bosques y otras tierras boscosas. Según el SCAE (2012), existen dos distinciones fundamentales entre los activos físicos sobre los bosques y otras tierras boscosas con los recursos madereros:

- i. El alcance de los recursos madereros no se limita a la madera proveniente de bosques y otras tierras boscosas. De esta forma, se produce una vinculación y consecuente subjetividad en la determinación de la categoría. Por ejemplo, según la importancia que tengan, los huertos están comprendidos en el alcance de los recursos madereros, pero no se consideran superficies de bosques y otras tierras boscosas.
- ii. La cuenta de activos sobre recursos madereros apunta al volumen de los recursos de madera y no a la superficie cubierta por bosques y otras tierras boscosas. La cuenta sobre bosques y otras tierras boscosas se refiere a cambios en la superficie de la tierra (forestación y deforestación) y no a la cantidad ni al valor del recurso extraído.

La vinculación entre ambos activos ambientales se debe a que la mayor parte de los recursos madereros se encuentran en las superficies cubiertas por bosques. En consecuencia, se evidencian vinculaciones entre los dos conjuntos de cuentas que deben definirse en cada caso y cotejar con información levantada en terreno.

Cuadro 26: Definiciones y normativa nacional para los bosques

Definición conceptual (SCAE, 2012)	Normativa nacional
<ul style="list-style-type: none"> • Tierras con extensión superior a 0,5 hectáreas. • Con árboles de más de 5 metros de altura. • Cubierta de dosel de más del 10%, o árboles capaces de alcanzar esos umbrales en el lugar. • No comprende las tierras predominantemente dedicadas a usos agrícolas o urbanos. • No se define estrictamente sobre la base de los cambios en las superficies cubiertas de árboles. 	<p>La Ley N°20.283 de Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal, indica que el bosque nativo corresponde a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bosque formado por especies autóctonas, • Provenientes de generación natural • Regeneración natural • Plantación bajo dosel con las mismas especies existentes en el área de distribución original • Pueden tener presencia accidental de especies exóticas distribuidas al azar

Elaboración propia. Fuente: CEPAL, 2012.

Los bosques se clasifican en diferentes tipos, aunque la distinción principal se establece entre los *bosques naturalmente regenerados* y los *bosques plantados*. Los primeros son bosques compuestos principalmente por árboles derivados de la regeneración natural. En este caso se entiende por “principalmente” que se

prevé que esos árboles habrán de constituir más del 50% de la madera en pie una vez alcanzada la madurez. En los siguientes cuadros (N° 27 y 28), se pueden apreciar algunos aspectos relevantes para cada tipo.

Cuadro 27: Tipos de bosques naturalmente regenerados y sus características.

Tipo	Características
a. Bosque naturalmente regenerado de especies nativas: no hay indicios claramente visibles de actividades humanas y los procesos ecológicos no han sido perturbados significativamente.	a. Presentan la dinámica natural de los bosques, en particular en la composición natural de las especies arbóreas, la presencia de madera muerta, la estructura natural de edades y los procesos naturales de regeneración. b. Su superficie es suficientemente vasta para mantener sus características naturales. c. No se ha producido ninguna intervención humana significativa conocida, o la última de ellas tuvo lugar en el pasado con antigüedad suficiente para que pudieran restablecerse los procesos naturales y la composición natural de las especies.
b. Bosques regenerados naturalmente con indicios visibles de actividades humanas.	a. Zonas de bosques aprovechadas selectivamente, tales como las superficies en regeneración después del uso de la tierra para la agricultura o las que se recuperan de incendios causados por el hombre, etc. b. Los bosques en que no es posible distinguir si han sido plantados o se han regenerado naturalmente c. Los bosques con mezcla de árboles regenerados naturalmente y otros que han sido plantados, y en que se prevé que los primeros han de constituir más del 50% de la madera en pie al alcanzar la madurez d. El rebrote de árboles por regeneración natural e. Árboles de especies introducidas, regenerados naturalmente.

Elaboración propia. Fuente: CEPAL, 2012.

Cuadro 28: Otros tipos de bosques y sus criterios de selección.

Tipos	Criterios
Bosques plantados	<ul style="list-style-type: none"> • Se componen principalmente de árboles resultantes de plantación o siembra deliberada • Deben constituir más del 50% de la madera en pie, incluyendo los rebrotes de árboles obtenidos por plantación o siembra
Otras tierras boscosas	<ul style="list-style-type: none"> • Son tierras no clasificadas directamente como bosque • Con extensión superior a 0,5 hectáreas • Con árboles de más de 5 metros de altura y una cubierta de dosel de 5%-10% • Con una cubierta combinada de matorrales, arbustos y árboles superior al 10%. • No incluyen las tierras que están destinadas predominantemente a usos agrícolas o urbanos.

Elaboración propia. Fuente: CEPAL, 2012.

En lo posible deben compilarse cuentas que reflejen estas distinciones entre tipos de bosques y otras tierras boscosas. Además, puede interesar a los países compilar cuentas basadas en la superficie total de diferentes especies de árboles. En relación a las modificaciones en la existencia de los activos ambientales relacionados a los bosques, se manifiestan dos grandes grupos, descritos en el Cuadro 29.

Cuadro 29: Modificaciones y sus principales características de la existencia de los bosques.

Modificación	Características
Incrementos	<ul style="list-style-type: none"> • La <i>forestación</i> representa un aumento de las reservas de bosques y otras tierras boscosas, ya sea por la creación de nuevos bosques que antes no se clasificaban como tales o bien por medidas de silvicultura como la plantación y la siembra. En particular, las tierras antes clasificadas como otras tierras boscosas pueden convertirse en bosques como consecuencia de medidas de silvicultura. • La <i>expansión natural</i> es un aumento de la superficie resultante de procesos naturales de germinación, rebrote, propagación por chupones o acodadura. Cuando la expansión se produce a expensas de otro tipo de bosques u otras tierras boscosas (por ejemplo, la expansión natural de otros bosques naturalmente regenerados en otras tierras boscosas), debe registrarse un asiento correspondiente para la regresión natural.
Disminuciones	<ul style="list-style-type: none"> • La <i>deforestación</i> es la disminución de los bosques y otras tierras boscosas debido a la pérdida total de la cubierta boscosa y la transferencia de tierras forestales a otros usos (por ejemplo, su empleo como tierra agrícola, para la construcción de edificios o carreteras, etc.) o sin ningún nuevo uso identificable. La extracción de madera en pie no causa disminuciones de los bosques y otras tierras boscosas si no se produce cambio del uso de la tierra después de la tala.

Elaboración propia. Fuente: CEPAL, 2012.

Debe registrarse regresión natural cuando se produce disminución de bosques u otras tierras boscosas por causas naturales. Debe consignarse un asiento de regresión natural junto con otro para la expansión natural cuando se han producido cambios naturales en la superficie de los diferentes tipos de bosques y otras tierras boscosas (por ejemplo, la expansión natural de otros bosques naturalmente regenerados que se convierten en bosques, es decir, una regresión natural de las otras tierras boscosas).

6.2 Diseño y elaboración del caso piloto a nivel regional

Se contempló el diseño del caso piloto a partir de la referencia espacial de los recursos naturales y ecosistemas dada por la Carta de Ocupación de la Tierra (COT), generada por el MMA, así como también por el producto *Land Cover* (2014), del Laboratorio de Geomática y Ecología del Paisaje (GEP) de la Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza (CFCN) de la Universidad de Chile¹². Las clases de este último insumo fueron definidas siguiendo el sistema de clasificación propuesto por Di Gregorio (2005)¹³. Esto se justificó por las siguientes razones, todas consensuadas con la contraparte:

- Se seleccionaron los mismos años que los determinados para la construcción de indicadores (2010: año cero y 2015 como referencia comparativa).
- Se escogió a la Región de O'Higgins debido a que el Catastro de CONAF se encuentra, a la fecha, más actualizado en ella (referencia del COT).
- Esta información se complementó con la del *Land Cover* (2014) para aquellas coberturas no consideradas.
- La ventaja fundamental de trabajar con imágenes satelitales radica en la instantaneidad de la obtención de los datos y la disminución de las campañas de terreno.
- Se incorporará el producto de bosque construido con imaginería radar en las etapas de validación de la información modelada.

En forma conjunta, con la contraparte se construyó la correspondencia entre las coberturas usadas como referencia en terreno, las coberturas y usos del suelo del SCAE (Cuadro 30). En el cuadro 30 se expone la clasificación propuesta que se generó para la elaboración de cuentas ambientales de bosques. Esta información fue utilizada como base inicial para la realización de las campañas de terreno, siendo ajustada con la contraparte en forma posterior.

Cuadro 30: Correspondencias observadas con las clasificaciones SCAE de coberturas y usos de la tierra.

Cobertura de referencia terreno	Usos (SCAE)	Cobertura SCAE
Barbechos	1.1.3 Barbecho	4 Cultivos múltiples
Bosque nativo	1.2.1 Suelos dedicados a bosque	6 Áreas cubiertas por árboles
Gravas	1.7 Suelos no usados	11 Tierras áridas
Hielo	1.7 Suelos no usados	12 Nieve permanente y glaciares
Huertos	1.1.1 Suelos dedicados a cultivos temporales	4 Cultivos múltiples
Lagos	2.3 Otros usos de las aguas interiores n.c.p (no clasificados particularmente en otra parte)	13 Masas de agua interiores
Matorrales	1.2.2 Otros suelos boscosos	8 Áreas cubiertas por arbustos

¹² Hernández, Galleguillos y Estados (2016). Mapa de Cobertura de Suelos de Chile 2014: Descripción del Producto. Sitio web: <http://www.levs.uchile.cl/Landcover/Landcover%20de%20Chile%20-%20Descripci%C3%B3n%20del%20Producto%20-%20GEP%20UCHILE%202016.pdf>

¹³ Di Gregorio, A. (2005). Land cover classification system: Classification concepts and user manual: LCCS. Vol. 8, Food & Agriculture Org.

Matorrales Arborescentes	1.2.2 Otros suelos boscosos	8 Áreas cubiertas por arbustos
Nieve	1.7 Suelos no usados	12 Nieve permanente y glaciares
Otros Cultivos	1.1.4 Suelos dedicados a cultivos permanentes	4 Cultivos múltiples
Otros Matorrales Áridos	1.2.2 Otros suelos boscosos	8 Áreas cubiertas por arbustos
Otros Pastizales	1.1.5 Suelos dedicados a praderas y pastizales permanentes	5 Pastizales
Pastizales Áridos	1.1.5 Suelos dedicados a praderas y pastizales permanentes	5 Pastizales
Plantaciones de Coníferas Adultas	1.2.1.3 Bosques sembrados	6 Áreas cubiertas por árboles
Plantaciones de Hoja Ancha Adultas	1.2.1.3 Bosques sembrados	6 Áreas cubiertas por árboles
Praderas	1.1.5 Suelos dedicados a praderas y pastizales permanentes	5 Pastizales
Ríos	2.3 Otros usos de las aguas interiores n.c.p (no clasificados particularmente en otra parte)	13 Masas de agua interiores
Rocas	1.7 Tierras que no están en uso	11 Tierras áridas
Suelos arenosos	1.7 Tierras que no están en uso	11 Tierras áridas
Superficies Impermeables	1.4 Uso urbano y superficies conexas	1 Superficies artificiales

Fuente: CIT-UAI, 2016.

La cobertura de referencia de terreno del Cuadro 30 se construyó a partir de la información provista por el Land Cover (2014), por ser la de mejor resolución espacial y más reciente actualización. A partir de las categorías seleccionadas del Land Cover se construyó la primera etapa de una capa vectorial con áreas de entrenamiento, utilizadas en forma posterior para obtener las firmas espectrales de cada cobertura de la tierra consideradas en el SCAE. En etapas posteriores se integró la información recopilada en terreno y en gabinete. De forma homologa se procedió para realizar las cuentas de activos de bosques (Cuadro 31).

Cuadro 31: Correspondencias propuesta para las cuentas de activos de bosques

Cobertura de referencia terreno	Usos (SCAE)	Cobertura(SCAE)	Correspondencias terreno
Bosque nativo	1.2.1 Suelos dedicados a bosque	6 Áreas cubiertas por árboles	Cipreses, Robles, Litres, Peumos, bosque esclerófilo en quebradas y cerros de ambas cordilleras
Matorrales	1.2.2 Otros suelos boscosos	8 Áreas cubiertas por arbustos	Matorral esclerófilo
Matorrales Arborescentes			Matorral esclerófilo denso y alto
Otros Matorrales Áridos			Espinos
Plantaciones de Coníferas Adultas	1.2.1.3 Bosques sembrados	6 Áreas cubiertas por árboles	Pinos
Plantaciones de Hoja Ancha Adultas			Eucaliptus

Fuente: CIT-UAI, 2016.

6.2.1 *Plan de trabajo*

El plan de trabajo diseñado consistió en el establecimiento de un marco estructurado de referencia, el que permitió al equipo de trabajo realizar el trabajo en tres etapas:

- Trabajo en gabinete: establecimiento de los sectores o zonas de confianza con respecto a las coberturas y usos de la tierra contenida en los insumos (COT y *Land Cover*). A partir de ellas se construyó una capa de polígonos con áreas de entrenamiento para obtener las firmas espectrales. Se elaboraron las fichas de observación¹⁴ y recopilación de antecedentes.
- Campañas de Terreno: se elaboró un plan de levantamiento de información con respecto a la cobertura del terreno y el uso de la tierra, a nivel de detalle. Este consistió en la recopilación de información a través de la georreferenciación de datos y registros gráficos tomados in situ. Se priorizaron aquellas zonas cercanas a las vías principales y secundarias, además de las áreas protegidas oficiales presentes en la región piloto. Se consideraron especialmente aquellos sectores que presentaran la presencia de plantaciones forestales, bosque nativo e incendios forestales (PN Palmas de Cocalán y RN Ríos Cipreses). Con esta información se procedió a enriquecer y ajustar la capa de polígonos con las áreas de entrenamiento.
- Ajuste y calibración de modelos y algoritmos: posterior a la sistematización de la información recopilada en terreno, se procedió a realizar el ajuste de los modelos, calibrando los parámetros de cada algoritmo utilizado en la construcción de los Indicadores Ambientales, así como también para las distintas coberturas y usos de la tierra observadas. De esta forma, se obtuvo una cobertura con las Áreas de Entrenamiento ajustada para obtener las firmas espectrales de las coberturas observadas en terreno y en gabinete.

6.2.2 *Levantamiento de información en terreno*

Se realizaron un total de 11 campañas de terreno para el levantamiento de información (ver cuadro 32). De manera sintética, los terrenos realizados pueden dividirse en 3 tipos según su objetivo principal:

a) Exploración

Esta fase consistió en levantar en terreno la información necesaria para poder acceder y contar con el apoyo logístico y en lo posible de conocimiento experto local respecto de las áreas protegidas públicas y privadas, Así mismo, sirvieron de base de planificación a los terreno de toma de datos, al permitir dimensionar efectivamente el tiempo de llegada, estado de los caminos, posibilidades de acceso y números de contacto actualizados (últimos dos puntos especialmente críticos en las áreas protegidas privadas).

¹⁴ Ver Anexo 8.1

b) Toma de Datos

Esta fase un equipo de profesionales con conocimiento necesario para el reconocimiento de las especies arbóreas comunes de la región (nativas y exóticas) levantó la información necesaria para la calibración y ajuste de los indicadores ambientales, por medio de la toma del punto GPS, el llenado de la información de la ficha de terreno¹⁵ y la fotografía correspondiente.

Los elementos que se consideraron como mínimos de obtener en terreno fueron los siguientes:

- Identificación del profesional que registra la información
- Identificación de fecha (DD/MM/AAAA) y hora en que se toma el dato (HH:MM)
- Código único del punto GPS
- Coordenadas y sistema de coordenadas usado
- Cobertura/Usos detectados
- Distancia a cobertura/usos identificadas

Para el caso de las áreas protegidas las visitas agendadas con anterioridad permitieron acceder guiados por encargados locales a áreas quemadas en zonas muy interiores de estas áreas protegidas, que involucraron jornadas enteras de caminata, debido a la inaccesibilidad de las zonas a catastrar.

c) Corroboración de Datos

En esta etapa, se corroboraron los puntos con una ruta fijada en gabinete. En terreno, por medio de la localización previa del punto en GPS, se localiza en el sector con la información de cobertura de suelo determinada por el modelo SIG.

Cuadro 32: Cronograma de Información levantada en terreno.

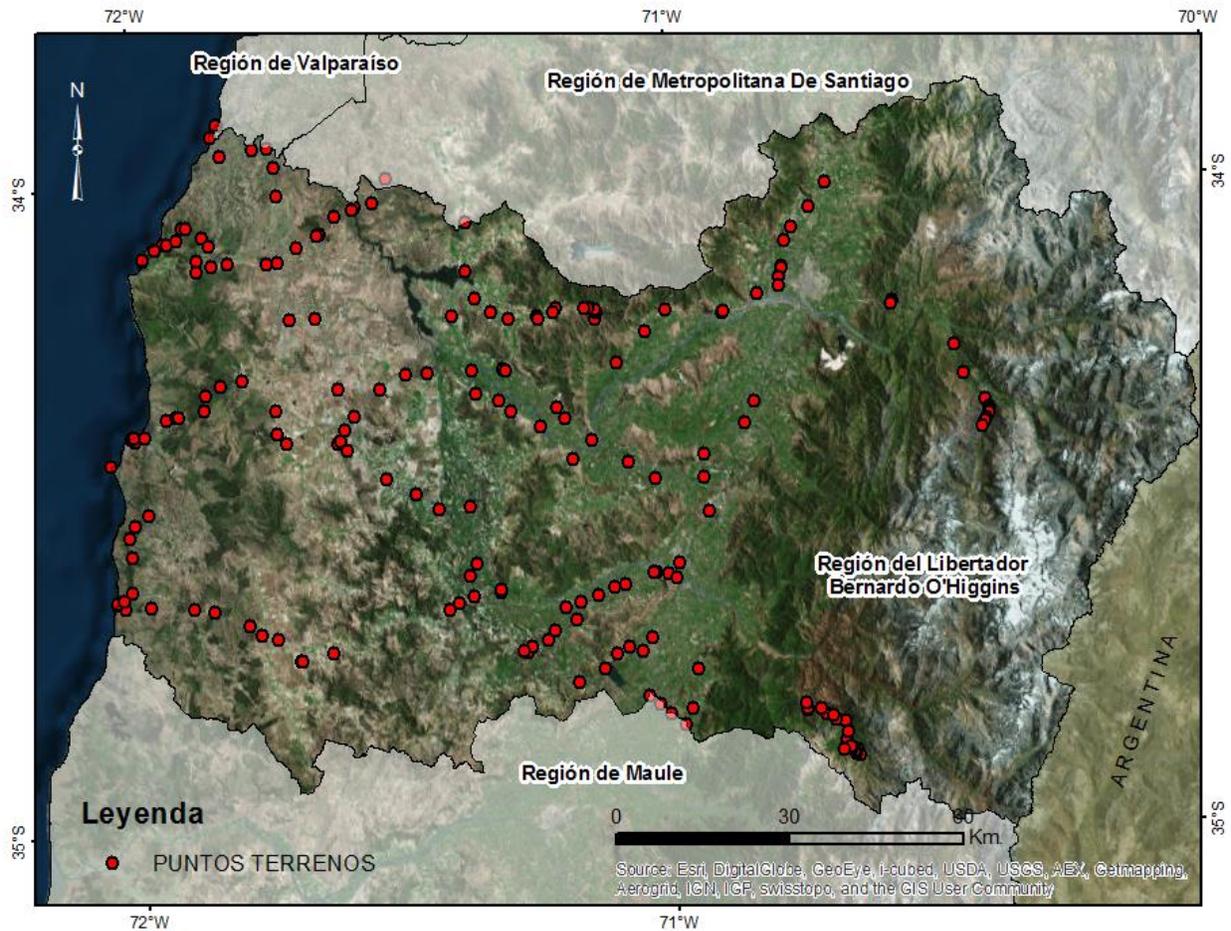
Fecha Terreno	Objetivo	Sector	Total de Puntos
19/08/2016	Exploración	Altos de Huemul	11
23/08/2016	Exploración	Reserva Nacional Río Los Cipreses	4
30/08/2016	Toma de Datos	Santa Cruz - Bucalemu	25
31/08/2016	Toma de Datos	Pichilemu – Navidad	34
13/09/2016	Toma de Datos	Rapel – Topocalma	26
14/09/2016	Toma de Datos	Rapel – Las Cabras	16
15/09/2016	Toma de Datos	Reserva Nacional Río Los Cipreses	10
29/09/2016	Toma de Datos	Embalse Convento Viejo Marchigue	27
05/10/2016	Toma de Datos	Altos de Huemul	13
03-11-2016	Corroboración	Corroboración Puntos Sector La Cruz	20
09-11-2016	Corroboración	Corroboración Puntos Sector Marchigue	25

Fuente: CIT, 2016

¹⁵ En Anexo 8.1 se entrega el formato de la ficha utilizada en terreno, y en Anexo 8.4 se entrega la información de todas las fichas aplicadas en terreno. Cada ficha tiene su correlato de fotografía asociada a los puntos x,y de terreno.

La distribución de los puntos de control tomados en terreno es posibles de observar en la Figura 12. Estos puntos se definieron mediante la *selección al azar de sitios de entrenamiento*, construidos en base a la cobertura del Land Cover, cercanos a la red vial (menos de 1 km) y tratando de obtener la mayor *representatividad de las clases* presentes en la región. En la figura se puede apreciar que se privilegiaron los macro sectores conformados por las *unidades geomorfológicas*, tales como los valles, la depresión intermedia, la cordillera de los Andes y el litoral de la región.

Figura 12: Punto de observación en terreno de las coberturas de la tierra.



Fuente: CIT-UAJ, 2016.

En resumen, en las campañas de terreno realizadas se ha podido corroborar la existencia o inexistencia de determinadas coberturas y usos de la tierra. Se recabó información en 211 puntos de control. En el Cuadro 33 se pueden apreciar las coberturas de la tierra observadas en terreno.

Cuadro 33: Coberturas o usos de la tierra observados en terreno.

Clases/Usos Observados en terreno
Cipreses
Robles
Cuerpo de agua menor
Urbano
Bosque Nativo
Eucaliptus
Cultivos múltiples
Barbechos
Parras
Matorral
Espinos
Olivos
Pinos
Pastizales
Arena
Almendros

Fuente: CIT-UAI, 2016.

6.2.3 Procesamiento y síntesis de información de cobertura y usos de la tierra

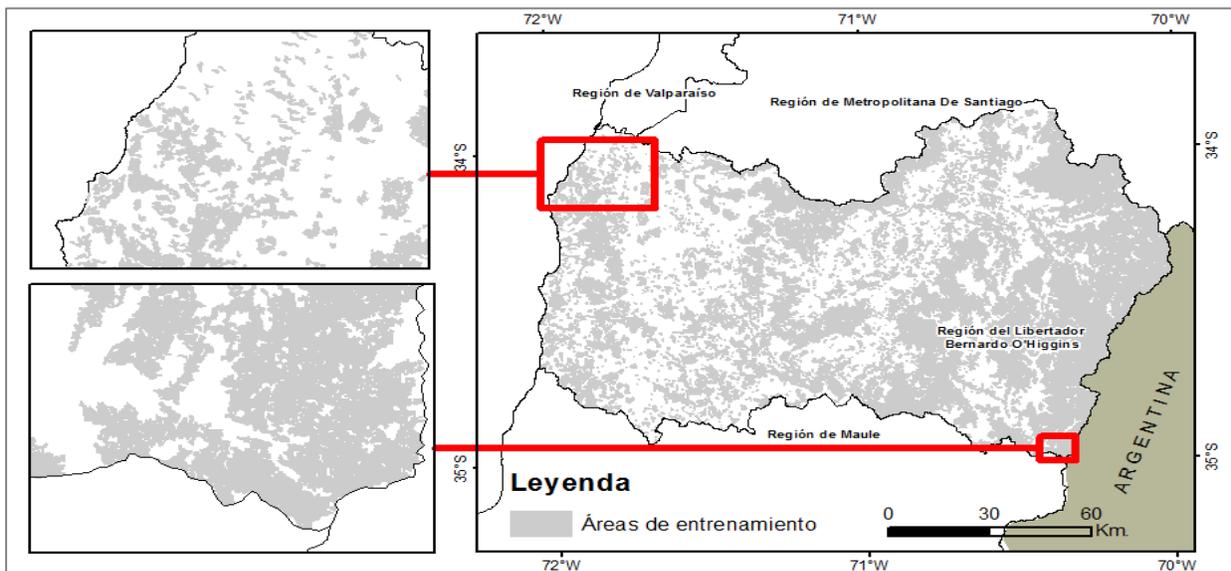
Se consideraron dos imágenes satelitales en el piloto de cuentas ambientales: la primera perteneciente al año 2010 y la segunda perteneciente al año 2016. Se escogieron esos años, debido al cambio de sensores satelitales (paso de Landsat 5 a Landsat 8 desde el año 2013) y a que abarcan un periodo de tiempo razonable para medir cambios en la cobertura de la tierra y en los usos del suelo. La imagen del año 2010, de Landsat 5, sensor Thematic Mapper (TM), corresponde al día 14 de noviembre, siendo adquirida a las 11:23 AM (hora local), mientras que la imagen del año 2016, Landsat 8, sensor Operational Land Image (OLI), se adquirió el 15 de enero, a las 11:34 AM (hora local). A ambos insumos satelitales se les realizó la siguiente serie de procesos antes de ser usadas como información de entrada en la metodología elaborada:

- Eliminación de los píxeles con valores digitales (DN) dummies (iguales a cero) y los píxeles saturados.
- En el caso de la imagen de Landsat 5, se transformaron sus valores digitales a radiancia espectral y luego a reflectancia. En el caso de la imagen Landsat 8, solo se procedió a la obtención directa de la reflectancia.
- Corrección topográfica de las reflectancias generadas para ambas imágenes satelitales, usando un modelo de elevación digital (MDE) de 30 m de resolución espacial (ASTER).
- En ambas imágenes satelitales, se consideraron solo las bandas del espectro visible (VIS), el infrarrojo cercano (NIR) y el infrarrojo de onda corta (SWIR).

Una vez procesadas las bandas espectrales de ambas imágenes satelitales, se procedió a establecer las áreas de entrenamiento definitivas para realizar la obtención de las firmas espectrales. Para ello se enriqueció la capa de polígonos elaborada a partir del Land Cover inicialmente, agregando nuevos polígonos detectados en terreno y eliminando los que no correspondían con lo observado en el territorio.

Esta capa de áreas de entrenamiento fue utilizada como insumo inicial para la clasificación supervisada, siendo mejorada a partir de la iteración de la herramienta, con lo que se fueron eliminando polígonos que producían errores en la clasificación de las coberturas de la tierra. A partir de los puntos de terreno y los insumos base (COT y LC) se establecieron áreas de entrenamiento definitivas, las cuales llegaron a un total de 6.204 parcelas, distribuidas las tipologías mencionadas en el Cuadro N° 30 y espacialmente distribuidas por toda la región piloto (ver Figura 13).

Figura 13: Distribución espacial de parcelas de entrenamiento



Elaboración: Centro de Inteligencia Territorial, 2016

En el Cuadro 34 se pueden apreciar las coberturas de la tierra detectadas en terreno. Se incluyeron las categorías del Land Cover que pudieron ser confirmadas en terreno o en la visualización directa utilizando imágenes satelitales de mejor resolución espacial en Google Earth.

Se incorporaron dos nuevas categorías para diferenciar los suelos desnudos y los impermeabilizados: los afloramientos rocosos y las superficies con depósitos minerales, ambos presentes en la zona de la cordillera de los Andes de la región.

Cuadro 34: Distribución de parcelas de entrenamiento según tipo de cobertura

Cobertura	Nº de parcelas de entrenamiento
Bosque nativo	2.633
Otros Cultivos	660
Cultivos frutales	533
Matorrales Arborescentes	463
Eucaliptus	434
Pinos	281
Pastizales áridos	230
Superficies impermeables	194
Barbechos	155
Rocas	128
Gravas	114
Matorrales	111
Praderas	99
Cuerpo de agua	51
Cultivos	44
Afloramientos rocosos	38
Nieve	21
Suelos arenosos	9
Pastizales	3
Hielo	2
Álamos	1
Total general	6.204

Elaboración: Centro de Inteligencia Territorial, 2016

6.3 Resultados obtenidos para las cuentas de activos físicos para las coberturas de la tierra

Se presentan los resultados obtenidos en el caso piloto desarrollado en el proyecto. En el Cuadro 36 se pueden apreciar las superficies obtenidas para cada tipo de cobertura seleccionada para el presente piloto, en base al *Land Cover* y el COT, en los años 2010 y 2016.

Las correspondencias entre las coberturas de detalle usadas como referencia en terreno se pueden apreciar en el Cuadro 35. Se han utilizado como criterios los determinados por la literatura (SCAE) y la información recopilada en terreno. Se ha incorporado información relativa a la clasificación SCAE en las fichas de observación en terreno, tal como el porcentaje de cobertura en cada parcela levantada (30 x 30 m) relativa a un punto de observación.

Se han agregado nuevas categorías a partir del Cuadro 30, consensuadas con la contraparte en reuniones de ajuste metodológico, tales como los afloramientos rocosos y las superficies con depósitos minerales, y que pueden ser observados en el siguiente cuadro.

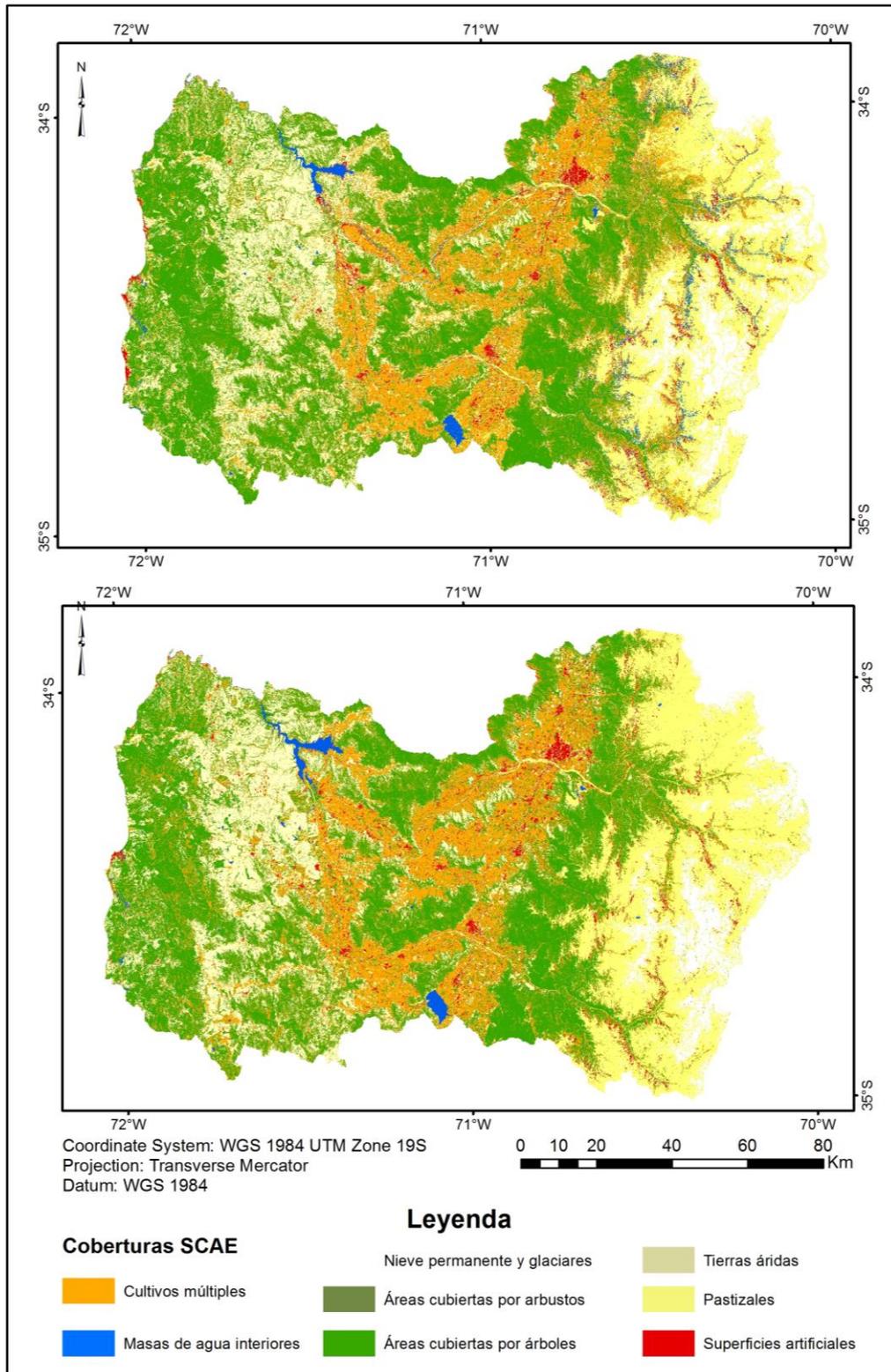
Cuadro 35: Correspondencias observadas con las clasificaciones SCAE de coberturas y usos de la tierra.

Cobertura de referencia terreno	Usos (SCAE)	Cobertura SCAE
Barbechos	1.1.3 Barbecho	4 Cultivos múltiples
Bosque nativo	1.2.1 Suelos dedicados a bosque	6 Áreas cubiertas por árboles
Gravas	1.7 Suelos no usados	11 Tierras áridas
Hielo	1.7 Suelos no usados	12 Nieve permanente y glaciares
Cuerpos de agua	2.3 Otros usos de las aguas interiores n.c.p (no clasificados particularmente en otra parte)	13 Masas de agua interiores
Matorrales	1.2.2 Otros suelos boscosos	8 Áreas cubiertas por arbustos
Matorrales Arborescentes	1.2.2 Otros suelos boscosos	8 Áreas cubiertas por arbustos
Nieve	1.7 Tierras que no están en uso	12 Nieve permanente y glaciares
Otros Cultivos	1.1.4 Suelos dedicados a cultivos permanentes	4 Cultivos múltiples
Otros Matorrales Áridos	1.2.2 Otros suelos boscosos	8 Áreas cubiertas por arbustos
Otros Pastizales	1.1.5 Suelos dedicados a praderas y pastizales permanentes	5 Pastizales
Pastizales Áridos	1.1.5 Suelos dedicados a praderas y pastizales permanentes	5 Pastizales
Pinos	1.2.1.3 Bosques sembrados	6 Áreas cubiertas por árboles
Eucaliptus	1.2.1.3 Bosques sembrados	6 Áreas cubiertas por árboles
Praderas	1.1.5 Suelos dedicados a praderas y pastizales permanentes	5 Pastizales
Rocas	1.7 Tierras que no están en uso	11 Tierras áridas
Suelos arenosos	1.7 Tierras que no están en uso	11 Tierras áridas
Superficies Impermeables	1.4 Uso urbano y superficies conexas	1 Superficies artificiales
Afloramientos rocosos	1.7 Tierras que no están en uso	11 Tierras áridas
Superficies con depósitos minerales	1.7 Tierras que no están en uso	11 Tierras áridas

Fuente: CIT-UAI, 2016.

Utilizando esta información, se logró obtener un resultado confiable de las coberturas relativas a los bosques en la zona costera y cordillerana. Usando los resultados como insumos se construyó una cartografía de referencia para apreciar los cambios espaciales en las coberturas y usos de la tierra. En la Figura 14 se muestran los resultados espacializados para ambos años considerados en el presente estudio.

Figura 14: Coberturas SCAE obtenidas para los años 2010 (arriba) y 2016 (abajo).



Fuente: CIT-UAI, 2016.

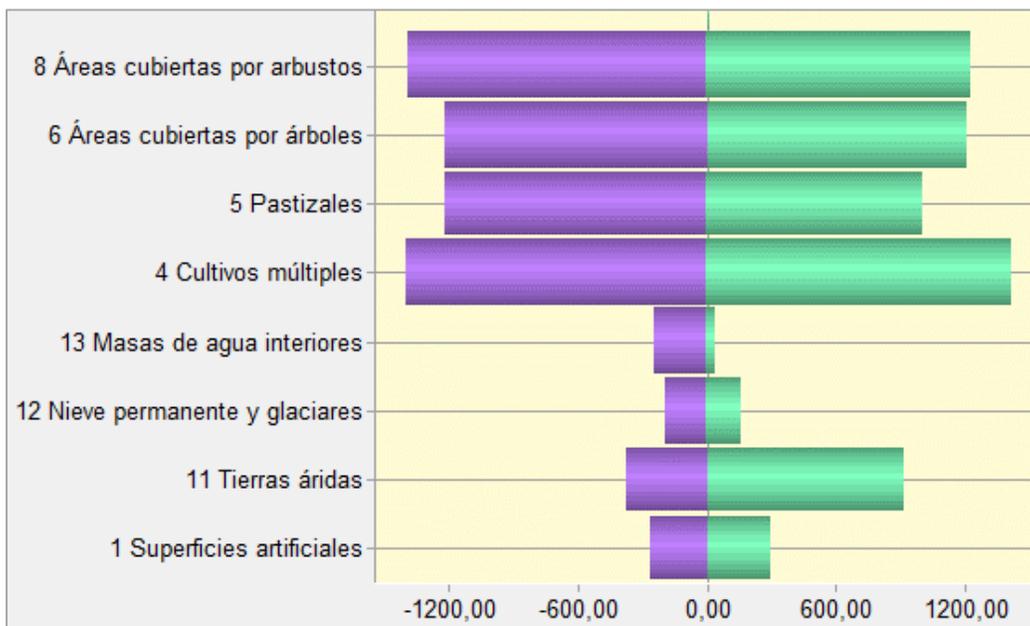
En el Cuadro 36 se puede observar los resultados obtenidos para las superficies de las coberturas del SCAE para los años 2010 y 2016. Se puede apreciar que se existe un aumento del 7,5% en las superficies artificiales y el mayor cambio (19% de aumento) en las tierras áridas. Por otro lado, el mayor retroceso se exhibe en las masas de aguas interiores, con cerca de un 62%. Estos cambios se reflejan en el gráfico 15, en el que se observa directamente la superficie ganada o perdida en el periodo considerado en el presente estudio.

Cuadro 36: Superficie obtenidas para cada cobertura SCAE considerada.

Categoría de Cobertura SCAE	Superficie (km ²)	
	Año 2010	Año 2016
1 Superficies artificiales	398,0	427,8
11 Tierras Áridas	2.866,0	3.411,5
12 Nieve permanente y glaciares	732,9	703,3
13 Masas de agua interiores	321,2	122,0
4 Cultivos múltiples	2.809,7	2.835,4
5 Pastizales	2.798,8	2.592,9
6 Áreas cubiertas por árboles	3.710,2	3.698,6
8 Áreas cubiertas por arbustos	2.676,4	2.521,8
Total superficie teledetectada	16.313,2	16.313,2

Fuente: CIT-UAI, 2016.

Gráfico 15: Ganancias y pérdidas en superficie entre los años 2010 y 2016 (km²)



Fuente: Centro de Inteligencia Territorial, 2016.

En el Cuadro 37 se sintetizan los resultados en la matriz de conversiones de los años 2010 y 2016, entregando mayor detalle en las transiciones de superficies:

Cuadro 37: Matriz de cambios de la cobertura del suelo (categorías SCAE).

Categorías Cobertura de Suelo SCAE	1 Superficies artificiales	11 Tierras áridas	12 Nieve permanente y glaciares	13 Masas de agua interiores	4 Cultivos múltiples	5 Pastizales	6 Áreas cubiertas por árboles	8 Áreas cubiertas por arbustos
Superficie inicial 2010	398	2.866,00	732,9	321,2	2.809,70	2.798,80	3.710,20	2.676,40
1 Superficies artificiales	0	72,12	-1,41	-4,07	-53,14	-48,38	2,32	2,72
11 Tierras áridas	-72,12	0	-27,22	-139,57	-173,75	-40,85	-28,64	-63,3
12 Nieve permanente y glaciares	1,41	27,22	0	0,09	0,42	0,01	0,03	0,4
13 Masas de agua interiores	4,07	139,57	-0,09	0	32,28	-6,31	18,47	11,24
4 Cultivos múltiples	53,14	173,75	-0,42	-32,28	0	-287,35	-51,94	119,45
5 Pastizales	48,38	40,85	-0,01	6,31	287,35	0	-69,85	-107,18
6 Áreas cubiertas por árboles	-2,32	28,64	-0,03	-18,47	51,94	69,85	0	-117,99
8 Áreas cubiertas por arbustos	-2,72	63,3	-0,4	-11,24	-119,45	107,18	117,99	0
Cambio neto*	29,84	545,45	-29,58	-199,23	25,65	-205,85	-11,62	-154,66
Superficie final 2016	427,8	3.411,50	703,3	122	2.835,40	2.592,90	3.698,60	2.521,80

* El cambio neto se entiende como la suma de las contribuciones, donde el valor positivo se entiende como una ganancia en la respectiva superficie de cobertura de suelo en el periodo 2010-2015; mientras que el valor negativo se entiende como una pérdida de la categoría en el mismo periodo. Unidades de superficie en km2 Fuente: CIT-UAI, 2016.

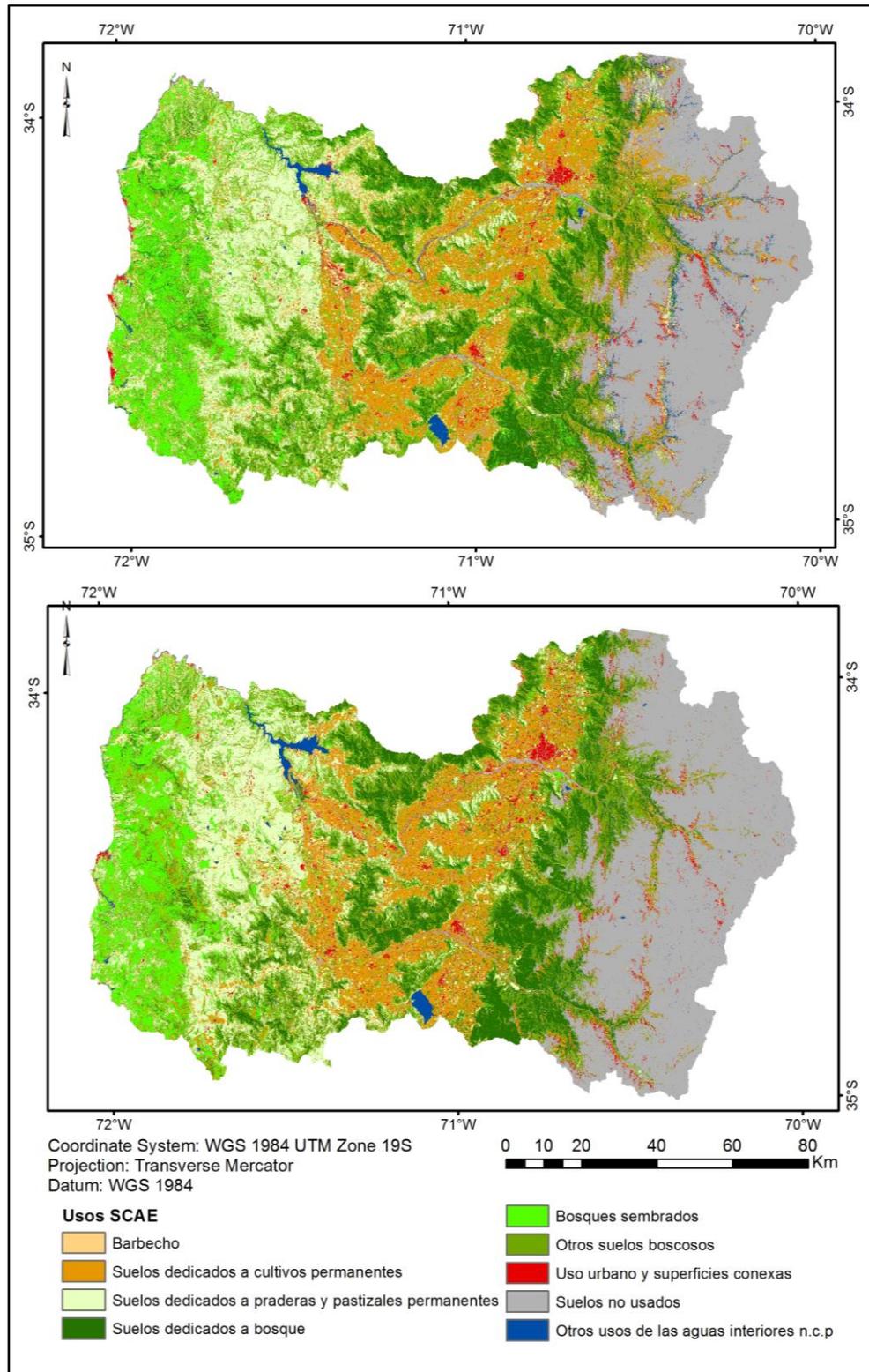
De esta manera, se puede tomar el ejemplo de la categoría 12 de Nieve permanente y glaciares (cuarta columna del Cuadro 37), la cual registra una pérdida neta de superficie en el periodo de tiempo 2010-2016, cediéndole superficie a todas las demás categorías. Respecto del análisis en base al Uso de suelo (categoría SCAE) (Cuadro 38), se obtuvieron los siguientes resultados generales, graficados en la Figura 15:

Cuadro 38: Usos del suelo SCAE obtenidos para los años 2010 y 2016.

Uso de suelo Categorías SCAE	Año 2010	Año 2016
	Superficie (km2)	Superficie (km2)
1.1.3 Barbecho	241,2	430,1
1.1.4 Suelos dedicados a cultivos permanentes	2.568,5	2.405,3
1.1.5 Suelos dedicados a praderas y pastizales permanentes	2.798,8	2.592,9
1.2.1 Suelos dedicados a bosque	1.766,3	2.108,8
1.2.1.3 Bosques sembrados	1.943,9	1.589,8
1.2.2 Otros suelos boscosos	2.676,4	2.521,8
1.4 Uso urbano y superficies conexas	398,0	427,8
1.7 Suelos no usados	3.598,9	4.114,8
2.3 Otros usos de las aguas interiores n.c.p (no clasificados particularmente en otra parte)	321,2	122,0
Total teledetectado	16.313,2	16.313,2

Fuente: CIT, 2016

Figura 15: Mapas de Uso de suelo según coberturas SCAE para los años 2010 (arriba) y 2016 (abajo)



Fuente: CIT-UAI, 2016.

Al realizar un análisis de la matriz de cambios respecto de los usos de suelo relacionados al bosque, que son de interés para profundizar por la contraparte, se obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro 39 Matriz de cambio de uso de suelo boscoso entre años 2010-2016 (km²)

Categoría de uso de suelo SCAE	1.2.1 Suelos dedicados a bosque	1.2.1.3 Bosques sembrados	1.2.2 Otros suelos boscosos
Superficie uso de suelo inicial (2010)	1.766,3	1.943,9	2.676,4
1.1.4 Suelos dedicados a cultivos permanentes	92,8	-128,9	126,9
1.1.5 Suelos dedicados a praderas y pastizales permanentes	27,1	-96,9	-107,2
1.2.1 Suelos dedicados a bosque	0,0	-70,8	-155,3
1.2.1.3 Bosques sembrados	70,8	0,0	37,3
1.2.2 Otros suelos boscosos	155,3	-37,3	0,0
1.4 Uso urbano y superficies conexas	2,4	-0,1	2,7
1.7 Suelos no usados	-26,8	-1,8	-62,9
2.3 Otros usos de las aguas interiores n.c.p (no clasificados particularmente en otra parte)	17,1	1,4	11,2
Sin Dato	-3,9	19,7	7,5
Total cambio neto de uso de suelo*	334,7	-314,7	-139,7
Superficie uso de suelo inicial (2016)	2.108,8	1.589,8	2.521,8

*En este caso, los valores en negativos corresponden a cesiones de superficie de la categoría ubicada en la vertical hacia la columna ubicada en la horizontal. Fuente: CIT, 2016

Respecto de la cobertura de uso generada, se puede ejercer una diferenciación entre usos antrópicos de usos naturales, esta diferenciación permite una clasificación entre cambios administrados¹⁶ (Forestación/Deforestación) y entre cambios naturales se diferenció según la tipología de uso, siguiendo el esquema presentado en el Cuadro 40.

Cuadro 40 Tipo de manejo asignado a cada uso de suelo según categorías SCAE.

Categoría de Uso de suelo SCAE	Tipo de manejo
1.1.4 Suelos dedicados a cultivos permanentes	Suelo con uso antrópico/Administrado
1.1.5 Suelos dedicados a praderas y pastizales permanentes	Suelo con uso natural
1.2.1 Suelos dedicados a bosque	Suelo con uso natural
1.2.1.3 Bosques sembrados	Suelo con uso antrópico/Administrado
1.2.2 Otros suelos boscosos	Suelo con uso natural
1.4 Uso urbano y superficies conexas	Suelo con uso antrópico/Administrado
1.7 Suelos no usados	Suelo con uso natural
2.3 Otros usos de las aguas interiores n.c.p	Suelo con uso natural

Fuente: CIT, 2016

¹⁶ Para el caso de la cuenta de bosques los cambios naturales corresponderían a Forestación y Deforestación, según se trate de incrementos o reducciones o respectivamente.

Utilizando los tipos de manejo indicados en el Cuadro 38 es posible sintetizar los resultados finales respecto de la cuenta de bosques para el año 2010-2016, los cuales se presentan en el Cuadro 41.

Cuadro 41 Cuenta de activos de los bosques y otros suelos boscosos (km²)

Usos de suelo	1.2.1 Suelos dedicados a bosque (bosque nativo)	1.2.1.3 Bosques sembrados (Bosque plantado)	1.2.2 Otros suelos boscosos
Stock de apertura	1.766,3	1.943,9	2.676,4
Incrementos del stock			
Forestación	166,0		166,9
Expansión natural	199,4	1,4	11,2
Total incrementos del stock	365,4	1,4	178,2
Reducciones del stock			
Deforestación		129,0	
Reducción natural	26,8	206,8	325,4
Total reducciones del stock	26,8	335,8	325,4
<i>Sin información</i>	3,9	19,7	7,5
Stock de cierre	2.108,8	1.589,8	2.521,8

Fuente: CIT, 2016

6.4 Limitaciones y problemas metodológicos del piloto de cuentas ambientales

Entre las limitaciones y problemas de índole metodológica que se han detectado en el desarrollo del presente piloto de cuentas ambientales, se encuentran una serie de aspectos técnicos y de levantamiento de la información espacial. Las naturalezas de los distintos sensores, sus resoluciones espaciales, temporales y, sobre todo, radiométricas influyen a la hora de discriminar entre celdas contiguas o vecinas coberturas semejantes.

La resolución espacial de las imágenes satelitales juega un rol preponderante en la detección de coberturas de la tierra. Imágenes de baja resolución espacial como MODIS permiten una discriminación satisfactoria a partir de una escala de análisis de 1: 250.000, dejando de lado un gran número de coberturas de la tierra con menor tamaño (como cultivos menores o cuerpos de agua). Landsat permite comenzar con una escala de análisis desde 1:25.000, gracias a su pixel de 30 m; sin embargo, para efectos de comparación de cambios en las coberturas, el paso de una resolución de 8 bits en Landsat 5 a 12 bits en Landsat 8, influye en la discriminación de los pixeles aledaños, ingresando un grado de incerteza en la comparación de los resultados obtenidos para ambas fechas consideradas.

Estas limitaciones se ven agravadas con las condiciones de accesibilidad de las diferentes coberturas presentes en la región seleccionada. Los predios privados, la falta de señalética, la inexistencia o mala calidad de los caminos, fueron factores que influyeron en el desarrollo de las campañas de terreno, sesgando el levantamiento de la información utilizada como referencia para la generación de las áreas de entrenamiento.

Cabe destacar que la estructura metodológica propuesta para el piloto de cuentas ambientales es replicable a cualquier territorio, ya sea del país o del extranjero, debido a que la generación de una capa con áreas de entrenamiento no requiere de personal con una alta capacitación técnica y que los insumos satelitales gratuitos se encuentra presentes para todo el mundo. El avance de la tecnología y la creciente inversión en teledetección espacial hace suponer que en un futuro cercano se pondrá a disponibilidad de la comunidad mejores insumos espaciales, incluyendo mejoras en las resoluciones espaciales temporales y radiométricas, como es el actual caso de Sentinel (ESA).

Aunque con la presente metodología se pueden encontrar firmas espectrales para determinadas coberturas de la tierra, no se aconseja utilizarlas en zonas diferentes de su origen, debido a que su generación no solo se encuentra condicionada por los polígonos y las bandas espectrales de entrada, sino que también por las condiciones climáticas y geográficas que imperen durante la adquisición de las imágenes satelitales. Es diferente una cobertura de matorrales en la zona mediterránea que en el Desierto de Atacama o el sur de Chile.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las principales conclusiones y recomendaciones del presente estudio se centran en la parte operativa de los métodos descritos. Las condicionantes técnicas del monitoreo por Teledetección satelital son complejas y se encuentran en continuo desarrollo, por lo que estar atentos a las nuevas adaptaciones e innovaciones en el sector es vital para desarrollar herramientas de gestión ambiental útiles y precisas.

El desarrollo de programas de monitoreo ambiental basado en la imágenaría satelital disponible puede efectivamente desarrollarse de manera sistemática para cubrir un amplio rango de variables de diversos cuerpos naturales o ecosistemas. Es importante tener en consideración los cambios de sensores al momento de hacer comparaciones a través del tiempo, junto a la capacitación de los profesionales que lleven adelante estos programas y la disponibilidad del hardware adecuado para realizar estas tareas.

Para el caso de los indicadores ambientales, los resultados reflejan que en los ambientes glaciar y lacustre el desempeño de la metodología y herramientas desarrolladas es eficiente y operativo, salvo para aquellas zonas del país con una fuerte presencia de nubes durante el año. Es recomendable que se exploren otras alternativas y sensores para monitorear estas zonas, tales como la teledetección por radar y laser. Para el bosque nativo, el principal problema o dificultad radica en las áreas de entrenamiento para encontrar su firma espectral, asociada a la baja calidad de los insumos espaciales respecto a la superficie de bosque nativo detectado por el Land Cover, COT y el Catastro de CONAF.

En el ámbito de las cuentas ambientales, el uso de la Teledetección ha permitido reunir de manera espacial y agregada la información de activos ambientales. Es difícil pensar en un tipo de cuentas ambientales de actualización constante que no integre metodologías satelitales, debido a la espacialización de las variables y a la obtención simultánea de la información satelital. Los muestreos puntuales presentan dificultades en estos aspectos, sirviendo de apoyo para el ajuste, calibración y validación de la información modelada.

La adecuada selección de los métodos y algoritmos de clasificación de las superficies para realizar las cuentas de activos ambientales es de suma importancia, así como también la selección de los sensores satelitales, puesto que las distintas resoluciones involucradas (espacial, radiométrica, temporal), juegan un papel relevante a la hora de la agrupación de píxeles semejantes. Los resultados del presente estudio muestran un sesgo asociado a la disimilitud de las resoluciones radiométricas de Landsat 5 (8bits) y la de Landsat 8 (12 bits), permitiendo la segunda discriminar de mejor manera entre píxeles vecinos. Por último, se recomienda usar sensores de media resolución espacial (igual o menor a 30 m), pudiendo incorporar otros de baja como MODIS para aquellos sectores sin cobertura (250 m), además de una actualización o periodo de obtención bianual para el caso de cuentas de activos ambientales.

8. BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER). 2014. En Red. <http://asterweb.jpl.nasa.gov/>. Fecha última visita: 26-06-2015.
- Alonso, C; Moreno, V. 1996. Análisis multitemporal de imágenes LANDSAT TM en la cartografía de las masas de hielo y nieve aplicadas a la modelización hidrológica. *Revista de Teledetección*, 1996.
- Benger, S.N. 1997. Remote sensing of the effects of irrigation activities on vegetation health in ephemeral Humedaless of semi arid Australia. *Geoscience and Remote Sensing, 1997. IGARSS '97. Remote Sensing - A Scientific Vision for Sustainable Development, 1997 IEEE International (Volume: 1)*.
- Bustamante, J; Díaz-Delgado, R; Aragonés, D. 2005. Determinación de las características de masas de aguas someras en las marismas de Doñana mediante Teledetección. *Revista de Teledetección*. 2005. 24: 107-111.
- Carvacho Bart, L. y Sánchez Martínez, M. 2010. Comparación de índices de vegetación a partir de imágenes MODIS en la región del Libertador Bernardo O'Higgins, Chile, en el período 2001-2005. En: Ojeda, J., Pita, M.F. y Vallejo, I. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Sevilla. Pp. 728-737. ISBN 978-84-472-1294-1.
- CEPAL, 2009. Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe.
- Chander, G., Markham, B., Helder, D. 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+ and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment* 113. 893–903.
- Chena, G; Metz, M; Rizzoc, D; Meentemeyer, R. 2015. Mapping burn severity in a disease-impacted forest landscape using Landsat and MASTER imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 40 (2015) 91–99.
- Chuvieco, E., & Hantston, S. (2010). *Procesamiento estándar de imágenes Landsat*. Documento técnico de algoritmos a aplicar. 1-21.
- Doña, C; Dominguez, J.A; Caselles, V. 2009. Hacia una relación única para el estudio del estado trófico de lagos y embalses con Thematic Mapper. *Revista de Teledetección*. ISSN: 1988-8740. 2009. 32: 25-39.
- ESA. Copernicus Program. En Red. <http://www.copernicus.eu/> Fecha última visita: 26-06-2015.
- ESRI. ArcGis 9.2 desktop help. En red. <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=welcome>. Fecha última visita: 26-06-2015.
- Fernández-Palacios, A; Moreira, J.M. 1997. Metodología para el seguimiento multitemporal de la calidad de las aguas costeras en Andalucía a través del tratamiento de imágenes Landsat-TM.

- Comunicación en congreso. Teledetección. Usos y Aplicaciones. Valladolid. 1997. Teledetección. Usos y Aplicaciones. 203. 215.
- Fu, B.L; Li, Y; Zhang, B; Yin, B.S; Zhu H.L; Xin, Z.F. 2014. Study on method for assessment of the physical structure integrity in Chagan lake in China based on remote sensing. *Water Science & Technology*, 70.9, 2014.
 - Fuller, L.M; Minnerick, R.J. 2007. Predicting Water Quality by Relating Secchi-Disk Transparency and Chlorophyll a Measurements to Landsat Satellite Imagery for Michigan Inland Lakes, 2001–2006. U.S. Geological Survey Fact Sheet 2007-3022.
 - García, E. (2008). Aplicación de la corrección del sombreado topográfico para la identificación y delimitación de cuerpos de agua en la región andina del Perú dentro de un SIG raster. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*. 8. 1- 17.
 - Grau, M; Llastarri, A; Vivancos, D; Vivancos, J. 2005. La tierra a vista de satélite, introducción a la Teledetección. Glosario de Teledetección. En red. <http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material121/unidad3/glosario.htm#n>. Fecha última visita: 21-09-2015.
 - Greuell, W. & Oerlemans, J. (2004). Narrowband-to-broadband albedo conversion for glacier ice and snow: equations based on modeling and ranges of validity of the equations. *Remote Sensing of Environment*. 89. 95–105.
 - Guo, G; Wu, Z; Xiao, R; Chen, Y; Liu, X; Zhang, X. 2015. Impacts of urban biophysical composition on land surface temperature in urban heat island clusters. *Landscape and Urban Planning* 135 (2015) 1–10.
 - Hall, D; Crawford, C.J; Digirolamo, N.E; Riggs, G.A; Foster, J.L. 2015. Detection of earlier snowmelt in the Wind River Range, Wyoming, using Landsat imagery, 1972–2013. *Remote Sensing of Environment* 162 (2015) 45–54.
 - Hall, D; Riggs, G. 2014. *Encyclopedia of Earth Sciences Series*. pp 779-780. Disponible en: http://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-90-481-2642-2_376.
 - Hall, D. K., Ormsby, J. P., Bindschadler, H. y Siddalingaiah, H. (1987). Characterization of snow and ice reflectance zones on glaciers using Landsat TM data. *Annals of Glaciology*. 9. 104-108.
 - Harris, S; Veraverbeke, S; Hook, S. 2011. Evaluating Spectral Indices for Assessing Fire Severity in Chaparral Ecosystems (Southern California) Using MODIS/ASTER (MASTER) Airborne Simulator Data. *Remote Sensing*. 2011, 3, 2403-2419; ISSN 2072-4292.
 - Houborg, R; McCabe, M; Cescatti, A; Gao, F; Schull, M; Gitelson, A. 2015. Joint leaf chlorophyll content and leaf area index retrieval from Landsat data using a regularized model inversion system (REGFLEC). *Remote Sensing of Environment* 159 (2015) 203–221.
 - Huang, C; Peng, Y; Lang, M; Yeo, I.Y; McCarty, G. 2014. Humedales inundation mapping and change monitoring using Landsat and airborne LiDAR data. *Remote Sensing of Environment* 141 (2014) 231–242.

- Knap, W., Reijmer, C., & Oerlemans, J. (1999). Narrowband to broadband conversion of Landsat TM glacier albedos. *International Journal of Remote Sensing*. 20. 2091-2110.
- Lange, H; Solberg, S. 2008. Leaf area index estimation using LIDAR and forest reflectance modelling of airborne Hyperspectral data. Norwegian Forest and Landscape Institute, N-1431 Ås, Norway.
- Liang, S., Strahler, A., & Walthall, C. (1999). Retrieval of land Surface albedo from satellite observations: a simulation study. *Journal of Applied Meteorology*. 38. 712-725.
- Liang, S. (2000). Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I Algorithms. *Remote Sensing of the Environment*. 76, 213-238.
- Lu, Xia. 2010. Sea Surface Temperature Extraction by MODIS Remote Sensing Data in Lianyungang Sea Area. 2010 Second IITA International Conference on Geoscience and Remote Sensing.
- McFeeters S.K. 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, Volume 17, Issue 7.
- Mindali, O.R; Michael, Y; Helman, D; Lensky, I.M. 2015. The role of local land-use on the urban heat island effect of Tel Aviv as assessed from satellite remote sensing. *Applied Geography* 56 (2015) 145e153.
- Ministerio del Medio Ambiente (MMA), 2013: “Primer Reporte del Estado de Medio Ambiente”.
- Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). En Red. <http://modis.gsfc.nasa.gov/> Fecha última visita: 26-06-2015.
- NASA. 2012. Atmospheric Science Data Center. En red. <https://eosweb.larc.nasa.gov/HBDOCS/hdf.html>. Fecha última visita: 9-09-2015.
- NASA. 2015. Aqua Project Science. En red. <http://aqua.nasa.gov/>. Fecha última visita: 21-09-2015.
- NASA. 2015. Landsat Science. Glossary. En red. http://landsat.gsfc.nasa.gov/?page_id=2401. Fecha última visita: 21-09-2015.
- NASA. 2015. Landsat Science. TIRS Requirements. En red. <http://landsat.gsfc.nasa.gov/?p=5689>. Fecha última visita: 21-09-2015.
- NASA. 2015. TERRA the EOS Flagship. En red. <http://terra.nasa.gov/>. Fecha última visita: 21-09-2015.
- NOAA Satellite Information System. 2011. En red. <http://noaasis.noaa.gov/>. Fecha última visita: 9-09-2015.
- Nurdiana, A; Risdiyanto, I. 2015. Indicator determination of forest and land fires vulnerability using Landsat-5 TM data (case study: Jambi Province). *Procedia Environmental Sciences* 24 (2015) 141 – 151.
- OCDE-CEPAL, 2005: “Evaluaciones de Desempeño Ambiental: Chile Pope, A., Rees, G. (2013). Using in situ spectra to explore Landsat classification of glacier surfaces. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 1-11.”.

- PNUMA, 2009: "Manual de Capacitación para Evaluación Ambiental integral y Elaboración de Informes. Módulo de capacitación 4".
- Qi, J; Chehbouni, A; Huete, A. R; Kerr, Y.H; Sorooshian, S. 1994. A modified soil adjusted vegetation index. *Remote sens. Environ.* 48: 119-126.
- Rock, B.N; Vogelmann, J.E; Williams, D.L; Vogelmann, A.F; Hoshizaki, T. 1986. Remote Detection of Forest Damage. *BioScience Vol. 36, No. 7, Ecology from Space (Jul. - Aug., 1986)*, pp. 439-445.
- Smith, P; Romero, H. 2009. Efectos del crecimiento urbano del Área Metropolitana de Concepción sobre los humedales de Rocuant-Andalién, Los Batros y Lenga1. *Revista de Geografía Norte Grande*, 43: 81-93 (2009).
- SPOT-VEGETATION Programme. En Red. <http://www.vgt.vito.be/> Fecha última visita: 26-06-2015.
- Triñanes, J.A; Cotos, J.M; Torres, J; Arias, J. 1993. Mapas SST de alta resolución mediante combinación de datos TM-AVHRR. *Revista de Teledetección* 1993.
- United Nations, 1997: "Glossary of Environment Statistics, Studies in Methods". Series F, No. 67, New York.
- USGS. Land Remote Sensing Program. En Red. <http://remotesensing.usgs.gov/index.php>. Fecha última visita: 26-06-2015.
- USGS. Landsat Missions. En Red. <http://landsat.usgs.gov/index.php> Fecha última visita: 26-06-2015.
- USGS. Long Term Archive, Landsat 8 OLI (Operational Land Imager) and TIRS (Thermal Infrared Sensor). En red. <https://lta.cr.usgs.gov/L8>. Fecha última visita: 2-09-2015.
- Van der Griend, A; Owe, M. 1993. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. *International Journal of Remote Sensing*.

8.2 Clases recolectadas en terreno

Clase cobertura	Matorrales
Definición	
Coordenadas Fotografía	-34.064235° -71.374642°
Fecha	14-09-2016
	

Clase cobertura	Pastizales
Definición	
Coordenadas Fotografía	-34.646739° -71.982278°
Fecha	30-08-2016
	

Clase cobertura	Cultivos
Definición	
Coordenadas Fotografía	-34.120457° -71.747195°
Fecha	13-09-2016
	

Clase cobertura	Cultivos
Definición	
Coordenadas Fotografía	-34.207713° -71.706585°
Fecha	31-08-2016
	

Clase cobertura	Barbecho
Definición	
Coordenadas Fotografía	-34.214121° -71.299449°
Fecha	14-09-2016
	

Clase cobertura	Plantaciones Forestales
Definición	
Coordenadas Fotografía	-34.622988° -72.014506°
Fecha	30-08-2016
	

Clase cobertura	Urbano
Definición	
Coordenadas Fotografía	-34.396908° -71.618005°
Fecha	31-08-2016

A street-level photograph showing a paved road with a crosswalk. A silver car is driving across the crosswalk. In the background, there are buildings with tiled roofs and a windmill. A large tree is in the foreground on the right side. The sky is clear and blue.

Clase cobertura	Bosque Nativo
Definición	
Coordenadas Fotografía	-34.360965° -70.401361°
Fecha	15-09-2016
	

8.3 Fichas metodológicas

AMBIENTE: BOSQUES	
<i>Nombre del indicador</i>	Superficie anual cubierta por bosque nativo (SACBN)
<i>Categoría</i>	Bosque nativo
<i>Palabras claves</i>	Cobertura de bosque nativo; áreas protegidas; SNASPE; NDVI.
<i>Descripción del indicador</i>	<p>El indicador mide la variación espacio temporal de la superficie de bosque nativo, correspondiente a especies autóctonas de generación natural, regeneración natural, o plantación bajo dosel. Su relevancia se asocia a la necesidad de conocer y dar cuenta de la evolución y variación que ha sufrido el bosque nativo a lo largo del país.</p> <p>Desde el punto de vista de la Teledetección, el bosque nativo presenta una serie de firmas o combinación de ellas, las que cambian dependiendo de la situación geográfica, entre otras. El indicador se encuentra formado por al menos dos coberturas generadas en distintas estaciones del año, y su expresión matemática corresponde a la unión espacial de todas las coberturas generadas por año.</p>
<i>Descripción de las variables</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)</u> <p><i>Definición:</i> se define como el índice de vegetación de diferencia normalizada. Permite determinar las cubiertas vegetales sobre una superficie y se calcula a partir de la información obtenida del rojo y del infrarrojo cercano.</p> <p><i>Fórmulas de cálculo:</i></p> $NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$ <p style="text-align: center;"><i>Donde:</i></p> <p style="text-align: center;">NIR: reflectividad en la banda del infrarrojo cercano.</p> <p style="text-align: center;">RED: reflectividad en la banda del rojo.</p>
<i>Unidad física del indicador</i>	Kilómetros cuadrados.
<i>Fórmula de Cálculo</i>	<p>La expresión matemática del indicador superficie anual cubierta por bosque nativo (SACBN):</p> $SACBN = \bigcup_{i=1}^{i=n} SCBN_i$

	<p style="text-align: center;"><i>Donde:</i></p> <p style="text-align: center;">$SACBN$ = Cobertura con la superficie anual cubierta por bosque nativo</p> <p style="text-align: center;">$SCBN_i$ = Cobertura i del año con la superficie cubierta por bosque nativo</p>
<i>Periodicidad de actualización</i>	Anual
<i>Limitaciones</i>	La dificultad para obtener la superficie cubierta por bosque nativo en aquellas zonas con intenso uso agrícola, silvícola y urbano, no hacen posible abordar su estimación superficial en los límites de tiempo del presente proyecto. Es más, aun quitando aquellos usos del suelo conflictivos, el abandono y la consecuente regeneración natural de la vegetación autóctona en las áreas cubiertas por formaciones competidoras (Bosque nativo/ Praderas y matorrales), aumenta en grado de complejidad en los sectores más antropizados.

AMBIENTE: BOSQUES	
<i>Nombre del indicador</i>	Variación anual del vigor vegetacional en el bosque nativo (VVABN)
<i>Categoría</i>	Bosque nativo
<i>Palabras claves</i>	Bosque nativo; vigor vegetacional; áreas protegidas; SNASPE; NDVI.
<i>Descripción del indicador</i>	<p>El indicador revela el estado de salud, verdor o vigor de la vegetación, de la superficie de bosque nativo, correspondiente a especies autóctonas de generación natural y regeneración natural, o plantación bajo dosel. Este indicador se calcula para el bosque nativo de las áreas protegidas del SNASPE en un año.</p> <p>Para su definición se utiliza la cobertura anual de bosque nativo, y el índice NDVI, correspondiente a una medida del verdor o vigor de la vegetación contenida en las celdas de cada imagen satelital. Se recomienda la consideración de al menos dos imágenes satelitales por año, obtenidas en diferentes estaciones del año.</p>
<i>Descripción de las variables</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)</u> <i>Definición:</i> se define como el índice de vegetación de diferencia normalizada. Permite determinar las cubiertas vegetales sobre una superficie y se calcula a partir de la información obtenida del rojo y del infrarrojo cercano. <p><i>Fórmulas de cálculo:</i></p> $NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$

	<p><i>Donde:</i></p> <p>NIR: reflectividad en la banda del infrarrojo cercano.</p> <p>RED: reflectividad en la banda del rojo.</p>
<i>Unidad física del indicador</i>	Valor NDVI promedio anual.
<i>Fórmula de cálculo</i>	<p>La expresión matemática del indicador vigor vegetacional anual del bosque nativo (VVABN):</p> $VVABN = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} NDVI_{BN_i}$ <p><i>Donde:</i></p> <p>VVABN= Cobertura con el vigor vegetacional anual promedio del bosque nativo.</p> <p>$NDVI_{BN_i}$= Cobertura <i>i</i> del año con el NDVI para celda cubierta con bosque nativo.</p>
<i>Periodicidad de actualización</i>	Anual
<i>Alcance</i>	Áreas protegidas que forman parte del SNASPE. Polígonos con superficie mayor a 270.000 m ² (300 pixeles imágenes Landsat). Óptimo para medir la superficie del bosque nativo en la áreas protegidas del SNASPE. El método se encuentra condicionado por las resoluciones temporales y espaciales de las imágenes satelitales utilizadas para su construcción.
<i>Limitaciones</i>	La dificultad para obtener la superficie cubierta por bosque nativo en aquellas zonas con intenso uso agrícola, silvícola y urbano, no hacen posible abordar su estimación superficial en los límites de tiempo del presente proyecto. Es más, aun quitando aquellos usos del suelo conflictivos, el abandono y la consecuente regeneración natural de la vegetación autóctona en las áreas cubiertas por formaciones competidoras (Bosque nativo/ Praderas y matorrales), aumenta en grado de complejidad en los sectores más antropizados.

AMBIENTE: BOSQUES	
<i>Nombre del indicador</i>	Superficie anual cubierta por bosque nativo incendiado
<i>Categoría</i>	Bosque nativo
<i>Palabras claves</i>	Bosque nativo; áreas incendiadas; áreas protegidas; SNASPE; NBR.

<p><i>Descripción del indicador</i></p>	<p>El indicador señala la superficie de bosque nativo al interior de las AP-SNASPE, correspondiente a especies autóctonas de generación natural, regeneración natural, o plantación bajo dosel, que han sufrido eventos incendiarios.</p> <p>Su construcción se basa en la superficie cubierta por bosque nativo y el Normalized Burnt Ratio (NBR), la que destaca las áreas que se han quemado e indica la severidad del incendio. Desde el punto de vista de la Teledetección, el comportamiento de la vegetación tras un incendio se visualiza en los pixeles mediante un aumento del infrarrojo medio (SWIR) y una disminución del infrarrojo cercano (NIR). Para detectar los pixeles con bosque nativo quemado, se utilizó la técnica multitemporal, la que se basa en la comparación de imágenes, antes y después de cada incendio.</p>
<p><i>Descripción de las variables</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Normalized Burnt Ratio (NBR)</u> <i>Definición:</i> se define como el cociente normalizado del área quemada. Este utiliza la diferente respuesta de la banda 4 y la banda 7. Su evolución corresponde al índice dNBR (differenced normalized burn ratio), el que se estima a partir de la diferencia temporal entre el NBR pre y post incendio. <p><i>Fórmulas de cálculo:</i></p> $NBR = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)}$ <p><i>Donde:</i></p> <p>NIR: reflectividad en la banda del infrarrojo cercano.</p> <p>SWIR: reflectividad en la banda de infrarrojo corta</p>
<p><i>Unidad física del indicador</i></p>	<p>Kilómetros cuadrados</p>
<p><i>Fórmula de cálculo</i></p>	<p>La expresión matemática del indicador superficie anual del bosque nativo incendiada (SABNI):</p> $SABNI = \bigcup_{i=1}^{i=n} SBNI_i$ <p><i>Donde:</i></p> <p>SABNI= Cobertura con la superficie anual cubierta por bosque nativo incendiado</p> <p>SBNI_i = Cobertura <i>i</i> del año con la superficie de bosque nativo incendiado</p>
<p><i>Periodicidad de actualización</i></p>	<p>Anual</p>
<p><i>Alcance</i></p>	<p>Áreas protegidas que forman parte del SNASPE. Polígonos con superficie mayor a 270.000 m² (300 pixeles imágenes Landsat).Óptimo para medir la superficie del bosque nativo en la áreas protegidas del SNASPE. El método se encuentra</p>

	condicionado por las resoluciones temporales y espaciales de las imágenes satelitales utilizadas para su construcción.
<i>Limitaciones</i>	La dificultad para obtener la superficie cubierta por bosque nativo en aquellas zonas con intenso uso agrícola, silvícola y urbano, no hacen posible abordar su estimación superficial en los límites de tiempo del presente proyecto. Aun extrayendo aquellos usos del suelo conflictivos, el abandono y la consecuente regeneración natural de la vegetación autóctona en las áreas cubiertas por formaciones competidoras (Bosque nativo/ Praderas y matorrales), aumenta en grado de complejidad en los sectores más antropizados.

AMBIENTE: GLACIAR	
<i>Nombre del indicador</i>	Variación anual de la superficie glaciar (SACCG)
<i>Categoría</i>	Glaciares
<i>Palabras claves</i>	Glaciares de montaña; glaciaretos; campos de hielo; NDSI; NDWI.
<i>Descripción del indicador</i>	<p>El indicador permite conocer la evolución de la superficie de glaciares, específicamente da cuenta de su avance o retroceso durante un periodo de tiempo, en un área determinada. Desde el punto de vista de la Teledetección, el comportamiento espectral de los glaciares es diferenciado en las longitudes del infrarrojo de onda corta (SWIR) y parte del rango visible (GREEN). Se consideraron al menos dos imágenes para su estimación, en meses de verano y otoño, mientras que como referencia espacial se utilizó la cobertura del Inventario Nacional de Glaciares</p> <p>La relevancia de conocer su variación radica en la necesidad de cuantificar el aporte hídrico de los glaciares a las distintas cuencas hidrográficas, su afectación debido a las actividades industriales y antrópicas directas e indirectas, además de estimar su respuesta al calentamiento global.</p>
<i>Descripción de las variables</i>	<ul style="list-style-type: none"> <u>Normalized Difference Snow Index (NDSI)</u> <i>Definición:</i> permite obtener la superficie cubierta por hielo y nieve, extrayendo aquellos pixeles con valores sobre 0,4. <p><i>Fórmula:</i></p> $NDSI = \frac{(GREEN - SWIR)}{(GREEN + SWIR)}$

	<p><i>Donde:</i></p> <p>GREEN: reflectividad en la banda del verde.</p> <p>SWIR: Infrarrojo de onda corta.</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Normalized Difference Water Index (NDWI)</u> $NDWI = \frac{(GREEN - NIR)}{(GREEN + NIR)}$ <p><i>Donde:</i></p> <p>GREEN: reflectividad en la banda del verde.</p> <p>NIR: reflectividad en la banda del infrarrojo cercano.</p>
<i>Unidad física del indicador</i>	Kilómetros cuadrados.
<i>Fórmula de Cálculo</i>	<p>La expresión matemática del indicador superficie anual cubierta por cuerpos glaciares (SACCG):</p> $SACCG = \bigcup_{i=1}^{i=n} SCCG_i$ <p><i>Donde:</i></p> <p>$SCCG_i$: Superficie cubierta por el cuerpo glaciar, observada en los meses de verano y principios de otoño.</p>
<i>Periodicidad de actualización</i>	Anual
<i>Alcance</i>	Glaciares de Montaña, Glaciaretos y Campos de Hielo. Polígonos con superficie mayor a 270.000 m ² (300 pixeles imágenes Landsat).
<i>Cobertura o Escala del indicador</i>	Glaciares de Montaña, Glaciaretos y Campos de Hielo identificados a lo largo del país. La cobertura dependerá de la disponibilidad de imágenes óptimas para caracterizar los glaciares, principalmente en el sur del país.

AMBIENTE: LACUSTRE	
<i>Nombre del indicador</i>	Variación anual del grado de eutrofización lacustre (EASL)
<i>Categoría</i>	Lagos y lagunas.
<i>Palabras claves</i>	Lagos; lagunas; eutrofización; clorofila a; NDWI.
<i>Descripción del indicador</i>	<p>El indicador permite dar cuenta del estado de eutrofización de los lagos y lagunas a lo largo del país, mediante la concentración de nutrientes disueltos en el agua. De esta manera, es posible dar cuenta del grado de afectación que han sufrido estos cuerpos de agua producto de las actividades productivas y antrópicas, y la consiguiente descarga de contaminantes a las aguas lacustres.</p> <p>Como variables determinantes desde el punto de vista de la Teledetección, se utilizó la superficie de la lámina de agua de lagos y lagunas, a través del cálculo de NDWI, junto con la clorofila a como indicador del grado de eutrofización. Para clasificar el indicador, y definir cada clase de eutrofización, se utilizó el método de reclasificación basado en quiebres naturales, obteniéndose cinco clases de grado de eutrofización: muy bajo, bajo, regular, alto y muy alto.</p>
<i>Descripción de las variables</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Grado de eutrofización</u> <i>Definición:</i> el nivel de eutrofización de los píxeles extraídos correspondientes a la lámina de agua lacustre, se estimó utilizando la cobertura normalizada de la clorofila a detectada en los cuerpos de agua. <p><i>Fórmulas de cálculo:</i></p> $IESL = \widehat{Ca} \cap SACL$ <p style="text-align: center;"><i>Donde:</i></p>
<i>Unidad física del indicador</i>	En proceso.
<i>Fórmula de Cálculo</i>	<p>La expresión matemática del indicador de eutrofización anual de la superficie lacustre (EASL):</p> $EASL = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} IEL_i$ <p style="text-align: center;"><i>Donde:</i></p>

	<i>IEL_i</i> : índice de eutrofización lacustre, construido a partir de la normalización de la clorofila a (Ca) y la superficie del cuerpo lacustre (SCL)
<i>Periodicidad de actualización</i>	Anual
<i>Alcance</i>	Polígonos con superficie mayor a 270.000 m ² (300 pixeles imágenes Landsat).

8.4 Puntos de terreno

Name *	DateTime	Elevation	POINT_X	POINT_Y	OBS_TERR
730	2016-08-19T17:32:19Z	1317,0005	343111,593	6144253,313	Cipreses.
731	2016-08-19T17:32:24Z	1317,9757	343111,6863	6144253,204	Robles.
733	2016-08-19T18:01:38Z	1132,1726	339934,8055	6144780,318	Bosque Nativo Mixto.
734	2016-08-19T18:04:15Z	1120,5964	339899,5324	6145003,368	Plantación Coníferas Adultas.
735	2016-08-19T18:13:02Z	1057,7983	339748,715	6146037,736	Cuerpo de agua menor. Tranque
736	2016-08-19T18:13:13Z	1057,5251	339748,7344	6146036,627	Cuerpo de agua menor. Tranque
737	2016-08-19T18:15:41Z	1051,0004	339732,4706	6146066,742	Cuerpo de agua menor. Tranque
738	2016-08-19T21:20:15Z	1078,4907	354304,2627	6214880,875	Bosque Nativo. Mirador
740	2016-08-23T13:43:25Z	531,17999	340684,2772	6280491,691	Shell
743	2016-08-23T14:48:18Z	1063,7261	354085,0146	6214535,381	Bosque Nativo. Mirador
744	2016-08-23T16:00:55Z	943,52612	365038,7968	6207419,849	Bosque Nativo. Entrada PN Palmas de Cocalan
745	2016-08-23T20:28:01Z	156,65091	296508,9749	6213632,209	Eucaliptus Parche cercano a Cocalan
746	2016-08-23T20:28:03Z	156,63261	296508,8732	6213632,65	Eucaliptus Parche cercano a Cocalan
748	2016-08-30T16:26:33Z	319,23328	313825,4823	6168504,182	Entrada Valle Santa Cruz
749	2016-08-30T16:54:36Z	175,34244	287094,4887	6164888,044	Barbecho. Entrada a Apalta
750	2016-08-30T17:03:09Z	177,48352	287132,9048	6165274,921	Parras sin hojas
751	2016-08-30T17:05:32Z	171,06296	287075,3695	6165335,412	Barbecho
752	2016-08-30T17:36:10Z	241,18973	278172,2933	6161837,057	Mirador Lolol (Cristo)
753	2016-08-30T18:05:20Z	115,34561	258314,1804	6154483,206	Lolol Pueblo
754	2016-08-30T18:19:14Z	95,674713	252642,8512	6152967,829	Olivos
755	2016-08-30T18:21:38Z	96,291992	252749,2403	6152985,343	Espinos
756	2016-08-30T18:29:49Z	82,33815	248663,6738	6156777,719	Espinos más cuerpo de agua
757	2016-08-30T18:35:47Z	118,30347	245862,5685	6157551,065	Eucaliptus joven (-+ 5 años)
758	2016-08-30T18:43:32Z	169,3035	243777,7079	6159106,491	Plantación Coníferas Adultas.
759	2016-08-30T18:52:36Z	109,46086	237801,6095	6161524,767	Plantación pinos pequeños
760	2016-08-30T18:57:19Z	46,022499	234232,0065	6161867,877	Iglesia Paredones
761	2016-08-30T19:05:45Z	28,106789	226653,8219	6162084,561	Praderas y pastizales
762	2016-08-30T19:15:54Z	9,469557	222236,0279	6161825,839	Frente al río, al frente plantaciones de pinos
763	2016-08-30T19:23:41Z	3,373495	221036,8361	6162531,237	Estuario-Humedal Bucalemu Costanera
764	2016-08-30T19:32:05Z	-9,259472	220949,4967	6162763,905	Playa Bucalemu
765	2016-08-30T19:32:06Z	-9,063908	220949,6835	6162763,8	Línea de costa, Bucalemu
766	2016-08-30T20:48:49Z	29,442249	222101,9897	6163339,685	Pinos a la salida de Bucalemu
767	2016-08-30T20:54:29Z	240,5833	223620,0724	6164631,605	Mirador plantaciones, más cuerpo de agua
768	2016-08-30T21:02:10Z	210,14755	223401,0664	6170705,769	Eucaliptus hacia la costa, pinos hacia la cordillera
769	2016-08-30T21:06:38Z	208,18703	223068,5157	6174012,666	Pinos renovales hacia la costa. Mezcla de pinos y eucaliptus hacia la cordillera
770	2016-08-30T21:11:36Z	170,22049	223883,2658	6176037,275	Pinos ambos costados
771	2016-08-30T21:27:26Z	-2,385008	226361,4374	6178021,702	Cahuil. Rural. Zona de Piscinas de sal. Humedales y presencia de eucaliptus
772	2016-08-30T21:51:40Z	24,536739	219875,3962	6186449,061	Punta Lobos. Acantilado. Pastizal
773	2016-08-31T13:19:42Z	0	224024,9203	6190643,494	Pichilemu Urbano
774	2016-08-31T13:21:37Z	7,502327	223373,0007	6191087,194	Acceso playa pichilemu
775	2016-08-31T13:29:41Z	8,478373	223556,1145	6191217,102	Playa Pichilemu
776	2016-08-31T13:29:42Z	8,471956	223556,6597	6191217,34	Playa Pichilemu
777	2016-08-31T13:31:41Z	7,518952	223650,7546	6191238,674	Playa Pichilemu

778	2016-08-31T13:37:48Z	5,04315	223809,2202	6191281,013	Borde/Desembocadura Humedal Pichilemu
779	2016-08-31T13:41:24Z	4,454748	223808,5546	6191232,026	Borde/Desembocadura Humedal Pichilemu
780	2016-08-31T13:45:31Z	8,457899	223658,7098	6191178,394	Vegetacion dunas
781	2016-08-31T14:17:52Z	2,302027	225610,7127	6191158,121	Puente Humedal Pichilemu
782	2016-08-31T14:26:12Z	263,13162	229218,3558	6194283,702	Salida norte Pichilemu, Pinos
783	2016-08-31T14:29:46Z	339,08395	231034,8284	6194823,223	Plantación Coníferas Adultas.
784	2016-08-31T14:31:04Z	344,35303	231374,5016	6194686,561	Pinos renovales
785	2016-08-31T14:37:04Z	540,34815	235891,2791	6195868,346	Pinos. Pino joven cordillera/pino renoval costa
786	2016-08-31T14:40:54Z	551,70252	236122,4464	6198546,666	Pinos jóvenes
787	2016-08-31T14:45:57Z	472,48502	238748,7062	6199959,714	Plantaciones pinos ambos costados, distintas edades
788	2016-08-31T14:53:11Z	229,61604	242451,2141	6200984,237	Eucaliptus. Plantación de eucaliptus en ambos costados
789	2016-08-31T15:01:21Z	195,07503	248184,7383	6195937,662	Pinos. Punto borde de plantación de pinos. En el borde existe una plantación de manzanos
790	2016-08-31T15:05:35Z	163,71935	248390,7764	6192014,075	Eucaliptus. Plantación de eucaliptus en ambos costados
791	2016-08-31T15:10:24Z	157,96324	250027,799	6190289,278	Espinos naturales. Cuerpo de agua menor
792	2016-08-31T15:17:04Z	146,03845	258832,0557	6190223,426	Espinos en cerro, frente a Cruce a Marchigue
793	2016-08-31T15:20:35Z	138,11792	259332,6402	6190726,776	Iglesia de Marchigue
794	2016-08-31T15:22:49Z	147,61252	260116,4376	6192637,994	Pino hacia la costa. Espinos hacia la cordillera
795	2016-08-31T15:30:53Z	208,01511	258912,6566	6199706,998	Gran extensión de espinos 360°
796	2016-08-31T15:47:16Z	230,79936	254838,4512	6211669,689	Pueblo La Estrella
797	2016-08-31T15:53:00Z	286,53076	250628,3683	6211500,022	Hacia la cordillera: Olivos más cuerpo de agua menor. Hacia la costa: Espinos
798	2016-08-31T16:02:57Z	234,47903	248404,4854	6221162,339	Urbano. Litueche
799	2016-08-31T16:11:11Z	186,40984	248082,1954	6232606,835	Cultivos de almendros en ambos costados del camino. El resto del sector dominado por espinos y pastizales
800	2016-08-31T16:16:37Z	127,61588	247821,5431	6237579,093	Bosque Nativo. Bsque nativo en quebradas del sector Rapel
801	2016-08-31T16:21:55Z	79,855919	246666,0567	6240753,501	Pueblo Rapel (Copec)
802	2016-08-31T16:31:49Z	65,55587	244115,2986	6240643,007	Bosque Nativo quebradas del rio Rapel
803	2016-08-31T16:44:24Z	29,136513	238385,7614	6239370,877	Urbano. Plaza Navidad. Atrás de ella existen plantaciones de coníferas
804	2016-08-31T16:50:55Z	51,102264	236864,0307	6242680,249	Urbano. Pueblo La Boca
805	2016-08-31T17:05:41Z	7,363121	237921,579	6244866,402	Desembocadura Río Rapel. Línea de Costa.
806	2016-08-31T17:08:35Z	8,134688	237784,6872	6244882,713	Línea de Costa. Pastizales en las cercanías.
807	2016-09-13T15:36:12Z	257,69309	267143,3719	6235795,554	Límite regional. Espinos (Ver fotos)
808	2016-09-13T15:36:44Z	266,29614	267141,703	6235799,508	Límite regional. Espinos
809	2016-09-13T15:42:08Z	116,78481	264767,4433	6231451,847	Eucaliptus hacia la cordillera
810	2016-09-13T15:47:40Z	110,67812	261696,5713	6230913,258	Bosque nativo ambos costados.
811	2016-09-13T15:55:28Z	114,92946	261136,4621	6230294,201	Central Rapel (ENDESA)
812	2016-09-13T16:05:45Z	358,41208	258235,299	6229244,272	Eucaliptus hacia la cordillera,, frente a las turbinas eolicas. Pinos al lado de las turbinas. Cercanías existencia de barbechos
813	2016-09-13T16:10:27Z	360,59824	255686,7623	6226151,071	Pinos alrededor (gran extensión).
814	2016-09-13T16:14:40Z	288,0462	251775,7434	6223906,024	Eucaliptus hacia la cordillera
815	2016-09-13T16:24:51Z	240,79659	248384,5382	6221172,906	Litueche. Banco Estado.
816	2016-09-13T17:46:31Z	231,19472	228742,3082	6224344,21	Topocalma. Eucaliptus izquierda. Pinos derecha.
817	2016-09-13T17:55:41Z	111,82245	227266,4165	6223296,924	Pinos en ambos lados.
818	2016-09-13T18:16:29Z	6,484245	225202,722	6221593,485	Dunas Topocalma
819	2016-09-13T18:20:53Z	6,059589	225249,0542	6221670,449	Dunas Topocalma
820	2016-09-13T18:57:45Z	321,95483	229445,8592	6224356,44	Eucaliptus ambos costados
821	2016-09-13T19:02:17Z	293,49463	230872,8344	6224955,857	Pastizales o praderas mixtas (ver fotos)

822	2016-09-13T19:08:27Z	290,76355	231833,5237	6227069,349	Eucalitus joven
823	2016-09-13T19:11:05Z	327,53778	232564,1852	6227001,83	Eucalitus joven
824	2016-09-13T19:18:52Z	385,30624	235372,6308	6225448,504	Eucalitus joven. Plantación extensa.
825	2016-09-13T19:23:29Z	288,64627	236473,707	6224159,343	Praderas Paisaje: Plantaciones y matorral (ver fotos)
826	2016-09-13T19:28:40Z	266,28305	234357,2344	6221578,311	Eucalitus en ambos lados.
827	2016-09-13T19:41:11Z	349,44998	234558,7016	6219627,808	Eucalitus derecha del camino. Pinos izquierda
828	2016-09-13T19:46:25Z	294,52252	237006,3457	6220539,278	Paisaje: Bosque nativo en los bordes de las colinas
829	2016-09-13T19:50:21Z	284,93292	239698,4321	6221006,887	Eucalitus costado derecho del camino. Pastizal y bosque nativo fondo de quebradas.
830	2016-09-13T20:05:14Z	250,48363	246624,8847	6221078,974	Espinos ambos costados del camino.
831	2016-09-13T20:05:24Z	254,53648	246634,0766	6221090,766	Pinos ambos costados
832	2016-09-13T21:23:08Z	363,16086	255090,1181	6225993,625	Pinos ambos costados.
833	2016-09-14T16:03:02Z	245,86935	280848,6007	6228177,125	Paisaje: límite provincia Cachapoal, Bosque nativo en quebradas y cultivos en el valle cercano (ver fotos).
834	2016-09-14T16:11:16Z	124,1954	280787,21	6219871,507	Plantación de álamos izquierda del camino. Pinos como cerco vivo.
835	2016-09-14T16:19:01Z	117,71134	282441,9868	6215267,597	Uso agrícola: pastizales costado derecho, barbecho izquierdo.
836	2016-09-14T16:23:27Z	129,00987	285220,8989	6212950,94	Pastizal más barbecho costado derecho camino. Eucalitus izquierdo.
837	2016-09-14T16:28:13Z	124,79758	288164,0798	6211711,358	Barbecho y cultivos varios ambos costados.
838	2016-09-14T16:34:34Z	141,9194	293035,8496	6212153,547	Naranjos costado derecho del camino. Barbecho izquierdo.
839	2016-09-14T16:36:41Z	159,69446	293329,3511	6211686,186	Bosque nativo fondo de quebradas (costado derecho del camino)
840	2016-09-14T16:40:27Z	153,11034	295880,262	6212855,899	Bosque nativo fondo de quebradas (costado derecho del camino).
841	2016-09-14T17:08:37Z	221,50519	302362,7604	6213483,196	Palmas quemadas costado derecho del camino. Cerro (izquierda).
842	2016-09-14T17:23:31Z	405,1604	303237,3536	6211810,552	Bosque nativo fondo de quebrada Palmas de Cocalán.
843	2016-09-14T17:33:05Z	286,95657	303404,6138	6212965,369	Bosque nativo incendiado en el valle.
844	2016-09-14T17:37:21Z	259,4407	303154,6432	6213363,244	Bosque nativo incendiado en el valle.
845	2016-09-14T17:49:22Z	205,78143	302030,8752	6213556,76	Palmas en el centro del valle.
846	2016-09-14T17:58:49Z	197,29054	301334,0897	6213516,075	Palmas sanas al costado de casas en el fundo.
847	2016-09-14T19:10:23Z	143,02844	278535,2299	6212268,641	Pinos adultos costado izquierdo del camino. Espino derecho.
848	2016-09-14T19:26:40Z	138,70088	287403,443	6203190,629	Las Cabras (Plaza)
851	2016-09-15T14:10:49Z	0	370487,9753	6198237,638	Termas de Cauquenes
853	2016-09-15T14:14:44Z	1208,2754	370480,9696	6198238,65	Bosque nativo comienzo sendero Río Cipreses.
854	2016-09-15T14:42:46Z	1199,8621	371132,6099	6196930,185	Bosque nativo caja de río.
855	2016-09-15T15:09:11Z	1193,5262	371191,4881	6196296,437	Bosque nativo caja de río.
856	2016-09-15T15:27:23Z	1286,2491	371187,716	6195870,127	Bosque nativo caja de río.
857	2016-09-15T15:54:57Z	1261,3993	370762,1394	6194849,229	Bosque nativo incendiado. Renovales.
858	2016-09-15T16:14:41Z	1276,1248	370477,6075	6194431,999	Bosque nativo incendiado. Renovales.
859	2016-09-15T16:50:38Z	1339,2598	369991,6196	6193501,06	Bosque nativo incendiado costado derecho.
860	2016-09-15T19:53:22Z	1159,9626	366763,9186	6202704,214	Bosque nativo Río Cipreses (ver fotos)
861	2016-09-29T14:28:35Z	496,21674	342660,791	6235227,33	Cultivos varios en las cercanías: Duraznos, pasto, girasoles.
862	2016-09-29T14:36:28Z	481,48013	339905,1253	6231066,255	Cultivos varios en las cercanías
863	2016-09-29T14:42:07Z	462,77792	335303,126	6220708,983	Barbechos
864	2016-09-29T14:43:10Z	469,25812	334766,8689	6219053,636	Barbechos. Cultivos
865	2016-09-29T15:27:28Z	292,68521	312815,7778	6147242,417	Barbecho al costado izquierdo del camino. Casas al frente.
866	2016-09-29T15:31:38Z	281,61667	314641,1164	6145736,635	Cultivos frutales (manzanas)

867	2016-09-29T15:34:52Z	306,22623	316341,185	6144228,349	Barbecho al costado izquierdo del camino. Cultivos varios al frente.
868	2016-09-29T15:39:57Z	324,72736	318935,5533	6142322,61	Pastizal. Pasarela cercana.
869	2016-09-29T15:49:29Z	299,31751	320071,8967	6145086,78	Cultivos: maizal. Barbechos cercanos. Bosque nativo en cerros cercanos (ver fotos)
870	2016-09-29T16:00:42Z	333,49991	321191,6522	6151916,892	Cultivos: parras. Bosque nativo en cerros cercanos (fotos)
871	2016-09-29T16:12:51Z	306,58386	313181,4863	6157297,394	Plaza de Chimbarongo
872	2016-09-29T16:18:42Z	292,22098	311431,5772	6154962,584	Cultivos costado izquierdo del camino. Barbecho costado derecho
873	2016-09-29T16:21:26Z	288,43109	309234,0507	6155491,652	Cultivos varios. Bosque nativo en cerros cercanos (fotos)
874	2016-09-29T16:25:39Z	294,4939	307006,9157	6154521,656	Cuerpo de agua: embalse. Bosque nativo y matorrales en cerros cercanos
875	2016-09-29T16:34:10Z	265,51285	304986,1996	6151872,407	Represa convento viejo.
876	2016-09-29T16:42:00Z	233,32491	300514,5864	6149560,135	cultivos: cebollines costado derecho del camino, barbecho costado izquierdo
877	2016-09-29T16:54:35Z	199,23685	291785,0508	6154651,505	Plaza de Chepica. Iglesia
878	2016-09-29T16:59:06Z	202,62891	292471,1198	6155667,913	Cultivos varios: parras costado izquierdo del camino, maizal costado derecho
879	2016-09-29T17:03:33Z	210,61519	295234,3265	6156716,803	Cultivos varios costado izquierdo, barbechos costado derecho
880	2016-09-29T17:18:52Z	212,76828	298264,4295	6162374,366	Cultivos varios cercanos. Casas. Parras
881	2016-09-29T17:23:04Z	224,98781	300740,3284	6163381,286	Barbecho ambos lados del camino
882	2016-09-29T17:33:14Z	309,24594	313366,2579	6168384,187	Cultivos frutales ambos costados del camino. Matorrales en cerros cercanos (fotos)
883	2016-09-29T17:37:31Z	350,45136	315950,4204	6168069,498	Bosque mixto en caja de Río Cachapoal
884	2016-09-29T17:44:52Z	348,21658	317726,7263	6170138,959	Centro San Fernando
885	2016-09-29T17:55:07Z	322,87918	322974,107	6178942,874	Cultivos varios en la cercanía: maizal, parras. Pastizales
886	2016-09-29T18:04:21Z	336,32495	328972,241	6194069,327	Cultivos frutales ambos costados del camino. Barbechos cercanos
887	2016-09-29T19:26:29Z	349,83673	330674,3228	6197732,077	Superficie impermeabilizada
888	2016-10-05T17:20:18Z	1714,519	349034,3386	6137092,708	Praderas
889	2016-10-05T17:36:06Z	1659,6742	348589,7553	6138031,464	Borde Bosque nativo (Robles)
890	2016-10-05T17:44:22Z	1625,5454	348409,8526	6137523,926	Borde Bosque nativo (Robles)
891	2016-10-05T18:23:13Z	1640,9166	348046,0334	6137821,981	Parche Bosque nativo (Robles)
892	2016-10-05T18:27:32Z	1647,7251	347721,6616	6138291,528	Cerca del Bosque nativo (Robles)
893	2016-10-05T18:29:48Z	1651,8071	347343,6291	6138534,182	Cerca del Bosque nativo (Robles). Paisaje
894	2016-10-05T18:43:00Z	1634,0127	346120,1867	6138233,676	Bosque nativo (Robles). Paisaje
895	2016-10-05T18:50:37Z	1615,2023	346629,3137	6139787,197	Bosque nativo (Robles).
896	2016-10-05T18:58:30Z	1535,5897	346964,5051	6141177,02	Bosque nativo (Robles).
897	2016-10-05T19:08:16Z	1403,374	346535,4077	6143002,923	Bosque nativo.Camino
898	2016-10-05T19:24:28Z	1332,1447	344789,1661	6143353,83	Bosque nativo.Camino
899	2016-10-05T19:28:28Z	1369,6548	344378,4267	6143976,132	Bosque nativo.Camino y paisaje
900	2016-10-05T19:42:47Z	1298,8722	342207,934	6145212,003	Bosque nativo.Camino y paisaje
902	2016-11-03T15:26:14Z	346,89639	317332,0159	6167407,307	Arbustos (ver fotos)
903	2016-11-03T15:37:36Z	253,32857	306743,75	6165755,197	Cultivos varios más bosque nativo al fondo)
904	2016-11-03T16:10:26Z	170,73489	282422,5704	6164312,355	Santa Cruz.
905	2016-11-03T16:17:02Z	165,71524	279828,8124	6162958,978	Praderas cercanas (300 m)
906	2016-11-03T16:36:44Z	159,98369	282820,1933	6169826,648	Barbechos costado derecho.
907	2016-11-03T16:45:27Z	139,50595	276349,7659	6179212,398	Matorrales: espinos.
908	2016-11-03T16:48:50Z	129,75656	272446,565	6181784,071	Peralillo (urbano)
909	2016-11-03T16:55:50Z	133,73357	267406,2251	6184196,684	Pastizal.
910	2016-11-03T17:05:06Z	146,11554	260494,4937	6189087,269	Cultivos, matorrales (plano y cerros)

911	2016-11-03T17:14:47Z	152,13161	261673,926	6195005,246	Pinos en cerros (fotos). Matorral (más pasto)
912	2016-11-03T17:20:21Z	149,62061	266049,4133	6199676,163	Pinos, eucaliptus y parras.
913	2016-11-03T17:25:38Z	122,6642	270533,5339	6202163,177	Matorral.
914	2016-11-03T17:31:17Z	137,24974	274325,6137	6202520,479	Olivos.
915	2016-11-03T17:41:50Z	130,90526	282633,3964	6198837,096	Matorral árido (cerros). Parras costado izquierdo.
916	2016-11-03T17:54:01Z	150,63719	288753,5635	6195981,319	Cuerpo de agua, cultivos varios (cuerpo a más de 500 m) (revisar)
917	2016-11-03T18:27:51Z	184,8896	299541,5888	6187780,104	Cultivos frutales.
918	2016-11-03T18:40:19Z	201,56136	308948,3418	6187218,007	San Vicente de Tagua Tagua.
919	2016-11-03T20:08:21Z	223,0762	313544,021	6184574,506	Cultivos frutales.
920	2016-11-03T20:21:33Z	255,64954	322099,6669	6184681,152	Barbecho detrás de casas.
921	2016-11-03T20:53:05Z	269,11951	322115,4818	6188569,13	Cuerpo de agua (piscina) (revisar)
927	2016-11-09T14:07:15Z	461,82959	336820,0256	6227658,743	Bosque nativo.
928	2016-11-09T14:11:04Z	460,24933	336830,2804	6227668,905	Cultivos - Barbechos
929	2016-11-09T14:12:56Z	459,10455	335860,0771	6225233,835	Bosque - Plantación Forestal - Coníferas Adultas
930	2016-11-09T14:15:39Z	457,28497	335276,9178	6220609,57	Cultivos - Cultivos
931	2016-11-09T14:19:02Z	476,76413	334710,6284	6217573,545	Bosque nativo.
932	2016-11-09T14:31:03Z	447,40442	331114,6549	6216190,79	Sup. Impermeable
933	2016-11-09T14:40:54Z	382,72305	324966,2684	6212857,477	Sup. Impermeable
934	2016-11-09T14:45:12Z	388,50055	325189,2872	6213151,194	Bosque nativo.
935	2016-11-09T15:08:10Z	282,93781	311810,8638	6209681,503	Bosque nativo.
936	2016-11-09T15:17:36Z	310,10306	315157,6967	6213282,186	Bosque nativo.
937	2016-11-09T15:40:39Z	262,27768	306807,5399	6204306,151	Bosque - Plantación Forestal - Coníferas Adultas
938	2016-11-09T15:57:19Z	185,45505	302739,5029	6191003,356	Bosque nativo.
939	2016-11-09T16:05:01Z	166,99318	298129,2793	6194688,677	Bosque - Plantación Forestal - Coníferas Adultas
940	2016-11-09T16:11:06Z	158,25295	296571,9707	6196628,735	Bosque - Plantación Forestal - Coníferas Adultas
941	2016-11-09T16:33:31Z	131,8539	287740,3775	6202979,218	Sup. Impermeable
942	2016-11-09T16:46:08Z	117,07441	282005,414	6202931,341	Sup. Impermeable
943	2016-11-09T16:58:03Z	135,19884	286716,0031	6197740,879	Bosque nativo.
944	2016-11-09T17:13:44Z	157,54843	293737,5754	6193285,595	Cuerpo de Agua - Lago
945	2016-11-09T17:50:49Z	145,25505	281704,0637	6179550,2	Bosque - Plantación Forestal - Coníferas Adultas
946	2016-11-09T18:10:28Z	157,82629	281760,3854	6167687,333	Sup. Impermeable
947	2016-11-09T19:57:50Z	194,2681	291097,2293	6154812,931	Sup. Impermeable
948	2016-11-09T20:08:00Z	200,09317	296400,1741	6158483,618	Cultivos - Cultivos
949	2016-11-09T20:16:47Z	214,29961	300240,9134	6160319,908	Matorrales
950	2016-11-09T20:29:43Z	236,10939	303832,0234	6164469,076	Cultivos - Barbechos
951	2016-11-09T20:36:44Z	263,2579	308608,662	6166261,291	Pradera - Pastizales

- Campo Name corresponde a ID de fotografía entregada en carpeta de "Fotografías codificadas"

8.5 Inventario de imágenes satelitales usadas en SACBN

En esta tabla, los últimos 3 dígitos que identifican cada imagen satelital corresponden al año calendario juliano. Y los dos dígitos precedentes, corresponden al año.

NOMBRE AP	CATEGORÍA	SUPERFICIE BOSQUE NATIVO (m2)		SCBN_2010 (imágenes)			SCBN_2015 (imágenes)					
		CIT_2010	CIT_2015	N 2010	1	2	N 2015	1	2	3	4	5
Altos de Lircay	Reserva Nacional	18.035.249,71		1	338510318		0					
Altos de Pemehue	Reserva Nacional	97.034.457,70		1	338610014		2	338615044	338615076			
Cerro Castillo	Reserva Forestal	331.346.070,23		1	319209349		0					
Conguillío	Parque Nacional	189.744.844,44	268.819.996,87	1	338710078		4	328715053	338715028	338715044	338715284	
Coyhaique	Reserva Forestal	16.406.019,63	18.195.018,92	1	319209349		3	319215014	329115021	329215021		
Huerquehue	Parque Nacional	64.199.652,54	87.016.114,95	1	338710078		3	328715053	338715028	338715044		
Isla Magdalena	Parque Nacional	971.460.253,76	1.158.421.365,49	1	339111001		2	329115021	339115044			
Katalalixar	Reserva Forestal	949.133.250,44	951.876.223,39	2	329408322	339111001	3	329315021	329415021	339315044		
La Campana	Parque Nacional	20.669.913,97		1	338310030		0					
Lago Carlota	Reserva Forestal	102.131.787,64		1	329111042		0					
Lago Las Torres	Reserva Forestal	60.491.677,31	85.614.310,87	1	329109340		2	319115014	329115021			
Lago Palena	Reserva Forestal	169.158.549,75		1	328910023		0					
Lago Peñuelas	Reserva Forestal	18.395.393,79		1	338310030		0					
Lago Rosselot	Reserva Forestal	77.765.466,73		1	329109340		0					
Laguna del Laja	Parque Nacional	10.565.798,16	12.359.214,98	1	338610014		2	338615044	338615076			
Laguna Parrillar	Reserva Forestal	97.889.367,30	78.383.624,77	1	299708045		1	299715016				
Llanquihue	Reserva Forestal	236.570.116,49	294.847.715,28	1	328910023		2	328915181	338915172			
Los Bellotos del Melado	Reserva Nacional	748.185,62	1.219.545,06	1	338510318		1	338515076				
Los Huemules de Niblinto	Reserva Nacional	49.267.389,66		2	338510318	338610014	0					
Magallanes	Reserva Forestal	115.442.549,76	109.432.356,63	1	299708045		1	299715016				
Malleco	Reserva Forestal	63.013.357,66	112.891.283,09	1	338610014		5	338615044	338615076	338715028	338715044	338715284

CONSTRUCCIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES NACIONALES A PARTIR DE IMÁGENES SATELITALES

Nahuelbuta	Parque Nacional	28.775.709,08	48.152.891,92	1	018610085		4	018615067	018615115	338615044	338615076	
Nalcas	Reserva Forestal	85.506.605,84	105.650.194,98	1	338610014		2	338715028	338715284			
Nonguén	Reserva Nacional	23.748.043,65		2	018510085	018610085	0					
Ñuble	Reserva Forestal	127.875.584,79	169.135.143,66	1	338610014		3	338515076	338615044	338615076		
Palmas de Cocalán	Parque Nacional	17.973.190,87	17.051.295,00	1	338410078		1	338415060				
PN Villarrica	Parque Nacional		227.420.288,77	1	338710078		2	338715028	338715284			
Puyehue	Parque Nacional	345.381.418,55	441.964.723,20	1	328811010		2	328815053	338815044			
Queulat	Parque Nacional	634.909.722,90		1	329111042		0					
Radal Siete Tazas	Parque Nacional	12.128.681,52		1	338510318		0					
Ralco	Reserva Nacional	35.996.971,29	38.285.162,53	1	338610014		3	328715053	338615044	338615076		
RF Villarrica	Reserva Forestal	211.733.894,31	327.514.139,98	2	338710078	338710078	4	328715053	338715028	338715044	338715284	
Río Clarillo	Reserva Nacional	24.602.174,33		1	338310030		0					
Río Los Cipreses	Reserva Nacional	7.644.053,65	9.250.342,56	1	338410078		2	328415069	338415060			
Río Simpsom	Reserva Nacional	197.597.680,11	242.005.161,21	1	319209349		3	319215014	329115021	329215021		
Roblería del Cobre de Loncha	Reserva Nacional	32.798.837,53		1	338410078		0					
Tolhuaca	Parque Nacional		30.838.041,17	1	338610014		2	338715028	338715284			
Trapananda	Reserva Nacional	16.081.491,02	15.146.020,85	1	329111042		3	319115014	319215014	329115021		
Vicente Pérez Rosales	Parque Nacional	1.311.906.943,3		2	328811010	338910023	0					
Yendegaia	Parque Nacional	142.548.837,06	414.391.034,40	1	279810292		2	269915075	279815082			

8.6 Inventario de imágenes satelitales usadas en SACCG y SACL

Imágenes			
Cuerpos glaciares 2010	Cuerpos glaciares 2015	Cuerpos Lacustres 2010	Cuerpos lacustres 2015
339111049	339115044	339311001	339315044
339208345	339215044	017310229	017315131
339211049	339315044	017410229	017415131
339308345	017315131	018310037	017515051
339311001	017415131	018410261	018015067
017310229	017515051	018510085	018115067
017410229	027215138	018610085	018215099
017510309	027315074	018710245	018415067
279810292	269915075	027209313	018515067
289709280	279815082	027210124	018615067
289710315	279915082	027210348	018615115
289807067	289815105	279810292	018715051
289807259	299715016	289709280	018815067
299607074	309615023	289710315	027215138
299609287	309715023	289807067	027315074
299708045	319115014	289807259	269915075
299804306	319215014	299607074	279815082
309607257	319315014	299609287	279915082
309611284	319415014	299708045	289815105
309707257	327615133	299804306	299715016
319209349	328415069	309607257	309615023
319211051	328515069	309611284	309715023
319311051	328715053	309707257	319115014
319410272	328815053	319209349	319215014
319411051	328915181	319211051	319315014
319510272	329015101	319311051	319415014
319511051	329115021	319410272	327615133
319606053	329215021	319411051	328415069
319611051	329315021	319510272	328515069
319706053	329415021	319511051	328715053
319706213	329515021	319606053	328815053
328811010	329615021	319611051	328915181
328910023	337515076	319706053	329015101
329010023	337715076	319706213	329115021
329109340	337815060	327610343	329215021
329111042	337915060	328410231	329315021

329209340	338015076	328811010	329415021
329211042	338115060	328910023	329515021
329309340	338215060	329010023	329615021
329311042	338315060	329109340	337515076
329407255	338415060	329111042	337615076
329408322	338515076	329209340	337715076
329508322	338615076	329211042	337815060
329511026	338715044	329309340	337915060
337510350	338815044	329311042	338015076
337710318	338915172	329407255	338115060
337810238	339015044	329408322	338215060
337910014		329508322	338315060
337910318		329511026	338415060
338010046		337510350	338515076
338110238		337610014	338615076
338210046		337610046	338715044
338310030		337710318	338815044
338410318		337810238	338915172
338510318		337910014	339015044
338610014		337910318	339115044
338710078		338110238	339215044
339111001		338210046	
		338310030	
		338410318	
		338510318	
		338610014	
		338710078	
		339111001	
		339111049	
		339208345	
		339211049	
		339308345	