

Nota Informativa

ENCCRV

13



ESTRATEGIA NACIONAL DE
CAMBIO CLIMÁTICO Y
RECURSOS VEGETACIONALES

Santiago, Septiembre 2017

En esta edición

**Sistema de Alerta Temprana (SAT)
para la detección de cambios en los
recursos vegetacionales de Chile**

Copernicus  SENTINEL Hub

Imágenes: Agencia Espacial Europea - ESA

Sentinel-2 L1C 2017-05-09

Unidad de Cambio Climático y Servicios Ambientales (UCCSA)
Gerencia de Desarrollo y Fomento Forestal (GEDEFF)
Corporación Nacional Forestal (CONAF)
Ministerio de Agricultura de Chile

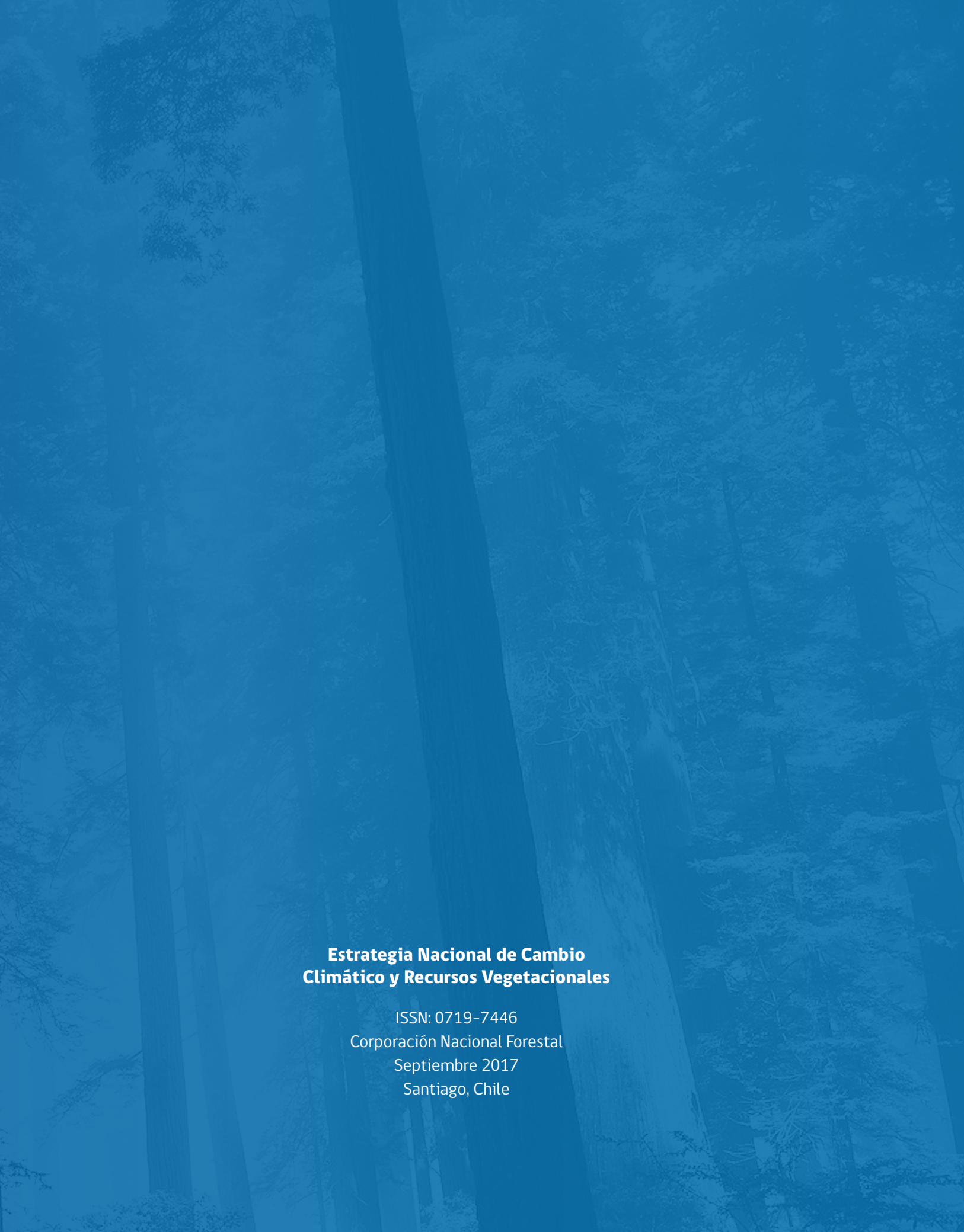
ENCCRV
ESTRATEGIA NACIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO Y RECURSOS VEGETACIONALES





ENCCR

ESTRATEGIA NACIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO Y RECURSOS VEGETACIONALES



**Estrategia Nacional de Cambio
Climático y Recursos Vegetacionales**

ISSN: 0719-7446
Corporación Nacional Forestal
Septiembre 2017
Santiago, Chile



Sistema de Alerta Temprana (SAT) para la detección de cambios en los recursos vegetacionales de Chile

Equipo UCCSA: Javier Cano, Renato Cifuentes, Daniel Montaner, Angelo Sartori, Osvaldo Quintanilla.

Departamento de Monitoreo: Verónica Oyarzún, Elke Huss

Departamento de Fiscalización Forestal: Gonzalo Tapia, Felipe Cifuentes, Rodrigo Herrera

Consortio técnico:

- **Universidad Austral de Chile:** Víctor Sandoval, Yenny Martínez, Gastón Vergara, Guillermo Trincado, Juan Leiva, Mario Meneses, Nolwenn Boucher, Sandra Molina.
- **Universidad de La Frontera:** Patricio Acevedo, Manuel Castro, Mauricio Reyes.
- **Universidad de Göttingen, Alemania:** Christoph Kleinn, Hans Fuchs, Nils Noelke.
- **Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina:** Hugo Zerda

Funcionarios regionales de CONAF: José Guerman, Leonardo Araya, Arnoldo Shibar, Raúl Soto, Eduardo Soto, Rodrigo Rojas, Patricio Valenzuela, José Álvarez

Colaboradores de otras instituciones: Jorge Herreros y Osvaldo Malfanti (MMA); Nelson Bustamante y Tirso Zuñiga (SAG); Andrea Delgado (INDAP); José Ramírez Cabello (ODEPA).

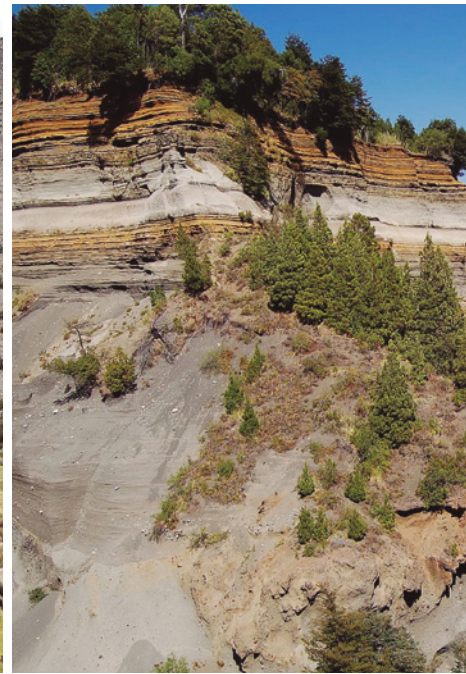


Contenido

1. Introducción	6
2. Antecedentes	10
3. Propuesta de diseño del SAT	13
3.1 Diseño conceptual	15
3.2 Resultados de Monitoreo de Cambio	18
4. Implementación institucional del SAT en CONAF	22
5. Potencialidad del SAT en otros servicios públicos	24

Listado de siglas y acrónimos

ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CONAF	Corporación Nacional Forestal
DEM	Digital elevation model
ENCCRV	Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales
FAO	Food and Agriculture Organization
FRA	Global Forest Resources Assessment
GIEWS	Global Information and Early Warning System
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GFIMS	Global Fire Information Management System
GloVis	Global Visualization Viewer
NIR	Near-infrared
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NDII	Normalized Difference Infrared Index
MdA	Medida de Acción
MRV	Medición, Registro y Verificación
OLI	Operational Land Imager
SAFF	Sistema de Administración y Fiscalización Forestal
SAT	Sistema de Alerta Temprana
SIT	Sistema de Información Territorial
SWIR	Short Wave Infrared
TC	Tipo de Cambio
USGS	United States Geological Survey



1. Introducción

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), solicita a los países en desarrollo que identifiquen las causales de la deforestación y degradación de los bosques (Decisión 4/CoP.15), que estas sean abordadas en sus estrategias nacionales o planes de acción (Decisión 1/CoP.16) y que garanticen que la respuesta a estas causales esté adaptada a las circunstancias nacionales (Decisión 15/CoP.19).

La Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales (ENCCRV), liderada la Corporación Nacional Forestal (CONAF), amplía esta visión, desde los bosques hasta el ámbito general de los recursos vegetacionales, desarrollando estudios que han permitido identificar, además los requerimientos anteriormente mencionados, las causales de devegetación, degradación y problemas para aumentar la calidad y cantidad (superficie) de los recursos vegetacionales.

Producto de este análisis¹, las siguientes han sido identificadas como las principales causales directas

de deforestación, devegetación, degradación de recursos vegetacionales y problemas asociados para aumentar su cobertura y calidad:



Incendios forestales



Efectos del cambio climático, desertificación, degradación de las tierras y sequía



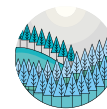
Uso no sustentable de los recursos vegetacionales para la producción



Expansión de la actividad agrícola y ganadera



Uso no sustentable de los recursos vegetacionales para la ganadería



Gestión no sustentable de cultivos forestales



Plagas y Enfermedades

¹

Más detalles en "Nota Informativa de la ENCCRV, N°7" <http://www.enccrv-chile.cl/descargas/publicaciones/344-nota-informativa-n-7/file>



La ENCCRV, cuyo proceso de formulación aseguró la participación efectiva e inclusiva, en un marco ético de todos los grupos y actores claves vinculados a los recursos vegetacionales, considera siete actividades asociadas a las causales directas principales, además de una actividad de carácter transversal, agrupando 26 medidas de acción, de las cuales siete son directas y 19 son facilitadoras².

Desde 2016, CONAF desarrolla la fase de Implementación de la ENCCRV, a través de la ejecución de proyectos que tienen como fin someter a prueba todos los mecanismos técnicos, financieros, arreglos institucionales y de fortalecimientos de capacidades planificados en la fase de Preparación.

En esta Nota Informativa se detalla el diseño e implementación del Sistema de Alerta Temprana (SAT) con énfasis en cambios en la vegetación y

su potencial expansión a otras aplicaciones en la gestión de distintos recursos naturales, que se vincula a la Medida de acción transversal MT.7. “Fortalecimiento de los programas de fiscalización forestal y ambiental”, especialmente en el elemento asociado a fortalecimiento de la capacidad institucional de CONAF, mejorando sus facultades de fiscalización para asegurar la protección de los recursos vegetacionales, concretándose adecuaciones tecnológicas para tal fin; así como también a la Medida Facilitadora R.S.1 “Focalización del programa de restauración y fiscalización para promover la sustentabilidad de la gestión forestal” orientada a evitar la sustitución de bosques nativos degradados por plantaciones forestales.



² Más detalles en “Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales 2017-2025 (<http://www.enccrv-chile.cl/index.php/capacitate/publicaciones-enccrv/item/335-estrategia-nacional-de-cambio-climatico-y-recursos-vegetacionales-2017-2025>).



Fortalecimiento de los programas de fiscalización forestal y ambiental

Ámbito de Acción



Gestión Institucional



Fiscalización



Normativo



Educación ambiental y sensibilización

Metas anuales



Focalización programa de restauración y fiscalización para promover la sustentabilidad de la gestión forestal

Ámbito de Acción



Planificación Territorial

Metas anuales

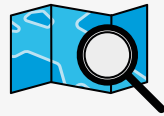


Área Responsable en CONAF



GEF

Meta



200 comunas

Presupuesto

		Incondicional
		USD 1.070.000
+		Condiciona
		-
Total		USD 1.070.000

2022

Implementación del programa

125 comunas acumuladas

2023

Implementación del programa

150 comunas acumuladas

2024

Implementación del programa

175 comunas acumuladas

2025

Implementación del programa

200 comunas acumuladas

Indicador de meta Presupuesto Condiciona Presupuesto Incondicional

Área Responsable en CONAF



GEF
GEDEFF

Meta



Programa publicado



40 áreas seleccionadas

Presupuesto

		Incondicional
		-
+		Condiciona
		-
Total		-

2022

Selección de 25 áreas de implementación

2023

Selección de 30 áreas de implementación

2024

Selección de 35 áreas de implementación

2025

Selección de 40 áreas de implementación

Presupuesto Condiciona Presupuesto Incondicional

Conceptos clave

Deforestación

Transformación de áreas de bosque en otro uso de la tierra de forma permanente. No se considera deforestación el cambio de uso de bosque a plantación, así como tampoco aquellas áreas desprovistas temporalmente de cobertura arbórea, siempre cuando esté planificada, reportada y documenta una actividad regenerativa natural o asistida.

Degradación forestal

Reducción del contenido de carbono de un bosque, inducida por la actividad humana con una intensidad que recomienda el cese de la actividad silvícola productiva, pero cuyo nivel no implica un cambio de uso de la

tierra. Considerando adicionalmente como degradación forestal todo cambio de uso de la tierra de bosque a plantación forestal.

Devegetación

Conversión de las tierras compuestas por formaciones vegetacionales naturales de especies xerofíticas, herbáceas y/o arbustivas a otros usos de la tierra sin vegetación, por acción humana o causas naturales.

Degradación de los Recursos Vegetacionales

Pérdida de la productividad biológica, económica o de un nivel deseado de mantenimiento en el tiempo de la diversidad florística, la integridad biótica y los procesos ecológicos (FAO).

Según los resultados obtenidos en el Nivel de Referencia de Emisiones Forestales/Nivel de Referencia Forestal (NREF/NRF) Subnacional de Chile³, que estima las emisiones por deforestación y degradación forestal desde la Región del Maule hasta Los Lagos, para el periodo 2001-2013, la superficie promedio anual afectada por deforestación asciende a 6.470 hectáreas. Para el caso de la degradación producto de la sustitución de bosque nativo por plantaciones forestales, la superficie promedio anual afectada representa 11.921 hectáreas. En el caso de la degradación producto del uso no sustentable de los bosques,

incendios, plagas y otras actividades que provocan reducción de su capacidad pero no cambio de uso, entre 2001 y 2010 se vieron afectadas un total de 461.213 hectáreas.

La reducción de superficie deforestada ha decrecido sustancialmente a lo largo del tiempo, estimando que previo a 2007 la superficie afectada era de 8.555 hectáreas anuales y, posteriormente se redujo a 4.596. Aún mayor es la reducción en la superficie de bosque nativo sustituida por plantaciones, que pasa de 16.496 a 6.269 hectáreas para el mismo periodo.

2. Antecedentes

El monitoreo de los bosques es mandatado a la Corporación Nacional Forestal (CONAF) por la Ley 20.283 sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal, y ha sido ejecutado por la institución a través del Catastro de los recursos vegetacionales de Chile y sus respectivas actualizaciones desde el año 1997 en todas las regiones del país. Esta información ha sido (y seguirá siendo) clave para la planificación de políticas públicas, así como para cumplir los objetivos que

se ha planteado Chile a nivel internacional, ya que entrega información transparente, consistente y completa del estado actual de sus recursos, permitiendo a su vez hacer un seguimiento y monitoreo de la efectividad de las políticas, acciones y medidas que se ejecutan en el territorio.

Sin embargo, el objetivo del Catastro y la periodicidad de sus actualizaciones no fueron diseñados con el fin de hacer una identificación



³ Más información en: <http://www.enccrv-chile.cl/index.php/capacitate/publicaciones-enccrv/item/322-nivel-de-referencia-de-emisiones-forestales>



temprana de aquellas actividades informales o ilegales que provocan los cambios de uso de la tierra y degradación forestal; así como tampoco para dar respuesta preventiva que limite el daño provocado por estas actividades. No obstante ha existido una permanente búsqueda de métodos a través de sensores remotos que permitan aumentar la periodicidad de los monitoreos y por ende las actualizaciones. El Sistema de Alerta Temprana contribuirá a este propósito, cumpliendo el doble fin, por un lado detectar cambios en los recursos vegetacionales y usos de la tierra y por otro la verificación en terreno de tales cambios por parte del área de fiscalización, retroalimentar al Catastro, permitiendo una actualización de mayor frecuencia.

En este sentido, el Departamento de Fiscalización Forestal dependiente de la Gerencia de Fiscalización y Evaluación Ambiental de CONAF, a la par de los avances tecnológicos y la mayor disponibilidad de información, ha fomentado a lo largo de los años diversas iniciativas con el propósito de optimizar el despliegue de sus acciones sobre el territorio. Ejemplo de esto son, entre otras, la definición de áreas prioritarias de fiscalización (desde el año 1997 con actualizaciones) y la propuesta metodológica para el uso de imágenes satelitales en la determinación de áreas potenciales de corta no autorizada (año 2012).

En este último estudio, se propuso un procedimiento para la detección de zonas de pérdida de bosque, basado en la diferencia de índices de vegetación entre dos períodos ($\Delta NDVI$), utilizando imágenes satelitales gratuitas y comerciales. Si bien la propuesta demostró un gran potencial, su implementación a nivel nacional estuvo limitada en aquella época por las características de la información base (deficiencias técnicas en *Landsat-7* y alto costo en imágenes comerciales), como asimismo, por la escasa disponibilidad de hardware y software especializado para efectuar los análisis.

Tras la puesta en órbita de la misión *Landsat-8* y la irrupción de alternativas de *software Open Source* para la gestión de imágenes satelitales, tales como *QGIS* y *Google Earth Engine*, se generó el escenario propicio para la aplicación de la propuesta de forma extensiva en el monitoreo forestal y ambiental. Prueba de ello es que a partir del año 2016, la X Región de los Lagos implementó exitosamente el citado sistema en casi la totalidad de sus provincias, demostrando la flexibilidad del método y exponiendo como este puede contribuir a la optimización en la planificación de actividades de fiscalización forestal. A la fecha se han detectado 69 áreas potenciales de pérdida, verificando en un 98% de los casos revisados en terreno (47) la disminución efectiva de cobertura.



A partir de estos últimos se identificaron 20 cortas no autorizadas, correspondientes a un 48% de los polígonos determinados en primera instancia por la plataforma.

A nivel global, existen diversas herramientas que permiten el monitoreo forestal y de los recursos vegetacionales que además facilitan el conocimiento del estado actual e histórico de los recursos. Estas herramientas se basan en el uso de sensores remotos y la utilización de

diversos índices biofísicos, en combinación con información climática, hidrológica, topográfica, social y económica (FAO, SOLAW). Algunas de las aplicaciones desarrolladas por la *Food and Agricultural Organization* (FAO) incluyen el *Global Land Degradation Information System*, que se basa en la medición del estado de los ecosistemas de zonas áridas y las tendencias en la provisión de bienes y servicios, el GFIMS Sistema Global de Gestión de Información sobre Fuegos, y el *Global Information and Early Warning System* (GIEWS).

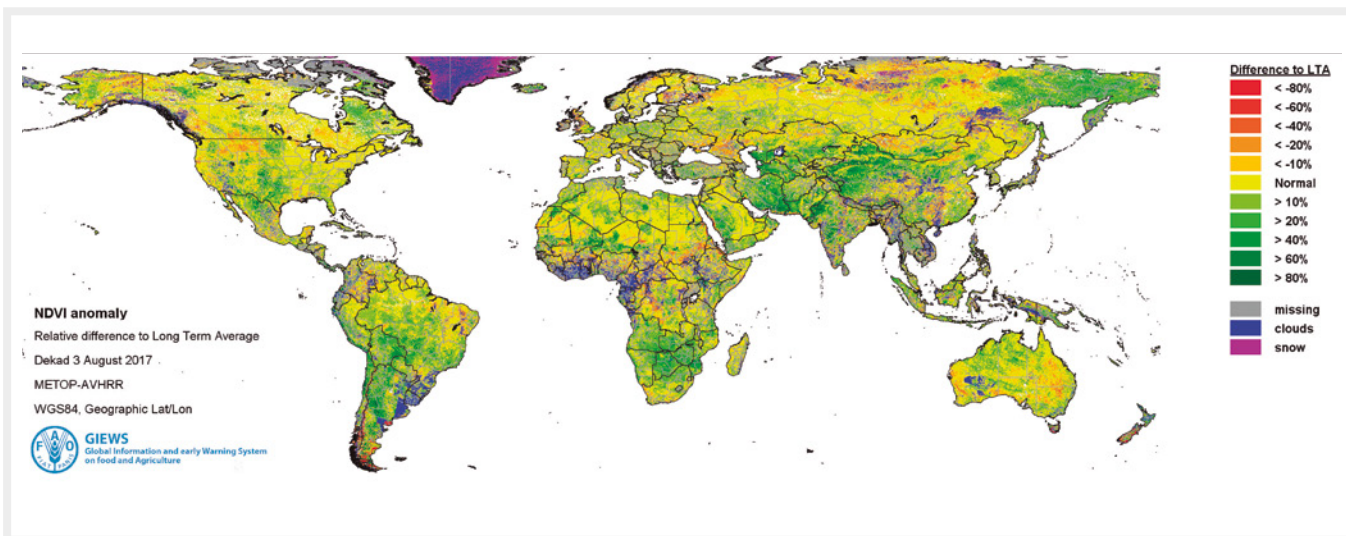


Figura 1. Información de NDVI como indicador global del estado y densidad de la vegetación que entrega el *Global Information and Early Warning System* (GIEWS)⁴.

⁴ http://www.fao.org/giews/earthobservation/asis/index_2.jsp?lang=en



3. Propuesta de diseño del SAT

La CONAF, con el financiamiento del Proyecto GEF Manejo Sustentable de la Tierra (MST) y el apoyo técnico de un consorcio coordinado por la Universidad Austral de Chile, integrado por la Universidad de la Frontera, la Universidad de Santiago del Estero (Argentina) y la Georg-August-Universität de Göttingen (Alemania), desarrollaron un diseño prototipo con el objetivo de disponer de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) con énfasis en cambios en la vegetación y ampliado a otros usos de la tierra.

Este desarrollo piloto fue finalizado a inicios de 2017 permitiendo a la CONAF contar con una serie de resultados que permitirán, una vez sean ajustados e implementados operacionalmente en el territorio, mejorar los protocolos y actividades vinculadas a la fiscalización forestal.

El SAT piloto se ejecutó en 7 comunas piloto: Litueche, Curacautín, Valdivia, Puerto Octay, Maullín, Ancud y Coyhaique (Figura 2). Cada una de las comunas seleccionadas representa distintos tipos de bosque y recursos vegetacionales, localizaciones geográficas, condiciones climáticas y topográficas, vulnerabilidad frente a la degradación y deforestación vinculada con la accesibilidad y presión social de uso de los recursos boscosos (Tabla 1).

El SAT piloto focalizó la detección de cambios en Bosque nativo, Bosque mixto y Matorral, para lo cual utilizó como información base el Catastro de Usos de Suelo y Recursos Vegetacionales y sus actualizaciones.

Tabla 1. Caracterización física y vegetal nativa de las comunas piloto.

Región	Comuna	Superficie Total Comunal (ha)	Superficie BN Total Comuna (ha)	Principal Tipo Forestal
O'Higgins	Litueche	61.248	12.767	Esclerófilo
Araucanía	Curacautín	165.950	89.553	Roble-Raulí-Coihue
Los Ríos	Valdivia	102.289	39.549	Siempreverde
Los Lagos	Ancud	175.635	94.732	Siempreverde renovales de canelo
Los Lagos	Maullín	86.922	28.627	Siempreverde Renovales de Canelo, Coihue de Chiloé
Los Lagos	Puerto Octay	180.122	69.614	Siempreverde
Aysén	Coyhaique	727.590	284.053	Lenga

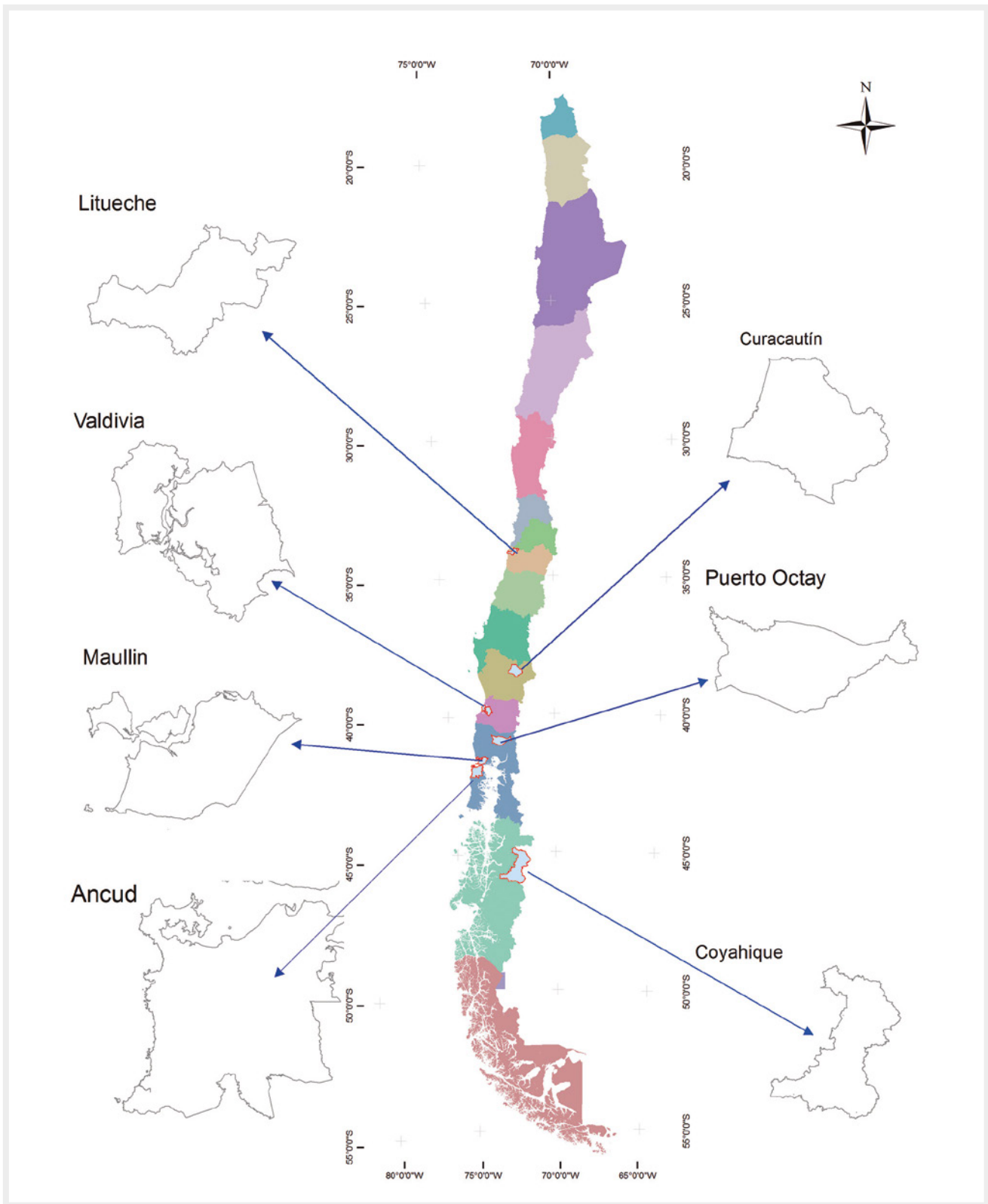


Figura 2. Distribución de las comunas pilotos.

3.1 Diseño conceptual

Desde el punto de vista del diseño conceptual se identificaron cuatro componentes que deben conformar el sistema, los cuales deben estar interrelacionados:

- **Riesgo**, corresponde al análisis y determinación de áreas críticas, donde existe mayor actividad de ocurrencia (pérdida) de cambios en el bosque nativo
- **Monitoreo**, corresponde a la detección de cambios en el uso del suelo (prioritariamente pérdidas de matorrales y bosque nativo)
- **Alerta**, corresponde a la generación y distribución de reportes con información cartográfica y alfanumérica.
- **Respuesta**, corresponde al desarrollo de acciones preventivas, de fiscalización y procesos de retroalimentación del sistema.

3.1.1 Componente Riesgo

Los mapas de Riesgo permiten diseñar y planificar una vigilancia frecuente y de mayor rigurosidad, como también de apoyo a las decisiones de priorización de áreas para los controles de campo, en este caso en áreas que presenten pérdidas de vegetación nativa mediante la detección por monitoreo satelital.

El análisis piloto de las variables, realizado en las comunas de estudio, relaciona la ubicación geográfica de las cortas no autorizadas como variable dependientes con variables independientes de índole biofísico, como por ejemplo Tipo Forestal, pendiente del terreno, altitud, y otras como la distancia a caminos, permitiendo la definición de zonas de riesgo o críticas, que finalmente, se despliegan en un Mapa (Figura 3).

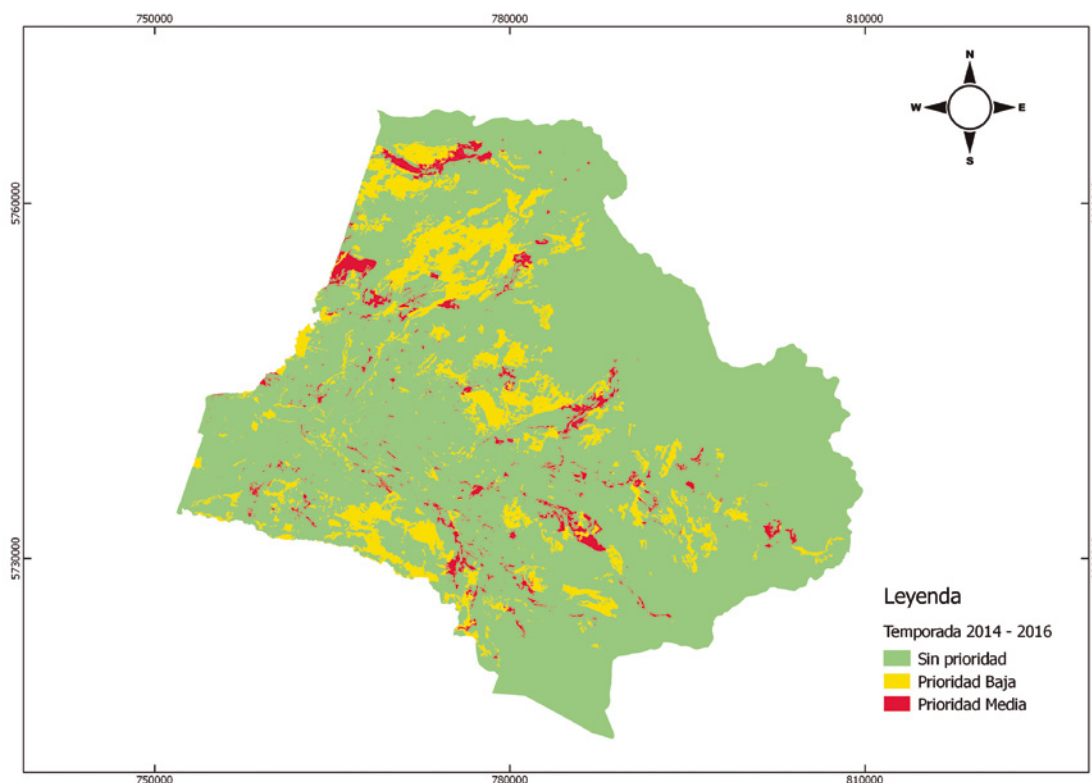


Figura 3. Mapa de Riesgo (Zonas Críticas) implementado en QGIS, Comuna de Curacautín.



3.1.2 Componente Monitoreo

El elemento central de SAT, es considerado el componente de monitoreo, ya que es el que permite identificar las potenciales áreas de cambio. El desarrollo del SAT piloto, permitió generar una serie de conclusiones de alta relevancia para su futura implementación en diferentes ámbitos.

Teniendo en cuenta que el componente de monitoreo se basa en análisis de cambio sobre imágenes de satélite, la selección del tipo de imágenes y la definición de criterios de temporalidad entre los pares de imágenes a incluir en el análisis es uno de los puntos de mayor relevancia.

En este sentido se consideraron dos opciones, por un lado se realizó un análisis de procesamiento con una periodicidad inter-anual, para lo que se trabajó con dos imágenes satelitales Landsat-8 para un periodo de un año calendario correspondientes a los meses de enero o febrero. Se seleccionaron estos meses por la mayor facilidad de encontrar imágenes libres de nubes y para evitar o disminuir efectos nocivos por cambios en las condiciones fenológicas de las superficies vegetales, variaciones en la cobertura de nieves, como también para evitar la presencia de sombras.

Con el fin de realizar un monitoreo intra-anual se aplicó un procedimiento de monitoreo denominado año-móvil. En este caso, se mantiene el periodo de un año calendario para la detección de pérdida vegetal, pero se utilizan todas las parejas de imágenes disponibles y no solo aquellas correspondientes exclusivamente a los meses de enero y febrero, incorporando en el procesamiento de estas imágenes máscaras para corregir la presencia de nieve, nubes y sombras. Además, se adicionó un criterio relacionado con el cambio fenológico a fin de reducir errores de comisión en la detección de pérdida vegetal.

En ambos casos, los pares de imágenes escogidas se calibraron a reflectancia y posteriormente para cada una de ellas se calculó el índice NDII (*Normalized Difference Infrared Index*), a fin de obtener una imagen de diferencia del NDII (Δ NDII).

La selección de índices espectrales, además del índice NDII, incluyó el índice NDVI y el análisis multibanda, siendo el primero de ellos el que demostró una mayor precisión cartográfica. El índice espectral NDII, definido como $(NIR - SWIR)/(NIR + SWIR)$, donde

NIR y SWIR corresponden a los rangos espectrales del infrarrojo cercano e infrarrojo medio (bandas 5 y 6 del satélite Landsat-8, respectivamente). El NDII no requiere de una corrección atmosférica en la calibración a valores de reflectancia, ya que usa

exclusivamente bandas del infrarrojo. Lo anterior da mayor fortaleza a este índice respecto a su similar NDVI, que utiliza valores de reflectancia en las longitudes del rojo, susceptibles de cambios de acuerdo al comportamiento atmosférico.

3.1.3 Componente Alerta

El componente de alerta corresponde a la vinculación de las componentes de Riesgo y Monitoreo, en forma de reportes, informes y material cartográfico, los cuales son enviados a las distintas secciones y autoridades de CONAF con el objeto de implementar las acciones necesarias para evitar mayores pérdidas

de vegetación nativa (componente Respuesta). En el sistema SAT el componente de Alerta está construido por 3 elementos: 1) Reporte de Alerta; 2) Comunicación de la Alerta y 3) Almacenamiento de la información (Geodatabase), como se muestra en la Figura 4.

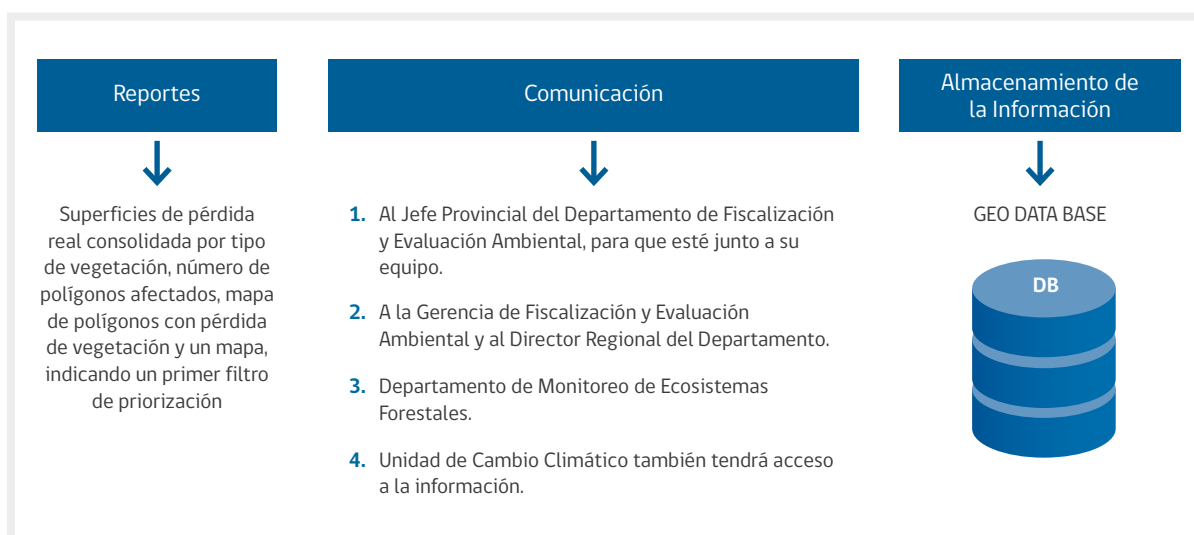


Figura 4. Elementos que construyen los Componentes de Alerta del SAT

3.1.4 Componente Respuesta

La respuesta son las acciones que emprende CONAF para evitar las pérdidas de la vegetación nativa. Este proceso se realiza luego de la recepción de la Alerta y seguirá los mecanismos actualmente utilizados por CONAF como son:

- Levantamiento de información en terreno según sistema y formularios de clasificación definido en el protocolo del monitoreo nacional (Manuales disponibles a nivel regional); y por los descriptores de base datos "Pérdidas" del SAT.
- Ingreso de la evaluación de la superficie afectada según los procedimientos normales descritos en

los manuales de fiscalización actuales de CONAF, asociados a la corta ilegal de vegetación nativa.

- Protocolo de integración de sistemas.

Junto con estas acciones, es relevante iniciar una estrategia de difusión del SAT. Esto sería otra forma de respuesta ante las pérdidas de bosque nativo, ya que el usuario sabrá que existe un sistema de alta frecuencia de vigilancia de cortas de vegetación nativa, y será una razón más para desincentivar su uso no legal (control social).



3.2 Resultados de Monitoreo de Cambio

El método estimó una pérdida de superficie de matorral en las 6 comunas del análisis en 1.240,3 y 1.938,1 ha en bosque nativo.

Tabla 2. Superficies estimadas con pérdida de vegetación para el período 2014-2016.

Comuna	Superficie 2014 (ha)	Satélite	
		ha	Pérdida (%)
Matorrales			
Litueche	15.183,50	97,2	0,6
Curacautín	17.536,00	180,4	1
Valdivia	11.882,30	57,1	0,5
Puerto Octay	16.066,30	196,2	1,2
Mauñín	13.016,50	224,4	1,7
Ancud	31.915,20	485	1,5
Subtotal		1.240,3	
Coyhaique	76.012,40	998,5	1,3
Bosques			
Litueche	12.934,50	46,9	0,4
Curacautín	90.202,40	459,3	0,5
Valdivia	41.439,70	133,5	0,3
Puerto Octay	70.175,10	487,7	0,7
Mauñín	28.757,80	291,8	1
Ancud	94.850,60	518,9	0,5
Subtotal		1.938,1	
Coyhaique	284.558,70	4.644,80	1,6

La estimación de volúmenes de pérdida expresado en m³ y biomasa expresado en toneladas de materia seca, se presenta en la tabla 3.

Tabla 3. Pérdidas de Volumen, Biomasa y carbono por periodo anual monitoreado con el SAT.

Periodos	Comuna	Superficie (ha) total de bosque nativo detectada con cambios	Superficie (ha) con cambio en coberturas de copas (Degradación)	Superficie con cambio de uso (Deforestación)	Pérdida de Volumen anual (m ³ / comuna)	Pérdida Biomasa (Ton.sec Anuales/comuna)	Pérdida de Carbono aéreo (Ton. Anuales/comuna)
2014-15	Litueche	26,1	19,7	6,4	458,8	610,3	192,8
	Curacautin	188,6	178,9	9,7	12.614,5	10.177,8	4.479,0
	Valdivia	70,2	49,7	20,5	5.677,5	4.770,2	2.136,1
	Pto Octay	264,5	244,3	20,2	20.694,0	16.116,1	7.157,9
	Mauñín	205,2	188,7	16,5	25.534,4	20.113,7	8.990,0
	Ancud	231,2	225,5	5,7	23.070,9	17.966,6	8.012,0
	Coyhaique **	1.582,6	1.582,6	0,0	77.017,6	64.448,8	29.020,3
	Total Sin Coyhaique	985,8	906,8	79,0	88.049,9	69.754,7	30.967,6
	Total con Coyhaique	2.568,4	2.489,4	79,0	165.067,5	134.203,5	59.988,0
2015-16	Litueche	20,8	20,24	0,6	184,8	245,8	77,7
	Curacautin	270,7	141,69	129,0	62.128,0	47.329,2	20.861,1
	Valdivia	63,3	49,5	13,8	5.029,1	4.088,3	1.826,7
	Pto Octay	223,2	220,64	2,56	15.642,5	11.928,0	5.288,6
	Mauñín	86,6	53	33,6	15.352,3	11.800,3	5.344,6
	Ancud	287,7	266,78	20,92	30.942,8	24.425,1	10.933,9
	Coyhaique **	3062,2	3019	43,2	135.674,4	112.094,5	50.157,1
	Total Sin Coyhaique	952,3	751,85	200,45	129.279,4	99.816,8	44.332,5
	Total con Coyhaique	4014,5	3770,85	243,65	264.953,8	211.911,3	94.489,5
2014-16	Total Sin Coyhaique	1.938,1	1.658,7	279,4	217.329,3	169.571,5	75.300,1
	Total con Coyhaique	6.582,9	6.260,3	322,6	430.021,4	346.114,7	154.477,5

** Importante: la comuna piloto de Coyhaique presenta valores elevados debido al problema de defoliación sufridas en las especies Ñirre (*Nothofagus antarctica*) y Lengua (*Nothofagus pumilio*). Lo resultados pueden ser no representativos, debido a que es una superficie con problemas sanitarios que aún no se puede confirmar como degradación o pérdida de masas boscosas.

La exactitud del análisis interanual de imágenes se estimó en base a observaciones de terreno, lo que permitió determinar el nivel de acierto de las detecciones realizadas. En este caso, se visitaron polígonos detectados con pérdida de vegetación para los periodos 2014-2015 y 2015-2016 en seis de las siete comunas piloto, excluyendo la comuna de Coyhaique donde registró el problema de defoliación de las especies Lengua y Ñirre, provocada por *Ormiscodes sp.*, lo que impactaría en el nivel de error al recolectarse datos que pueden no ser representativos (Tabla 4).

Tabla 4. Porcentaje de acierto utilizando imagen satelital.

Comuna	2014-2015			2015-2016		
	Polígonos Visitados	% Polígonos Visitados	% Acierto	Polígonos Visitados	% Polígonos Visitados	% Acierto
Litueche	65	65,2	96,9	11	27,5	100,0
Curacautín	44	19,6	79,5	123	35,2	70,7
Valdivia	37	22,8	86,5	26	17,4	80,8
Puerto Octay	65	13,9	100,0	50,0	10,1	100,0
Mauñín	67	22,3	80,6	60	26,5	96,7
Ancud	142	30,5	96,5	181	30,4	95,0

Al aplicar el análisis intra-anual o de año móvil, pudo detectarse el momento específico del cambio, lo que permite realizar una intervención más precisa y una mejor planificación de las labores de control y fiscalización. Los resultados obtenidos por el análisis intra-anual se presentan en la Figura 5, incluyendo el detalle de superficie con pérdida vegetacional para cada intervalo analizado en la Tabla 5.

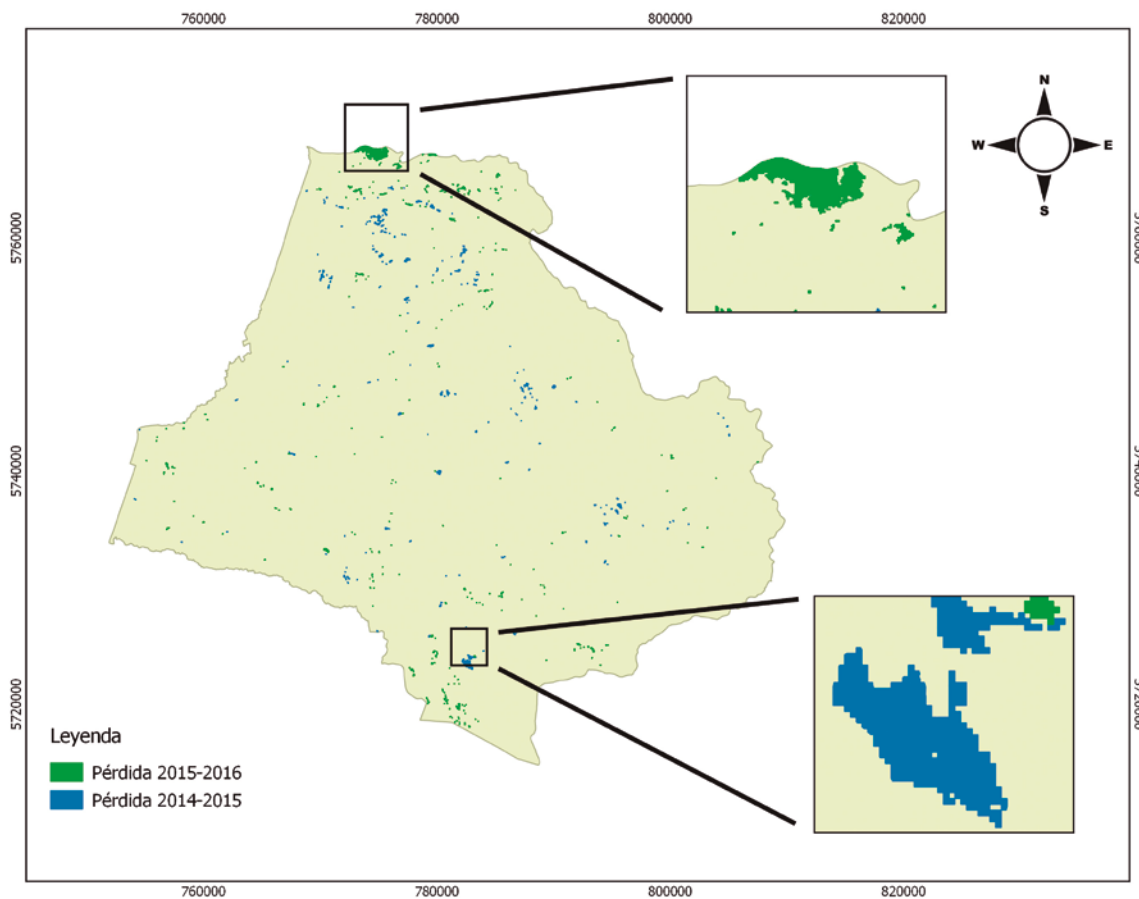


Figura 5. Imagen resultante de aplicar el monitoreo de año móvil en la comuna de Curacautín Periodo 2014 - 2015 (azul) y 2015 - 2016 (verde).

Tabla 5. Número de polígonos y Superficie (ha) para la comuna de Curacautín, detectados por imagen satelital Landsat (ΔNDII)

Intervalo de tiempo	Total Comuna (cambios detectados)	
Periodo 1	N° de Polígonos	Superficie (ha)
05-oct-2013 a 25-ene-2014	683	522.99
25-ene-2014 a 10-feb-2014	3	3.06
10-feb-2014 a 24-oct-2014	13	28.08
24-oct-2014 a 12-ene-2015	143	142.47
12-ene-2015 a 13-feb-2015	379	370.53
Periodo 2	N° de Polígonos	Superficie (ha)
12-ene-2015 a 17-mar-2015	344	212.58
17-mar-2015 a 28-nov-2015	38	107.37
28-nov-2015 a 31-ene-2016	1	0.09
31-ene-2016 a 19-mar-2016	2	0.72
19-mar-2016 a 30-nov-2016	229	245.34

En la Figura 6 se presentan ejemplos de las seis imágenes utilizadas en el análisis de año móvil para el primer periodo y el resultado del intervalo de fechas en que ocurrió la pérdida vegetal. De izquierda a derecha, las fechas de las imágenes son: 05-oct-2013, 25-ene-2014, 10-feb-2014, 24-oct-2014, 12-ene-2015 y 13-feb-2015. Los colores en la barra central de la Figura 6 se relacionan con los cambios detectados entre las dos imágenes, según se indica con cada una de las flechas curvas. Según el esquema del análisis antes presentado y considerando los ejemplos de la Figura 6, se puede verificar que el resultado en color rojo corresponde a la pérdida vegetal producida en el intervalo de tiempo entre la tercera y cuarta imagen (de izquierda a derecha). En color azul la pérdida generada entre la cuarta y quinta imagen, mientras que en color violeta los cambios vegetacionales se producen en el intervalo entre la quinta y sexta imagen.

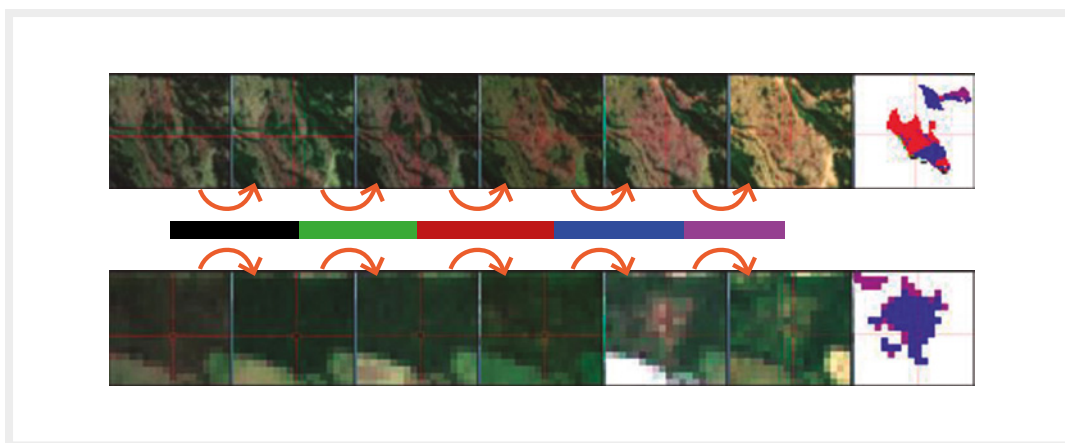
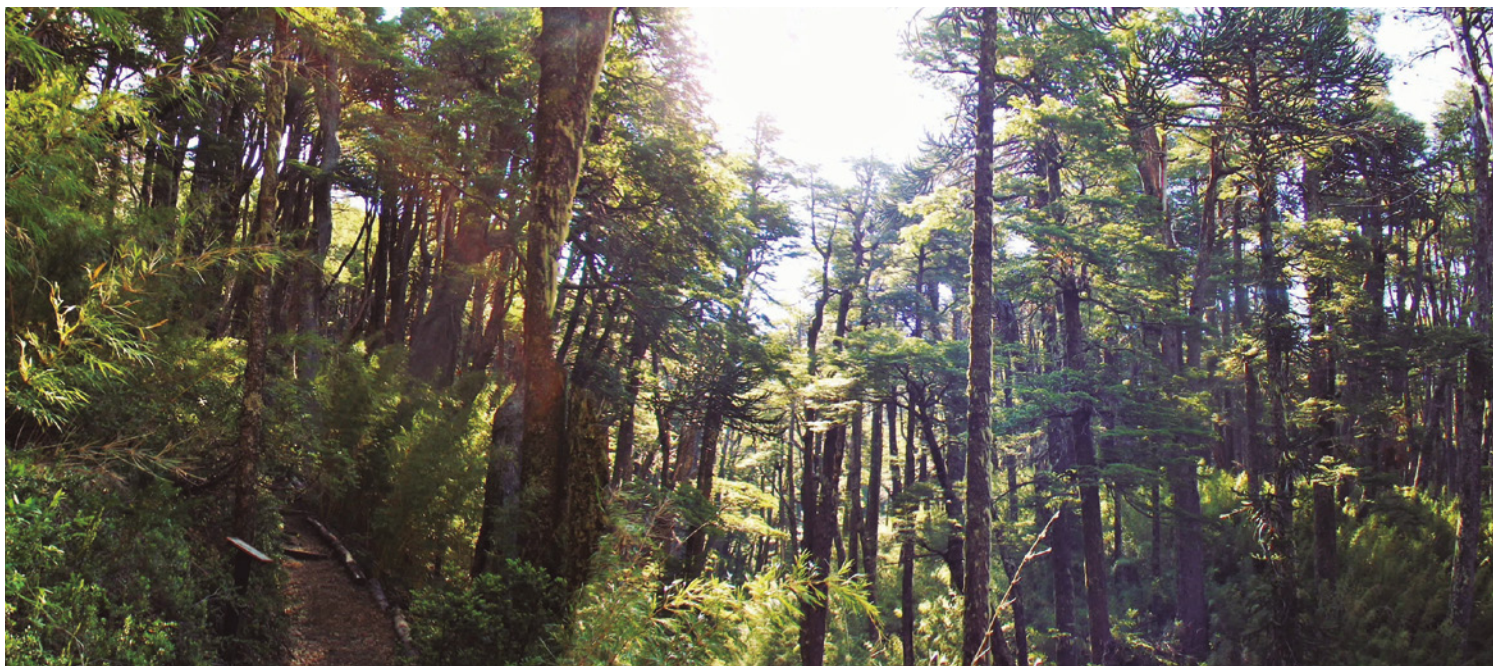


Figura 6. Ejemplo de las seis imágenes utilizadas para el análisis de año-móvil (1° periodo), presentadas en una composición RGB-432 del sensor OLI/Landsat-8. Los colores representan los diferentes intervalos de tiempo en que se generó la pérdida de vegetación.



4. Implementación institucional del SAT en CONAF

El objetivo principal de la implementación de un Sistema de Alerta Temprana de Cortas en Recursos Vegetacionales con énfasis en Bosque Nativo es asegurar la sostenibilidad y sustentabilidad de los recursos vegetacionales, y deberá ser de múltiple propósito, permitiendo hacer más eficientes las actividades de fiscalización relativas al cumplimiento de la legislación forestal, contribuir a la actualización del Catastro de los Recursos Vegetacionales del país y contribuir al cumplimiento de los compromisos derivados de la adopción de la Estrategia Nacional de Cambio Climático.

De esta forma se espera en el corto y mediano plazo: detección de intervenciones ilegales en bosque nativo, detección oportuna de pérdidas, evitando o disminuyendo la pérdida y/o degradación de bosque nativo y por último lograr un efecto disuasivo a otros agentes, desincentivando usos no legales.

En la actualidad con financiamiento de proyecto GEF Sistema Integrado de Monitoreo Forestal (SIMEF)

se está desarrollando en la provincia de Chiloé un proyecto piloto para la implementación del Sistema de Alerta Temprana, destinado a llevar al territorio el Sistema y estudiar y evaluar junto a los fiscalizadores, el cambio en las formas tradicionales de fiscalización, evaluando los tiempos de respuesta y la eficiencia y eficacia de la puesta en marcha del Sistema.

Debido a que diversos estudios de caso e información empírica, han arrojado que la corta en bosques nativos se verifica en pequeñas superficies y junto a la necesidad de alinear la definición de bosque nativo contenida en el Catastro a la definición legal de bosque contenida en la ley N°20.283, el Departamento de Monitoreo de Ecosistemas Forestales ha comenzado a levantar la información de los bosques nativos de superficie sobre 0,5 ha y con un ancho de 40 m.

De forma paralela y coordinada, profesionales de la gerencia de Fiscalización y Evaluación Ambiental

están programando en la plataforma Google Earth Engine, las aplicaciones que permitirán obtener los resultados del componente monitoreo para la totalidad del país.

El desarrollo vertiginoso de los sensores remotos en los últimos años, la disponibilidad de imágenes satelitales gratuitas, tales como Landsat 8 y Sentinel II y el desarrollo de herramientas como Google Earth Engine, plataforma que permite el desarrollo de algoritmos y la ejecución de procesos en servidores virtuales de alta capacidad de procesamiento reduciendo los costos de tiempo y requerimientos de equipamiento, permitirá la implementación efectiva a nivel nacional del Sistema de Alerta Temprana de cambios en la vegetación nativa.

La iniciativa está basada en la utilización de software Open Source y opciones colaborativas, a objeto de prescindir de costos asociados a licencia además de facilitar el intercambio y enriquecimiento de la información por parte de múltiples usuarios. En este sentido se considera el uso conjunto de diversas herramientas asociadas a la plataforma Google: *Google Earth Engine (GEE)*, *Google Drive (GD)*, *Collect Earth (CE)* y *Google Earth (GE)*.

La ventaja de *GEE* reside en la factibilidad de acceder a toda la colección de imágenes satelitales distribuida por la NASA y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), sin necesidad de descarga ni utilización de software adicional, lo cual elimina los requisitos de almacenamiento adicional y costos de licencia, respectivamente. Por otro lado, *GD* está orientado al resguardo y distribución de las coberturas en un entorno multiusuario, mientras que *CE* permite la recopilación de información de terreno mediante formularios, dispuestos sobre *GE*.

Para el desarrollo de la propuesta de implementación se han considerado cuatro etapas claves, las cuales están directamente vinculadas a los componentes incluidos en el diseño conceptual.

1. Generación de zonas de pérdida de vegetación

Comprende la selección y procesamiento de imágenes satelitales *Landsat-8*, como asimismo, la generación de zonas de pérdida de vegetación en formato vectorial, mediante un algoritmo construido en *Google Earth Engine* y la utilización del índice NDII.

2. Selección de polígonos

Representa la selección de los polígonos que serán inspeccionados en terreno, utilizando un conjunto criterios definidos por cada equipo regional, con base en la realidad y limitaciones de cada territorio. En este sentido, el proyecto Sistema de Alerta Temprana (SAT) proveerá un software que incorpora una serie de variables y criterios para acotar el universo de polígonos de cambio.

3. Verificación en terreno

Corresponde a la revisión en terreno de un porcentaje de aquellos polígonos seleccionados en el paso anterior, mediante inspecciones prediales o controles de cumplimiento a planes de manejo, según corresponda.

4. Retroalimentación del sistema

Comprende la captura de información en terreno de una serie de parámetros predefinidos, los cuales servirán como insumo para enriquecer la información contenida en el Catastro, como también, las coberturas históricas de pérdida de vegetación que almacenará el Departamento de Fiscalización Forestal. Lo anterior será desarrollado mediante el uso de formularios construidos en *Collect Earth*.

Para que el Sistema de Alerta Temprana esté en pleno funcionamiento sobre todos los procesos de la Fiscalización, entregando además insumos hacia el SIT y los monitoreos y actualizaciones del Catastro; y generando información necesaria para los compromisos de la Estrategia de Cambio Climático, deben concurrir algunos requisitos mínimos tales como: establecer la periodicidad de los análisis y los mapas de cambio, establecer los flujos de información, agregar a los informes de inspección de fiscalización algunas variables propias del Catastro, construir manuales de procedimientos, tener un Catastro de mayor escala, tener los planes de manejo espacialmente explícito y el aspecto más importante involucramiento de los profesionales fiscalizadores en el proceso.

En la actualidad, mediante el trabajo conjunto de las diferentes áreas técnicas de CONAF, se están abordando las limitantes expresadas precedentemente, por lo que se prevé la implementación al más breve plazo del Sistema de Alerta Temprana de Cortas no autorizadas.



5. Potencialidad del SAT en otros servicios públicos

El desarrollo del SAT ha sido inicialmente orientado a sus aplicación en ecosistemas forestales, pero sus capacidades para el monitoreo de dinámicas podrían ser ampliadas a diferentes recursos vegetacionales o diversos usos de la tierra, tal como fue expresado por el Comité Nacional del Proyecto MST, compuesto por profesionales de INDAP, SAG, ODEPA y Ministerio de Medio Ambiente, durante la exposición de los resultados finales del mismo.

Dicho interés derivó en una propuesta para el análisis específico por cada uno de los servicios anteriormente mencionados con el objetivo identificar aplicaciones específicas asociadas a detección de cambio que el SAT tendría para usos no forestales vinculadas al manejo sustentable de las tierras.

Después de una serie de reuniones bilaterales entre CONAF y los servicios públicos involucrados y el análisis de la herramienta por expertos en geomática de cada uno de los servicios se han realizado una serie de recomendaciones con objetivo de orientar el desarrollo del sistema hacia

una herramienta más integral que contribuya a la gestión de las instituciones y como fin último al manejo sustentable de los recursos naturales del país.

Las principales ventajas, recomendaciones de mejora y observaciones generales se resumen a continuación:

1. Respecto a la potencial vinculación e integración a labores asociadas al manejo sustentable de la tierra

Se visualiza que la información que posee y entrega el SAT podría ser empleada para el desarrollo de proyectos de caracterización de ecosistemas, especies, especies exóticas invasoras, área protegidas, humedales y sitios prioritarios. Además se podría integrar información para análisis de la evolución de los cambios de uso como tal, o asociados a herramientas de fomento específicas. De la misma forma, se podría complementar con más datos para estimaciones de pérdida de biomasa y su impacto, por ejemplo, en la agricultura.



2. Respecto a los indicadores actualmente analizados o potencialmente relevantes de analizar en el contexto de degradación de las tierras

Esta información es relevante para las temáticas de ecosistemas, cambio climático, producción de carbono y evolución en los cambios de uso del suelo, entre otras. Especial mención a los altos costos involucrados para levantar información sobre el estado (nivel de degradación) del suelo, información fundamental para la aplicación de programas relevantes dentro del accionar de las instituciones. Se destaca la necesidad de diseño de mecanismos de monitoreo que permitan determinar pérdidas o riesgos de pérdida de este recurso, ya que puede ser muy significativo para las funciones del Minagri.

3. En relación a datos relevantes de incluir y que no estén actualmente presentes en el SAT

Datos relevantes para diversas aplicaciones corresponden a datos climáticos (precipitación, temperatura). En aplicaciones relacionadas a la restauración y manejo, se resalta el interés de algunos servicios en incluir, por ejemplo los programas de reforestación. Por otro lado, establecer parámetros de detección de cambios con imágenes

satelitales con otros índices contribuiría al estudio de las dinámicas sobre otras coberturas de la tierra.

En línea con el concepto de riesgo, se propone agregar una cobertura con las “malas conductas” cometidas. De esta forma, se podría mantener una cobertura con unidades que en determinado periodo de tiempo hayan sufrido “deterioro” por acción antrópica directa. Este antecedente asociado a distancia y pertenencia (propietario) podría ser considerado para definir áreas o unidades geográficas con riesgo potencial.

4. Respecto a asignación de prioridades para evaluar, por ejemplo, las condiciones de riesgo

La asignación de prioridades es sin duda adecuada para el propósito de detectar cortas ilegales, sin embargo para utilizarlo en otro tipo de ejercicios de planificación o caracterización de coberturas de suelo, es necesario reevaluarlas. Se recomendó estudiar modificaciones al sistema, para que éste permitiera el ajuste interactivo del peso de cada variable que determina las condiciones de riesgo. Por ejemplo, la realidad geográfica de un determinado lugar podría plantear la necesidad de modificar los umbrales de cada categoría.



Corporación Nacional Forestal

Unidad de Cambio Climático y Servicios Ambientales (UCCSA)

Gerencia de Desarrollo y Fomento Forestal (GEDEFF)

Corporación Nacional Forestal (CONAF)

Ministerio de Agricultura de Chile

www.enccrv-chile.cl

www.conaf.cl

Paseo Bulnes 377, Oficina 207

Santiago de Chile