

**ANÁLISIS DE LA DEFOLIACIÓN POR PLAGA FORESTAL SIREX NOCTILIO  
EN PINUS RADIATA EN LA PROVINCIA DE BIOBÍO A TRAVÉS DE  
IMÁGENES SATELITALES EN EL PERIODO 2012-2018**

Fernanda Haydée Medina Labrín

Proyecto de Título presentado al  
Departamento de Ciencias Geodésicas y Geomática  
Universidad de Concepción, Campus Los Ángeles

En cumplimiento del requisito parcial

Para obtener el título de

**Ingeniero Geomático**

Escrito bajo la orientación del profesor

Dr. Guido Staub (Dpto. Cs. Geodésicas y Geomática)

Aprobado por la comisión

Dr. Henry Montecino Castro (Dpto. Cs. Geodésicas y Geomática)

Mg. Sc. Carolina Bouniot Escobar (Dpto. Cs. Geodésicas y Geomática)

Los Ángeles

[Abril, 2020]

## RESUMEN

La provincia de Biobío es una provincia Chilena, perteneciente a la región del Biobío; gran parte de su superficie se encuentra cubierta de distintas especies forestales, siendo *Pinus radiata* la predominante. Esta especie es susceptible a la plaga *Sirex noctilio* quien a partir del proceso de oviposición provoca daño en los tejidos vegetales del árbol, ocasionando su muerte.

El presente proyecto tuvo por finalidad analizar la defoliación causada por esta plaga en el periodo 2012-2018, para ello se utilizaron imágenes satelitales de Landsat 7 y 8 en conjunto con el cálculo del NDVI.

Se aplicó la metodología planteada por Sánchez de la Orden et al., (2005) & Herrera (2012), para analizar el estado de la defoliación de la especie *Pinus radiata*; y para el estado de la vegetación se empleó la investigación planteada por Taipale (2018).

La superficie total de cambio en la vegetación vigorosa durante estos 7 años de estudio fue de 4324,37 km<sup>2</sup>; y la vegetación enferma disminuyó en 715,93 km<sup>2</sup>.

Este trabajo abre puertas para el estudio del seguimiento de plagas forestales, analizando el estado de la vegetación en un periodo determinado.

Palabras Claves: Provincia de Biobío, Defoliación, *Sirex noctilio*, *Pinus radiata*, Satélite *Landsat 7 y 8*, NDVI.

## **DEDICATORIA**

*A mis padres, Alejandra y Guillermo.*



## AGRADECIMIENTOS

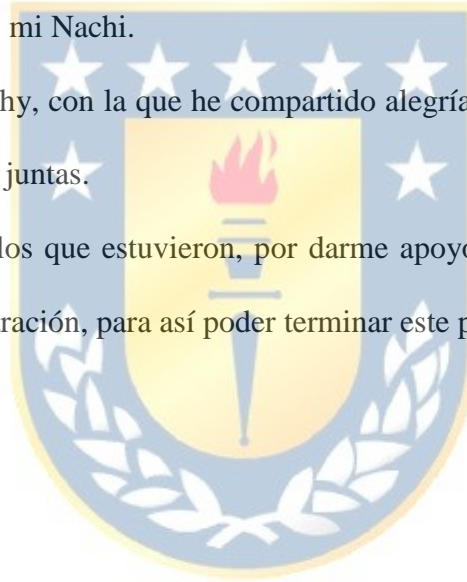
Quisiera expresar mis sinceros agradecimientos a mi profesor guía, Guido Staub, quien en todo momento me motivó a seguir avanzando y no darme por vencida a lo largo de esta investigación.

A todo mi familia en especial a mis padres Alejandra y Guillermo y mis hermanos, que me apoyaron en todos los ámbitos.

Quisiera destacar a la persona que ha compartido conmigo este proceso, quien a pesar de todo estuvo ahí apoyándome, mi Nachi.

A mi compañera, amiga, Kathy, con la que he compartido alegrías y tristezas, pero como dijimos esto lo terminamos y juntas.

Gracias a los que están y a los que estuvieron, por darme apoyo, ánimo y sacarme una sonrisa en momentos de frustración, para así poder terminar este proceso. Gracias a todos.



## Índice de Contenidos

1.	Introducción.....	13
2.	Objetivos.....	14
2.1.	Objetivo General.....	14
2.2.	Objetivos Específicos.....	14
3.	Marco Teórico.....	15
3.1.	Antecedentes.....	15
3.1.1.	Defoliación a causa de plagas forestales.....	15
3.1.2.	Sensores Remotos en aplicaciones de detección de enfermedades.....	18
3.2.	Caracterización de la zona de estudio.....	21
3.3.	Sirex noctilio.....	22
3.4.	Percepción Remota.....	30
3.5.	Firma Espectral.....	32
3.5.1.	Reflectividad de la vegetación.....	32
3.6.	Características generales de las Imágenes Landsat.....	35
3.7.	Procesamiento de imágenes.....	36
3.7.1.	Corrección Gap Fill.....	36
3.7.2.	Corrección Radiométrica.....	37
3.7.3.	Corrección atmosférica.....	39
3.8.	Índice NDVI.....	39
4.	Metodología.....	42
4.1.	Imágenes Satelitales.....	42
4.2.	Cálculo Índice NDVI y Reclasificación.....	44
4.2.1.	Extracción de valores de píxel.....	45
5.	Resultados y Análisis.....	47
5.1.	Superficie de especie Pinus radiata.....	47
5.2.	Mapa de cambio en la vegetación.....	51
5.3.	Año 2012.....	54
5.4.	Año 2013.....	55
5.5.	Año 2014.....	57

5.6.	Año 2015.....	59
5.7.	Año 2016.....	61
5.8.	Año 2017.....	63
5.9.	Año 2018.....	65
5.10.	Extracción de valores de píxel.....	66
5.11.	Estudio realizado en Localidad de Loncopangue. ....	67
6.	Conclusiones y consideraciones finales.....	71
7.	Referencias.....	74
8.	Anexos .....	81
8.1.	Coordenadas focos seleccionados por cada año de estudio. ....	81
8.1.1.	Año 2012.....	81
8.1.2.	Año 2013.....	81
8.1.3.	Año 2014.....	82
8.1.4.	Año 2015.....	82
8.1.5.	Año 2016.....	83
8.1.6.	Año 2017.....	83
8.1.7.	Año 2018.....	83
8.2.	Valores digitales extraídos de la matriz de la imagen del NDVI. ....	84
8.2.1.	Año 2012.....	84
8.2.2.	Año 2013.....	87
8.2.3.	Año 2014.....	90
8.2.4.	Año 2015.....	94
8.2.5.	Año 2016.....	97
8.2.6.	Año 2017.....	100
8.2.7.	Año 2018.....	104
8.3.	Distribución de la especie Pinus radiata en la provincia de Biobío. ....	104
8.4.	NDVI periodo 2012 – 2018.....	107

## Lista de Tablas

Tabla 1: Comunas de la Provincia de Biobío. Nota: Elaboración propia. ....	21
Tabla 2: Características de cada una de las bandas de los sensores Landsat 7 y 8. Recuperado de: Chuvieco, 2005. ....	35
Tabla 3: Fecha de las imágenes del satélite Landsat 7 y 8. Fuente: Elaboración propia. .	43
Tabla 4: Intervalos de Reclasificación de NDVI. Fuente: Elaboración propia.....	44
Tabla 5: Clasificación de clases de pino. Nota: Elaboración propia.....	48
Tabla 6: Superficie de clases del estado de especie <i>Pinus radiata</i> . Nota: Elaboración propia. ....	49
Tabla 7: Matriz de transición. Nota: Elaboración propia.....	51
Tabla 8: Matriz de cambio periodo 2012-2018. Nota: Elaboración propia. ....	52
Tabla 9: Área reclasificación de NDVI año 2012. Fuente: Elaboración propia. ....	55
Tabla 10: Área reclasificación de NDVI año 2013. Fuente: Elaboración propia. ....	56
Tabla 11: Área reclasificación de NDVI año 2014. Fuente: Elaboración propia. ....	58
Tabla 12: Área reclasificación de NDVI año 2015. Fuente: Elaboración propia. ....	60
Tabla 13: Área reclasificación de NDVI año 2016. Fuente: Elaboración propia. ....	62
Tabla 14: Área reclasificación de NDVI año 2017. Fuente: Elaboración propia. ....	64
Tabla 15: Área reclasificación de NDVI año 2018. Fuente: Elaboración propia. ....	66
Tabla 16: Promedio de ND. Fuente: Elaboración propia.....	67
Tabla 17: Valores digitales extraídos de la matriz de la imagen del NDVI 2012. Fuente: Elaboración propia. ....	68

Tabla 18: Valores digitales extraídos de la matriz de la imagen del NDVI 2013. Fuente: Elaboración propia.....	68
Tabla 19: Valores digitales extraídos de la matriz de la imagen del NDVI 2014. Fuente: Elaboración propia.....	69
Tabla 20: Valores digitales extraídos de la matriz de la imagen del NDVI 2015. Fuente: Elaboración propia.....	69
Tabla 21: Valores digitales extraídos de la matriz de la imagen del NDVI 2016. Fuente: Elaboración propia.....	69
Tabla 22: Valores digitales extraídos de la matriz de la imagen del NDVI 2017. Fuente: Elaboración propia.....	70
Tabla 23: Valores digitales extraídos de la matriz de la imagen del NDVI 2018. Fuente: Elaboración propia.....	70
Tabla 24: Coordenadas de para el año 2012. Nota: Elaborada a partir de registros SAG.	81
Tabla 25: Coordenadas de puntos aleatorios para el año 2013. Nota: Elaborada a partir de registros SAG.....	81
Tabla 26: Coordenadas de puntos aleatorios para el año 2014. Nota: Elaborada a partir de registros SAG.....	82
Tabla 27: Coordenadas de puntos aleatorios para el año 2015. Nota: Elaborada a partir de registros SAG.....	82
Tabla 28: Coordenadas de puntos aleatorios para el año 2016. Nota: Elaborada a partir de registros SAG.....	83
Tabla 29: Coordenadas de puntos aleatorios para el año 2017. Nota: Elaborada a partir de registros SAG.....	83

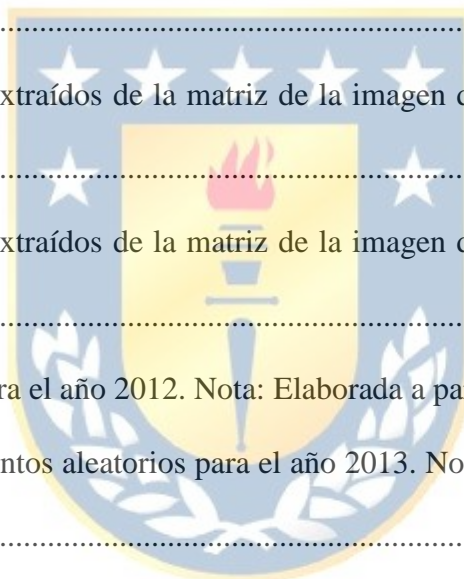




Tabla 30: Coordenadas de puntos para el año 2018. Nota: Elaborada a partir de registros  
SAG..... 83



## Lista de Figuras

Figura 1: Mapa de ubicación Provincia de Biobío. Nota: Elaboración propia. ....	22
Figura 2: A: Hembra adulta <i>Sirex noctilio</i> . B: Macho adulto <i>Sirex noctilio</i> . ....	23
Figura 3: Ciclo biológico <i>Sirex noctilio</i> . Recuperado de: Herrera, 2012. ....	24
Figura 4: Dalo provocado por <i>Sirex noctilio</i> en <i>Pinus radiata</i> . ....	25
Figura 5: Inoculación de parcelas cebo de <i>Deladenus siricidicola</i> . Recuperado de: SAG, 2018b. ....	27
Figura 6: A: <i>Megarhyssa nortoni</i> B: <i>Rhyssa persuasoria</i> C: <i>Ibalia leucospoides</i> . Recuperado de SAG, 2018b. ....	28
Figura 7: Área cuarentenada Provincia de Biobío. Fuente: Elaboración propia. ....	29
Figura 8: Espectro Electromagnético. Recuperado de Khan Academy, 2015. ....	31
Figura 9: Firma espectral de la vegetación sana. Recuperado de Chuvieco, 1995. ....	33
Figura 10: Espectro de absorción de los pigmentos. Recuperado de Khan Academy, 2015. ....	34
Figura 11: A:Error de bandeo. B: Resultado corrección Gap Fill. Fuente: Elaboración propia. ....	37
Figura 12: A: Imagen corregida. B: Cálculo NDVI. Fuente: Elaboración propia. ....	45
Figura 13: Especie <i>Pinus Radiata</i> en la Provincia de Biobío. Nota: Elaboración propia. ....	47
Figura 14: Distribución de Especie <i>Pinus radiata</i> en la provincia de Biobío año 2012....	48
Figura 15: Distribución de Especie <i>Pinus radiata</i> en la provincia de Biobío año 2018....	49
Figura 16: Comportamiento de las clases de la especie <i>Pinus radiata</i> . Nota: Elaboración propia. ....	50

Figura 17: Mapa de cambio en la vegetación periodo 2012-2018 en la Provincia de Biobío. .....	53
Figura 18: Cálculo NDVI y focos año 2012. Nota: Elaboración propia.....	54
Figura 19: Reclasificación NDVI año 2012. Nota: Elaboración propia. ....	54
Figura 20: Cálculo NDVI y focos año 2013. Nota: Elaboración propia.....	55
Figura 21: Reclasificación NDVI año 2013. Nota: Elaboración propia. ....	56
Figura 22: Cálculo NDVI y focos año 2014. Nota: Elaboración propia.....	57
Figura 23: Reclasificación NDVI año 2014. Nota: Elaboración propia. ....	58
Figura 24: Cálculo NDVI año 2015. Nota: Elaboración propia. ....	59
Figura 25: Reclasificación NDVI año 2015. Nota: Elaboración propia. ....	59
Figura 26: Cálculo NDVI y focos año 2016. Nota: Elaboración propia.....	61
Figura 27: Reclasificación NDVI año 2016. Nota: Elaboración propia. ....	61
Figura 28: Cálculo NDVI y focos año 2017. Nota: Elaboración propia.....	63
Figura 29: Reclasificación NDVI año 2017. Nota: Elaboración propia. ....	63
Figura 30: Cálculo NDVI y focos año 2018. Nota: Elaboración propia.....	65
Figura 31: Reclasificación NDVI año 2018. Nota: Elaboración propia. ....	65
Figura 32: Localización de foco en localidad de Loncopangue en imagen NDVI 2012..	67
Figura 33: Distribución de Especie Pinus radiata en la provincia de Biobío año 2013..	105
Figura 34: Distribución de Especie Pinus radiata en la provincia de Biobío año 2014..	105
Figura 35: Distribución de Especie Pinus radiata en la provincia de Biobío año 2015..	106
Figura 36: Distribución de Especie Pinus radiata en la provincia de Biobío año 2016..	106
Figura 37: Distribución de Especie Pinus radiata en la provincia de Biobío año 2017..	107

## Lista de Símbolos, Nomenclatura o Abreviaciones

CONAF: Corporación Nacional Forestal.

CORMA: Corporación Nacional de la Madera.

IRC: Infrarrojo cercano

LAI: Índice de Área Foliar.

NASA: *National Aeronautic and Space Administration.*

ND: Número Digital.

NDVI: Índice de Vegetación Normalizado.

NIR: *Near Infrared.*

OLI: *Operational Land Imager.*

RVI: *Ratio Vegetation Index.*

SAG: Servicio Agrícola y Ganadero.

SWIR: *Short Wavelength Infrared.*

TCAVI: *Transformed Soil Adjusted VI.*

TIRS: *Thermal Infrared.*

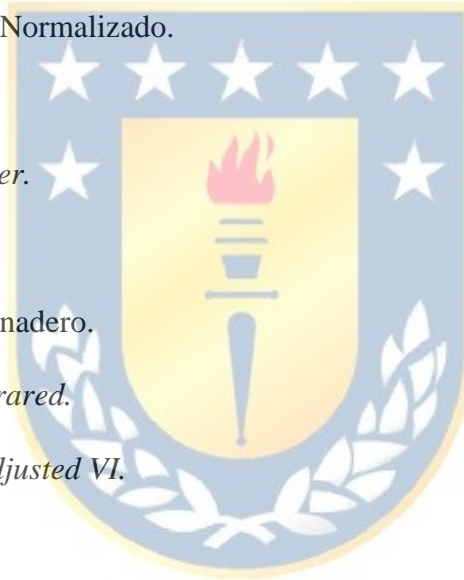
TOA: *Sensor Top of Atmosphere.*

TVI: *Transformed Vegetation Index.*

USGS: *United States Geological Survey.*

UTM: Universal Transversal de Mercator.

WGS-84: *World Geodetic System 1984.*



## 1. Introducción.

En la provincia de Biobío el área forestal es uno de los principales sustentos económicos (Gysling et al., 2016). Tal patrimonio ha permitido que el sector forestal tenga una significativa participación en la economía del país, es así como el año 2017, las exportaciones del sector forestal alcanzaron los 5.376 millones de dólares, correspondiendo al 7,9% del total de las exportaciones del país.

De acuerdo con los datos de CORMA (2018), al año 2014 las plantaciones forestales chilenas cubrían una superficie total de 2.426.722 hectáreas, de las cuales el 59,1% correspondían a la especie *Pinus radiata*, seguida por *Eucalyptus globulus* Labill. (23,6%) y *Eucalyptus nitens* Deane & Maiden (10,5%).

La provincia se ha visto fuertemente amenazada por la presencia de la plaga forestal *Sirex noctilio*, que ataca principalmente a la especie de *Pinus radiata*, llegando a provocar la muerte de los pinos infestados. La presencia de esta plaga se manifiesta a través de gotas de resina y perforaciones en fuste, clorosis y defoliación, mortalidad de árboles afectados y galerías en la madera. El principal impacto económico directo de la presencia de esta plaga en Chile, es su efecto sobre la exportación de madera.

A la fecha el SAG realiza inoculaciones a la especie de *Pinus radiata* para evitar la dispersión de *Sirex noctilio*. Pero no se ha elaborado un proyecto que contemple el diseño y ejecución de un programa de monitoreo constante respecto a la propagación y distribución de *Sirex noctilio*, que permita planificar y tomar decisiones que contribuyan en la protección y recuperación de la especie *Pinus radiata* en la Provincia de Biobío, con el propósito de prevenir el ataque temprano de esta plaga forestal.

## 2. Objetivos.

### 2.1. Objetivo General.

Analizar la defoliación de especie Pinus Radiata causada por plaga forestal Sirex Noctilio en la Provincia de Biobío en el periodo 2012-2018.

### 2.2. Objetivos Específicos.

- Determinar la distribución geográfica actual de la plaga en las áreas afectadas.
- Comparar resultados con trabajo realizado en el periodo 2010-2011.
- Generar mapa de cambio de la defoliación existente en la Provincia de Biobío en el periodo 2012-2018.



### 3. Marco Teórico.

#### 3.1. Antecedentes.

##### 3.1.1. Defoliación a causa de plagas forestales.

En muchos ecosistemas forestales la defoliación por insectos ha sido la principal causa de perturbaciones que conducen a pérdidas importantes de madera y carbono (Fraser & Latifovic, 2005). Los insectos defoliadores son en muchas ocasiones el principal factor responsable de las pérdidas anuales en el rendimiento de los bosques (Fleming & Volney, 1995), y frecuentemente aumentan la susceptibilidad del arbolado hospedante a plagas secundarias, generando cambios directos en la dinámica de las masas forestales (Wulder & Franklin, 2007).

Desde principios de los años 90 numerosos investigadores se han centrado en emplear sensores ópticos o térmicos para detectar y cartografiar perturbaciones en los bosques, debidas a fuegos, cortas o ataques de plagas. La defoliación en masas forestales provoca cambios en la reflectancia y puede emplearse para detectar los daños causados por los insectos. Las imágenes satelitales permiten a los gestores establecer de forma rápida el nivel del daño actual, de modo que se pueda actuar de forma diferente según el grado de infección. Asimismo, permite a los investigadores investigar la defoliación debida a insectos en áreas muy extensas, de modo que la dinámica seguida por los brotes se puede relacionar con otros parámetros ambientales de manera que se puedan entender mejor y, de algún modo, predecirlos (Luther, Franklin, Hudak, & Meades, 1997). Los primeros trabajos realizados en los años 80 demostraron la utilidad de las imágenes Landsat para detectar los daños causados por polillas (*Lymantria dispar*) y gusanos de los abetos

(*Choristoneura fumiferana*; *C. occidentalis*) en los bosques norteamericanos (Dottavio & Williams, 1983; Franklin, Waring, McCreight, Cohen, & Fiorella, 1995). Estas imágenes se han continuado empleando para detectar ataques de otros insectos (Radeloff, Mladenoff, & Boyce, 1999). En la actualidad la aparición de nuevos sensores, la disminución en los costes de adquisición de imágenes de mayor resolución y los problemas existentes con Landsat 7 ha inducido al empleo de nuevas resoluciones (espaciales y espectrales, fundamentalmente) y nuevos sensores en la detección de áreas defoliadas. La posibilidad de emplear clasificadores orientados a objetos que consideran la información espectral y la información contextual favorece la fusión de datos y el empleo combinado de diferentes fuentes de información, de modo que se produce una integración entre la información espectral y temática para mejorar los resultados.

La mayoría de los estudios de defoliación en masas forestales realizados han empleado imágenes procedentes de sensores multiespectrales de resolución media, principalmente los correspondientes al programa Landsat y SPOT. Ello se ha debido a que durante muchos años han sido las únicas imágenes con un acceso sencillo y cuyas resoluciones (espacial, espectral, temporal, radiométrica...) se ajustaban a los requerimientos de los investigadores. La proliferación de nuevos sensores en la actualidad ha diversificado el material de partida para este tipo de estudios (Wulder & Franklin, 2003).

Muchos de los estudios realizados en Centroeuropa se han ocupado no sólo de detectar zonas defoliadas, sino todas aquellas afectadas por el denominado “decaimiento de los bosques” (*Forest decline*; *Waldsterben*) (Rock, Vogelmann, Williams, Vogelmann, & Hoshizaki, 1986; Vogelmann & Rock, 1988; Ekstrand, 1990 y 1994; Ardö, 1998). Este término se emplea para describir el deterioro en el estado sanitario de los bosques,



incluyendo cambios metabólicos, problemas en la reproducción, senescencia temprana, decoloración, alteraciones en el crecimiento, defoliación y, finalmente, muerte del árbol. Los métodos empleados por estos autores se han adaptado posteriormente a la detección de zonas defoliadas por insectos (Radeloff et al., 1999).

Numerosos métodos empleados en un principio para la detección de cambios se han aplicado a zonas forestales (Collins & Woodcock, 1996, Coppin & Bauer, 1996) y pueden emplearse para detectar defoliación causada por insectos. Entre estos métodos se deben destacar por su sencillez y relativa robustez el método de “diferencias en las imágenes” y el de “diferencias en el ratio” (Green, Kempka, & Lackey, 1994), si bien no son adecuados por no reflejar correctamente las diferencias en el ángulo de elevación del sol, las condiciones atmosféricas o los cambios fenológicos entre imágenes tomadas en diferentes fechas (Singh, 1989).

Otros métodos de detección de cambio más sofisticados son aquellos que realizan transformaciones en la imagen, tales como la transformación Gramm-Schmidt (Collins & Woodcock, 1994), el análisis de componentes principales (Gong, 1993) o la transformación Tasseled Cap (Collins & Woodcock, 1996). Otros modelos empleados para detectar cambios en la cubierta derivan del modelo de reflectancia de cubiertas de Li-Strahler (Macomber & Woodcock, 1994) y del análisis cambio-vector (Lambin & Strahlers, 1994). En algunos de estos estudios se han logrado como resultado clasificaciones bastante precisas empleando una única imagen (Franklin, 1994), pero los mejores resultados se han obtenido a partir del análisis de series multitemporales de imágenes (Franklin et al., 1995).

En la actualidad se están empleando con éxito como estimadores de la defoliación las variaciones en el índice de área foliar (LAI) (Hall et al., 2003; Eklundh et al., 2003) y con modelos de mezclas (Radeloff et al., 1999).

### **3.1.2. Sensores Remotos en aplicaciones de detección de enfermedades.**

Las propiedades de la superficie de los cultivos hacen posible el seguimiento de la dinámica de la vegetación y su variabilidad espaciotemporal usando varias plataformas de sensores remotos. Los datos satelitales basados en la detección de la sanidad de la vegetación dependen de la relación fuerte entre simples transformaciones de reflectancia del rojo e infrarrojo y la absorción de la radiación fotosintéticamente activa (Apar) de la superficie de la vegetación (Meer *et al.*, 2002).

Varias de estas transformaciones referidas como índices de vegetación se basan en firmas espectrales únicas de la vegetación verde en las porciones de rojo e infrarrojo del espectro y forman la base para cuantificar el estado de la vegetación usando datos de sensores remotos. De acuerdo con Jackson & Huete (1991), los índices de vegetación más comunes son: RVI (Ratio Vegetation Index), NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), PVI (Perpendicular VI) y el TVI (Transformed Vegetation Index) y el TCAVI (Transformed Soil Adjusted VI). Abdullah & Umer (2004) proponen que los daños de las enfermedades y las plagas se pueden medir por variaciones en el contenido de clorofila de las plantas, las cuales pueden ser analizadas por cambios en los patrones de las imágenes espectrales tomadas por los satélites. Estas técnicas usan imágenes multiespectrales para detectar las áreas bajo estrés. Los autores citan diferentes fuentes para las que este sistema fue útil en la evaluación de enfermedades (Brown y Steckler, 1995; Penuelas *et al.*, 1995; Lorenzen

& Jensen, 1989; Sudbrink Jr. *et al.*, 2003; Harris *et al.*, 2001; Gat *et al.*, 1999; Yang y Cheng; 2001; Willers *et al.*, 1999), y el índice de vegetación diferencial normalizada (NDVI, por su sigla en inglés) fue el parámetro que mejor correlación presentó en la evaluación del estado sanitario de los cultivos.

Sánchez de la Orden, Navarro, García, & Cano (2005) estudiaron los procesos de defoliación en un monte alcornocal (San Roque-Cádiz) en España, a partir de una imagen pancromática y otra imagen multiespectral del sensor IKONOS GEO. La información obtenida a partir de las bandas espectrales del sensor (banda 4, e infrarrojo cercano), así como los índices de vegetación normalizado y la relación infrarrojo/rojo (IR/R y NDVI) han mostrado una buena correlación con la defoliación para la banda 4 (banda del infrarrojo cercano) y los índices IR/R y NDVI.

El trabajo realizado por Araque & Jiménez (2009) se realiza en plantaciones de la Zona Central palmera ubicadas en el área de Puerto Wilches, Colombia. El algoritmo desarrollado relaciona la información adquirida del sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) producto MOD09A1 (Reflectancia de la superficie terrestre), con la información de las series históricas del ataque por insectos defoliadores durante el año 2007, clasificando zonas que se diferencian por la frecuencia del ataque de insectos defoliadores. Para caracterizar los patrones de las curvas espectrales, se identifican los valores de las bandas espectrales asociados con la obtención de índices de vegetación, analizando sus series temporales, lo que permite identificar los eventos de defoliación e interpretar los resultados en términos de niveles de defoliación.

En Chile se estudió del seguimiento de la plaga forestal *Sirex noctilio* en el periodo 2010-2011 en la localidad de Loncopangue. En el estudio realizado por Herrera (2012) se

obtuvieron valores para cuantificar el nivel de defoliación de la zona de estudio, estandarizando los valores digitales del estado fitosanitario de acuerdo al valor digital mínimo y máximo, identificando además el desplazamiento que esta tuvo y el monitoreo de la propagación de la plaga forestal. La metodología empleada se basó en el cálculo de NDVI de imágenes ASTER, comparando resultados con las detecciones realizadas por el SAG. Y partir de una imagen de diferencia obtenida entre los periodos se generó el mapa de cambio en la vegetación.

En cuanto al estudio realizado por Rullán (2015), los resultados presentados han mostrado la potencialidad del seguimiento remoto de la defoliación forestal por insectos, tanto en frondosas como en pinos, y en zonas septentrionales como mediterráneas de España, a partir de una detección rentable y disponible del sistema de productos Landsat y del uso de modelos generalistas en función de índices espectrales de vegetación (NDVI). La metodología empleada se basa en diferencias en las longitudes de onda infrarroja, infrarroja cercana (NIR) e infrarroja de onda corta (SWIR), y combinaciones aritméticas de bandas (Coops, Johnson, Wulder, & White, 2006).

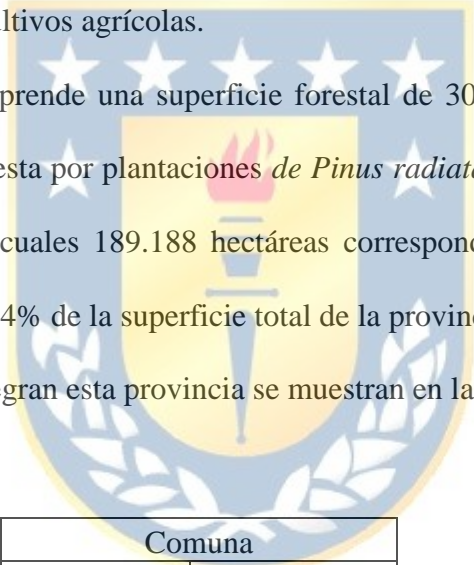
El mayor beneficio de estas metodologías, principalmente el cálculo de NDVI permiten obtener un análisis de la defoliación producto de plagas forestales, analizando áreas foliares y estados de la vegetación. Es común la utilización de imágenes satelitales provenientes de diferentes satélites, las que ayudan al cálculo del índice de vegetación.

### 3.2. Caracterización de la zona de estudio.

La provincia de Biobío es una provincia chilena (figura 1), perteneciente a la región del Biobío. Su capital es la ciudad de Los Ángeles. Tiene una población de 353.315 habitantes según el censo de 2002 y una superficie de 15055,37 km<sup>2</sup> (IDE CHILE, s. f.). Se encuentra ubicada entre las coordenadas 37 y 38° de latitud sur y los 71 y 73° longitud oeste. Esta provincia ha presentado un notable desarrollo en el área comercial, industrial y agropecuaria, destacándose todas las industrias relacionadas con el rubro forestal, lo que se suma a los tradicionales cultivos agrícolas.

La provincia de Biobío comprende una superficie forestal de 303.093 hectáreas al año 2017, principalmente compuesta por plantaciones de *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens*, de las cuales 189.188 hectáreas corresponden a la especie *Pinus radiata*, representando un 62,4% de la superficie total de la provincia (INFOR, 2017)

Las catorce comunas que integran esta provincia se muestran en la tabla 1:



Comuna	
Alto Biobío	Negrete
Antuco	Quilaco
Cabrero	Quilleco
Laja	San Rosendo
Los Ángeles	Santa Bárbara
Mulchén	Tucapel
Nacimiento	Yumbel

Tabla 1: Comunas de la Provincia de Biobío. Nota: Elaboración propia.

## Mapa de Ubicación Provincia de Biobío

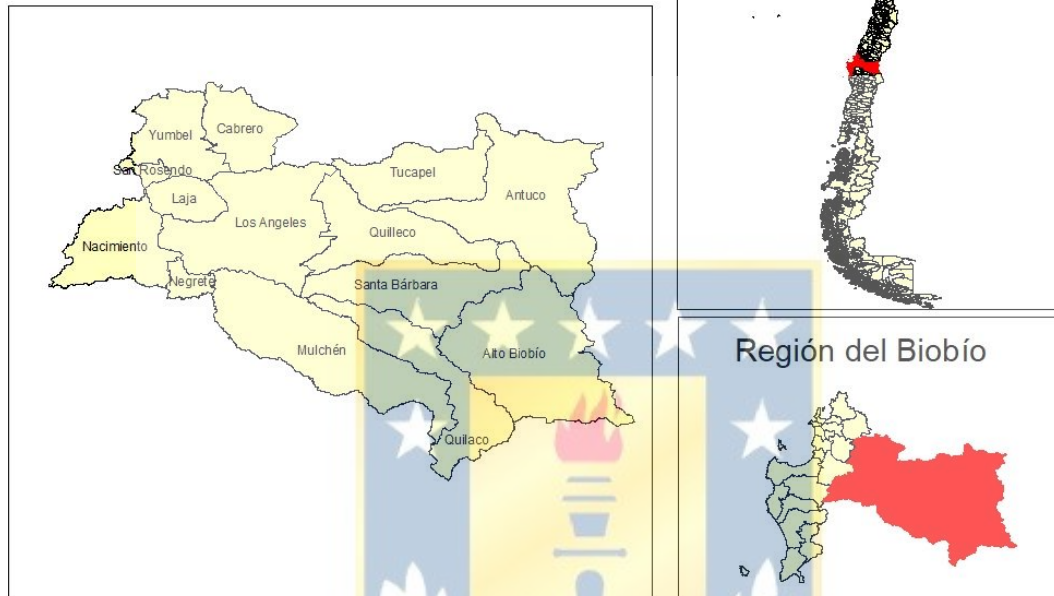


Figura 1: Mapa de ubicación Provincia de Biobío. Nota: Elaboración propia.

### 3.3. *Sirex noctilio*.

La avispa taladradora de la madera (*Sirex noctilio*) es un insecto originario de Europa y Norte de África, el cual es considerado como una plaga asociada a las coníferas de la familia Pinaceas. Afectando principalmente individuos debilitados de los géneros *Larix*, *Picea*, *Abies* y *Pseudotsuga*. Esta plaga se ha desplazado por el mundo en forma accidental, como larvas en embalajes de madera, o por sus propios medios, ya que tiene una alta capacidad de vuelo (20 a 30 km por año).

En Chile, esta plaga fue detectada por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) en el año 2001.

Las avispas adultas son grandes de cuerpos cilíndricos y robustos, siendo el cuerpo de la hembra 2,5 a 4 cm más grande que el del macho. La hembra es de color azul metálico y patas rojizas (Figura 2 A). El macho tiene la misma forma y básicamente es del mismo color, pero presenta dos diferencias notorias aparte del tamaño, estas son los segmentos abdominales de color café amarillento y las patas posteriores que son negras. (Figura 2 B) (Gomez, 2007; Ipinza, Molina Brand, & Gutierrez Caro, 1991).



Figura 2: A: Hembra adulta *Sirex noctilio*. B: Macho adulto *Sirex noctilio*.

Recuperado de: Rojas & Gallardo, 2005.

En promedio, el ciclo biológico de esta avispa se produce en el transcurso de un año. Sin embargo, parte de esta población puede presentar un ciclo más corto de 2 a 3 meses, esta situación se da principalmente cuando el ataque es hacia arboles de menor diámetro y las condiciones climáticas son favorables (Ipinza et al., 1991).

Así también, hay casos donde este periodo se extiende a 2 o 3 años, principalmente cuando las temperaturas disminuyen provocando que la emergencia desde las larvas sea menos

uniforme (Aguilar & Lanfranco, 1988). En cuanto a este último, los machos emanan antes que las hembras, formando enjambres en torno a los ápices más altos de los árboles, lugar donde ocurre el apareamiento. Sin embargo, por tratarse de una especie partenogenética, la hembra no requiere de un macho para aparearse.

El ciclo de esta plaga se ilustra en la figura 3, en la cual se aprecia que desde noviembre a abril es el periodo en el cual la avispa se encuentra en su periodo de adultez, por lo tanto, es este el periodo de mayor infestación a los pinos. Cabe destacar que durante esta etapa la avispa no se alimenta y depende solo de las reservas enérgicas acumuladas durante su fase larvaria.



Figura 3: Ciclo biológico *Sirex noctilio*. Recuperado de: Herrera, 2012.

El esparcimiento de esta especie se da mediante vuelos de corta duración por año, esto debido a que el lapso de vida de las hembras no supera los 5 días; y el de los machos 12 días (Aguilar & Lanfranco, 1988).



Después de este vuelo inicial, las hembras comienzan la oviposición en aquellos árboles que presenten un bajo vigor, para ello taladran varias veces el árbol previo a la postura de los huevos; esto, para asegurarse de que el árbol será colonizado por las larvas.

El sexo de las larvas dependerá de la fertilización de los huevos, de esta manera, aquellos huevos que fueron depositados desde una hembra virgen solo podrán ser machos, sin embargo, aquellos huevos que provienen de una hembra fecundada pueden producir machos y hembras.

Los principales signos que evidencian esta plaga son galerías larvales, orificios de salida de forma circular, gotas de resinación, marchitamiento del follaje, muerte de árboles, clorosis, defoliación y manchado de madera (Rojas & Gallardo, 2005).



*Figura 4: Dalo provocado por Sirex noctilio en Pinus radiata.*

*Recuperado de: Rojas & Gallardo, 2005.*

La importancia de este insecto radica en el hecho que provoca la muerte de los pinos que ataca, debido a que las hembras colocan sus huevos dentro del tronco de los pinos, junto con una sustancia tóxica producida por ellas, la cual cumple la función de infestar el ejemplar, causándole un grave daño en los tejidos vegetales que ocasionan la muerte de los árboles (Rivera, 2019).

En Chile se efectúa un control integrado de plagas, con énfasis en el control biológico mediante la introducción del nematodo *Deladenus siricidicola*, el cual es inoculado en forma artificial en árboles cebos (los que previamente han sido debilitados para atraer la postura del insecto). Este nematodo esteriliza a las hembras. Posteriormente el nematodo es dispersado por el insecto en forma natural. Otros agentes implementados para controlar las poblaciones de *Sirex noctilio* son *Megarhyssa nortoni*, *Rhyssa persuasoria* e *Ibalia leucospoides*. Las liberaciones de estas especies en Chile fueron realizadas por el SAG a partir del año 2006, 2008 y 2009 respectivamente (Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), 2018b).

Según Iván Ramírez Delpín, director regional del SAG de Biobío cita en el diario La Tribuna, 2018 manifestando lo siguiente:

El SAG definió un programa de control y supresión de esta plaga, el que cuenta con una estrategia de control biológico, la cual ha dado buenos resultados, ya que tenemos un buen nivel de parasitismo, lo que nos indica que estamos realizando las cosas bien. Para ello, el SAG en nuestra región cuenta con un insectario en un predio institucional en Los Ángeles, donde se reproduce este biocontrolador.

Además se señala que “Cada liberación consta de un núcleo de este biocontrolador, el que está compuesto de 30 hembras y 30 machos, los que son insertados en bosques dañados por *Sirex noctilio*” (La Tribuna, 2018).

Al respecto, señaló que desde el año 2010 el SAG y el sector privado han realizado liberaciones, además de *Megarhyssa nortoni*, del controlador *Ibalia leucospoides* junto con inoculaciones con el nemátodo *Deladenus siricidicola*, el que corresponde a un pequeño organismo que se produce en los laboratorios del SAG.

Además, se suma una estricta regulación del movimiento de madera fuera del área cuarentenada, la cual tiene como finalidad evitar la dispersión de la plaga hacia zonas no infectadas, ya que los trozos o maderas pueden llevar este insecto en estado de larva o pupa y luego propagarse como avispa adulta a bosques colindantes (La Tribuna, 2015).



*Figura 5: Inoculación de parcelas cebo de *Deladenus siricidicola*. Recuperado de: SAG, 2018b.*

En la figura 6 se muestran los distintos controladores de la Plaga *Sirex noctilio* dispersados por el SAG.

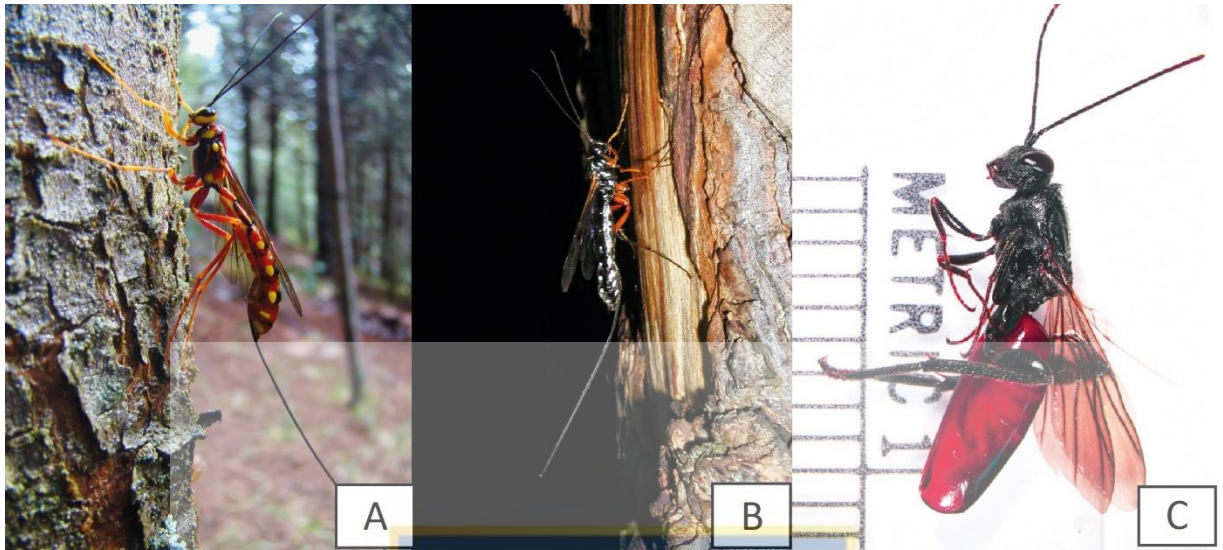


Figura 6: A: *Megarhyssa nortoni* B: *Rhyssa persuasoria* C: *Ibalia leucospoides*. Recuperado de SAG, 2018b.

La distribución actual de esta plaga forestal se encuentra en zonas (hoy cuarentenadas), desde la región del Biobío a la región de Aysén (Aguilar & Lanfranco, 1988; Gomez, 2007).

En la provincia de Biobío actualmente las comunas que se encuentran bajo cuarentena son: Antuco, Cabrero, Laja, Los Ángeles, Nacimiento, Quilleco, Tucapel, Yumbel, donde la plaga ha tenido un avance rápido dentro de estos últimos años, lo cual se atribuye al vuelo natural del insecto o a los movimientos de maderas infestadas (SAG, 2018a).

A continuación, se muestra figura con las comunas que fueron decretadas en cuarentena en la provincia de Biobío.

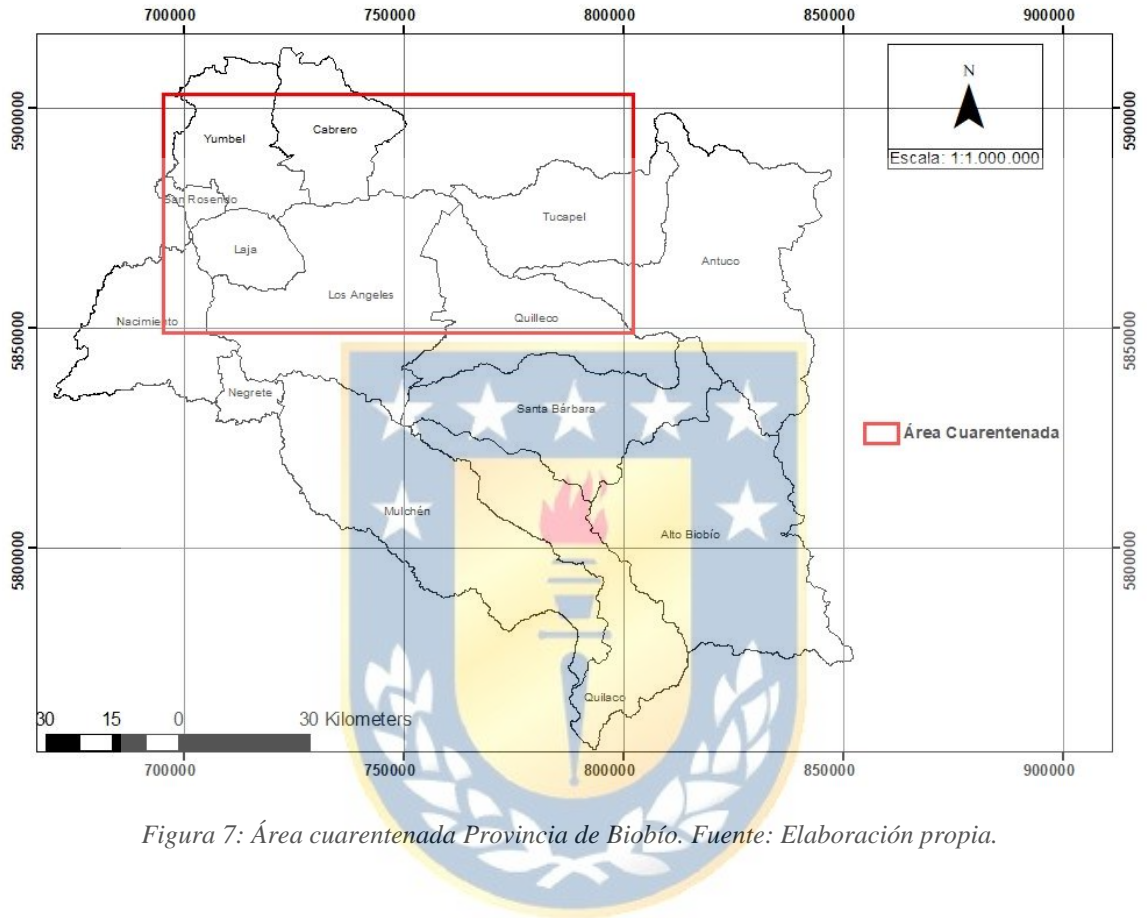


Figura 7: Área cuarentenada Provincia de Biobío. Fuente: Elaboración propia.

No obstante, en Chile se destaca el estudio realizado en la localidad de Loncopangue por Herrera (2012) en el cual se estudió del seguimiento de la plaga forestal *Sirex noctilio* en el periodo 2010-2011, en donde efectivamente fue identificada esta plaga forestal gracias a información proveniente del SAG.

En el estudio realizado por Herrera (2012) se obtuvieron valores para cuantificar el nivel de defoliación de la zona de estudio, estandarizando los valores digitales del estado fitosanitario de acuerdo al valor digital mínimo y máximo, identificando además el

desplazamiento que esta tuvo y el monitoreo de la propagación de la plaga forestal. De acuerdo al estudio presentado por Herrera (2012) la vegetación de la localidad de Loncopangue presenta un decrecimiento en los periodos estudiados, y para representar estos cambios se cartografió la zona afectada, pero que sin embargo para corroborar esta información se menciona que es necesario verificar los resultados con salidas a terreno.

### **3.4. Percepción Remota**

La percepción remota es definida como aquella técnica con la cual se puede obtener información a distancia de los objetos situados sobre la superficie terrestre, sin embargo, para que esto ocurra es necesario una interacción entre el sensor y el objeto. Comúnmente es el sol quien ilumina la superficie terrestre, reflejando la energía en función de la cobertura del suelo. De esta manera el flujo reflejado es recibido por el sensor (Chuvieco, 1995).

Este modo de recibir información por parte de los sensores no es único, clasificando a los sensores en 2 grupos:

- **Sensores pasivos:** Captan la energía electromagnética proveniente de la cubierta terrestre, ya sea producto de la reflexión de los rayos solares o emitida desde focos a elevada temperatura.
- **Sensores activos:** Tienen la capacidad de emitir un haz energético, el que posteriormente es captado tras su reflexión sobre la superficie que se pretende observar.

Así, los elementos presentes en la superficie terrestre son captados por los sensores en diferentes rangos de frecuencia o longitud de onda, estableciéndose una serie de bandas las cuales componen el espectro electromagnético.

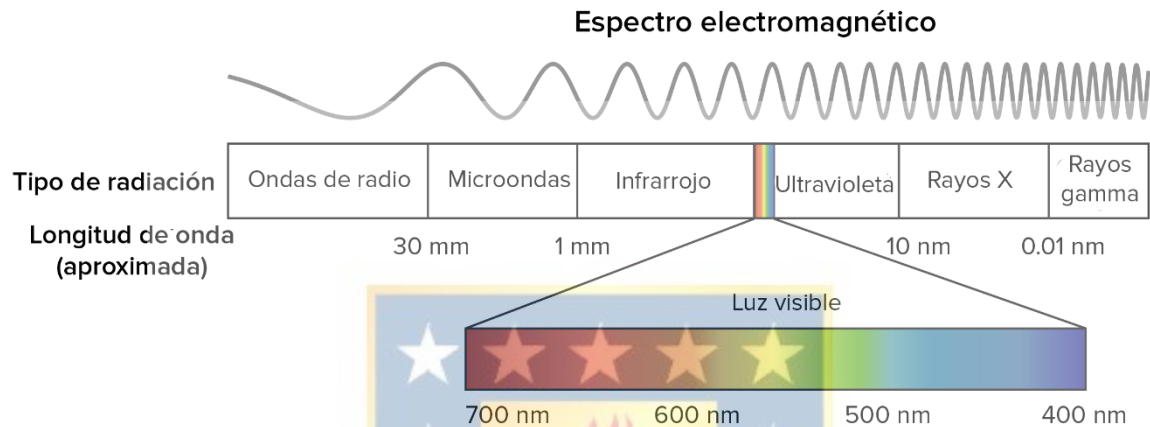


Figura 8: Espectro Electromagnético. Recuperado de Khan Academy, 2015.

Esta radiación emitida o reflejada por la superficie terrestre es captada por los satélites en 4 dimensiones distintas: espacio, tiempo, longitud de onda y radiancia, por ende, se tienen 4 resoluciones distintas:

- **Resolución espacial:** Designa el objeto más pequeño que puede ser distinguido sobre una imagen.
- **Resolución espectral:** Consiste en el número de canales espectrales que es capaz de captar un sensor
- **Resolución radiométrica:** Hace mención a la sensibilidad del sensor, es decir, su capacidad para detectar variaciones en la radiación espectral que recibe.
- **Resolución temporal:** Se trata del periodo de tiempo que transcurre entre la toma de dos imágenes de la misma zona por el mismo sensor.

### **3.5. Firma Espectral.**

La firma espectral se define como el comportamiento diferencial que presenta la radiación reflejada (reflectancia) o emitida (emitancia) desde algún tipo de superficie u objeto terrestre en los distintos rangos del espectro electromagnético (Hernández, 2011).

Una vez que la energía electromagnética llega a la superficie terrestre, interactúa con cada tipo de material ya sea por reflexión, absorción o transmisión, de acuerdo a un patrón de respuesta espectral particular.

Se representan mediante la energía reflejada en relación a las longitudes de onda, sin considerar el efecto atmosférico de la trayectoria objeto-sensor, y medida en condiciones ideales de ángulos incidente (Castro, 1999).

#### **3.5.1. Reflectividad de la vegetación.**

La vegetación tiene un comportamiento dinámico debido a los cambios fenológicos que ocurren estacionalmente. En palabras más simple su firma espectral cambia durante el año (Hernández, 2011).

La reflectancia espectral de la cobertura vegetal varía con las longitudes de onda reflejadas más en ciertas longitudes de onda que en otras. En la figura 8 se representa la firma espectral de la vegetación sana.



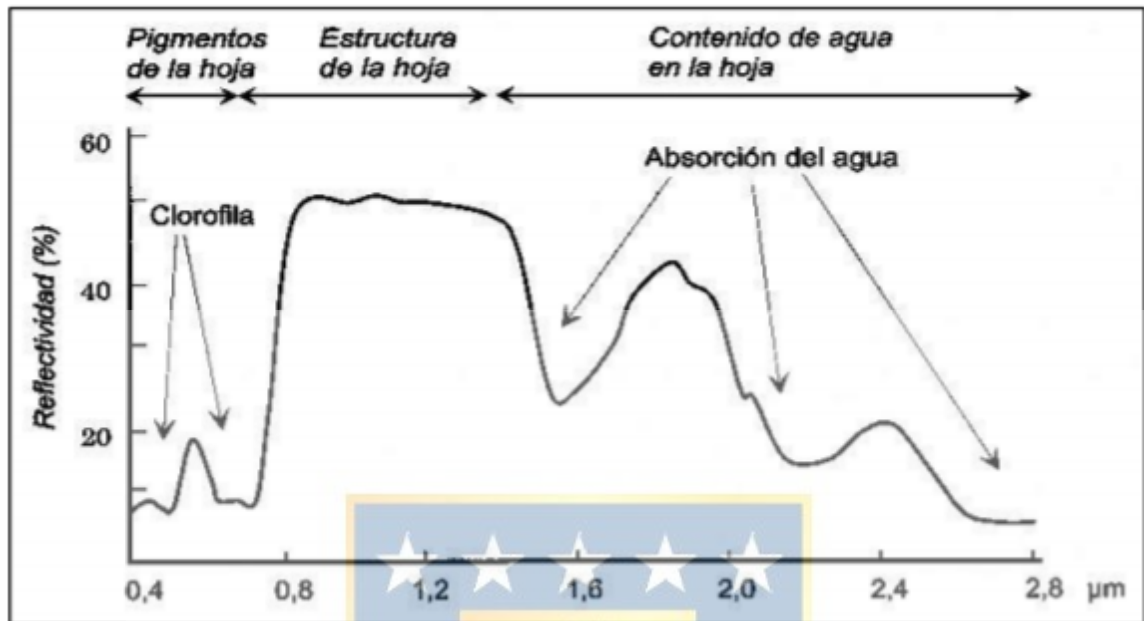


Figura 9: Firma espectral de la vegetación sana. Recuperado de Chuvieco, 1995.

Como se observa en la figura 9 se resumen las diferentes regiones espectrales como:

- Región del visible (0,4 a 0,7  $\mu\text{m}$ ) presenta una alta absorción, baja reflectancia y transmitancia debido a los pigmentos.
- Región del infrarrojo cercano (0,7 a 1,3  $\mu\text{m}$ ) donde absorción es baja, reflectancia media-alta y transmitancia media. En este rango, la reflectividad crece notablemente debido a la escasa absorción de las plantas por su estructura fisiológica.
- Región del infrarrojo medio (1,3 a 3,0  $\mu\text{m}$ ) la absorción en esta región es media-alta, la reflectancia media y transmitancia baja. En esta región, el agua contenida en la hoja es la responsable de la baja reflectividad, dado que en ésta región el agua presenta un máximo de absorción.

Al interior de la planta presentan cuatros pigmentos principales, la clorofila a y b,  $\beta$ -caroteno y xantofila, de los cuales se absorben la energía en el espectro visible para realizar el proceso de fotosíntesis.

En la figura 10 se observa una baja reflectividad de la vegetación en las zonas del espectro visible correspondiente al azul ( $0,4 \mu m$ ) y rojo ( $0,7 \mu m$ ) producto de la presencia de la clorofila a y b, de las cuales son responsables de la absorción en estas longitudes de onda (Castro, 1999).

Mientras los carotenos y xantofilas lo hacen con la longitud verde ( $0,55 \mu m$ ) y algunas longitudes más largas.

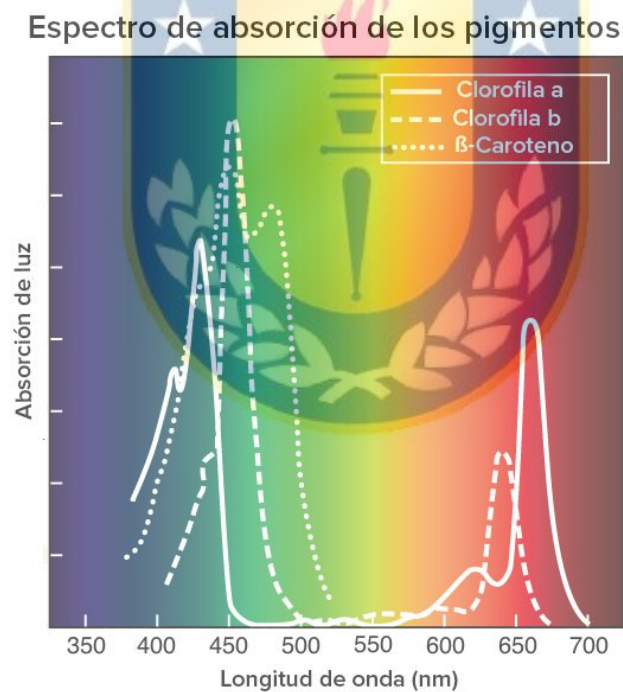


Figura 10: Espectro de absorción de los pigmentos. Recuperado de Khan Academy, 2015.

### 3.6. Características generales de las Imágenes Landsat

Tanto Landsat 7 como Landsat 8 llevan a bordo un sensor multiespectral y un sensor térmico. La gran diferencia radica en que el sensor termal de Landsat 7 se encuentra incorporado en el sensor multiespectral ETM+ (del inglés *Enhanced Thematic Mapper Plus*), mientras que Landsat 8 posee ambos sensores por separados, siendo estos OLI (del inglés *Operational Land Imager*) y TIRS (del inglés *Thermal Infrared Sensor*). En la tabla 2 se muestran las características de las bandas de cada uno de los sensores anteriormente mencionados, así como también la mejora de este último sensor debido a la incorporación de 2 nuevas bandas espectrales y una banda termal.

EMT+ ( $\mu\text{m}$ )				OLI/TIR ( $\mu\text{m}$ )			
Band	Name Band	Interval ( $\mu\text{m}$ )	Resol	Band	Name Band	Interval ( $\mu\text{m}$ )	Resol
1	Blue	0.45-0.52	(30 m)	1	Coastal aerosol	0.43-0.45	(30 m)
2	Green	0.52-0.60	(30 m)	2	Blue	0.45-0.51	(30 m)
3	Red	0.63-0.69	(30 m)	3	Green	0.53-0.59	(30 m)
4	Near Infrared	0.76-0.90	(30 m)	4	Red	0.64-0.67	(30 m)
5	Short-wave Infrared	1.55-1.75	(30 m)	5	Near Infrared	0.85-0.88	(30 m)
6	Thermal Infrared	10.40-12.50	(60 m)	6	SWIR 1	1.57-1.65	(30 m)
7	Mid-Infrared	2.08-2.35	(30 m)	7	SWIR 2	2.11-2.19	(30 m)
8	Panchromatic	0.52-0.90	(15 m)	8	Panchromatic	0.50-0.68	(15 m)
				9	Cirrus	1.36-1.38	(30 m)
				10	Thermal Infrared 1	10.60-11.19	(100 m)
				11	Thermal Infrared 2	11.50-12.51	(100 m)

Tabla 2: Características de cada una de las bandas de los sensores Landsat 7 y 8. Recuperado de: Chuvieco, 2005.

En cuanto a la misión Landsat 7, cabe señalar que, desde mayo de 2003 el SLC (del inglés *Scan Line Corrector*) presento una falla, perdiéndose aproximadamente un 22% de los

datos. Este error de bandeo se visualiza mediante huecos en forma de líneas paralelas y diagonales las cuales cubren el ancho de la imagen. Sin embargo, hoy en día existen algoritmos que permiten corregir dicha falla por medio del relleno de estos huecos los cuales han sido denominados *gaps* (González, 2018).

### 3.7. Procesamiento de imágenes

#### 3.7.1. Corrección Gap Fill.

Debido al fallo que ocurrió en el corrector de línea de exploración (SLD) del sensor *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) del satélite Landsat 7 en el año 2003, es que se produce una pérdida de datos que equivale aproximadamente al 20% de los píxeles de las imágenes tomadas por este sensor, ya que estos no son escaneados (Pringle *et al* 2009). Debido a este fallo, la USGS en conjunto con la NASA evaluaron una serie de algoritmos para poder recuperar la información que se perdió producto del fallo y así, darle uso a las imágenes que sigue capturando el sensor (Scaramuzza *et al.* 2004).

Para la realización de este trabajo, cada una de las bandas de la escena ETM+ del año 2012 fueron interpoladas a partir de triangulaciones, utilizando el algoritmo “SLC-off Gap-Filled Products”, el que ha sido implementado para su utilización en el *software* ENVI (*Environment for Visualizing Images*).

En la figura 11 A se muestran los efectos del bandeo producto de la falla en el sensor, mientras que en la figura 11 B se muestra el resultado de la corrección Gap Fill, realizada con el método de Triangulación a la imagen Landsat 7 tomada el 12 de enero de 2012.

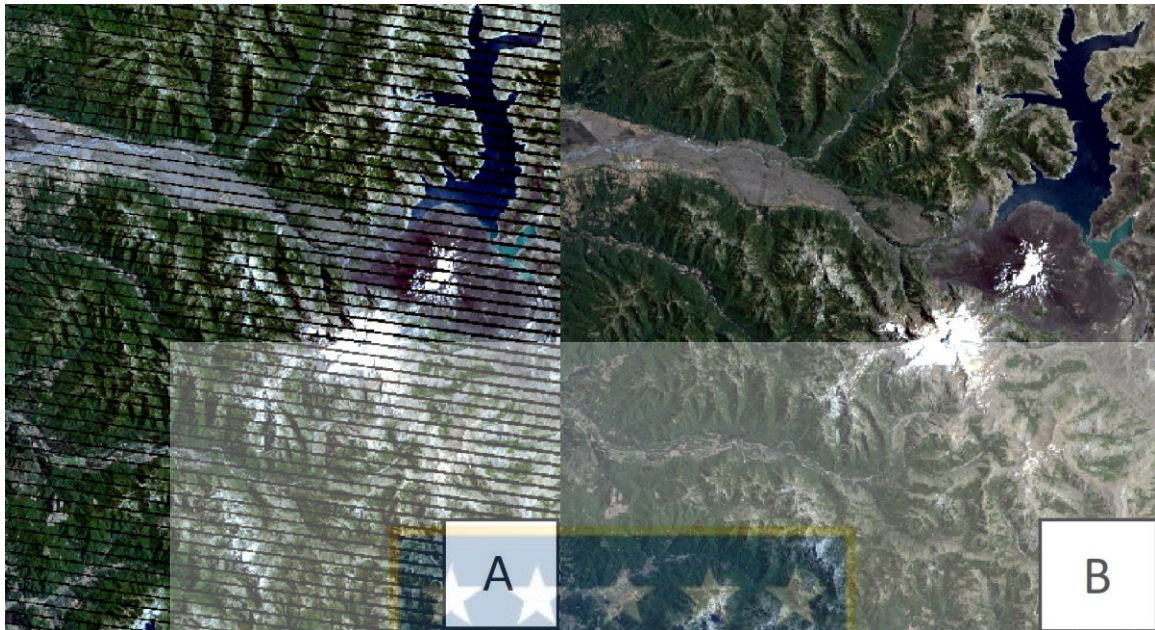


Figura 11: A:Error de bandeado. B: Resultado corrección Gap Fill. Fuente: Elaboración propia.

### 3.7.2. Corrección Radiométrica.

Ambrosio, González, & Arévalo (2002) señalan que las correcciones radiométricas en las imágenes son necesarias debido a que cualquier superficie capturada en dos diferentes imágenes de satélite (con el mismo sensor) deberían aparecer con los mismos valores de intensidad. Sin embargo, en la práctica, esto nunca es así debido a las inevitables diferentes condiciones atmosféricas y de iluminación.

La radiancia es el “Flujo de energía (principalmente energía irradiante o incidente) por ángulo sólido que abandona una unidad de área de una superficie en una dirección dada”, “Radiancia es lo que mide el sensor y depende en cierta medida de la reflectancia” (NASA, 2011).

Las imágenes de Landsat son provistas en radiancia, escaladas previamente al resultado. Para imágenes Landsat, la Radiancia espectral en el sensor ( $L_\lambda$ , medida en [vatios/ (metro cuadrado \* ster \*  $\mu m$ ))] está dada por la ecuación siguiente para determinar  $L_\lambda$ ):

$$L_\lambda = G_{rescale} * Q_{cal} + B_{rescale}$$

Donde:

$L_\lambda =$  Radiancia espectral de la banda

$G_{rescale} =$  Escala de factores de ganancia para cada banda

$Q_{cal} =$  Banda

$B_{rescale} =$  Escala de factores parciales para cada banda

Para convertir los valores de radiancia a reflectancia TOA mediante la siguiente formula:

$$\rho = \frac{\pi * L_\lambda * d^2}{E_{sun} * \cos \theta_s}$$

Donde:

$\rho =$  reflectancia atmosférica

$\pi =$  constante euclidiana

$L_\lambda =$  Radiancia espectral calculada previamente

$d =$  distancia entre el sol y la tierra en unidades astronómicas (AU)

$E_{sun} =$  irradiancia solar exoatmosferica media

$\theta_s =$  ángulo solar sobre el zenit en grados sexagesimales.

Para el caso particular de la imagen Landsat 7 se cargaron las bandas obtenidas de Gap Fill, seleccionando como área de interés la provincia de Biobío. Para la obtención de los valores tanto de radiancia como reflectancia se utilizaron las formulas descritas

anteriormente. En cambio, para la corrección de las imágenes de Landsat 8 se cargó el archivo \_MTL\_MultieSpectral, no siendo necesario la aplicación de fórmulas ya que el cálculo de los valores se realiza de manera automática.

### **3.7.3. Corrección atmosférica.**

Para poder utilizar la información radiométrica de la imagen en todas las facetas es necesario convertir la reflectancia aparente (TOA) a reflectividad de la superficie terrestre o también llamado corrección atmosférica. Se usa el método adoptado por USGS (United States Geological Survey) para la corrección atmosférica, el cual se basa en el modelo de transferencia radiactiva MODTRAN (Moderate resolution atmospheric transmission) (Berk et al., 2005). Los objetivos de este método son eliminar de la radiancia recibida por el sensor los efectos de la absorción y dispersión causados por las moléculas y partículas atmosféricas en suspensión y en segundo lugar, convertir esa radiancia a valores de reflectividad de superficie, siendo este valor adimensional y expresado en tanto por uno. Esta corrección se llevó a cabo mediante la herramienta FLAASH Atmospheric Correction. Cargando los parámetros necesarios del sensor.

### **3.8. Índice NDVI.**

El “Índice Normalizado de Vegetación” NDVI es uno de los índices de vegetación más utilizado para estimar cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación. La razón fundamental de esta preferencia se debe a su sencillez de cálculo y la disposición de un rango de variación fijo el cual va entre  $-1$  y  $+1$ ; lo que permite establecer umbrales, comparar imágenes, etc.

Este índice resulta del cociente normalizado entre bandas espectrales que al mostrar un claro contraste entre las bandas visible (0,6 a 0,7  $\mu\text{m}$ ) y el infrarrojo cercano (0,7 a 1,1  $\mu\text{m}$ ) permiten identificar la vegetación de otras superficies (Chuvieco, 1995).

La fórmula para realizar el cálculo es:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Donde NIR corresponde a la banda de Infrarrojo cercano y RED corresponde a la banda del Rojo Visible.

Los valores pueden ser interpretados como: altos revelando una alta actividad fotosintética de la cubierta vegetal (fenología foliar) y una estrecha relación con la evapotranspiración; o valores bajos indicando situaciones de escasa o nula cubierta vegetal y baja actividad fotosintética (Alatorre et al., 1986).

Además, diversos estudios y publicaciones señalan que valores desde el orden 0,1 indican presencia de vegetación, y entre más alto sea el valor las condiciones de vigor son mejores (Díaz, 2015) . Este parámetro es muy importante, ya que permite reflejar el estado de un cultivo o de una cubierta vegetal, permitiendo dar seguimiento temporal a las condiciones de vigor o estrés de los pospederos susceptibles a plagas, y con ellos poder determinar su nivel de vulnerabilidad. Por otro lado 0,3 es un valor de referencia para considerar estrés. (Vicente-Serrano, 2004. citado en LaNGIF, s. f.).

Pese a su sencillez, el NDVI plantea el inconveniente de ser sensible a la reflectividad del suelo sobre el que se sitúa la planta. Lo que en zonas con baja densidad de vegetación el valor del NDVI es muy similar al de las zonas de suelos desnudos y es imposible detectar la presencia de vegetación (Sánchez et al., 2000).



En la investigación que realiza Taipale (2018) clasifica el rango del índice NDVI en diferentes clases de valores como:

- -1 a 0 como objetos inanimados o muertos de los cuales se pueden encontrar carreteras, edificios, cuerpos de agua o plantas muertas.
- 0 a 0.33 material vegetativo poco saludable o estresado.
- 0.33 a 0.66 moderadamente saludable.
- 0.66 a 1 muy saludable.

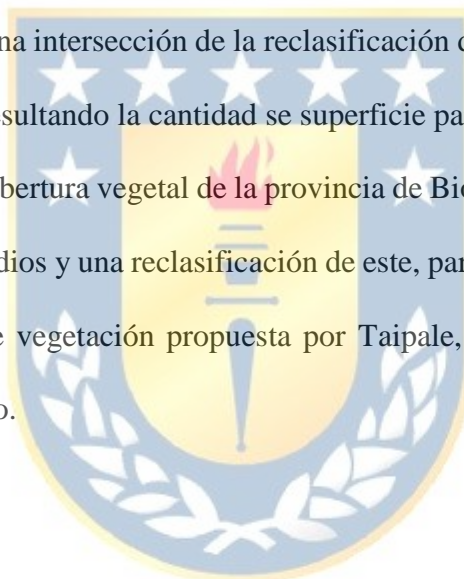


## 4. Metodología.

Para conocer la cantidad de superficie de la especie *Pinus radiata* en la provincia de Biobío se utilizó un shape proveniente de los registros de CONAF, el que contiene la cantidad de superficie total que cubría la especie *Pinus radiata* al año 2015, con una superficie total de la provincia de 15055,37 km<sup>2</sup>, la que se consideró como superficie total para esta investigación, y 2709,88 km<sup>2</sup> de superficie cubierta por la especie.

No obstante, para poder limitar la superficie de pinos enfermos, moderadamente saludable y muy saludables se realizó una intersección de la reclasificación de cada NDVI y el shape de la especie *Pinus radiata*, resultando la cantidad de superficie para cada clase.

Además, para el análisis la cobertura vegetal de la provincia de Biobío se realizó el cálculo de NDVI de cada año de estudios y una reclasificación de este, para conocer la cantidad de superficie para cada clase de vegetación propuesta por Taipale, generando un mapa de cambio del periodo de estudio.



### 4.1. Imágenes Satelitales.

Debido a que el periodo de estudio está entre los años 2012 y 2018, se utilizó una imagen del satélite Landsat 7 para el año 2012 y seis imágenes del satélite Landsat 8 para el periodo 2013 a 2018.

Las fechas de las imágenes utilizadas se escogieron debido a la que la aparición de los adultos de *Sirex noctilio* se encuentran desde fines de noviembre hasta fines de abril. Entonces estas siete imágenes satelitales corresponden al periodo de verano, con fechas similares en el mes para cada año.

Las condiciones mínimas que debían cumplir estas imágenes para ser descargadas son las siguientes:

- Abarcar de manera completa la extensión del área de estudio.
- Sin nubes en el área de estudio.
- Seleccionar imágenes del mes de enero para cada año de estudio. En el caso de que las imágenes de este mes no cumplan con las dos primeras condiciones, se buscará alguna imagen de fechas cercanas que si cumplan con las condiciones.

En la tabla 3 Se muestra la fecha de adquisición de las imágenes utilizadas y el satélite que tomó la imagen.

Fecha	Landsat	
	7	8
12-01-2012	X	X
12-04-2013		X
25-01-2014		X
28-01-2015		X
31-01-2016		X
17-01-2017		X
21-02-2018		X

Tabla 3: Fecha de las imágenes del satélite Landsat 7 y 8. Fuente: Elaboración propia.

Las escenas descargadas corresponden al path 233 y row 86, mediante la plataforma de USGS *EarthExplorer* (EE), que es un sitio web que permite la búsqueda, descarga y solicitud de imágenes satelitales de las misiones Landsat y otras misiones como ASTER, Sentinel, etc.

#### 4.2. Cálculo Índice NDVI y Reclasificación.

Una vez corregidas las imágenes se realizó el cálculo del índice NDVI en el software ArcGis mediante una herramienta de procesamiento automática para el NDVI. Para el caso de la imagen de Landsat 7 se utilizaron las bandas 3 y 4, y para Landsat 8 las bandas 4 y 5. Además, se cargaron las coordenadas de los focos que se escogieron para el análisis de la tendencia del valor característico de la vegetación enferma para la especie *Pinus radiata* en la imagen de NDVI calculada.

Posteriormente se efectuó una reclasificación del NDVI para cada año generando intervalos con el propósito de identificar el estado fitosanitario. Siguiendo las diferentes clases de valores según Taipale (2018); En la tabla 4 se muestra en resumen los intervalos de las clases de vegetación.



Intervalo Índice NDVI	Estado
-1 - 0	Ausencia de vegetación
0 - 0,33	Vegetación estresada
0,33 - 0,66	Moderadamente saludable
0,66 - 1	Muy saludable

Tabla 4: Intervalos de Reclasificación de NDVI. Fuente: Elaboración propia.

Para el mapa de cambios en la vegetación se realizó una clasificación con respecto a cada tipo de clase a través de una matriz de transición.

En la figura 12 A se muestra la imagen corregida y en figura 12 B se observa el resultado del NDVI mostrando distintas tonalidades de los cuales destacan los tonos claros que corresponden a valores altos en el índice de vegetación (vegetación sana) y tonos oscuros correspondientes a valores más bajos donde la vegetación se encuentra enferma.

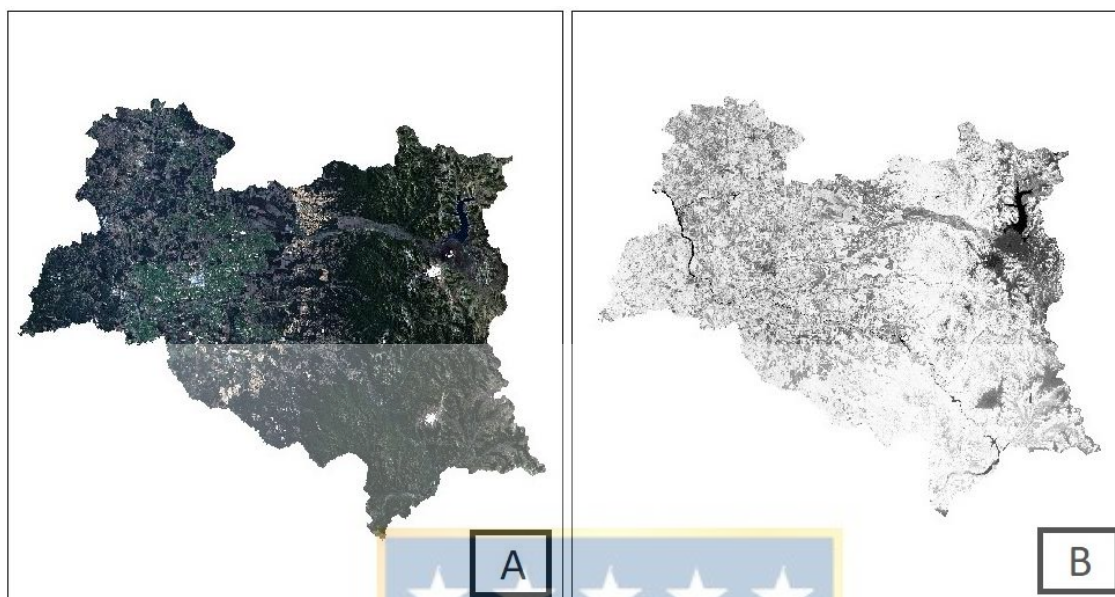


Figura 12: A: Imagen corregida. B: Cálculo NDVI. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.1. Extracción de valores de píxel.

La extracción de valores de píxel de los focos entregados por el SAG, se realizó mediante la interpretación de una matriz, cuyos valores corresponden a los números digitales de las imágenes de NDVI del periodo 2012-2018. Gracias al cálculo del NDVI y las detecciones del SAG, se escogieron 10 puntos que se encontraban en el área bajo cuarentena, obteniendo así 10 matrices distintas por cada año; a las cuales se le calculó la media, para obtener el valor característico de la vegetación enferma de la especie *Pinus radiata* (Ver tablas en Anexo 8.2).

Además, considerando como fuente de información preliminar el estudio realizado por Herrera (2012) se obtuvieron 7 nuevas matrices, para evaluar el estado fitosanitario en la localidad de Loncopangue, y lograr identificar el cambio que se ha generado en este foco. Para ello se extrajo la coordenada del foco del año 2011, desde el estudio realizado por

Herrera (2012). Y se cargó en las imágenes de NDVI 2012 a 2018 extrayendo los números digitales alrededor del punto. De esta manera se pudo obtener la variabilidad de la vegetación en esa localidad.

Además, a través de esta metodología se pudo obtener la variabilidad de la vegetación del periodo en estudio.

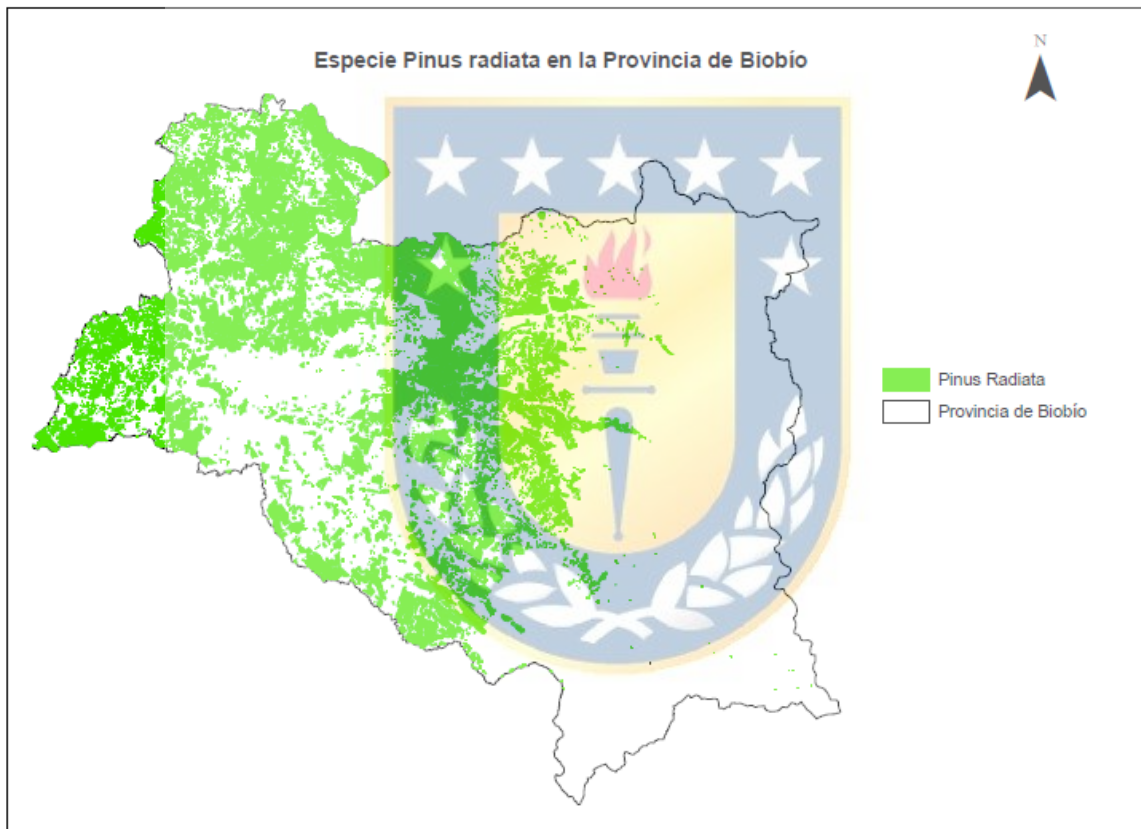


## 5. Resultados y Análisis.

### 5.1. Superficie de especie *Pinus radiata*.

La cantidad de superficie total de la especie *Pinus radiata* que cubrían la provincia de Biobío al año 2015 es de 2709,88 km<sup>2</sup>.

En la figura 13 se muestra la especie *Pinus radiata* en la provincia de Biobío.



*Figura 13: Especie Pinus Radiata en la Provincia de Biobío. Nota: Elaboración propia.*

Con la intersección realizada entre el shape de la especie *Pinus radiata* y la reclasificación del NDVI de cada año de estudio se obtuvo la cantidad de superficie para pinos enfermos, moderadamente saludables y pinos muy saludables.

En la tabla 5 se muestra el nivel digital considerado en cada clase de pino, considerando los valores propuestos por Taipale (2018).

Intervalo Índice NDVI	Estado
0 - 0,33	Pino Enfermo
0,33 - 0,66	Pino Mod. Saludable
0,66 - 1	Pino Muy saludable

Tabla 5: Clasificación de clases de pino. Nota: Elaboración propia.

En la figura 14 se muestra la distribución de la especie *Pinus radiata* en la provincia de Biobío el año 2012.

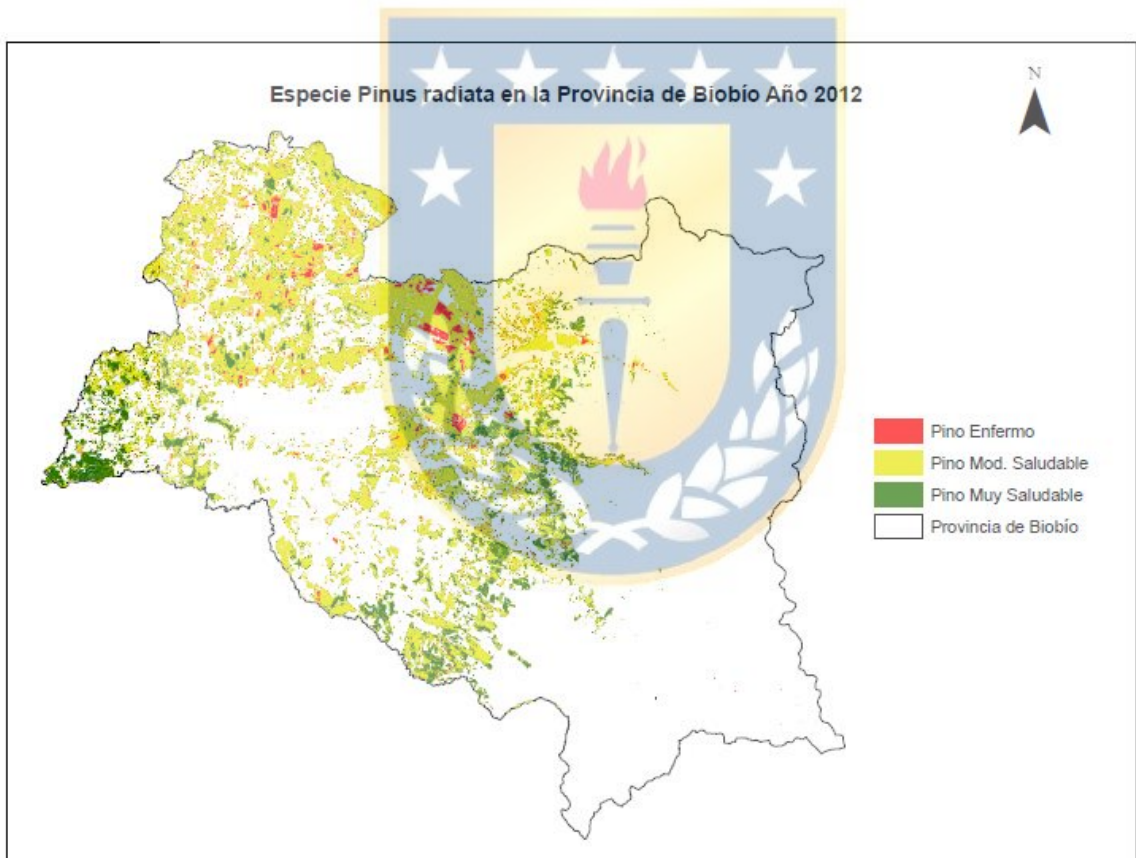


Figura 14: Distribución de Especie *Pinus radiata* en la provincia de Biobío año 2012.

Nota: Elaboración propia.



La distribución de pinos enfermos y moderadamente saludables se encuentra en la parte norte de la provincia, incluyendo las comunas de Yumbel, Cabrero, San Rosendo, Laja, Quilleco y Los Ángeles.

Para el año 2018 se muestra una disminución de pinos enfermos y un aumento en pinos muy saludables, los que se encuentran en el norte y sur de la provincia.

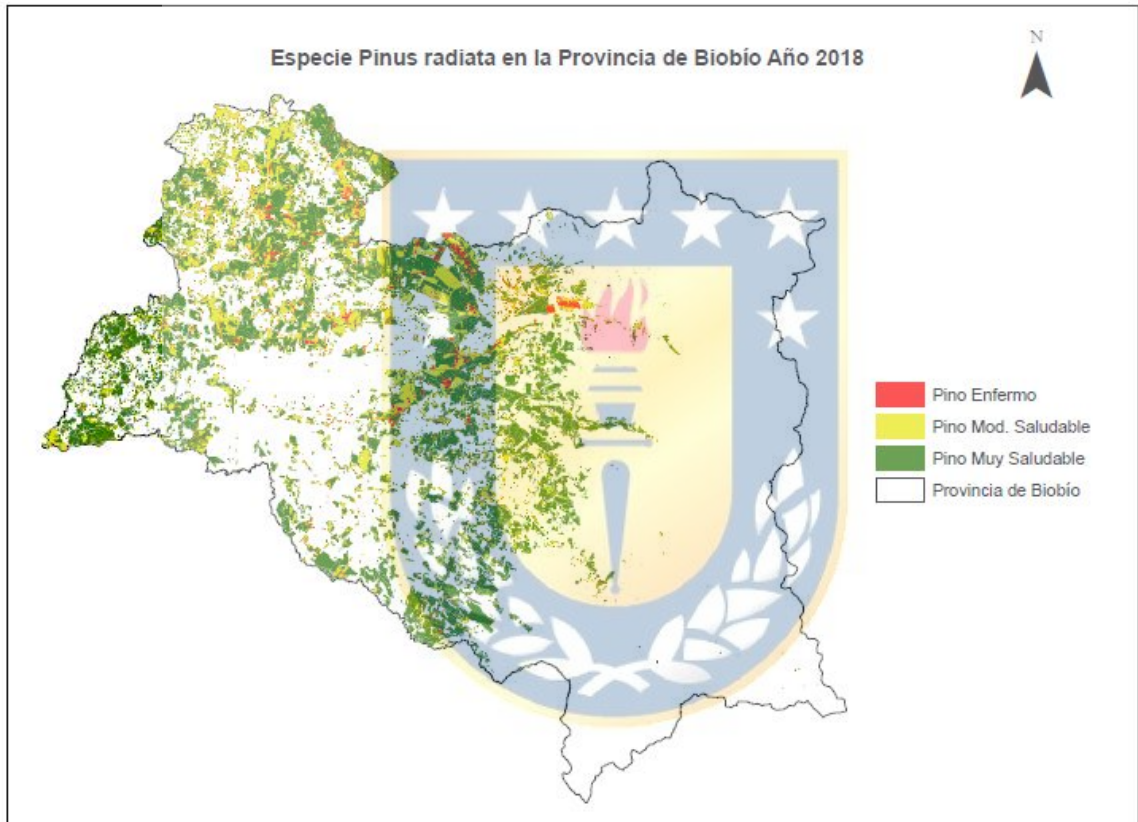


Figura 15: Distribución de Especie Pinus radiata en la provincia de Biobío año 2018.

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 6 se muestra la cantidad de superficie en km<sup>2</sup> para cada clase y año de estudio.

	Año						
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Pino Enfermos	286,78	76,95	156,97	227,95	222,21	183,97	173,97
Pino Mod. Saludable	1617,4	450,33	639,98	640,96	716,59	677,98	679,76
Pino Muy Saludable	805,7	2182,6	1912,93	1840,97	1771,08	1847,93	1856,15

Tabla 6: Superficie de clases del estado de especie Pinus radiata. Nota: Elaboración propia.

En la figura 16 se puede visualizar el comportamiento de las clases de la especie *Pinus radiata* para los distintos años.

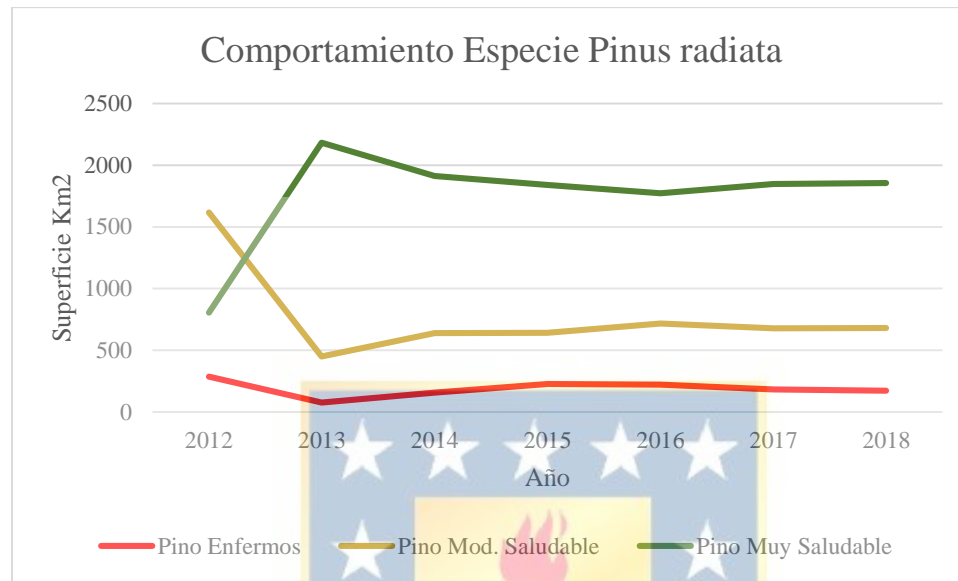


Figura 16: Comportamiento de las clases de la especie *Pinus radiata*. Nota: Elaboración propia.

Es posible identificar que en el año 2012 la cantidad de superficie de pinos enfermos es de 286,78 km<sup>2</sup> y de pinos muy saludables una superficie de 805,7 km<sup>2</sup>. En comparación al año 2018 existe una disminución de pinos enfermos con una superficie de 173,97 km<sup>2</sup>, lo que corresponde a un 4,16 % de la superficie total de *Pinus radiata*, y un aumento en los pinos muy saludables con una superficie de 1856,15 km<sup>2</sup>, correspondiendo al 38,76 % de la superficie total de pinos. En el año 2013 se registra el mayor cambio para los pinos enfermos y los pinos muy saludables. Existe una disminución en los pinos enfermos de 286,78 km<sup>2</sup> a 76,95 km<sup>2</sup> con respecto al año 2012, lo que corresponde a 209,83 km<sup>2</sup> de diferencia, siendo esto un 7,74 %, y un aumento en los pinos muy saludable, de 805,7 km<sup>2</sup> a 2182,6 km<sup>2</sup>, correspondiendo al 50,81 %. Para los años 2014 a 2018 es posible observar que se mantienen constante los cambios de cada estado de la especie *Pinus radiata*. Por lo

tanto, se muestra que existe una tendencia a la disminución de pinos enfermos y un aumento en los pinos muy saludables en el periodo de estudio.

## 5.2. Mapa de cambio en la vegetación.

En la tabla 7 se muestra la matriz que representa los valores de intersección para cada clase.

Matriz de Cambio de Vegetación		Valor	2018			
			Ausencia de Vegetación	Vegetación Estresada	Moderadamente Saludable	Muy Saludable
			1	2	3	4
2012	Ausencia de Vegetación	10	<b>11</b>	12	13	14
	Vegetación Estresada	20	21	<b>22</b>	23	24
	Moderadamente Saludable	30	31	32	<b>33</b>	34
	Muy Saludable	40	41	42	43	<b>44</b>

Tabla 7: Matriz de transición. Nota: Elaboración propia.

En la columna de la izquierda se encuentran las clases propuestas para el primer año del periodo, asignándole valores numéricos de 10 en 10, mientras que para el año 2018 se han asignado valores distintos, de uno en uno. Así, mediante la suma de los dos valores se identificarán los cambios ocurridos durante el periodo en cuestión y aquellas clases que no presenten cambios se encontrarán en la diagonal principal.

Para implementar lo recién mencionado, se ha agregado un nuevo atributo a la tabla de cada clasificación. De esta manera se asignaron los valores mencionados según el año de la imagen, para posteriormente utilizar la herramienta *intersect* y obtener la intersección de los polígonos mediante la suma de estos valores, consiguiendo así los valores que componen la tabla de transición.

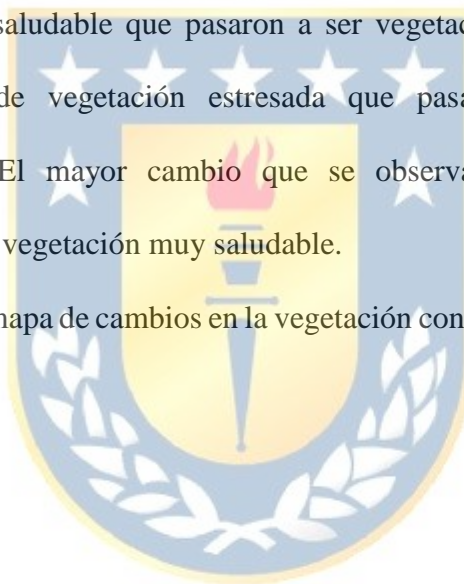
En la tabla 8 se muestran los resultados de la implementación de la matriz de transición.

		2018			
Matriz de Cambio de Vegetación		Ausencia de Vegetación	Vegetación Estresada	Moderadamente Saludable	Muy Saludable
2012	Ausencia de Vegetación	<b>92,16</b>	40,33	1,65	0,48
	Vegetación Estresada	88,40	<b>1320,52</b>	759,24	306,85
	Moderadamente Saludable	6,85	340,06	<b>2626,65</b>	4393,90
	Muy Saludable	0,77	58,31	318,59	<b>4698,70</b>

Tabla 8: Matriz de cambio periodo 2012-2018. Nota: Elaboración propia.

Si bien todas las clases presentan cambios, los más notorios son los 4393,90 km<sup>2</sup> de vegetación moderadamente saludable que pasaron a ser vegetación muy saludable, así mismo, hay 759,24 km<sup>2</sup> de vegetación estresada que pasaron a ser vegetación moderadamente saludable. El mayor cambio que se observa es el de vegetación moderadamente saludable en vegetación muy saludable.

En la figura 17 se muestra el mapa de cambios en la vegetación con los resultados obtenidos para cada clase.



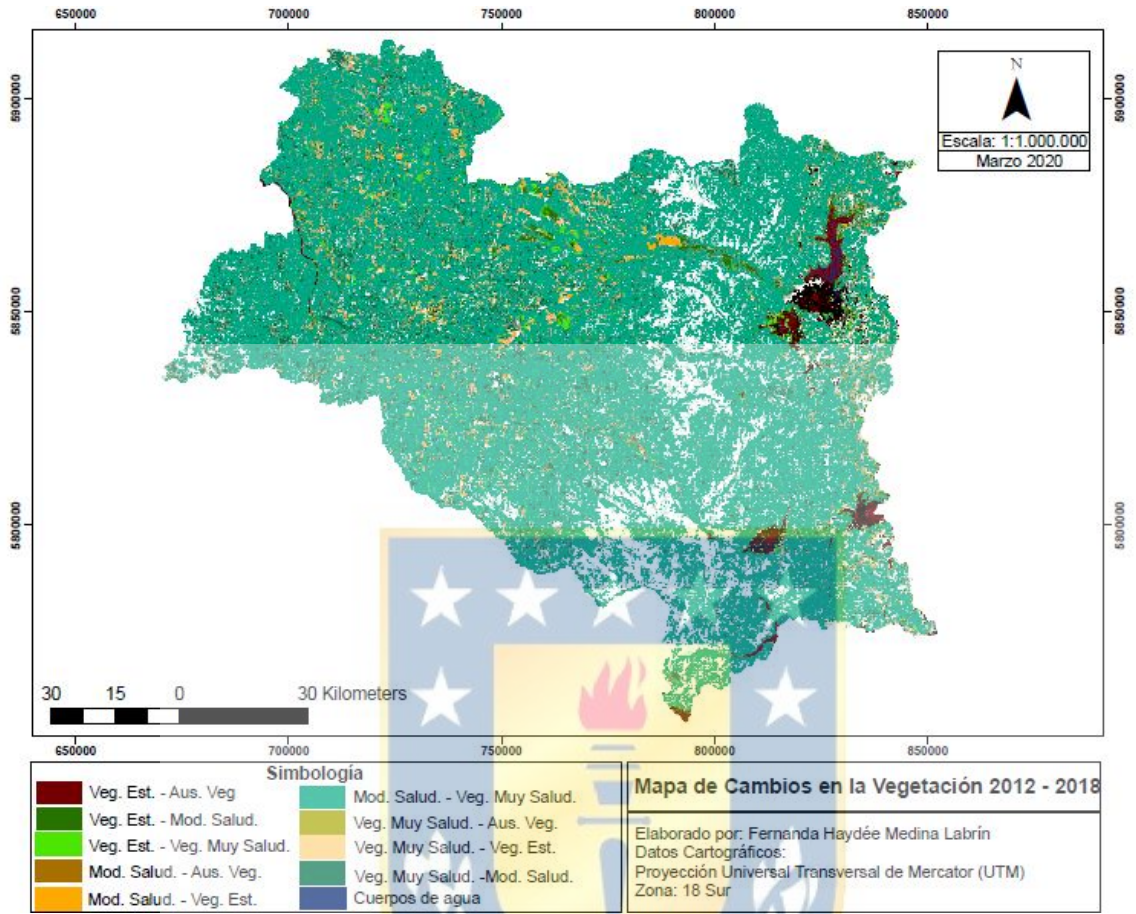


Figura 17: Mapa de cambio en la vegetación periodo 2012-2018 en la Provincia de Biobío.

Nota: Elaboración propia.

### 5.3. Año 2012.

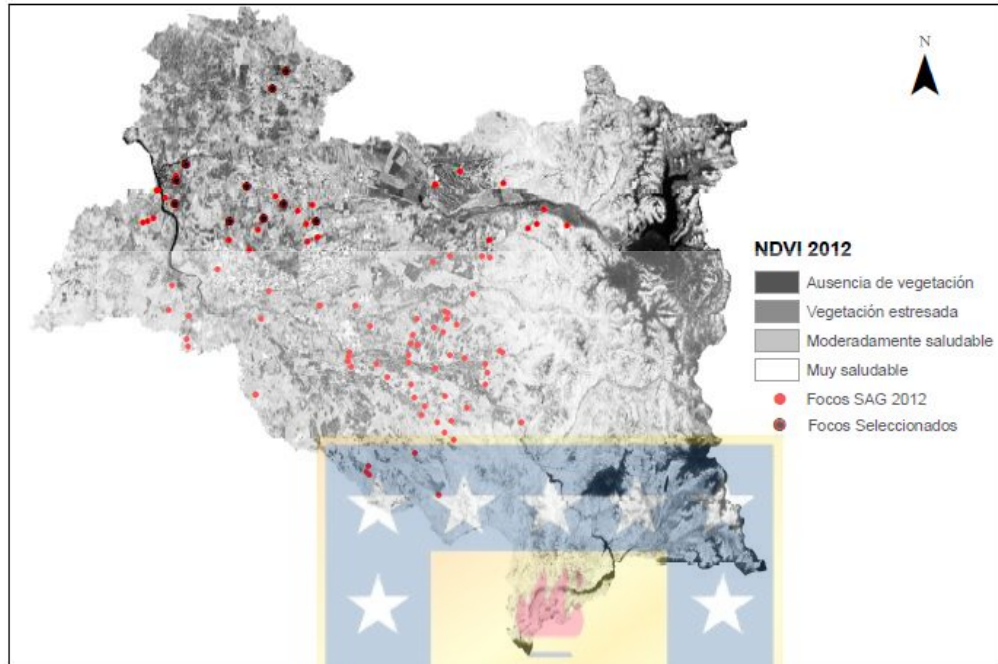


Figura 18: Cálculo NDVI y focos año 2012. Nota: Elaboración propia.

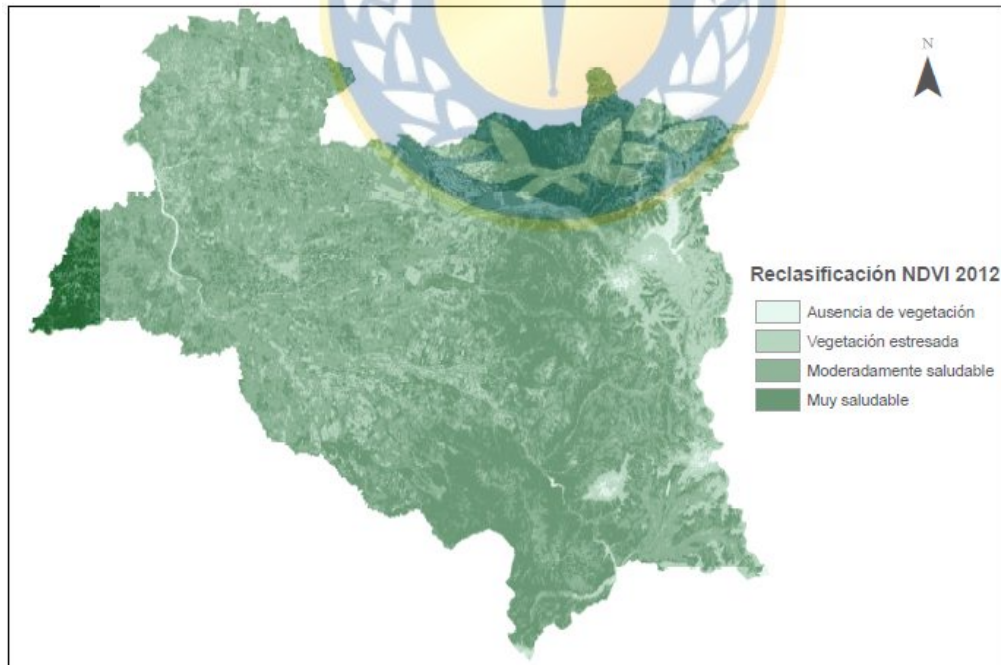


Figura 19: Reclasificación NDVI año 2012. Nota: Elaboración propia.

Estado	Intervalo Índice NDVI	Área (Km <sup>2</sup> )
Ausencia de vegetación	-1 - 0	134,67
Vegetación estresada	0 - 0,33	2475,39
Moderadamente saludable	0,33 - 0,66	7368,69
Muy saludable	0,66 - 1	5076,62
Total		15055,37

Tabla 9: Área reclasificación de NDVI año 2012. Fuente: Elaboración propia.

La cantidad de focos detectados por el SAG el año 2012 fue de 111.

El índice NDVI muestra que, durante el año 2012, una extensa área de la provincia de Biobío se encuentra con una vegetación enferma, localizando esta vegetación en el sector Nor-Oeste.

#### 5.4. Año 2013.

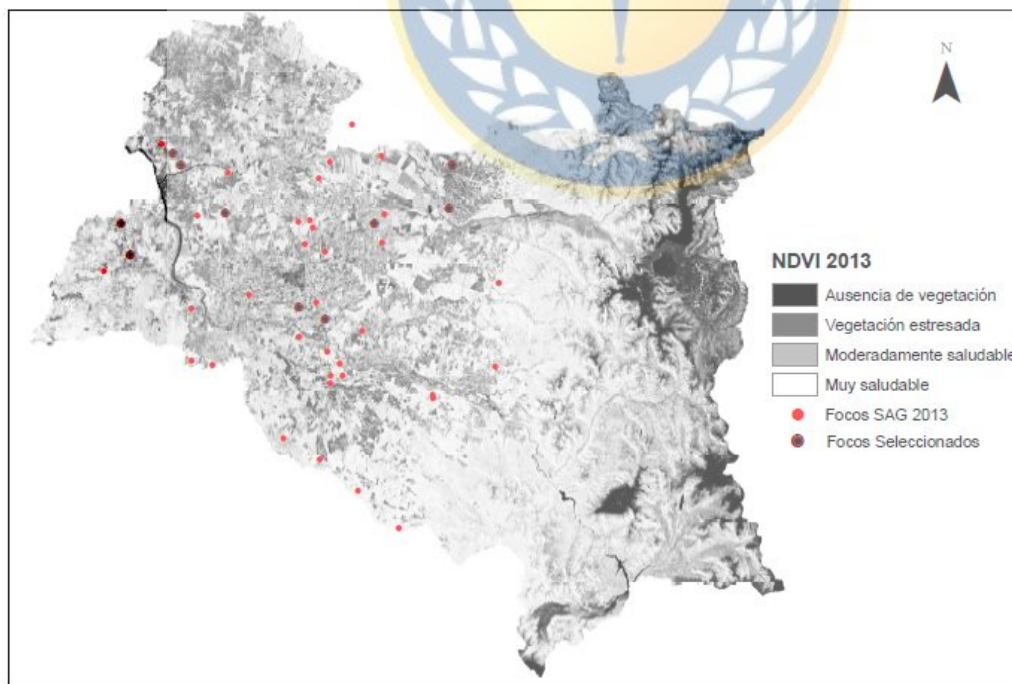


Figura 20: Cálculo NDVI y focos año 2013. Nota: Elaboración propia.

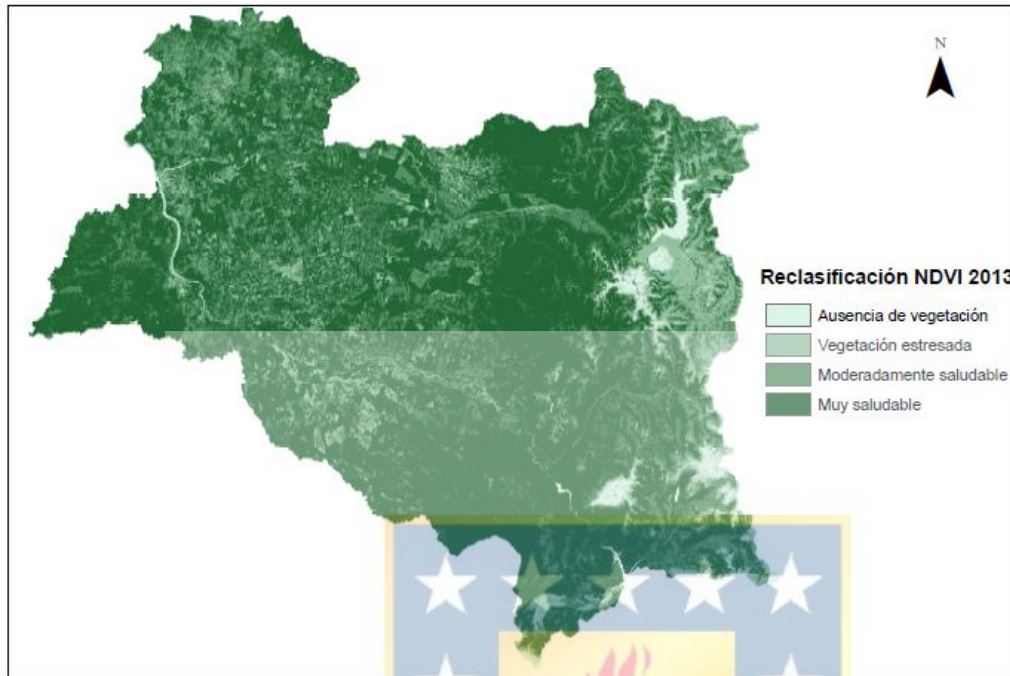


Figura 21: Reclasificación NDVI año 2013. Nota: Elaboración propia.

Estado	Intervalo Índice NDVI	Área (Km <sup>2</sup> )
Ausencia de vegetación	-1 - 0	327,14
Vegetación estresada	0 - 0,33	1490,31
Moderadamente saludable	0,33 - 0,66	3792,49
Muy saludable	0,66 - 1	9445,43
Total		15055,37

Tabla 10: Área reclasificación de NDVI año 2013. Fuente: Elaboración propia.

Para el año 2013 hubo una disminución importante en cuanto a los focos detectados por el SAG, detectando 47 escenarios infestados.

El índice NDVI muestra que, durante el año 2013, se evidencia una mejora en el estado fitosanitario de la provincia. En relación al año 2012 existe una variación significativa en la superficie de vegetación sana. Sin embargo, esta mejora no está aplicada a toda la



vegetación de la provincia, ya que aquellas zonas donde se encuentra el foco no presentaron mayor variación. (Ver Tabla 16).

### 5.5. Año 2014.

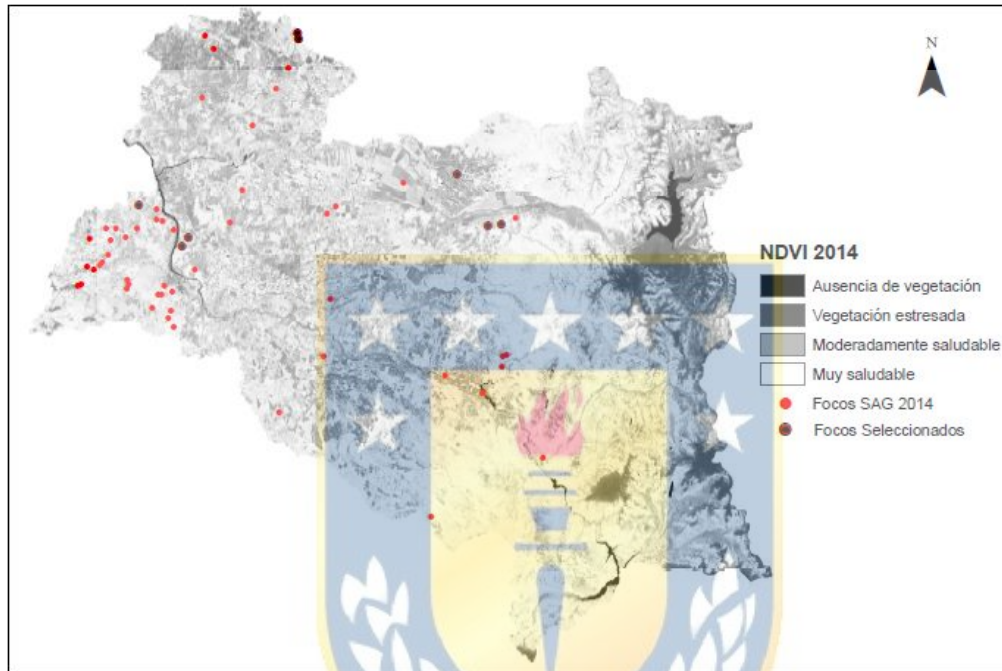


Figura 22: Cálculo NDVI y focos año 2014. Nota: Elaboración propia.

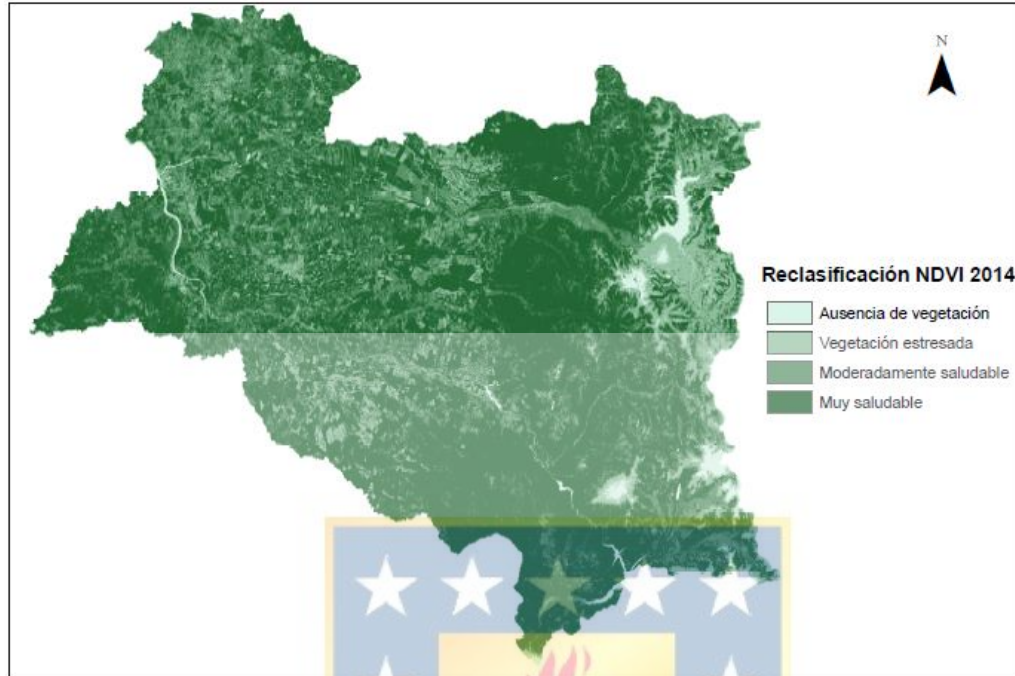


Figura 23: Reclasificación NDVI año 2014. Nota: Elaboración propia.

Estado	Intervalo Índice NDVI	Área (Km <sup>2</sup> )
Ausencia de vegetación	-1 - 0	266,58
Vegetación estresada	0 - 0,33	1849,78
Moderadamente saludable	0,33 - 0,66	3845,96
Muy saludable	0,66 - 1	9093,05
Total		15055,37

Tabla 11: Área reclasificación de NDVI año 2014. Fuente: Elaboración propia.

La variabilidad en cuanto a los focos presentados durante el año 2014 es baja en comparación al año 2013, variando de 47 a 61 focos detectados.

El índice NDVI muestra que, durante el año 2014, existe un aumento en la vegetación estresada de la provincia. Sin embargo, la superficie total de la provincia presenta una vegetación vigorosa. (Ver Tabla 16).

## 5.6. Año 2015.

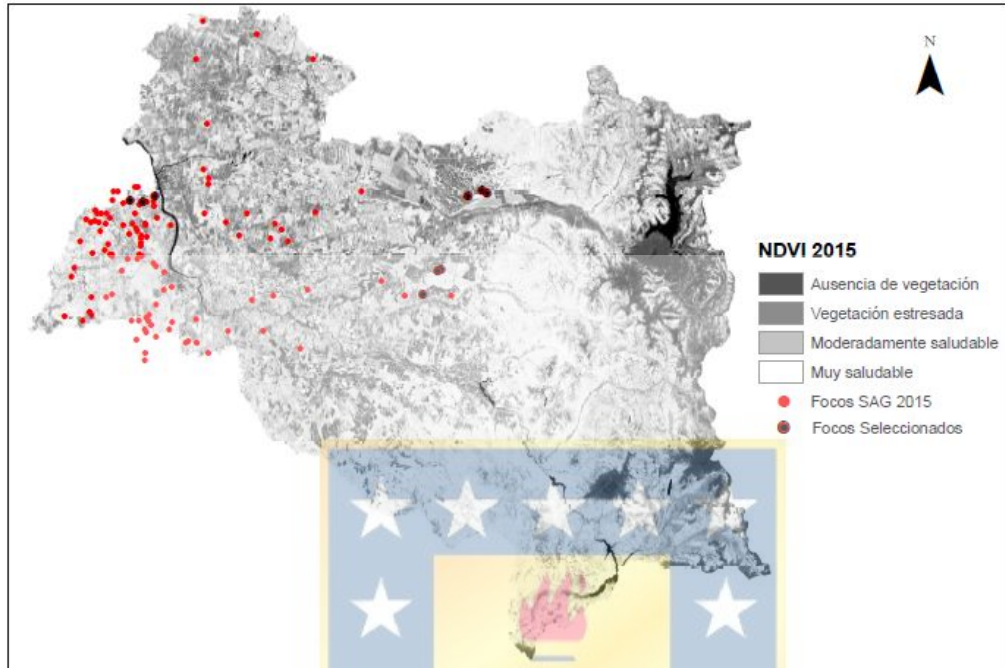


Figura 24: Cálculo NDVI año 2015. Nota: Elaboración propia.

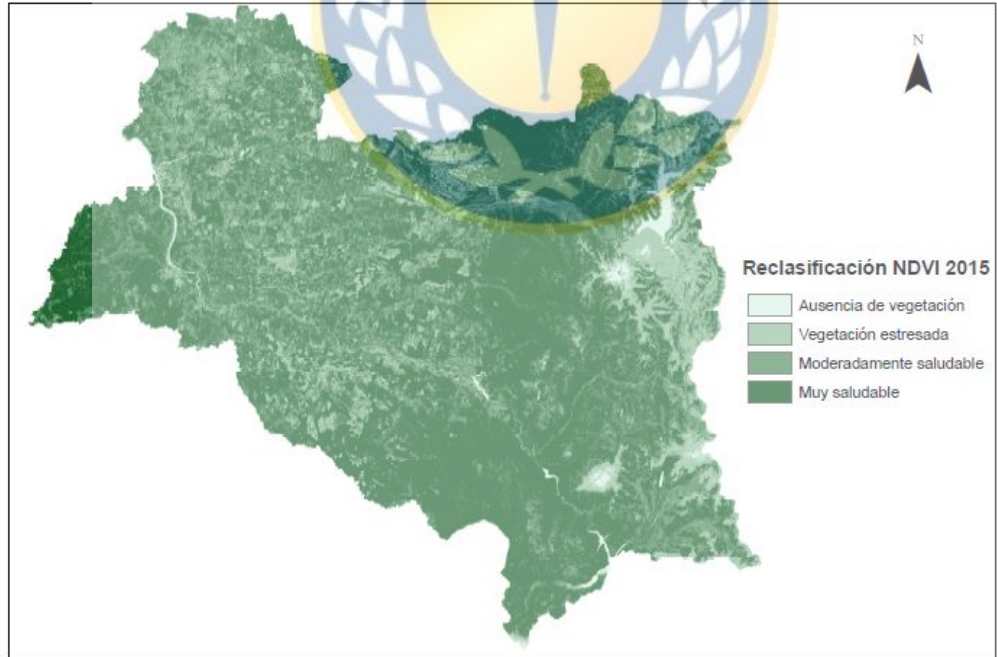


Figura 25: Reclasificación NDVI año 2015. Nota: Elaboración propia.

Estado	Intervalo Índice NDVI	Área (Km <sup>2</sup> )
Ausencia de vegetación	-1 - 0	200,37
Vegetación estresada	0 - 0,33	2053,81
Moderadamente saludable	0,33 - 0,66	3948,42
Muy saludable	0,66 - 1	8852,77
Total		15055,37

Tabla 12: Área reclasificación de NDVI año 2015. Fuente: Elaboración propia.

A pesar de que la cantidad de focos de duplico, alcanzando un total de 123 detecciones por el SAG; aquellos focos previamente localizados presentan una leve mejora en la defoliación. (Ver Tabla 16) Sin embargo se evidencia un aumento en la superficie de vegetación bajo estrés, así como también la vegetación senescente.



## 5.7. Año 2016.

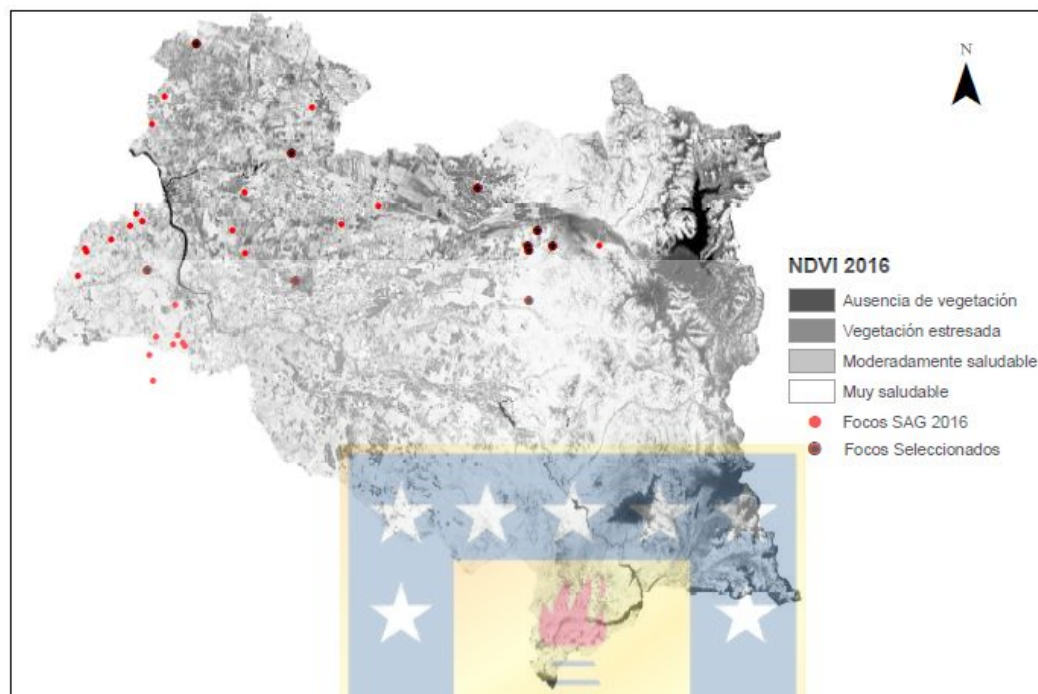


Figura 26: Cálculo NDVI y focos año 2016. Nota: Elaboración propia.

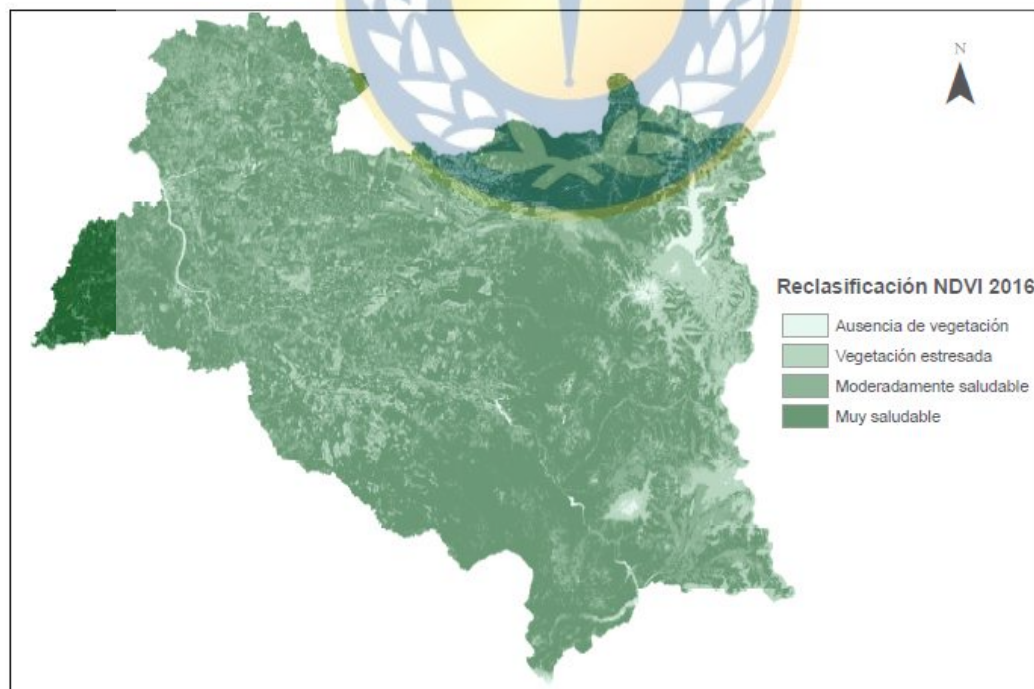


Figura 27: Reclasificación NDVI año 2016. Nota: Elaboración propia.

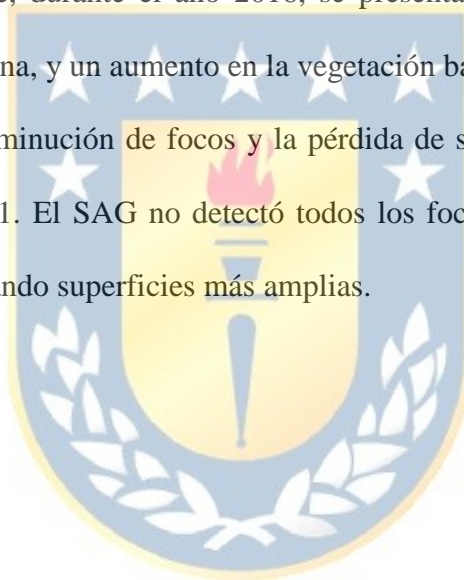
Estado	Intervalo Índice NDVI	Área (Km <sup>2</sup> )
Ausencia de vegetación	-1 - 0	171,83
Vegetación estresada	0 - 0,33	2031,52
Moderadamente saludable	0,33 - 0,66	4155,59
Muy saludable	0,66 - 1	8696,43
Total		15055,37

Tabla 13: Área reclasificación de NDVI año 2016. Fuente: Elaboración propia.

La cantidad de focos detectados por el SAG el año 2016 fue de 39.

El índice NDVI muestra que, durante el año 2016, se presenta una disminución de la superficie en la vegetación sana, y un aumento en la vegetación bajo estrés.

Esta inconsistencia en la disminución de focos y la pérdida de superficie sana se puede asociar a dos posibilidades: 1. El SAG no detectó todos los focos, o bien 2. Los focos fueron reagrupados conformando superficies más amplias.



## 5.8. Año 2017.

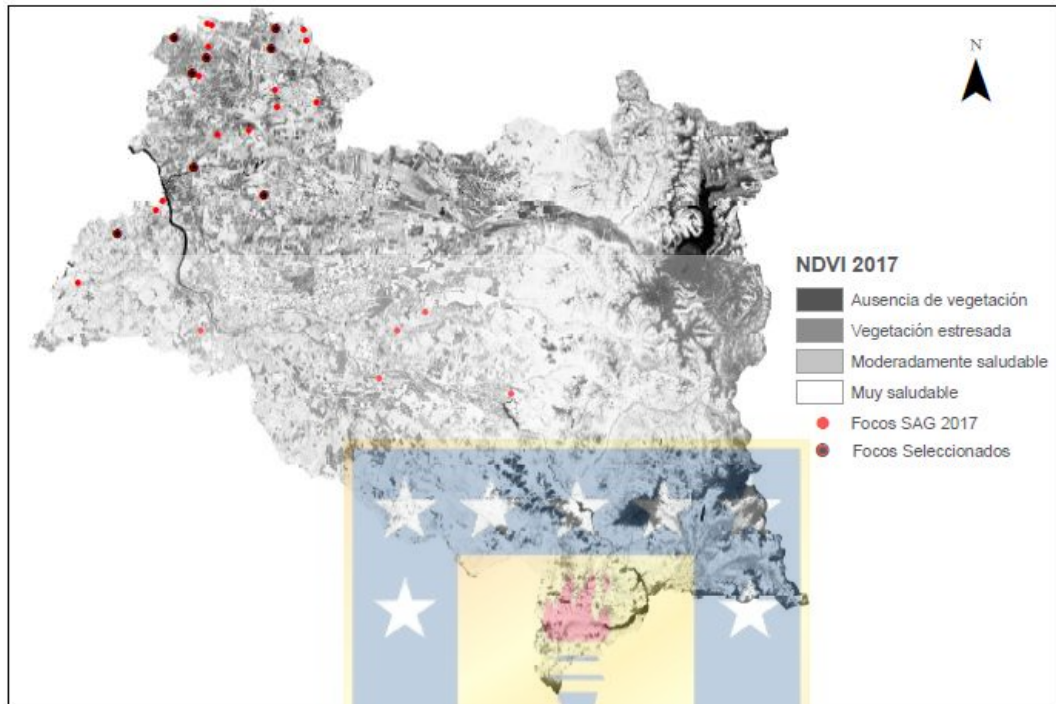


Figura 28: Cálculo NDVI y focos año 2017. Nota: Elaboración propia.

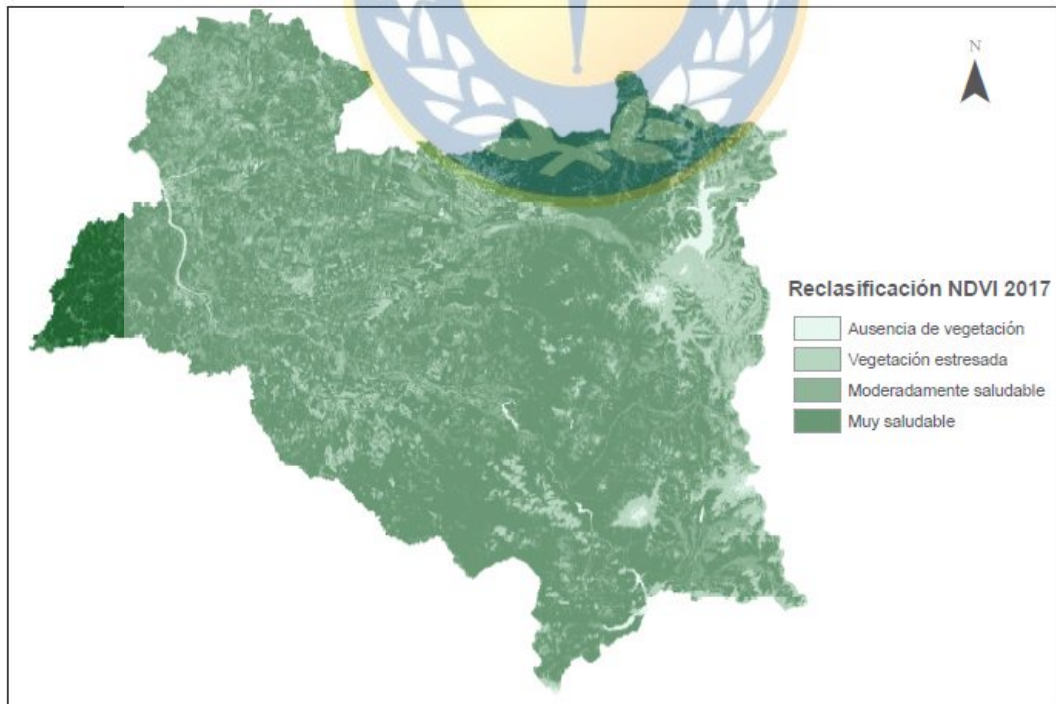


Figura 29: Reclasificación NDVI año 2017. Nota: Elaboración propia.

Estado	Intervalo Índice NDVI	Área (Km <sup>2</sup> )
Ausencia de vegetación	-1 - 0	177,99
Vegetación estresada	0 - 0,33	1878,18
Moderadamente saludable	0,33 - 0,66	3954,09
Muy saludable	0,66 - 1	9045,11
Total		15055,37

Tabla 14: Área reclasificación de NDVI año 2017. Fuente: Elaboración propia.

La variabilidad en cuanto a los focos presentados durante el año 2017 es baja en comparación al año 2016, variando de 39 a 28 focos detectados por el SAG.

El índice NDVI muestra que, durante el año 2017, existe un aumento de la superficie en la vegetación sana. Lo que concuerda con el valor presentado en la tabla 16, donde se observa una leve mejoría en la vegetación infestada.





### 5.9. Año 2018.

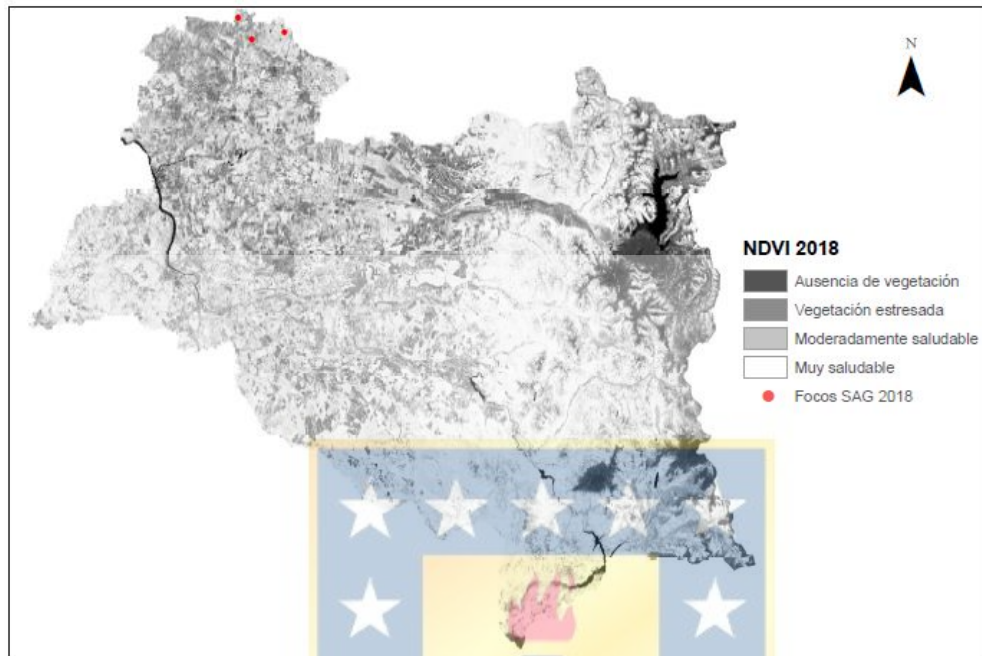


Figura 30: Cálculo NDVI y focos año 2018. Nota: Elaboración propia.

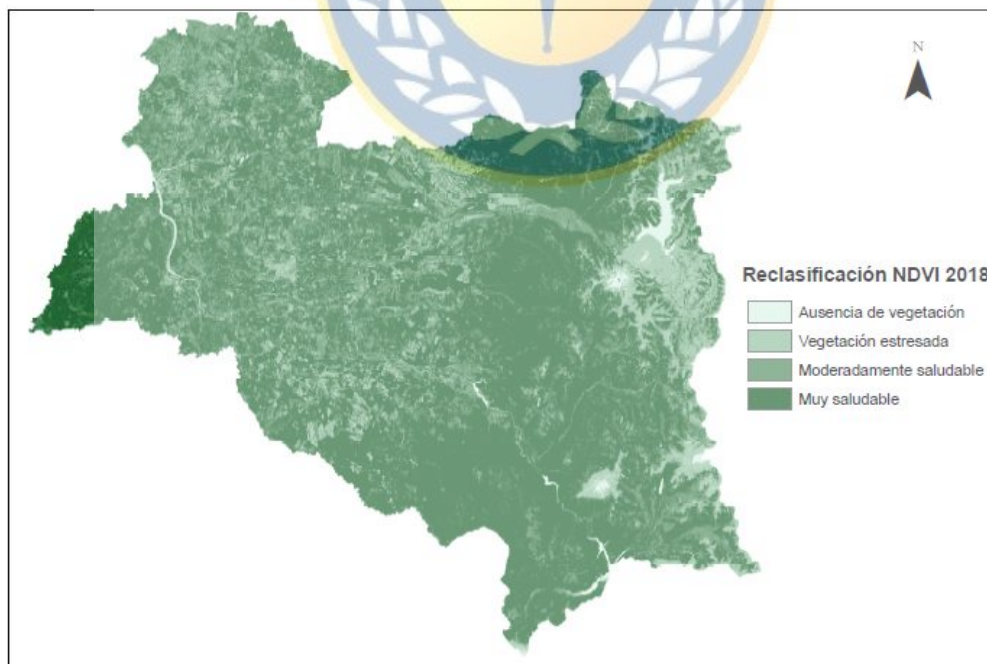


Figura 31: Reclasificación NDVI año 2018. Nota: Elaboración propia.

Estado	Intervalo Índice NDVI	Área (Km <sup>2</sup> )
Ausencia de vegetación	-1 - 0	188,27
Vegetación estresada	0 - 0,33	1759,46
Moderadamente saludable	0,33 - 0,66	3706,65
Muy saludable	0,66 - 1	9400,99
Total		15055,37

Tabla 15: Área reclasificación de NDVI año 2018. Fuente: Elaboración propia.

La variabilidad en cuanto a los focos presentados durante el año 2018 es alta en comparación al año 2017, variando de 28 a 3 focos detectados por el SAG.

Sin embargo, existe una leve mejora en la superficie de la vegetación vigorosa. Razón que se puede dar con respecto a las pocas detecciones entregadas por el SAG, o que simplemente la plaga está migrando hacia otras comunas o bien se está controlando su dispersión, provocando la mejora en la vegetación de la provincia.

#### 5.10. Extracción de valores de píxel.

El análisis de la tendencia del valor característico de la vegetación enferma para la especie *Pinus radiata*, se obtuvo mediante un promedio simple de la media de cada matriz de números digitales rescatadas del cálculo NDVI para cada año del periodo de estudio. A continuación, se muestra en la tabla 16 los valores digitales del promedio de los ND de cada año. En el caso particular del año 2018, no se incluyó debido a que existen solo tres focos detectados por el SAG, los cuales fueron analizados entregando un valor de ND promedio de 0,799062, lo que corresponde a una vegetación vigorosa. Las matrices empleadas para calcular este promedio se presentan en el anexo 8.2.

Año	Valor Índice NDVI
2012	0,521326
2013	0,523437
2014	0,504691
2015	0,523852
2016	0,486302
2017	0,511532
Media	<b>0,511857</b>

Tabla 16: Promedio de ND. Fuente: Elaboración propia.

### 5.11. Estudio realizado en Localidad de Loncopangue.

Con respecto a la comparación realizada con el trabajo realizado por Herrera (2012) se obtuvieron los siguientes resultados:

En la figura 32 se muestra el punto en la localidad de Loncopangue en la imagen de NDVI del año 2012.

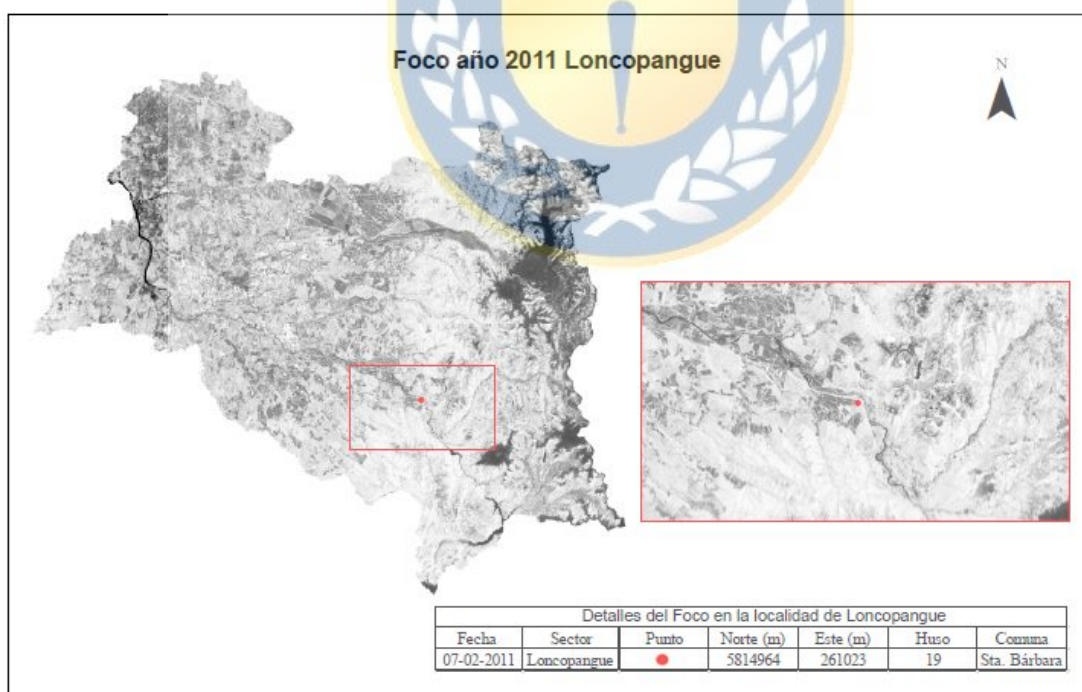


Figura 32: Localización de foco en localidad de Loncopangue en imagen NDVI 2012.

Nota: Elaboración propia.

Herrera (2012) obtuvo un valor digital de 0,3939. La media detectada ha variado de 0,3939 a 0,618997 al año 2012, lo que indica que la actividad fotosintética ha aumentado considerablemente en el periodo 2012.

Como es posible ver en la tabla 17 en el año 2012 el bosque que se declaró infestado en el 2011 aún presenta signos de baja actividad fitosanitaria.

0,630199	0,639826	0,648964	0,630646	0,635076	0,612168	0,552436	
0,610812	0,612168	0,630646	0,612168	0,635076	0,603715	0,533576	
0,625880	0,648964	0,618072	0,615968	0,620988	0,600510	0,516079	
0,654014	0,635293	0,644453	<b>0,615968</b>	0,608619	0,582799	0,577659	
0,639826	0,615968	0,625880	0,598687	0,573146	0,592024	0,679277	
0,603715	0,630646	0,617068	0,585232	0,571092	0,623346	0,730750	
0,662866	0,617068	0,577659	0,573146	0,639820	0,703757	0,717147	
Σ	4,427311	4,399932	4,362742	4,231814	4,283817	4,318319	30,330860
						Media	0,618997

Tabla 17: Valores digitales extraídos de la matriz de la imagen del NDVI 2012. Fuente: Elaboración propia.

Para el año 2013 se evidencia una vegetación muy saludable con respecto al año 2012. Lo que puede deberse a que la plaga ha ido frenando su propagación, y las inoculaciones realizadas por el SAG han tenido sus frutos en estos años.

0,807574	0,811243	0,808323	0,821843	0,830495	0,831552	0,891843	
0,820956	0,821323	0,808977	0,809600	0,817370	0,816883	0,856726	
0,832157	0,826302	0,807973	0,808202	0,806351	0,804359	0,822485	
0,828727	0,833069	0,813786	<b>0,801654</b>	0,898920	0,874121	0,859060	
0,818311	0,829448	0,830907	0,814530	0,879800	0,815353	0,818256	
0,821512	0,825963	0,839765	0,816300	0,871504	0,847540	0,823795	
0,823379	0,819114	0,820988	0,842795	0,854264	0,811407	0,828268	
Σ	5,752616	5,766462	5,730719	5,714923	5,958704	5,801214	40,625073
						Media	0,829083

Tabla 18: Valores digitales extraídos de la matriz de la imagen del NDVI 2013. Fuente: Elaboración propia.

En el 2014 sigue en aumento la vegetación sana para este foco.

0,855706	0,857082	0,871611	0,871238	0,885187	0,862040	0,781586	
0,855223	0,861667	0,875399	0,874751	0,854321	0,848436	0,765778	
0,870697	0,880156	0,880147	0,860704	0,850771	0,831018	0,768496	
0,876961	0,880620	0,868442	<b>0,840686</b>	0,853579	0,797548	0,772969	
0,861564	0,874396	0,871102	0,870270	0,838575	0,775085	0,880994	
0,849304	0,880421	0,882079	0,887405	0,790111	0,819655	0,894540	
0,886091	0,895143	0,867641	0,839177	0,816911	0,898661	0,906623	
Σ 6,055545	6,129484	6,116421	6,044232	5,889455	5,832443	5,770987	41,838567
						Media	0,853848

Tabla 19: Valores digitales extraídos de la matriz de la imagen del NDVI 2014. Fuente: Elaboración propia.

Para el año 2015 se muestra este mismo foco en una pequeña disminución, pero no tan considerable como la del año 2012.

0,824336	0,834061	0,848029	0,859010	0,874041	0,817955	0,735614	
0,809692	0,829150	0,851584	0,848644	0,836210	0,815718	0,741682	
0,836207	0,863874	0,872566	0,830862	0,824561	0,820122	0,695931	
0,842168	0,840845	0,850438	<b>0,807279</b>	0,828235	0,779432	0,757618	
0,822316	0,803595	0,839129	0,848773	0,810696	0,761777	0,854850	
0,800416	0,801459	0,839278	0,863162	0,802618	0,757217	0,861789	
0,848161	0,842317	0,833745	0,773077	0,816852	0,869452	0,873645	
Σ 5,783296	5,815301	5,934770	5,830806	5,793215	5,621673	5,521129	40,300188
						Media	0,822453

Tabla 20: Valores digitales extraídos de la matriz de la imagen del NDVI 2015. Fuente: Elaboración propia.

Para el año 2016 este foco sigue presentando una vegetación muy saludable.

0,847610	0,858124	0,869803	0,883194	0,882011	0,856198	0,801625	
0,846369	0,862381	0,871259	0,872218	0,863002	0,856796	0,795522	
0,864528	0,876492	0,884645	0,865954	0,861403	0,844311	0,792598	
0,870165	0,871158	0,870754	<b>0,847595</b>	0,854237	0,798977	0,802395	
0,852119	0,857863	0,870322	0,873171	0,846829	0,802214	0,887456	
0,843448	0,861511	0,872146	0,888545	0,765375	0,836267	0,892349	
0,869234	0,877108	0,862309	0,853079	0,803075	0,885714	0,899441	
Σ 5,993472	6,064638	6,101238	6,083755	5,875932	5,880477	5,871387	41,870898
						Media	0,854508

Tabla 21: Valores digitales extraídos de la matriz de la imagen del NDVI 2016. Fuente: Elaboración propia.

El año 2017 el foco infestado por la plaga forestal Sirex noctilio muestra una vegetación sana.

0,864682	0,874178	0,883956	0,893035	0,898262	0,876660	0,838122	
0,867661	0,875229	0,884193	0,890999	0,877362	0,868879	0,840734	
0,882616	0,896975	0,902219	0,886328	0,877238	0,870170	0,848538	
0,882705	0,885000	0,885430	<b>0,860981</b>	0,869767	0,849031	0,860642	
0,869103	0,876565	0,881527	0,880800	0,869598	0,845075	0,899121	
0,860307	0,885690	0,891805	0,905395	0,842510	0,866772	0,901029	
0,874551	0,895196	0,886092	0,878453	0,853990	0,892448	0,899467	
Σ	6,101625	6,188834	6,215221	6,195991	6,088727	6,069035	42,947086
						Media	0,876471

Tabla 22: Valores digitales extraídos de la matriz de la imagen del NDVI 2017. Fuente: Elaboración propia.

Al año 2018 se evidencia este mismo foco en vegetación muy saludable. En la tabla 23 es posible observar que la media ha variado cuantiosamente, lo que indica que la actividad fitosanitaria ha aumentado considerablemente en el periodo 2018.

0,887602	0,893043	0,896790	0,901274	0,907346	0,889130	0,862256	
0,890794	0,893076	0,901585	0,904686	0,903045	0,892266	0,862933	
0,902291	0,906300	0,904690	0,893735	0,898036	0,889965	0,835725	
0,894466	0,904437	0,902240	<b>0,882544</b>	0,889130	0,827343	0,836019	
0,880795	0,895234	0,899697	0,893964	0,889296	0,811912	0,878338	
0,879832	0,895396	0,901384	0,902965	0,825263	0,802321	0,854216	
0,897674	0,903725	0,892782	0,861702	0,842068	0,853928	0,876603	
Σ	6,233455	6,291212	6,299168	6,240869	6,154183	5,966865	43,191842
						Media	0,881466

Tabla 23: Valores digitales extraídos de la matriz de la imagen del NDVI 2018. Fuente: Elaboración propia.

Con las imágenes resultantes del NDVI del año 2012 a 2018 es posible determinar que ya en el periodo del año 2012 y con respecto a la detección realizada el 2011 se puede mencionar que este foco se encuentra en valores donde la vegetación es vigorosa. Para este análisis fue necesario trabajar sobre la matriz de la imagen, estudiando un radio de 3 pixeles alrededor del punto, esto abarca un área en terreno de aproximadamente 11 km<sup>2</sup>.

## 6. Conclusiones y consideraciones finales.

En cuanto al análisis de la defoliación de la Provincia de Biobío en los siete años de estudio, se obtuvieron los siguientes resultados:

- El año 2012 la provincia de Biobío contaba con 286,82 km<sup>2</sup> de *Pinus radiata* enfermos, y 805,7 km<sup>2</sup> de pinos muy saludables. Al año 2018 se observa una disminución de pinos enfermos con 173,97 km<sup>2</sup> y un aumento en pinos muy saludables de 1856,15 km<sup>2</sup>.
- A partir del cálculo NDVI fue posible determinar la cantidad de superficie de defoliación de la Provincia de Biobío, desde el año 2012 hasta el año 2018.
- Obteniendo como resultado un incremento del 28 % de la vegetación sana, lo que corresponde a 4324,37 km<sup>2</sup> de la superficie total de la provincia.
- A pesar de que el SAG ha disminuido la localización de focos, la superficie enferma tuvo una disminución en el periodo 2012-2018 en 715,93 km<sup>2</sup>. Y se identificó que la distribución de esta plaga se encuentra en el noroeste de la provincia.
- Sin embargo, el mayor cambio de la vegetación sana se presenta durante los años 2012 a 2013. Donde la vegetación sana aumentó en 4368,81 km<sup>2</sup> y la vegetación enferma disminuyó en 985,08 km<sup>2</sup>.
- Gracias a la extracción de valores de píxel para cada año de estudio, se determinó el valor característico de la vegetación enferma para la especie *Pinus radiata*, siendo este valor digital de 0,511857.

En cuanto al análisis de la evolución del foco en la localidad de Loncopangue:

- Se identificó un aumento en el estado fitosanitario de este foco. La media detectada del año 2011 al 2012 varió de 0,3939 a 0,618997.
- El año 2018 este foco se encuentra en vegetación vigorosa, con un valor digital de 0,881466.

Gracias a la utilización de imágenes satelitales de las misiones Landsat 7 y 8, en conjunto con la técnica NDVI, fue posible determinar la cantidad de superficie de defoliación de la Provincia de Biobío en el periodo de estudio.

Una consideración para el procesamiento de imágenes satelitales son las correcciones, ya que son necesarias al momento de aplicar algún tipo de índice.

La principal ventaja de la utilización de las imágenes satelitales radica en su acceso a descargas gratuitas, como lo son Landsat, Sentinel entre otras. Otra ventaja reside en las tomas en lugares de difícil acceso para el hombre o aeronaves, ya que existe una mayor velocidad de movimiento del satélite para ubicar el lugar donde fotografiar. Además, se deben tener presentes las diferencias que existen en cuanto a las características de los sensores propios de cada misión satelital al momento de su utilización.

El desarrollo de este proyecto deja en evidencia que la utilización de la percepción remota ha demostrado ser una técnica de gran utilidad para este tipo de estudio, con resultados satisfactorios, claros y rápido, lo que gracias a las imágenes multiespectrales es posible monitorear, controlar oportunamente y selectivamente las plagas forestales.

Un análisis a través del estudio realizado, sería útil a la hora de detectar un posible foco de la plaga forestal *Sirex noctilio*. Una detección temprana y un análisis constante permitirían la detección oportuna de esta u otras plagas forestales.



A futuro, se recomienda realizar un estudio aplicando el análisis propuesto para analizar cómo ha variado con el tiempo la cobertura vegetal del área de estudio, teniendo en cuenta las posibles limitaciones como lo son el acceso a información de detecciones de plagas forestales, pero sin embargo estas pueden ser solicitadas a las instituciones pertinentes con tiempo de anticipación.



## 7. Referencias.

- Abdullah, A., & Umer, M. (2004). *APPLICATIONS of REMOTE SENSING in PEST SCOUTING: EVALUATING OPTIONS AND EXPLORING POSSIBILITIES*. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/265996671>
- Aguilar, A. M., & Lanfranco, D. M. (1988). *Aspectos biológicos y sintomatológicos de Sirex Noctilio Fabricius (Hymenoptera-Siricidae): Una revisión\**. 9(2), 87–91. <https://doi.org/10.4206/bosque.1988.v9n2-04>
- Alatorre, L. C., Sánchez, E., Amado, J. P., Wiebe, L. C., Torres, M. E., Rojas, H. L., ... López, E. (1986). Analysis of the Temporal and Spatial Evolution of Recovery and Degradation Processes in Vegetated Areas Using a Time Series of Landsat TM Images (1986-2011): Central Region of Chihuahua, Mexico. *Open Journal of Forestry*, 5, 162–180. <https://doi.org/10.4236/ojf.2015.52016>
- Ambrosio, G., González, J., & Arévalo, V. (2002). Corrección radiométrica y geométrica de imágenes para la detección de cambios en una serie temporal. *X Congreso de Métodos Cuantitativos, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección*.
- Araque, L., & Jiménez, A. (2009). Caracterización de firma espectral a partir de sensores remotos para el manejo de sanidad vegetal en el cultivo de palma de aceite. *Revista Palmas*, 30(3), 63–79.
- Ardö, J. (1998). *Remote sensing of forest decline in the Czech Republic*. Lund University Press.
- Castro, R. (1999). *Sistema para el Seguimiento y Análisis de Tierras mediante Teledetección (TeleSAT)*. Recuperado de [http://biblioteca.inia.cl/medios/transferecia/tallersatelital/bsesteoricasp.remota\\_rcas](http://biblioteca.inia.cl/medios/transferecia/tallersatelital/bsesteoricasp.remota_rcas)

tro.pdf

Chuvieco, E. (1995). Fundamentos de teledetección espacial. En (*Fundamentals of remote sensing from space*).

Collins, J. B., & Woodcock, C. E. (1994). Change detection using the Gram-Schmidt transformation applied to mapping forest mortality. *Remote Sensing of Environment*, 50(3), 267–279. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)90076-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)90076-0)

Collins, J. B., & Woodcock, C. E. (1996). An assessment of several linear change detection techniques for mapping forest mortality using multitemporal landsat TM data. *Remote Sensing of Environment*, 56(1), 66–77. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(95\)00233-2](https://doi.org/10.1016/0034-4257(95)00233-2)

CONAF. (s. f.). CONAF. Recuperado 16 de abril de 2020, de <https://www.conaf.cl/>

Coppin, P. R., & Bauer, M. E. (1996). Digital Change Detection in Forest Ecosystems with Remote Sensing Imagery. *Remote Sensing Reviews*, 13(3–4), 207–234. <https://doi.org/10.1080/02757259609532305>

Díaz, J. (2015). *Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión*. Recuperado de [https://eprints.ucm.es/31423/1/TFM\\_Juan\\_Diaz\\_Cervignon.pdf](https://eprints.ucm.es/31423/1/TFM_Juan_Diaz_Cervignon.pdf)

Dottavio, C. L., & Williams, D. L. (1983). Satellite Technology: An Improved Means for Monitoring Forest Insect Defoliation. *Journal of Forestry*, 81(1), 30–34. <https://doi.org/10.1093/jof/81.1.30>

Eklundh, L., Hall, K., Eriksson, H., Ardö, J., & Pilesjö, P. (2003). Investigating the use of landsat thematic mapper data for estimation of forest leaf area index in southern Sweden. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 29(3), 349–362.

<https://doi.org/10.5589/m03-004>

Ekstrand, S. (1994). Assessment of forest damage with landsat TM: Correction for varying

forest stand characteristics. *Remote Sensing of Environment*, 47(3), 291–302.

[https://doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)90097-3](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)90097-3)

Ekstrand, S. P. (1990). Detection of Moderate Damage on Norway Spruce Using Landsat

TM and Digital Stand Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*,

28(4), 685–692. <https://doi.org/10.1109/TGRS.1990.572982>

Franklin, S. (1994). *Satellite remote sensing of spruce budworm forest defoliation in western Newfoundland.*

Franklin, S. E., Waring, R. H., McCreight, R. W., Cohen, W. B., & Fiorella, M. (1995).

Aerial and satellite sensor detection and classification of western spruce budworm defoliation in a subalpine forest. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 21(3), 299–

308. <https://doi.org/10.1080/07038992.1995.10874624>

Gomez, C. (2007). *Sirex noctilio, la avispa de los pinos.* Recuperado de

[https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_forestal13\\_sirex.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_forestal13_sirex.pdf)

Gong, P. (1993). Change detection using principal component analysis and fuzzy set

theory. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 19(1), 22–29.

<https://doi.org/10.1080/07038992.1993.10855147>

González, A. (2018). *DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA LA REPARACIÓN*

*DE HUECOS (GAPFILLING) DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT 7 ETM+.*

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente.

Green, K., Kempka, D., & Lackey, L. (1994). *Using Remote Sensing to Detect and Monitor*

*Land-Cover and Land-Use Change.*

- Hall, R. J., Fernandes, R. A., Hogg, E. H., Brandt, J. P., Butson, C., Case, B. S., & Leblanc, S. G. (2003). Relating aspen defoliation to changes in leaf area derived from field and satellite remote sensing data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 29(3), 299–313. <https://doi.org/10.5589/m03-001>
- Hernández, J. (2011). *PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES Apuntes de Clases*. Recuperado de <http://www.gep.uchile.cl/Publicaciones/Tratamiento Digital de Imágenes - Jaime Hernández 2011.pdf>
- Herrera, M. (2012). *Seguimiento de la plaga forestal Sirex Noctilio en la localidad de Loncopangue a través de imágenes satelitales*.
- IDE CHILE. (s. f.). IDE CHILE. Recuperado 16 de abril de 2020, de <http://www.ide.cl/index.php/informacion-territorial/descargar-informacion-territorial>
- INFOR. (2017). Región del Biobío. Recuperado 18 de marzo de 2020, de <https://ifn.infor.cl/index.php/informacion-regional/region-del-bio-bio>
- Ipinza, R., Molina Brand, M., & Gutierrez Caro, B. (1991). CONTROL INTEGRADO DE Sirex noctilio. *Ciencia e Investigación Forestal*, 5, 96-150. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/253763794>
- Jackson, R. D., & Huete, A. R. (1991). Interpreting vegetation indices. *Preventive Veterinary Medicine*, 11(3–4), 185–200. [https://doi.org/10.1016/S0167-5877\(05\)80004-2](https://doi.org/10.1016/S0167-5877(05)80004-2)
- La Tribuna. (2015). Se amplía área reglamentada tras detección de avispa taladradora en Bío Bío. Recuperado 17 de marzo de 2020, de <https://www.latribuna.cl/cronica/2015/04/26/se-amplia-area-reglamentada-tras-deteccion-de-avispa-taladradora-en-bio-bio.html>

- La Tribuna. (2018). SAG comenzó liberación de controlador biológico de la avispa taladradora de la madera del pino en Biobío. Recuperado 17 de marzo de 2020, de <https://www.latribuna.cl/cronica/2018/12/05/sag-comenzo-liberacion-de-controlador-biologico-de-la-avispa-taladradora-de-la-madera-del-pino-en-biobio.html>
- Lambin, E. F., & Strahlers, A. H. (1994). Change-vector analysis in multitemporal space: A tool to detect and categorize land-cover change processes using high temporal-resolution satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 48(2), 231–244. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)90144-9](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)90144-9)
- LaNGIF. (s. f.). NDVI Histórico Nacional. Recuperado 17 de marzo de 2020, de <http://langif.uaslp.mx/NDVIHistorico.php>
- Lorenzen, B., & Jensen, A. (1989). Changes in leaf spectral properties induced in barley by cereal powdery mildew. *Remote Sensing of Environment*, 27(2), 201–209. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(89\)90018-7](https://doi.org/10.1016/0034-4257(89)90018-7)
- Luther, J. E., Franklin, S. E., Hudak, J., & Meades, J. P. (1997). Forecasting the susceptibility and vulnerability of balsam fir stands to insect defoliation with Landsat thematic mapper data. *Remote Sensing of Environment*, 59(1), 77–91. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00108-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00108-3)
- Macomber, S. A., & Woodcock, C. E. (1994). Mapping and monitoring conifer mortality using remote sensing in the Lake Tahoe Basin. *Remote Sensing of Environment*, 50(3), 255–266. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)90075-2](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)90075-2)
- Radeloff, V. C., Mladenoff, D. J., & Boyce, M. S. (1999). Detecting jack pine budworm defoliation using spectral mixture analysis: Separating effects from determinants.

*Remote Sensing of Environment*. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(99\)00008-5](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(99)00008-5)

Rivera, R. (2019). *EL CONTROL BIOLÓGICO Y NATURAL COMO TECNOLOGÍA QUE URBANOS Y FORESTALES EN COLOMBIA* Autor : Rodrigo Renán Rivera Riascos Trabajo de grado Presentado como requisito para optar al título de ingeniero ambiental Director del trabajo de grado Juan Sebastián Ch. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

Rock, B. N., Vogelmann, J. E., Williams, D. L., Vogelmann, A. F., & Hoshizaki, T. (1986). Remote Detection of Forest Damage. *BioScience*, 36(7), 439–445. <https://doi.org/10.2307/1310339>

Rojas, E., & Gallardo, R. (2005). *ANÁLISIS E IDENTIFICACIÓN DE DAÑOS, ESTADOS INMADUROS, ADULTOS Y ENEMIGOS NATURALES DE Sirex noctilio Fabricius (Hymenoptera: Siricidae)*. Recuperado de [www.sag.cl](http://www.sag.cl)

Rullán, C. (2015). Aplicación de la teledetección satelital en el seguimiento de la defoliación por insectos forestales. Recuperado de <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/16199>

Sánchez de la Orden, M., Navarro Cerrillo, R., García-Ferrer, A., & Cano, F. (2005). Evaluación de la defoliación mediante imágenes IKONOS en masas de *Quercus suber* L. en el sur de España. *Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales*, 14(2), 242–252.

Sánchez, E., Ángel, M., Crespo, T., Fernández, A., Carmona, P., Aguilar, M., ... Ruiz, G. (2000). *Comparación del NDVI con el PVI y el SAVI como Indicadores para la Asignación de Modelos de Combustible para la Estimación del Riesgo de Incendios en Andalucía*. Recuperado de [www.cma.junta-](http://www.cma.junta-)

andalucia.es/mapas\_sintesis/serie\_espacios\_naturales.html

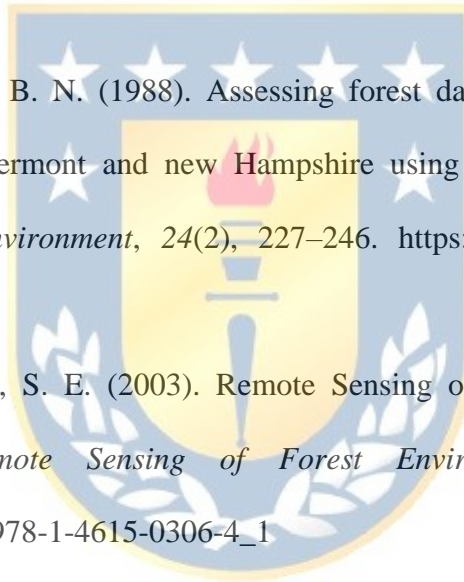
Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). (2018a). *Áreas bajo cuarentena de Sirex noctilio calificadas según riesgo de dispersión en madera hospedante.*

Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). (2018b). *INFORME PROGRAMA CONTROL BIOLÓGICO DE Sirex noctilio F. (Hymenoptera: Siricidae): 2006-2017.*

Taipale, E. (2018). NDVI and your farm: understanding NDVI for plant health insights [Sentera]. Recuperado 22 de marzo de 2020, de <https://sentera.com/understanding-ndvi-plant-health/>

Vogelmann, J. E., & Rock, B. N. (1988). Assessing forest damage in high-elevation coniferous forests in Vermont and New Hampshire using thematic mapper data. *Remote Sensing of Environment*, 24(2), 227–246. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90027-2](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90027-2)

Wulder, M. A., & Franklin, S. E. (2003). Remote Sensing of Forest Environments, Introduction. En *Remote Sensing of Forest Environments* (pp. 3–12). [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0306-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0306-4_1)





## 8. Anexos

### 8.1. Coordenadas focos seleccionados por cada año de estudio.

#### 8.1.1. Año 2012.

Fecha	Sector	Coordenada		Huso	Comuna
		Este	Norte		
23-08-2012	PARCELE LA PRADERA KM 458	733381	5897909	HUSO 18	CABRERO
23-08-2012	PARCELA 14B- MONTE AGUILA	730049	5893443	HUSO 18	CABRERO
22-03-2012	QUILLAYAL	708797	5874899	HUSO 18	LAJA
06-09-2012	LAS TOSCAS	706309	5870884	HUSO 18	LAJA
08-08-2012	HIJUELA EL ALAMO	723693	5869648	HUSO 18	LAJA
21-03-2012	FUNDO TRES PINOS	705980	5864994	HUSO 18	LAJA
17-04-2012	HIJUELA EL NOGAL	732798	5865065	HUSO 18	LOS ANGELES
06-09-2012	PARCELA EL RECUERDO	719504	5860677	HUSO 18	LAJA
14-08-2012	FUNDO SANTA ELCIRA	727875	5861533	HUSO 18	LOS ANGELES
04-04-2012	HIJUELA SAN DIEGO	740857	5860892	HUSO 18	LOS ANGELES

Tabla 24: Coordenadas de para el año 2012. Nota: Elaborada a partir de registros SAG.

#### 8.1.2. Año 2013.

Fecha	Sector	Coordenada		Huso	Comuna
		Este	Norte		
09-04-2013	SANTA ROSA	704684	5880028	HUSO 18	SAN ROSENDO
05-04-2013	EL SOTO DE PEÑAFLORES	706585	5877074	HUSO 18	SAN ROSENDO
02-04-2013	EL RETANO	717257	5865690	HUSO 18	LAJA
24-04-2013	HIJUELA EL PINO-MONTERREY	692162	5863014	HUSO 18	NACIMIENTO
19-04-2013	HIJUELA LA PEÑA / ARINCO	694412	5855508	HUSO 18	NACIMIENTO
15-04-2013	TIERRA DE FATIMA	734984	5842811	HUSO 18	LOS ANGELES
01-04-2013	HIJUELA EL ECALITO	753211	5862915	HUSO 18	LOS ANGELES
15-04-2013	FUNDO VIÑA SAN JOSE DE DUQUECO	741353	5840154	HUSO 18	LOS ANGELES
17-04-2013	EL TILO	239533	5877509	HUSO 19	TUCAPEL
18-04-2013	LOS RADALES	239342	5866719	HUSO 19	TUCAPEL

Tabla 25: Coordenadas de puntos aleatorios para el año 2013. Nota: Elaborada a partir de registros SAG.

### 8.1.3. Año 2014.

Fecha	Sector	Coordenada		Huso	Comuna
		Este	Norte		
14-04-2014	AUTOPISTA DEL BOSQUE	735857	5907539	HUSO 18	CABRERO
11-04-2014	PREDIO LAS ERAS	697028	5865434	HUSO 18	NACIMIENTO
02-04-2014	PARCELA SAN GUILLERMO	242716	5873623	HUSO 19	TUCAPEL
03-04-2014	FUNDO LA PALOMA	250974	5861628	HUSO 19	QUILLECO
03-04-2014	ACANISTA	254221	5861912	HUSO 19	ANTUCO
03-04-2014	FUNDO LA PALOMA	250974	5861628	HUSO 19	QUILLECO
24-04-2014	FUNDO MILLANTU	709157	5857711	HUSO 18	LOS ANGELES
24-04-2014	HIJUELA LOS NARANJOS	707605	5855574	HUSO 18	LOS ANGELES
01-09-2014	FUNDO PEÑUELAS	736063	5906115	HUSO 18	CABRERO
14-04-2014	AUTOPISTA DEL BOSQUE	735857	5907539	HUSO 18	CABRERO

Tabla 26: Coordenadas de puntos aleatorios para el año 2014. Nota: Elaborada a partir de registros SAG.

### 8.1.4. Año 2015.

Fecha	Sector	Coordenada		Huso	Comuna
		Este	Norte		
14-04-2015	FUNDO SANTA BEATRIZ	245857	5868213	HUSO 19	TUCAPEL
24-07-2015	CHAÑIHUÉN	249201	5869640	HUSO 19	TUCAPEL
26-08-2015	FUNDO EL RACIMO	239653	5849270	HUSO 19	QUILLECO
10-09-2015	HIJUELA LAS AGUILAS	240429	5849659	HUSO 19	QUILLECO
26-08-2015	FUNDO EL RACIMO	239653	5849270	HUSO 19	QUILLECO
17-08-2015	HIJUELA SANTA LUISA	236420	5843307	HUSO 19	QUILLECO
24-07-2015	LA PUNTILLA	250476	5868999	HUSO 19	TUCAPEL
08-04-2015	PREDIO LAS CUEVAS	701175	5867259	HUSO 18	NACIMIENTO
06-10-2015		698142	5865864	HUSO 18	NACIMIENTO
05-10-2015	LAS CORRIENTES	694940	5866259	HUSO 18	NACIMIENTO

Tabla 27: Coordenadas de puntos aleatorios para el año 2015. Nota: Elaborada a partir de registros SAG.

### 8.1.5. Año 2016.

Fecha	Sector	Coordenada		Huso	Comuna
		Este	Norte		
04-10-2016	PARCELA EL LAUREL	709026	5906410	HUSO 18	YUMBEL
08-09-2016	HOSTERIA LOS QUESOS	731514	5880504	HUSO 18	CABRERO
04-07-2016	HIJUELA 2 DOLLINCO	697400	5852756	HUSO 18	NACIMIENTO
19-04-2016	FUNDO RIO PARDO	732459	5850498	HUSO 18	QUILLECO
14-01-2016	PARCELA EL PERAL	243236	5872980	HUSO 19	TUCAPEL
14-01-2016	PREDIO LAS LENGAS	261895	5860308	HUSO 19	ANTUCO
18-04-2016	EL ROBLE	258054	5863800	HUSO 19	ANTUCO
15-09-2016	FUNDO MILEO	256335	5859151	HUSO 19	QUILLECO
19-04-2016	HIJUELA EL MAÑO	257140	5847132	HUSO 19	QUILLECO
15-09-2016	FUNDO MILEO	256075	5860052	HUSO 19	QUILLECO

Tabla 28: Coordenadas de puntos aleatorios para el año 2016. Nota: Elaborada a partir de registros SAG.

### 8.1.6. Año 2017.

Fecha	Sector	Coordenada		Huso	Comuna
		Este	Norte		
09-08-2017	FUNDO PAREDONES	727535	5909031	HUSO 18	CABRERO
06-03-2017	TRES ERRE	703839	5906907	HUSO 18	YUMBEL
11-08-2017	FUNDO TRAIGUEN	707990	5898649	HUSO 18	CABRERO
06-06-2017	HIJUELA LOS PERALES	690591	5861133	HUSO 18	NACIMIENTO
02-03-2017	FUNDO TOMECO	711421	5902256	HUSO 18	YUMBEL
11-08-2017	FUNDO TRAIGUEN	707990	5898649	HUSO 18	CABRERO
17-08-2017	FUNDO PAILEMU	708442	5876507	HUSO 18	SAN ROSENDO
22-05-2017	FUNDO CANCHA RAYADA	724864	5870267	HUSO 18	LOS ANGELES
09-08-2017	FUNDO QUINCHIREHUAS	726455	5904373	HUSO 18	CABRERO

Tabla 29: Coordenadas de puntos aleatorios para el año 2017. Nota: Elaborada a partir de registros SAG.

### 8.1.7. Año 2018.

Fecha	Sector	Coordenada		Huso	Comuna
		Norte (m)	Este (m)		
12-06-2018	EL GUINDO	725934	5906283	HUSO 18	CABRERO
12-06-2018	FUNDO QUINNEL	722529	5911665	HUSO 18	CABRERO
06-06-2018	FUNDO PEÑUELAS	734198	5907882	HUSO 18	CABRERO

Tabla 30: Coordenadas de puntos para el año 2018. Nota: Elaborada a partir de registros SAG.

## 8.2. Valores digitales extraídos de la matriz de la imagen del NDVI.

### 8.2.1. Año 2012.

0,589519	0,544328	0,625880	0,644453	0,630646	0,644453	0,671276	
0,578028	0,570201	0,644453	0,648964	0,648964	0,658497	0,648964	
0,537971	0,533576	0,564946	0,603715	0,644453	0,648964	0,635490	
0,504334	0,487320	0,528007	<b>0,570201</b>	0,582802	0,622629	0,590011	
0,461708	0,454418	0,487320	0,521744	0,537971	0,599247	0,553132	
0,425242	0,419062	0,443772	0,460455	0,530312	0,578347	0,519813	
0,386367	0,389526	0,419062	0,439023	0,523698	0,563970	0,489562	
Σ	3,483168	3,398431	3,713441	3,888555	4,098846	4,316106	27,006794
						Media	0,551159

0,594129	0,520972	0,558480	0,633126	0,670948	0,667757	0,653832	
0,596967	0,522100	0,551708	0,530024	0,570948	0,557167	0,521999	
0,539006	0,523100	0,548289	0,520972	0,563649	0,525701	0,584915	
0,550067	0,508857	0,527840	<b>0,67664</b>	0,608608	0,576645	0,569157	
0,582792	0,555742	0,518624	0,623346	0,683124	0,664504	0,525337	
0,657906	0,609296	0,489562	0,546941	0,686268	0,681591	0,559554	
0,679384	0,625171	0,447673	0,467951	0,696402	0,603892	0,625701	
Σ	4,200253	3,865238	3,642175	3,999005	4,479947	4,277258	28,504369
						Media	0,581722

0,596486	0,590011	0,635490	0,669901	0,679277	0,671276	0,677593	
0,540958	0,594681	0,635490	0,669901	0,675326	0,667124	0,690573	
0,406296	0,462730	0,603715	0,665916	0,685128	0,662866	0,679277	
0,373401	0,349080	0,574725	<b>0,679277</b>	0,689039	0,653361	0,671276	
0,319059	0,279454	0,504336	0,685128	0,675326	0,667124	0,671276	
0,283288	0,340959	0,492403	0,667124	0,648964	0,648964	0,675326	
0,291000	0,358426	0,585428	0,644243	0,653361	0,587821	0,536061	
Σ	2,810488	2,975341	4,031588	4,681489	4,706419	4,558534	28,365239
						Media	0,578882

0,468446	0,367493	0,382417	0,305519	0,424320	0,455859	0,557967	
0,423673	0,352155	0,390019	0,313834	0,431461	0,461708	0,536061	
0,389525	0,360281	0,305519	0,221976	0,438452	0,457220	0,514762	
0,365014	0,383996	0,221169	<b>0,221698</b>	0,445299	0,425242	0,594045	
0,356043	0,392409	0,229147	0,221698	0,445299	0,492797	0,573887	
0,365014	0,300933	0,345420	0,329542	0,442939	0,473401	0,554267	
0,374104	0,318324	0,353720	0,437230	0,411339	0,447741	0,535161	
$\Sigma$	2,741818	2,475590	2,227411	2,051496	3,039109	3,213967	19,615542
						Media	0,400317

0,565604	0,467433	0,498620	0,595606	0,590011	0,524215	0,568407	
0,587153	0,488294	0,522304	0,631053	0,569157	0,395611	0,443906	
0,616523	0,525337	0,552436	0,639824	0,575852	0,386367	0,340799	
0,587153	0,587153	0,533576	<b>0,594681</b>	0,654351	0,454267	0,311339	
0,555047	0,514477	0,483898	0,573139	0,633549	0,473525	0,338450	
0,499503	0,465072	0,427810	0,442361	0,422236	0,373398	0,323093	
0,436713	0,486779	0,397423	0,336432	0,326590	0,313988	0,338450	
$\Sigma$	3,847696	3,534544	3,416067	3,813095	3,771744	2,921371	23,968961
						Media	0,489162

0,660889	0,719871	0,684425	0,495502	0,435038	0,443906	0,461974	
0,660889	0,714350	0,655504	0,447673	0,466078	0,484958	0,499624	
0,660889	0,705649	0,626643	0,489562	0,499375	0,518999	0,536447	
0,660889	0,699548	0,590889	<b>0,529607</b>	0,539957	0,566652	0,575321	
0,660889	0,689907	0,545752	0,567330	0,589090	0,602459	0,595594	
0,660889	0,683128	0,596486	0,609303	0,625701	0,636499	0,605958	
0,660889	0,672386	0,635836	0,647233	0,670948	0,668901	0,621553	
$\Sigma$	4,626223	4,884839	4,335535	3,786211	3,826188	3,922374	29,277842
						Media	0,597507

0,464860	0,526586	0,554181	0,580782	0,499624	0,528305	0,521469	
0,488624	0,536447	0,560949	0,589090	0,509188	0,528305	0,504327	
0,515946	0,541608	0,563970	0,593881	0,509319	0,518624	0,487567	
0,527996	0,556730	0,592024	<b>0,603710</b>	0,509457	0,509064	0,475561	
0,543002	0,558105	0,573801	0,639820	0,543571	0,525570	0,508528	
0,577053	0,580654	0,580508	0,594681	0,601125	0,543915	0,439831	
0,593181	0,623346	0,580508	0,509188	0,565597	0,521469	0,455341	
$\Sigma$	3,710663	3,923476	4,111152	3,737883	3,675253	3,392622	26,556990
						Media	0,541979

0,525946	0,584915	0,559554	0,485448	0,565089	0,548043	0,504331	
0,504334	0,550448	0,556467	0,536061	0,458506	0,530312	0,539010	
0,487821	0,509457	0,557967	0,509757	0,449882	0,545752	0,553703	
0,504334	0,509603	0,546936	<b>0,542016</b>	0,465222	0,542016	0,568298	
0,525946	0,542016	0,554595	0,520722	0,493446	0,519813	0,584785	
0,557967	0,531848	0,550932	0,532686	0,504333	0,499241	0,558105	
0,548190	0,487320	0,528007	0,549520	0,571865	0,534356	0,556467	
$\Sigma$	3,654538	3,715606	3,854459	3,676209	3,508342	3,719534	25,993385
						Media	0,530477

0,279295	0,465421	0,573146	0,552429	0,548971	0,436506	0,285789	
0,297867	0,491589	0,574725	0,617405	0,577053	0,424864	0,300087	
0,263727	0,382375	0,582805	0,621999	0,556952	0,386625	0,346701	
0,311210	0,425242	0,596686	<b>0,600851</b>	0,508946	0,392518	0,323207	
0,543137	0,593881	0,504337	0,517776	0,493446	0,448699	0,374104	
0,621846	0,609969	0,446506	0,380566	0,542574	0,498620	0,488294	
0,639824	0,626506	0,537971	0,438318	0,546947	0,555755	0,546941	
$\Sigma$	2,956906	3,594983	3,816176	3,729344	3,774890	3,143588	23,681008
						Media	0,483286

0,493119	0,370846	0,529614	0,559561	0,481094	0,294397	0,251939	
0,431291	0,411066	0,551571	0,630646	0,541608	0,313717	0,251939	
0,425796	0,400214	0,605516	0,660889	0,468810	0,316672	0,266723	
0,489162	0,393132	0,609316	<b>0,639821</b>	0,548971	0,319171	0,267604	
0,514762	0,422087	0,603721	0,627079	0,562187	0,299990	0,296817	
0,529607	0,431135	0,552436	0,595599	0,579089	0,335025	0,284492	
0,509188	0,499241	0,540698	0,521083	0,569152	0,408420	0,273380	
$\Sigma$	3,392926	2,927722	3,992873	4,234678	3,750910	2,287392	1,892895
							22,479395
						Media	0,458763

### 8.2.2. Año 2013.

0,461754	0,461722	0,297902	0,236616	0,353008	0,538203	0,492063	
0,367535	0,351736	0,259047	0,243614	0,307692	0,483572	0,489446	
0,636409	0,638029	0,362936	0,211732	0,322972	0,449312	0,485656	
0,673016	0,675297	0,474017	<b>0,332609</b>	0,381069	0,371271	0,472851	
0,652531	0,689515	0,603472	0,628465	0,643848	0,469388	0,518738	
0,609291	0,643318	0,691997	0,829087	0,673376	0,638704	0,747678	
0,699660	0,647172	0,618008	0,357430	0,403629	0,619329	0,772864	
$\Sigma$	4,100196	4,106790	3,307379	2,839553	3,085594	3,569780	3,979297
							24,988590
						Media	0,509971

0,562321	0,571563	0,581784	0,560431	0,510870	0,529934	0,570350	
0,543563	0,560873	0,543597	0,554995	0,566897	0,521163	0,501540	
0,465982	0,473262	0,501774	0,513767	0,641368	0,515643	0,528967	
0,456789	0,470627	0,463863	<b>0,573499</b>	0,694608	0,512967	0,530482	
0,575643	0,597725	0,571140	0,649876	0,612163	0,601695	0,530678	
0,634528	0,668571	0,581318	0,619906	0,500281	0,688601	0,510185	
0,657324	0,663470	0,574763	0,603704	0,681895	0,528127	0,561711	
$\Sigma$	3,896150	4,006092	3,818240	4,076178	4,208081	3,898128	3,733913
							27,636782
						Media	0,564016

0,567261	0,331843	0,260497	0,243347	0,324919	0,500000	0,541667	
0,285213	0,353995	0,299681	0,282247	0,301259	0,385679	0,575073	
0,444505	0,462757	0,415789	0,367619	0,373362	0,418530	0,446181	
0,408371	0,437944	0,469075	<b>0,522978</b>	0,533988	0,534181	0,441449	
0,361365	0,397849	0,385827	0,416459	0,474308	0,583803	0,515375	
0,308159	0,351737	0,389341	0,397046	0,422084	0,508302	0,622268	
0,334321	0,344039	0,381041	0,380332	0,401821	0,410898	0,637363	
$\Sigma$	2,709194	2,680164	2,610028	2,831740	3,341394	3,779376	20,553147
						Media	0,419452

0,436536	0,698037	0,599672	0,690250	0,623953	0,450704	0,535233		
0,393922	0,549150	0,687371	0,666048	0,663468	0,602263	0,550669		
0,580440	0,625335	0,600156	0,575629	0,405231	0,457599	0,514354		
0,628294	0,585204	0,506154	<b>0,437700</b>	0,383357	0,332824	0,414172		
0,618850	0,576052	0,463666	0,362511	0,306134	0,317778	0,508679		
0,561355	0,583019	0,578736	0,399877	0,353826	0,413352	0,710345		
0,600209	0,634837	0,718048	0,455259	0,449577	0,388948	0,398667		
$\Sigma$	3,819607	4,251633	4,153804	3,587273	3,185545	2,963468	3,632119	25,593449
							Media	0,522315

0,652040	0,459167	0,391845	0,598598	0,724771	0,614154	0,625311		
0,593611	0,484655	0,435669	0,447579	0,452399	0,625059	0,692720		
0,435550	0,458642	0,501609	0,685574	0,601365	0,600148	0,310411		
0,398911	0,374868	0,336532	<b>0,584652</b>	0,607707	0,680873	0,564202		
0,440376	0,351351	0,350037	0,551263	0,676688	0,633396	0,641139		
0,664147	0,556042	0,558052	0,503896	0,640949	0,657802	0,534205		
0,624240	0,639930	0,734053	0,583333	0,621910	0,624670	0,696422		
$\Sigma$	3,808875	3,324656	3,307798	3,954894	4,325789	4,436102	4,064410	27,222525
							Media	0,555562



0,349315	0,326545	0,669942	0,629431	0,679125	0,336658	0,328063		
0,342466	0,318454	0,473749	0,648007	0,615559	0,324374	0,320388		
0,406547	0,373956	0,485900	0,640808	0,631930	0,318993	0,374681		
0,434535	0,412424	0,490637	<b>0,599813</b>	0,639709	0,379310	0,387137		
0,283368	0,410268	0,534529	0,644110	0,624066	0,723251	0,609723		
0,274782	0,406897	0,477363	0,554854	0,452130	0,755989	0,747201		
0,447121	0,414252	0,419646	0,395933	0,361326	0,314985	0,383853		
$\Sigma$	2,538133	2,662796	3,551766	4,112957	4,003847	3,153561	3,151048	23,174108
							Media	0,472941

0,496355	0,602701	0,575202	0,588832	0,413699	0,329334	0,357633		
0,340766	0,664063	0,637493	0,518121	0,501220	0,338609	0,359517		
0,434116	0,698771	0,562829	0,515068	0,603258	0,365679	0,283019		
0,634446	0,684724	0,672552	<b>0,533554</b>	0,615342	0,511872	0,485062		
0,637831	0,607226	0,687052	0,666667	0,617117	0,583461	0,424229		
0,661689	0,603252	0,654375	0,666667	0,635087	0,657711	0,500911		
0,595218	0,667261	0,584098	0,678012	0,740552	0,633437	0,704569		
$\Sigma$	3,800421	4,527998	4,373602	4,166921	4,126274	3,420104	3,114940	27,530261
							Media	0,561842

0,637875	0,540722	0,457069	0,446771	0,477683	0,525054	0,526090		
0,673579	0,471453	0,459991	0,466044	0,551005	0,570630	0,518591		
0,550265	0,429194	0,442741	0,526797	0,612854	0,583400	0,601946		
0,562176	0,529626	0,597327	<b>0,588390</b>	0,538461	0,617232	0,649853		
0,534877	0,610239	0,674133	0,570421	0,545115	0,688911	0,675756		
0,549574	0,694966	0,676240	0,596378	0,676434	0,672053	0,611905		
0,549346	0,501046	0,690817	0,587208	0,592731	0,632601	0,657231		
$\Sigma$	4,057691	3,777248	3,998318	3,782010	3,994283	4,289881	4,241372	28,140803
							Media	0,574302

0,304853	0,269091	0,255372	0,330102	0,404132	0,402363	0,396190		
0,459580	0,427300	0,288038	0,368470	0,438894	0,438779	0,425073		
0,660199	0,618480	0,644426	0,560733	0,467635	0,449176	0,460135		
0,601164	0,632452	0,698134	<b>0,591629</b>	0,664434	0,514597	0,481135		
0,650146	0,692918	0,652279	0,959610	0,659566	0,680405	0,518563		
0,469293	0,522207	0,520979	0,656968	0,680000	0,676325	0,633753		
0,496979	0,521653	0,523996	0,557558	0,396175	0,422000	0,540658		
$\Sigma$	3,642214	3,684101	3,583225	4,025069	3,710836	3,583646	3,455505	25,684596
							Media	0,524175

0,418605	0,713825	0,391074	0,156244	0,516735	0,538286	0,622383		
0,470253	0,444816	0,447873	0,464622	0,563361	0,698258	0,664179		
0,416869	0,426251	0,515870	0,519967	0,471386	0,461769	0,473603		
0,516272	0,550764	0,462141	<b>0,498544</b>	0,459443	0,488580	0,523585		
0,623320	0,667778	0,611486	0,589779	0,484262	0,441071	0,472548		
0,654601	0,608165	0,673450	0,600202	0,627370	0,403622	0,418564		
0,618868	0,659233	0,679318	0,629902	0,632993	0,490639	0,477128		
$\Sigma$	3,718788	4,070832	3,781212	3,459260	3,755550	3,522225	3,651990	25,959857
							Media	0,529793

### 8.2.3. Año 2014.

0,769397	0,780421	0,777470	0,762789	0,618513	0,243243	0,179675		
0,800438	0,786434	0,791176	0,795745	0,522031	0,225141	0,200783		
0,806175	0,809524	0,758491	0,613837	0,400718	0,252635	0,245635		
0,825169	0,795972	0,674357	<b>0,526608</b>	0,492565	0,228346	0,347768		
0,814171	0,809443	0,719704	0,532847	0,287663	0,156127	0,444444		
0,811785	0,823632	0,794401	0,613077	0,284935	0,135922	0,526316		
0,820337	0,815870	0,815881	0,696751	0,257406	0,109052	0,670529		
$\Sigma$	5,647472	5,621296	5,331480	4,541654	2,863832	1,350467	2,615151	27,971350
							Media	0,570844

0,569887	0,373313	0,328104	0,305840	0,329338	0,457014	0,813233	
0,619518	0,390108	0,424546	0,390225	0,412724	0,386555	0,662879	
0,612480	0,439314	0,423919	0,377695	0,403499	0,348315	0,497939	
0,648786	0,605335	0,556334	<b>0,520567</b>	0,460430	0,385379	0,333692	
0,651535	0,669855	0,687520	0,703002	0,542689	0,376836	0,368125	
0,726424	0,807524	0,637870	0,534208	0,460933	0,346135	0,327620	
0,673941	0,807091	0,636810	0,507796	0,417422	0,349337	0,292695	
Σ	4,502570	4,092541	3,695103	3,339333	3,027036	2,649570	3,296182
							24,602334
						Media	0,502088

0,627712	0,637505	0,626457	0,677778	0,652757	0,674315	0,604090	
0,658266	0,609674	0,689638	0,643968	0,622349	0,648920	0,690943	
0,487995	0,625979	0,623842	0,631033	0,692664	0,626535	0,693141	
0,441001	0,691937	0,643871	<b>0,553418</b>	0,541463	0,630023	0,625549	
0,323432	0,550712	0,468620	0,473302	0,349120	0,278456	0,262977	
0,254808	0,336393	0,274934	0,232062	0,250282	0,275423	0,295698	
0,257280	0,243963	0,216958	0,217151	0,219878	0,218367	0,221091	
Σ	3,050493	3,696161	3,544321	3,428712	3,328513	3,352040	3,393489
							23,793728
						Media	0,485586

0,374454	0,334788	0,333509	0,307712	0,334553	0,346183	0,357162	
0,375962	0,361978	0,363476	0,312412	0,323292	0,346409	0,353306	
0,371906	0,397574	0,371077	0,311146	0,317923	0,324675	0,326627	
0,453841	0,463787	0,374876	<b>0,320992</b>	0,304377	0,344722	0,324739	
0,469672	0,529493	0,369375	0,312736	0,321053	0,415488	0,325978	
0,568330	0,649336	0,490663	0,344396	0,338568	0,438231	0,455526	
0,643382	0,702947	0,623150	0,418505	0,519281	0,661993	0,805002	
Σ	3,257548	3,439904	2,926127	2,327899	2,459046	2,877702	2,948339
							20,236566
						Media	0,412991

0,542768	0,622177	0,611276	0,682910	0,665908	0,669946	0,637906	
0,503794	0,548361	0,654362	0,655975	0,656997	0,687735	0,645697	
0,540717	0,547201	0,626633	0,639507	0,672943	0,616748	0,671136	
0,529562	0,518823	0,546497	<b>0,592718</b>	0,668742	0,636140	0,538207	
0,540368	0,489513	0,489087	0,527866	0,526782	0,630265	0,577199	
0,493017	0,422661	0,468393	0,406056	0,380658	0,408011	0,451229	
0,466973	0,467371	0,319609	0,267978	0,319193	0,298746	0,228431	
$\Sigma$	3,617198	3,616107	3,715857	3,773010	3,891223	3,947591	26,310791
						Media	0,536955

0,374454	0,334788	0,333509	0,307712	0,334553	0,346183	0,357162	
0,375962	0,361978	0,363476	0,312412	0,323292	0,346409	0,353306	
0,371906	0,397574	0,371077	0,311146	0,317923	0,324675	0,326627	
0,453841	0,463787	0,374876	<b>0,320992</b>	0,304377	0,344722	0,324739	
0,469672	0,529493	0,369375	0,312736	0,321053	0,415488	0,325978	
0,568330	0,649336	0,490663	0,344396	0,338568	0,438231	0,455526	
0,643382	0,702947	0,623150	0,418505	0,519281	0,661993	0,805002	
$\Sigma$	3,257548	3,439904	2,926127	2,327899	2,459046	2,877702	20,236566
						Media	0,412991

0,300835	0,308159	0,313391	0,336356	0,500801	0,686129	0,667230	
0,295987	0,307587	0,299573	0,308215	0,477612	0,628156	0,645873	
0,300992	0,285552	0,295500	0,333729	0,625641	0,622143	0,694568	
0,299241	0,302339	0,309633	<b>0,375390</b>	0,605544	0,647405	0,667642	
0,301533	0,309049	0,302879	0,373756	0,601742	0,655422	0,655129	
0,313579	0,310209	0,309460	0,387087	0,687928	0,659391	0,662797	
0,327352	0,308803	0,319506	0,418160	0,633088	0,607953	0,619767	
$\Sigma$	2,139519	2,131697	2,149944	2,532694	4,132357	4,506599	4,613006
						Media	0,453180

	0,455079	0,562623	0,500729	0,554880	0,594467	0,642857	0,612860	
	0,599609	0,606304	0,635217	0,683826	0,675762	0,678989	0,591022	
	0,671538	0,688934	0,690801	0,697083	0,697814	0,653056	0,640261	
	0,696812	0,635863	0,660657	<b>0,539458</b>	0,640964	0,616604	0,654933	
	0,508322	0,561214	0,388654	0,310731	0,481088	0,554548	0,659049	
	0,570970	0,674041	0,389860	0,271538	0,542204	0,679171	0,628334	
	0,645356	0,682459	0,464213	0,355884	0,682946	0,641136	0,604334	
Σ	4,147687	4,411439	3,730131	3,413401	4,315246	4,466362	4,390794	28,875058
							Media	0,589287

	0,662811	0,653240	0,612967	0,604535	0,643537	0,649116	0,691477	
	0,612343	0,593506	0,422293	0,556295	0,661223	0,641953	0,680859	
	0,615583	0,613434	0,469662	0,490470	0,544361	0,518894	0,667374	
	0,603444	0,623533	0,502982	<b>0,435965</b>	0,573866	0,514588	0,658345	
	0,681671	0,647047	0,573962	0,434746	0,529858	0,579221	0,653772	
	0,682503	0,658305	0,609978	0,525922	0,497203	0,569352	0,637207	
	0,671761	0,672588	0,647470	0,586299	0,410628	0,454268	0,474350	
Σ	4,530116	4,461654	3,839313	3,634232	3,860676	3,927392	4,463384	28,716766
							Media	0,586056

	0,598456	0,686434	0,691176	0,695745	0,522031	0,225141	0,200783	
	0,543278	0,609524	0,658491	0,613837	0,400718	0,252635	0,245635	
	0,647524	0,695972	0,674357	0,526608	0,492565	0,228346	0,347768	
	0,543762	0,609443	0,619704	<b>0,532847</b>	0,287663	0,156127	0,444444	
	0,654876	0,623632	0,694401	0,613077	0,284935	0,135922	0,526316	
	0,589765	0,615870	0,615881	0,696751	0,257406	0,109052	0,670529	
	0,500988	0,601248	0,600082	0,633663	0,235735	0,165957	0,772468	
Σ	4,078649	4,442123	4,554092	4,312528	2,481053	1,273181	3,207944	24,349570
							Media	0,496930

### 8.2.4. Año 2015.

0,930117	0,944785	0,929569	0,926103	0,910966	0,693008	0,253569		
0,923632	0,924551	0,925542	0,934072	0,781546	0,450000	0,197059		
0,929069	0,930717	0,938723	0,810067	0,465151	0,277585	0,187261		
0,937052	0,830705	0,702734	<b>0,433220</b>	0,202196	0,217625	0,180385		
0,455349	0,360016	0,282927	0,227533	0,190037	0,184174	0,179184		
0,244516	0,217226	0,201250	0,212421	0,210965	0,179316	0,213122		
0,214557	0,211874	0,214863	0,213751	0,216947	0,205938	0,203267		
<b>Σ</b>	4,634293	4,419874	4,195608	3,757166	2,977809	2,207645	1,413846	23,606241
							Media	0,481760

0,224157	0,216034	0,215427	0,218087	0,215512	0,216262	0,211500		
0,276642	0,218409	0,213860	0,214308	0,213976	0,214592	0,213959		
0,607680	0,401000	0,282782	0,220942	0,208218	0,217759	0,223385		
0,924935	0,789004	0,700498	<b>0,513173</b>	0,306677	0,250365	0,232780		
0,913584	0,862385	0,869467	0,848007	0,648526	0,424565	0,246882		
0,894845	0,842287	0,805725	0,898033	0,902233	0,928027	0,607336		
0,905609	0,896670	0,881531	0,890255	0,887620	0,900533	0,893575		
<b>Σ</b>	4,747452	4,225790	3,969291	3,802805	3,382763	3,152103	2,629417	25,909620
							Media	0,528768

0,606903	0,630668	0,640637	0,638384	0,648421	0,543910	0,418752		
0,628853	0,636565	0,637734	0,664531	0,636651	0,535755	0,460706		
0,606066	0,616642	0,665429	0,651957	0,544988	0,590724	0,370385		
0,543954	0,543265	0,558888	<b>0,547608</b>	0,503791	0,372730	0,283322		
0,352746	0,377562	0,494203	0,445831	0,429352	0,372254	0,367605		
0,214740	0,241428	0,443831	0,416017	0,347120	0,397638	0,487995		
0,232289	0,192279	0,271537	0,487428	0,456291	0,502019	0,447414		
<b>Σ</b>	3,185551	3,238409	3,712259	3,851755	3,566612	3,315031	2,836178	23,705796
							Media	0,483792

0,365659	0,347910	0,324274	0,326946	0,335595	0,358158	0,516102	
0,344473	0,351767	0,325091	0,323997	0,414911	0,399800	0,426047	
0,520510	0,436168	0,366312	0,327429	0,299520	0,319912	0,376363	
0,812103	0,756228	0,671816	<b>0,555362</b>	0,268962	0,251041	0,385113	
0,899114	0,901119	0,898246	0,717732	0,251117	0,245910	0,340132	
0,790128	0,853583	0,868031	0,590687	0,218691	0,283710	0,524982	
0,821280	0,842647	0,875130	0,457717	0,235152	0,289206	0,554337	
$\Sigma$	4,553266	4,489421	4,328899	3,299870	2,023948	2,147737	3,123077
							23,966218
						Media	0,489106

0,543954	0,543265	0,558888	0,547608	0,503791	0,372730	0,283322	
0,352746	0,377562	0,494203	0,445831	0,429352	0,372254	0,367605	
0,214740	0,241428	0,443831	0,416017	0,347120	0,397638	0,487995	
0,232289	0,192279	0,271537	<b>0,487428</b>	0,456291	0,502019	0,447414	
0,391039	0,296832	0,338695	0,491194	0,630074	0,674914	0,510312	
0,596647	0,580930	0,575561	0,589935	0,728584	0,605899	0,413498	
0,612442	0,554012	0,629247	0,577643	0,545289	0,392036	0,299940	
$\Sigma$	2,943858	2,786308	3,311961	3,555655	3,640500	3,317490	2,810085
							22,365857
						Media	0,456446

0,452047	0,467427	0,512338	0,629245	0,680362	0,767936	0,873684	
0,709161	0,589170	0,500278	0,446383	0,416034	0,534767	0,648370	
0,650234	0,465698	0,428240	0,395445	0,563440	0,659199	0,611111	
0,720143	0,486250	0,362007	<b>0,371124</b>	0,707987	0,847097	0,793864	
0,394113	0,421160	0,441607	0,501089	0,835664	0,834054	0,776805	
0,195106	0,208505	0,278907	0,489858	0,772765	0,845368	0,744876	
0,231338	0,254426	0,229923	0,370033	0,740200	0,786137	0,679066	
$\Sigma$	3,352143	2,892636	2,753299	3,203177	4,716452	5,274560	5,127777
							27,320043
						Media	0,557552

	0,696480	0,567283	0,530106	0,511267	0,557116	0,516521	0,535002	
	0,626161	0,549133	0,571647	0,726657	0,608133	0,538381	0,630898	
	0,633724	0,682436	0,569635	0,669531	0,502559	0,443814	0,538913	
	0,676362	0,581197	0,538854	<b>0,594483</b>	0,549882	0,465620	0,550849	
	0,698248	0,594037	0,631433	0,527496	0,690362	0,570165	0,598074	
	0,643160	0,644509	0,637046	0,569587	0,653311	0,523706	0,533706	
	0,675862	0,545783	0,611249	0,565414	0,614486	0,557463	0,533731	
$\Sigma$	4,649998	4,164378	4,089970	4,164435	4,175849	3,615670	3,921174	28,781473
							Media	0,587377

	0,624885	0,651494	0,696189	0,621806	0,634315	0,620523	0,691546	
	0,472177	0,571101	0,644480	0,651861	0,686489	0,674310	0,534021	
	0,553258	0,552151	0,480696	0,441758	0,459011	0,474531	0,281028	
	0,621897	0,645513	0,611436	<b>0,535458</b>	0,415640	0,466904	0,328362	
	0,568553	0,547506	0,649463	0,667180	0,478390	0,420433	0,458633	
	0,501465	0,430478	0,445550	0,536547	0,494246	0,317113	0,495634	
	0,380888	0,330208	0,326455	0,398132	0,441414	0,172464	0,584635	
$\Sigma$	3,723124	3,728451	3,854269	3,852743	3,609504	3,146278	3,373857	25,288226
							Media	0,516086

	0,333522	0,361536	0,426142	0,615142	0,670152	0,685607	0,696914	
	0,338363	0,313156	0,332915	0,578149	0,672597	0,679170	0,696820	
	0,378604	0,373756	0,499463	0,585755	0,644681	0,605813	0,689614	
	0,441942	0,520275	0,649656	<b>0,537535</b>	0,575012	0,670578	0,627234	
	0,572161	0,569575	0,615128	0,591914	0,565430	0,517084	0,423795	
	0,681398	0,602820	0,502849	0,597128	0,616199	0,451997	0,337518	
	0,648706	0,658772	0,626259	0,604805	0,668991	0,641938	0,381594	
$\Sigma$	3,394696	3,399890	3,652411	4,110427	4,413062	4,252186	3,853490	27,076163
							Media	0,552575



0,527450	0,588395	0,588345	0,601147	0,578680	0,633214	0,627943	
0,579724	0,533508	0,600868	0,610220	0,572142	0,578191	0,622751	
0,526613	0,678650	0,595846	0,581946	0,555055	0,542969	0,561413	
0,544048	0,697870	0,579490	<b>0,562718</b>	0,561947	0,559359	0,570804	
0,539789	0,632168	0,595447	0,576012	0,600110	0,579354	0,609022	
0,520714	0,649373	0,586871	0,611111	0,637201	0,596743	0,587060	
0,528922	0,555864	0,543115	0,610520	0,614695	0,581190	0,551198	
Σ	3,767260	4,335827	4,089982	4,153675	4,119830	4,071020	4,130192
							28,667786
						Media	0,585057

### 8.2.5. Año 2016.

0,298833	0,412052	0,551784	0,562598	0,681558	0,522745	0,468786	
0,267869	0,382672	0,610651	0,589627	0,502395	0,558784	0,601327	
0,366972	0,515543	0,745514	0,698240	0,552747	0,561361	0,631298	
0,591409	0,625954	0,861484	<b>0,691521</b>	0,576670	0,620292	0,674867	
0,652226	0,552352	0,651549	0,691848	0,646775	0,656312	0,655440	
0,539379	0,666163	0,607661	0,619106	0,650236	0,644754	0,636884	
0,400794	0,648964	0,611208	0,637398	0,640231	0,640689	0,638782	
Σ	3,117483	3,803700	4,639851	4,490338	4,250613	4,204936	4,307384
							28,814303
						Media	0,588047

0,602134	0,622108	0,440622	0,301991	0,130694	0,560550	0,900644	
0,632733	0,573448	0,692711	0,522965	0,207782	0,327519	0,875075	
0,687417	0,628681	0,681223	0,596201	0,307407	0,211626	0,739066	
0,710811	0,640257	0,636677	<b>0,629505</b>	0,358285	0,177778	0,511726	
0,623833	0,545720	0,520694	0,443980	0,284848	0,148132	0,364020	
0,493012	0,466263	0,538522	0,599226	0,377102	0,135586	0,612468	
0,679019	0,672432	0,773682	0,806319	0,639565	0,360111	0,659851	
Σ	4,428960	4,148909	4,284131	3,900188	2,305683	1,921301	4,662852
							25,652024
						Media	0,523511

	0,541480	0,657380	0,790162	0,826490	0,863966	0,816276	0,656051	
	0,395039	0,537941	0,638291	0,851351	0,865391	0,861978	0,834590	
	0,351938	0,405211	0,639923	0,808050	0,680543	0,756422	0,861275	
	0,224754	0,487053	0,573333	<b>0,370963</b>	0,560249	0,824438	0,880700	
	0,438749	0,382434	0,284455	0,166991	0,522571	0,722765	0,841043	
	0,479652	0,361085	0,189595	0,228051	0,749882	0,618358	0,601663	
	0,254771	0,373709	0,546355	0,457191	0,672962	0,472999	0,465438	
$\Sigma$	2,686383	3,204813	3,662113	3,709087	4,915564	5,073237	5,140760	28,391955
							Media	0,579428

	0,171059	0,244696	0,072179	0,053049	0,037633	0,067891	0,119912	
	0,168035	0,237972	0,160021	0,102541	0,084523	0,085955	0,110820	
	0,163105	0,263996	0,213728	0,133272	0,230311	0,150251	0,061579	
	0,142790	0,193830	0,254867	<b>0,185099</b>	0,158443	0,166085	0,161041	
	0,124013	0,168146	0,221728	0,150567	0,118255	0,098763	0,132524	
	0,100525	0,130571	0,153176	0,111686	0,098125	0,087615	0,110383	
	0,113315	0,085151	0,121531	0,094667	0,115218	0,200407	0,177704	
$\Sigma$	0,982842	1,324361	1,197229	0,830881	0,842509	0,856965	0,873963	6,908751
							Media	0,140995

	0,400054	0,606752	0,672657	0,577924	0,345760	0,348116	0,384782	
	0,517297	0,658694	0,521222	0,567268	0,309429	0,286979	0,304325	
	0,585483	0,588454	0,582275	0,476056	0,295041	0,302548	0,298364	
	0,619597	0,463079	0,497436	<b>0,357321</b>	0,314270	0,307250	0,296316	
	0,676830	0,530404	0,322946	0,332832	0,473934	0,341359	0,339602	
	0,571457	0,531071	0,513499	0,283379	0,490102	0,352370	0,328955	
	0,526964	0,597361	0,613217	0,294978	0,331615	0,347201	0,410507	
$\Sigma$	3,897682	3,975815	3,723253	2,889758	2,560150	2,285822	2,362851	21,695331
							Media	0,442762

	0,541828	0,571690	0,569161	0,563518	0,542294	0,559290	0,554727	
	0,564958	0,537287	0,560157	0,553887	0,530089	0,552682	0,551578	
	0,553166	0,525808	0,539063	0,540844	0,537824	0,553150	0,559607	
	0,539618	0,532338	0,501615	<b>0,502164</b>	0,531915	0,551846	0,568345	
	0,530714	0,524116	0,530462	0,508392	0,527837	0,560496	0,575610	
	0,534158	0,523760	0,520686	0,497863	0,516340	0,583211	0,588544	
	0,537415	0,524483	0,536041	0,539426	0,538380	0,577290	0,604995	
Σ	3,801857	3,739482	3,757184	3,706094	3,724679	3,937966	4,003407	26,670669
							Media	0,544299

	0,631757	0,644610	0,619131	0,678590	0,642743	0,573059	0,492188	
	0,641026	0,576244	0,557928	0,537172	0,452193	0,466486	0,619855	
	0,370428	0,349347	0,331603	0,323671	0,330312	0,343321	0,568551	
	0,339060	0,315096	0,309808	<b>0,319217</b>	0,326819	0,331846	0,363744	
	0,375334	0,370847	0,384193	0,422399	0,465326	0,412815	0,380410	
	0,359449	0,374866	0,418079	0,553548	0,657866	0,679092	0,610274	
	0,597458	0,588204	0,646809	0,633258	0,611892	0,615909	0,673693	
Σ	3,314512	3,219214	3,267552	3,467855	3,487150	3,422529	3,708714	23,887526
							Media	0,487501

	0,438139	0,411596	0,346845	0,324915	0,312444	0,306369	0,300062	
	0,654893	0,460733	0,334526	0,314778	0,336431	0,303714	0,301036	
	0,648428	0,578459	0,355426	0,356033	0,329350	0,331512	0,326972	
	0,675694	0,639701	0,415739	<b>0,360391</b>	0,338303	0,440966	0,568776	
	0,679942	0,563931	0,327385	0,416963	0,432194	0,614049	0,561770	
	0,654871	0,449899	0,454622	0,559959	0,637813	0,608098	0,558313	
	0,663653	0,536610	0,385941	0,452528	0,644682	0,400074	0,524752	
Σ	4,415620	3,640929	2,620484	2,785566	3,031216	3,004781	3,141682	22,640279
							Media	0,462047

0,418597	0,522956	0,532493	0,561343	0,449210	0,416759	0,570432	
0,508846	0,510904	0,443322	0,453782	0,415248	0,399218	0,487616	
0,469463	0,441403	0,424034	0,427725	0,459200	0,416444	0,439331	
0,528562	0,520154	0,516883	<b>0,584857</b>	0,669832	0,456279	0,455523	
0,465204	0,560645	0,589041	0,694625	0,693598	0,589000	0,641968	
0,661878	0,622613	0,605553	0,530846	0,572650	0,572445	0,697297	
0,634828	0,583202	0,673892	0,550385	0,503587	0,536926	0,632772	
$\Sigma$	3,687378	3,761876	3,785218	3,803563	3,763323	3,387071	26,113368
						Media	0,532926

0,656716	0,753960	0,577243	0,377163	0,473630	0,623791	0,539669	
0,501769	0,466471	0,411704	0,495106	0,570650	0,476522	0,392447	
0,663518	0,451163	0,511710	0,647000	0,639922	0,599434	0,493860	
0,692083	0,574174	0,602748	<b>0,544744</b>	0,471173	0,418164	0,671410	
0,669399	0,682209	0,536746	0,480705	0,454983	0,499759	0,664455	
0,693712	0,651710	0,619481	0,581910	0,561251	0,581395	0,408144	
0,663885	0,674732	0,660129	0,504839	0,676086	0,500890	0,449639	
$\Sigma$	4,541081	4,254419	3,919760	3,631467	3,847694	3,699955	27,514000
						Media	0,561510

### 8.2.6. Año 2017.

0,618315	0,880629	0,875223	0,872624	0,894802	0,847938	0,410050	
0,521407	0,851491	0,886734	0,879936	0,898876	0,750786	0,371989	
0,358491	0,613237	0,845157	0,764209	0,587902	0,468242	0,377146	
0,339873	0,342798	0,456343	<b>0,580756</b>	0,450598	0,338521	0,360048	
0,405012	0,419865	0,470551	0,562346	0,503920	0,492469	0,414348	
0,484623	0,383104	0,298146	0,293554	0,490537	0,701835	0,633663	
0,483049	0,279253	0,285928	0,297025	0,455357	0,667477	0,716874	
$\Sigma$	3,210769	3,770377	4,118082	4,250449	4,281992	4,267269	27,183055
						Media	0,554756

	0,861281	0,876179	0,860008	0,622200	0,425287	0,386968	0,358696	
	0,873900	0,871017	0,882447	0,672511	0,443020	0,372421	0,355000	
	0,871429	0,880456	0,876422	0,650646	0,396975	0,365629	0,364142	
	0,866667	0,858027	0,721966	<b>0,518506</b>	0,386202	0,371997	0,354882	
	0,873457	0,789664	0,545269	0,406981	0,365800	0,370470	0,377352	
	0,865342	0,823177	0,531085	0,384092	0,316161	0,359490	0,337333	
	0,858124	0,879926	0,553392	0,300272	0,326963	0,294218	0,329000	
Σ	6,070199	5,978447	4,970588	3,555209	2,660409	2,521194	2,476406	28,232451
							Media	0,576172

	0,342823	0,336030	0,283115	0,415744	0,671291	0,840788	0,870364	
	0,351030	0,329494	0,299672	0,566390	0,755542	0,790806	0,805498	
	0,299694	0,324314	0,323043	0,486265	0,866752	0,880428	0,829858	
	0,307718	0,326647	0,343424	<b>0,371889</b>	0,659091	0,857995	0,852670	
	0,325763	0,325898	0,309417	0,341998	0,518742	0,859163	0,872149	
	0,332363	0,334579	0,337894	0,390919	0,658376	0,870080	0,888278	
	0,331280	0,303797	0,451602	0,529673	0,612378	0,846324	0,861373	
Σ	2,290671	2,280760	2,348167	3,102878	4,742172	5,945586	5,980191	26,690424
							Media	0,544703

	0,384811	0,393196	0,382460	0,339216	0,353758	0,518810	0,574629	
	0,403604	0,414171	0,306596	0,346839	0,444152	0,532290	0,600176	
	0,537380	0,458333	0,372651	0,413482	0,344093	0,492744	0,531660	
	0,621565	0,482750	0,398188	<b>0,409507</b>	0,472103	0,502264	0,622625	
	0,695638	0,444347	0,461046	0,654783	0,776705	0,805819	0,827637	
	0,774809	0,586011	0,493109	0,879675	0,871103	0,871294	0,891508	
	0,748543	0,657527	0,587236	0,758114	0,839046	0,875608	0,878567	
Σ	4,166349	3,436335	3,001286	3,801616	4,100961	4,598830	4,926801	28,032178
							Media	0,572085

	0,300959	0,227202	0,298156	0,413421	0,414122	0,541356	0,608491	
	0,366373	0,290660	0,267490	0,313798	0,497924	0,612094	0,520000	
	0,339210	0,335554	0,281477	0,275535	0,395789	0,415155	0,464387	
	0,215988	0,346983	0,363105	<b>0,463381</b>	0,343176	0,386515	0,558104	
	0,342788	0,426347	0,595710	0,688369	0,542764	0,523568	0,606041	
	0,556826	0,592286	0,665281	0,680156	0,655443	0,591286	0,635834	
	0,665755	0,601340	0,633168	0,653640	0,654424	0,574023	0,629160	
Σ	2,787898	2,820373	3,104387	3,488301	3,503641	3,643997	4,022017	23,370615
							Media	0,476951

	0,315387	0,326836	0,296608	0,280620	0,305381	0,446648	0,674044	
	0,414755	0,527969	0,456188	0,357143	0,343465	0,496366	0,670184	
	0,296400	0,391487	0,424331	0,407758	0,376518	0,530358	0,651257	
	0,213222	0,247138	0,393014	<b>0,418558</b>	0,439680	0,480472	0,626379	
	0,237399	0,236373	0,385011	0,389975	0,388677	0,384000	0,615832	
	0,337157	0,261247	0,392035	0,267880	0,263844	0,400000	0,697732	
	0,509256	0,303948	0,275109	0,270148	0,258776	0,397189	0,636136	
Σ	2,323578	2,294997	2,622296	2,392081	2,376342	3,135034	4,571564	19,715892
							Media	0,402365

	0,337038	0,342823	0,336030	0,283115	0,415744	0,671291	0,640788	
	0,355814	0,351030	0,329494	0,299672	0,566390	0,655542	0,690806	
	0,320271	0,299694	0,324314	0,323043	0,486265	0,666752	0,680428	
	0,296066	0,307718	0,326647	<b>0,343424</b>	0,371889	0,659091	0,657995	
	0,333333	0,325763	0,325898	0,309417	0,341998	0,518742	0,659163	
	0,326984	0,332363	0,334579	0,337894	0,390919	0,658376	0,670080	
	0,343573	0,331280	0,303797	0,451602	0,529673	0,612378	0,646324	
Σ	2,313080	2,290671	2,280760	2,348167	3,102878	4,442172	4,645586	21,423313
							Media	0,437210

0,453480	0,510870	0,638978	0,513959	0,550108	0,609907	0,657120	
0,557543	0,619821	0,689783	0,573721	0,560369	0,592787	0,691736	
0,382936	0,588752	0,631343	0,530800	0,683146	0,658139	0,680464	
0,480372	0,693490	0,652783	<b>0,551950</b>	0,582714	0,675616	0,606387	
0,565848	0,663945	0,673106	0,580766	0,597980	0,685212	0,616901	
0,372000	0,644576	0,666001	0,584821	0,587162	0,525505	0,659928	
0,238710	0,622307	0,659589	0,596442	0,503762	0,521268	0,562392	
$\Sigma$	3,050888	4,343761	4,611582	3,932458	4,065241	4,268434	4,474928
							28,747292
						Media	0,586679

0,370699	0,408163	0,457435	0,469880	0,575485	0,719986	0,639378	
0,368798	0,389868	0,421274	0,447833	0,564149	0,699644	0,607153	
0,362135	0,375179	0,421170	0,433523	0,473655	0,661833	0,623870	
0,385177	0,387367	0,416786	<b>0,485746</b>	0,477558	0,492630	0,676978	
0,363762	0,400839	0,404292	0,486333	0,422906	0,444950	0,658942	
0,377075	0,405858	0,391154	0,431066	0,455652	0,467445	0,574786	
0,383163	0,394737	0,419178	0,539141	0,631521	0,686996	0,610652	
$\Sigma$	2,610811	2,762012	2,931288	3,293520	3,600926	4,173483	4,391759
							23,763799
						Media	0,484975

0,561456	0,400627	0,321326	0,223071	0,297216	0,455939	0,435946	
0,496363	0,543904	0,499691	0,397678	0,344300	0,399198	0,439341	
0,342215	0,385795	0,489064	0,590556	0,501167	0,457771	0,501041	
0,275703	0,270150	0,269390	<b>0,492231</b>	0,604921	0,683643	0,538744	
0,276561	0,325920	0,391107	0,478088	0,489031	0,616992	0,615565	
0,419530	0,468670	0,578224	0,649900	0,489374	0,613010	0,662216	
0,562218	0,581990	0,676949	0,628458	0,510795	0,612398	0,626446	
$\Sigma$	2,934046	2,977056	3,225750	3,459983	3,236805	3,838951	3,819299
							23,491890
						Media	0,479426

### 8.2.7. Año 2018.

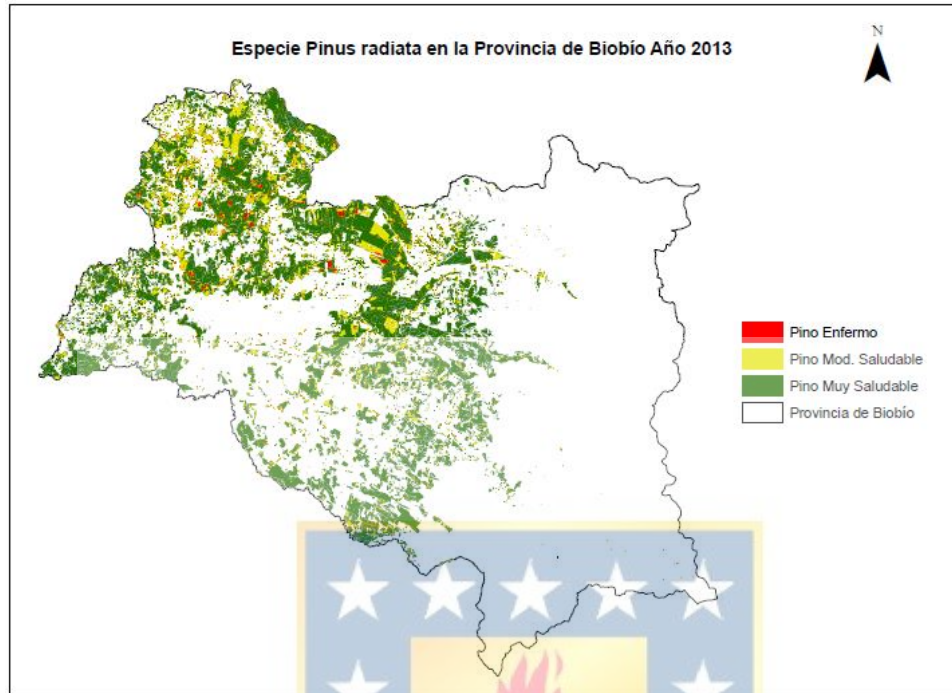
0,474443	0,722102	0,843605	0,845760	0,726481	0,540407	0,629449	
0,348039	0,744157	0,857667	0,861648	0,671514	0,432752	0,424681	
0,364655	0,774208	0,843360	0,759538	0,537604	0,459415	0,427719	
0,584936	0,855908	0,795125	0,692580	0,384453	0,401756	0,487698	
0,654302	0,817013	0,792189	<b>0,718387</b>	0,406593	0,318305	0,346747	
0,717220	0,802040	0,824206	0,656695	0,406974	0,331193	0,366453	
0,833468	0,843122	0,833003	0,586875	0,370475	0,322105	0,456091	
0,829073	0,836991	0,816960	0,520648	0,380363	0,283058	0,393066	
Σ	4,806135	6,395541	6,606116	5,642130	3,884458	3,088991	33,955276
						Media	0,692965

0,872972	0,858432	0,853319	0,867672	0,873892	0,874054	0,874745	
0,864106	0,874403	0,867826	0,871540	0,880152	0,884108	0,884642	
0,861940	0,882674	0,869489	0,873780	0,879568	0,882720	0,882069	
0,864896	0,883368	0,872204	<b>0,878999</b>	0,854753	0,833951	0,865898	
0,804124	0,873638	0,869172	0,863324	0,863989	0,867898	0,882971	
0,756679	0,878243	0,878766	0,888146	0,886678	0,883938	0,885916	
0,761584	0,840366	0,855093	0,848571	0,872251	0,879121	0,870736	
Σ	5,786301	6,091123	6,065870	6,092033	6,111284	6,105790	42,399376
						Media	0,865293

0,821002	0,825228	0,778454	0,792886	0,845702	0,855274	0,862441	
0,810374	0,824958	0,832194	0,827676	0,851518	0,838654	0,848281	
0,828825	0,834894	0,826087	0,841325	0,849761	0,851240	0,854031	
0,843448	0,839760	0,833615	<b>0,826405</b>	0,831628	0,834625	0,828734	
0,846816	0,846339	0,838392	0,833542	0,839014	0,846664	0,850599	
0,846277	0,865561	0,850715	0,842750	0,848448	0,849128	0,843594	
0,869496	0,872985	0,849797	0,842706	0,848142	0,808652	0,828821	
Σ	5,866238	5,909724	5,809255	5,807290	5,914214	5,884237	41,107460
						Media	0,838928

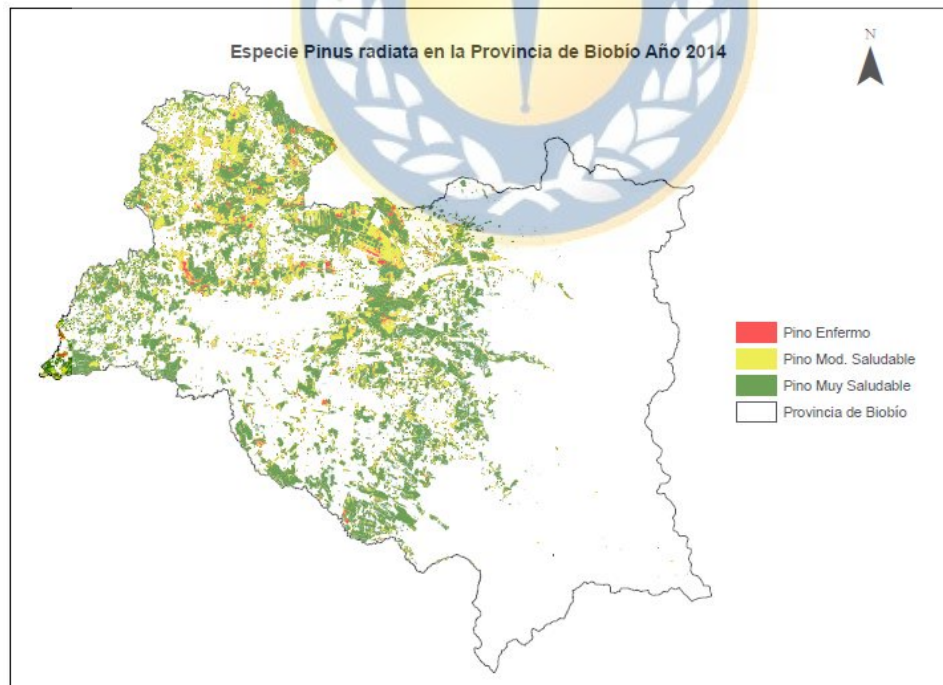
### 8.3. Distribución de la especie *Pinus radiata* en la provincia de Biobío.





*Figura 33: Distribución de Especie Pinus radiata en la provincia de Biobío año 2013.*

*Nota: Elaboración propia.*



*Figura 34: Distribución de Especie Pinus radiata en la provincia de Biobío año 2014.*

*Nota: Elaboración propia.*

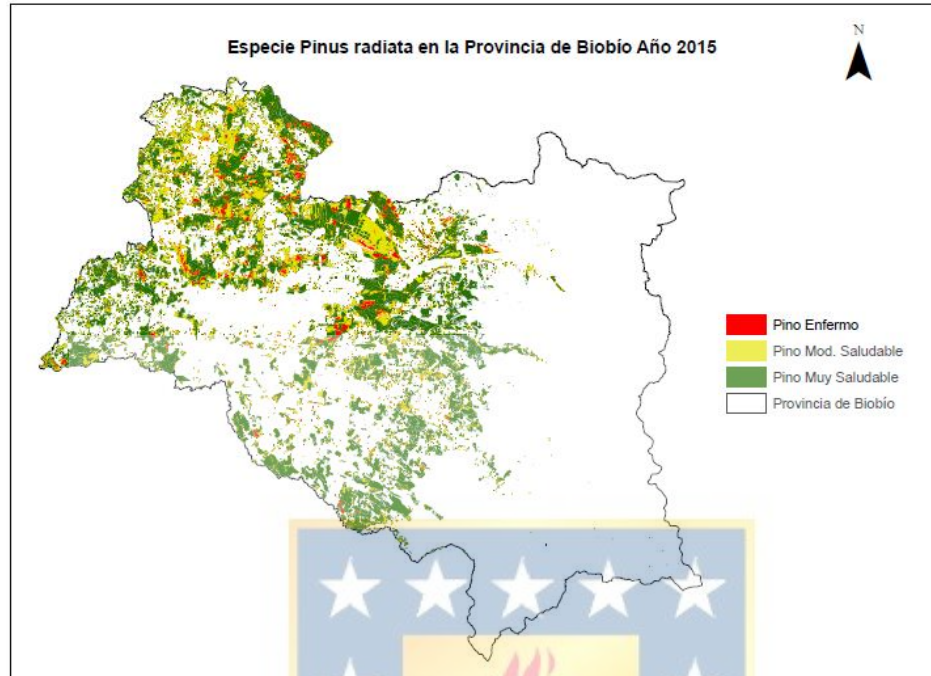


Figura 35: Distribución de Especie *Pinus radiata* en la provincia de Biobío año 2015.

Nota: Elaboración propia.

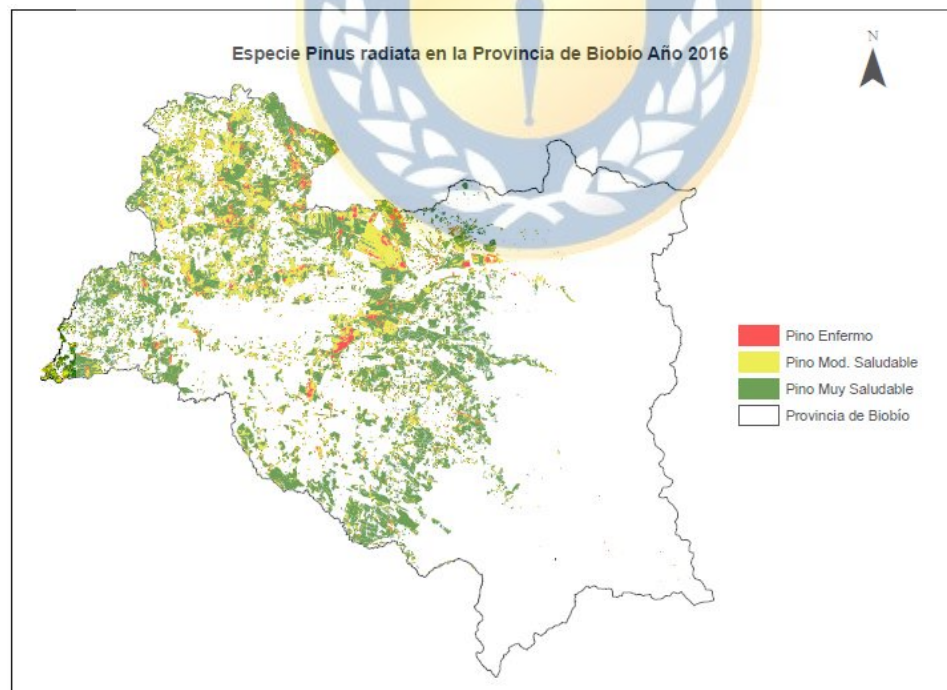
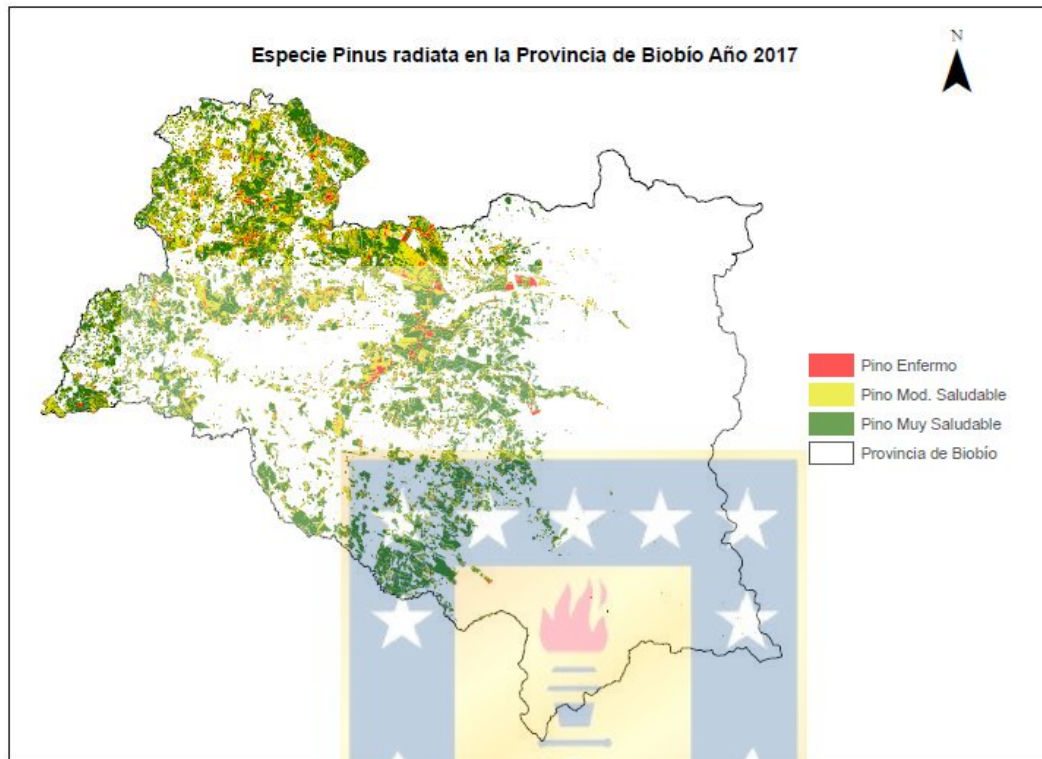


Figura 36: Distribución de Especie *Pinus radiata* en la provincia de Biobío año 2016.

Nota: Elaboración propia.



*Figura 37: Distribución de Especie Pinus radiata en la provincia de Biobío año 2017.*

*Nota: Elaboración propia.*

#### **8.4. NDVI periodo 2012 – 2018.**

700000

750000

800000

850000

900000

N

5900000

5900000

5850000

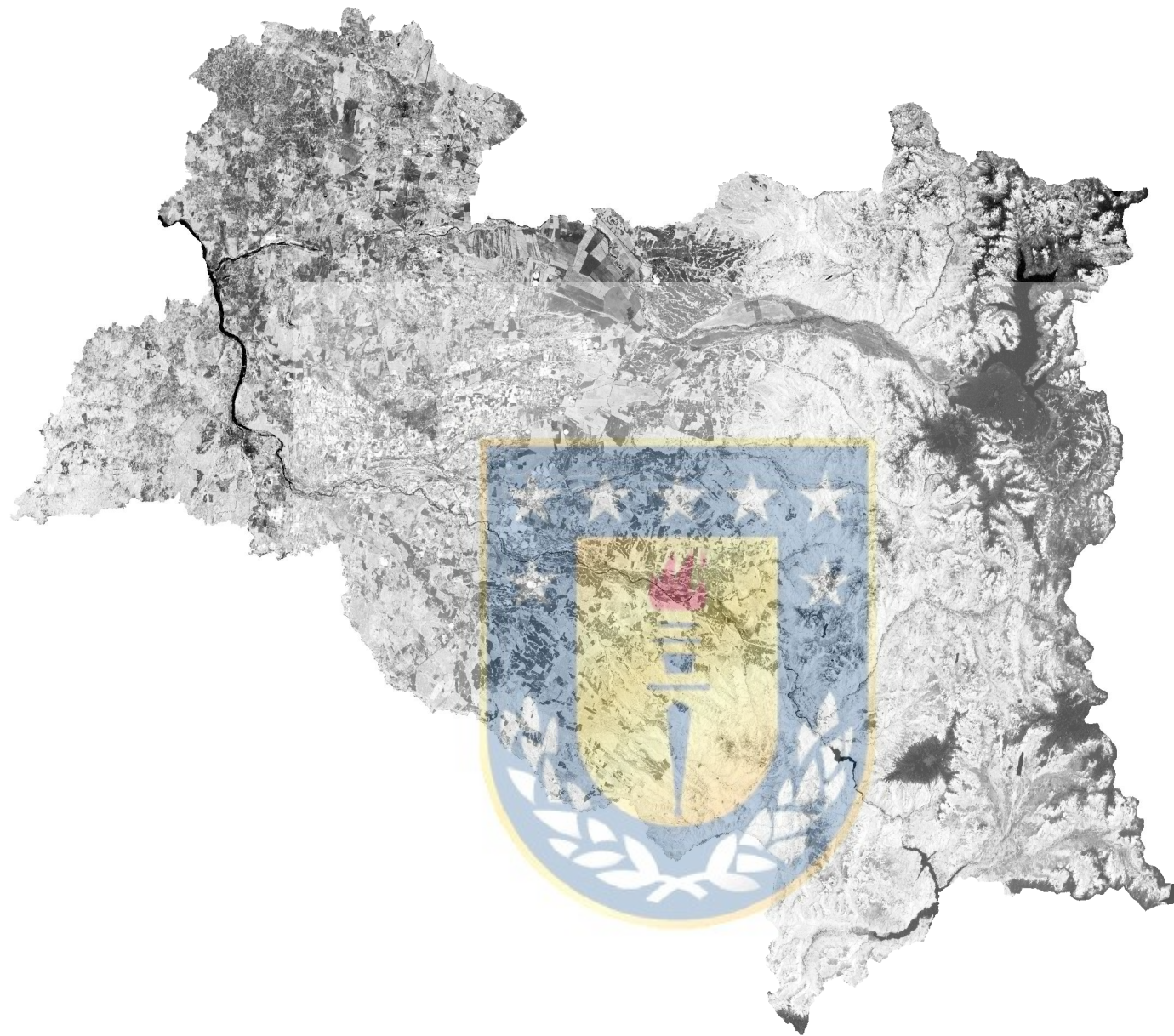
5850000

5800000





5800000

5750000

5750000



### NDVI 2012

-  Ausencia de vegetación
-  Vegetación estresada
-  Moderadamente saludable
-  Muy saludable

30 15 0 30 Kilometers



700000

750000

800000

850000

900000

700000

750000

800000

850000

900000

N

5900000

5900000

5850000

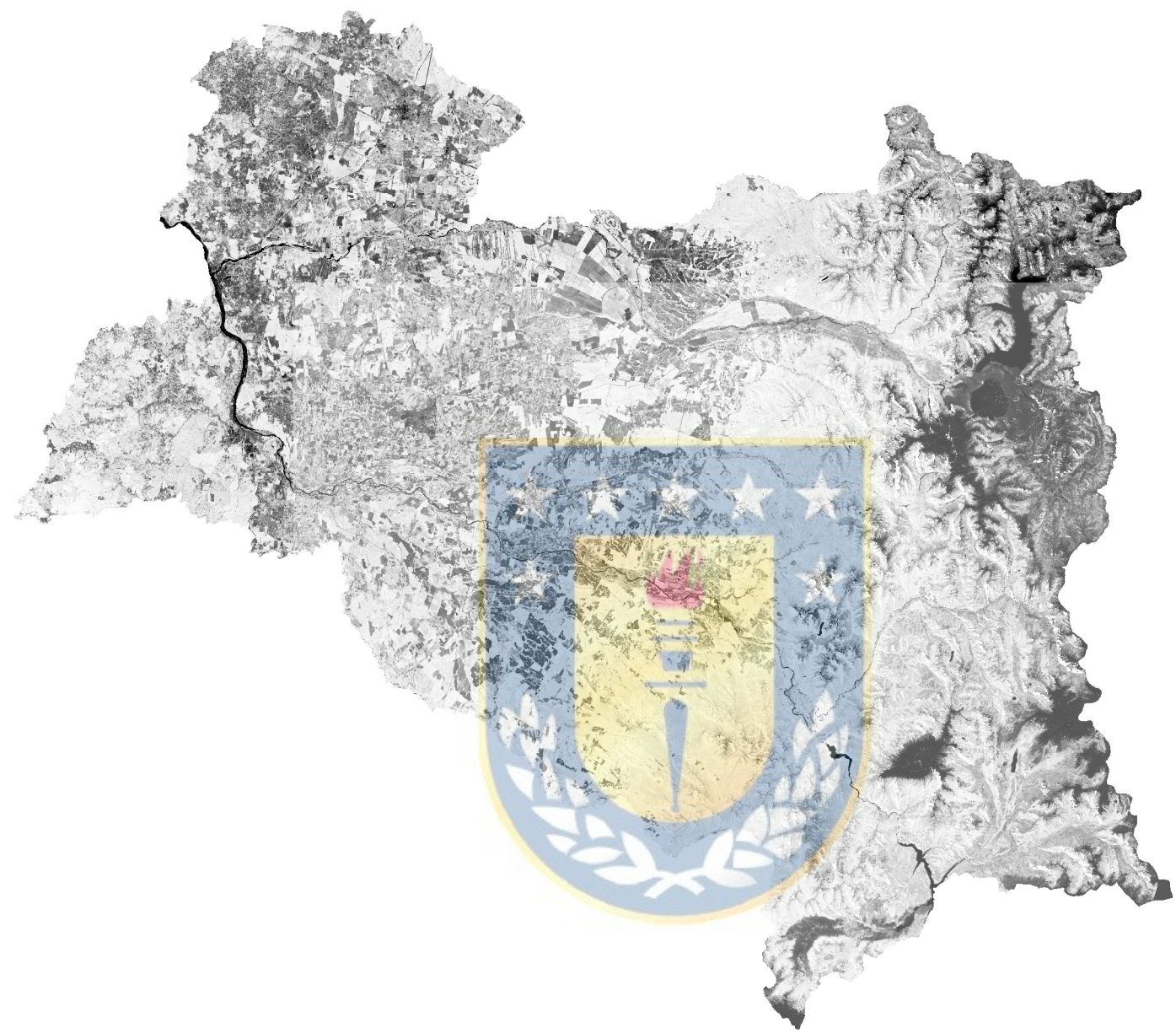
5850000

5800000





5800000

5750000

5750000



### NDVI 2013

-  Ausencia de vegetación
-  Vegetación estresada
-  Moderadamente saludable
-  Muy saludable



700000

750000

800000

850000

900000

700000

750000

800000

850000

900000

N

5900000

5900000

5850000

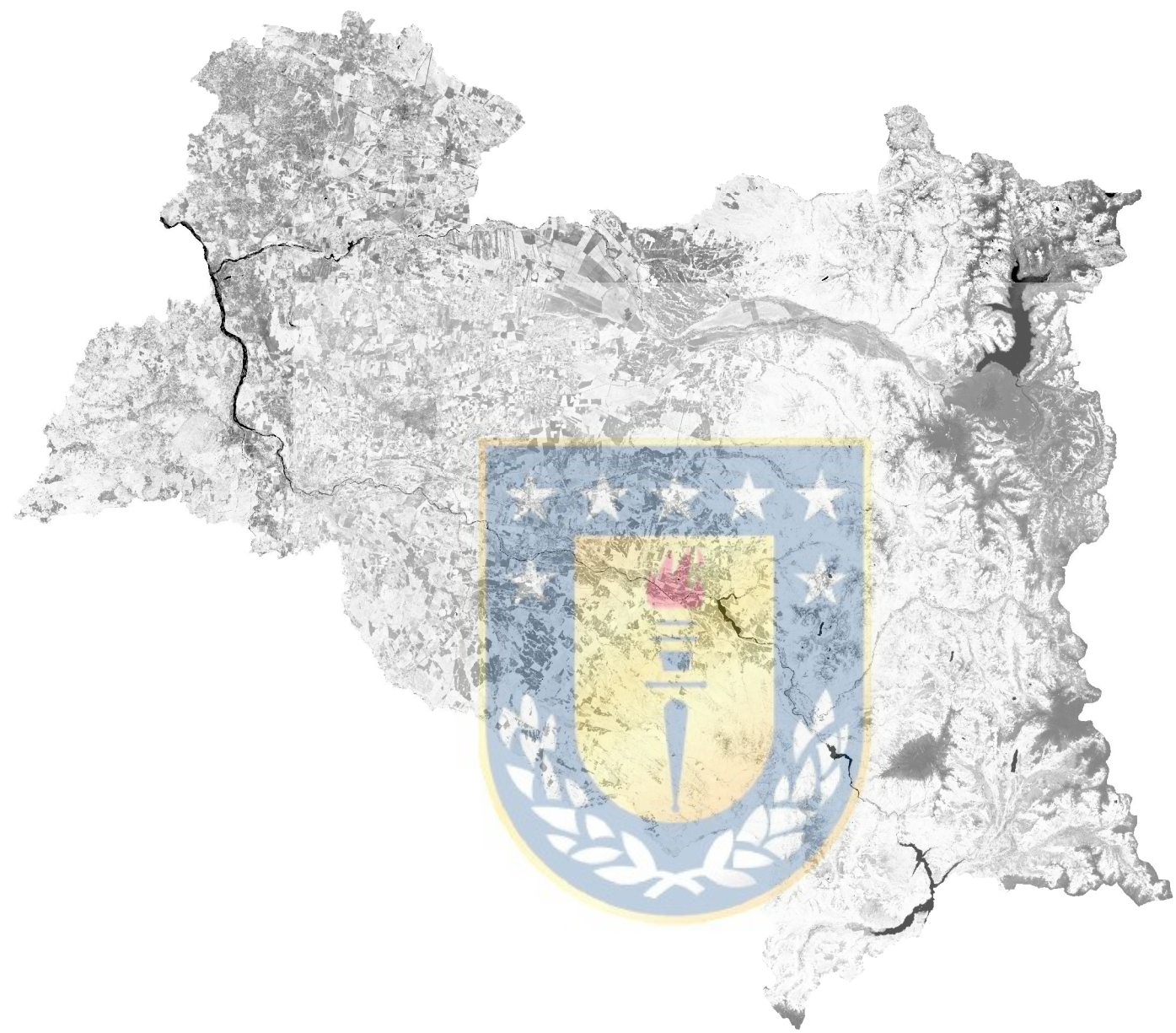
5850000

5800000





5800000

5750000

5750000



### NDVI 2014

-  Ausencia de vegetación
-  Vegetación estresada
-  Moderadamente saludable
-  Muy saludable



700000

750000

800000

850000

900000

700000

750000

800000

850000

900000

N

5900000

5900000

5850000

5850000

5800000





5800000

5750000

5750000



### NDVI 2015

-  Ausencia de vegetación
-  Vegetación estresada
-  Moderadamente saludable
-  Muy saludable

30 15 0 30 Kilometers



700000

750000

800000

850000

900000

700000

750000

800000

850000

900000

N

5900000

5900000

5850000

5850000





5800000

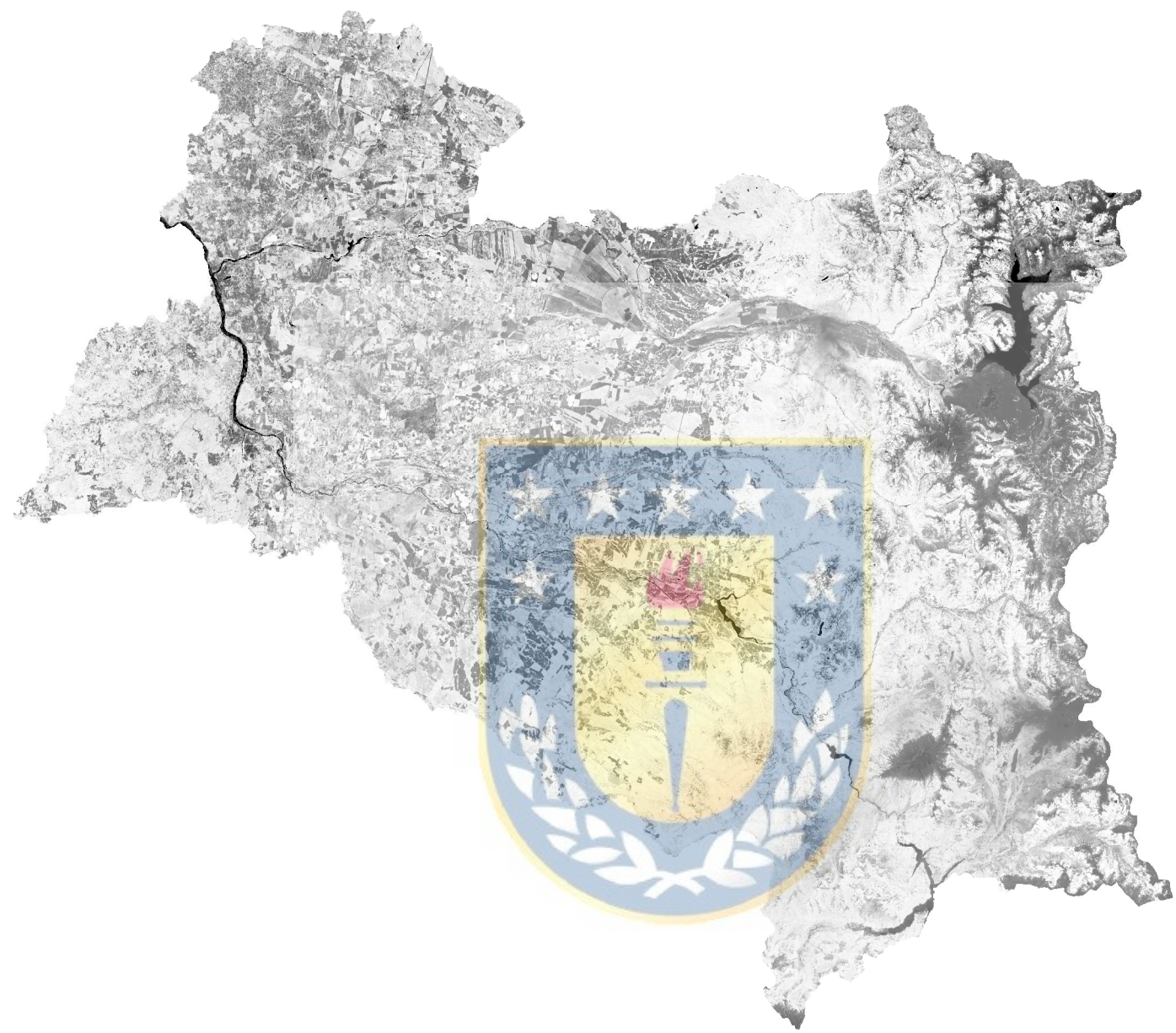
5800000

5750000

5750000

### NDVI 2016

-  Ausencia de vegetación
-  Vegetación estresada
-  Moderadamente saludable
-  Muy saludable



30 15 0 30 Kilometers



700000

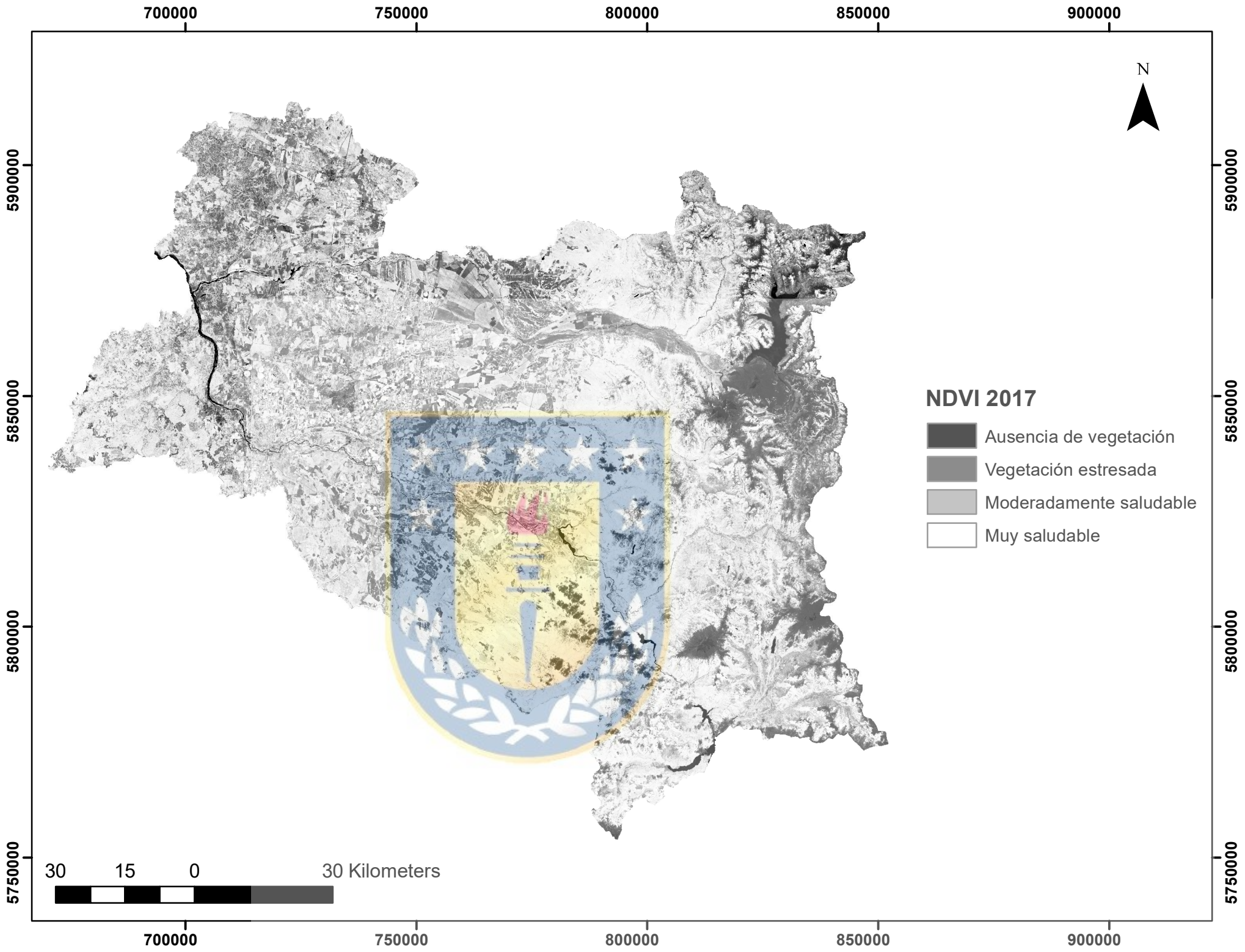
750000

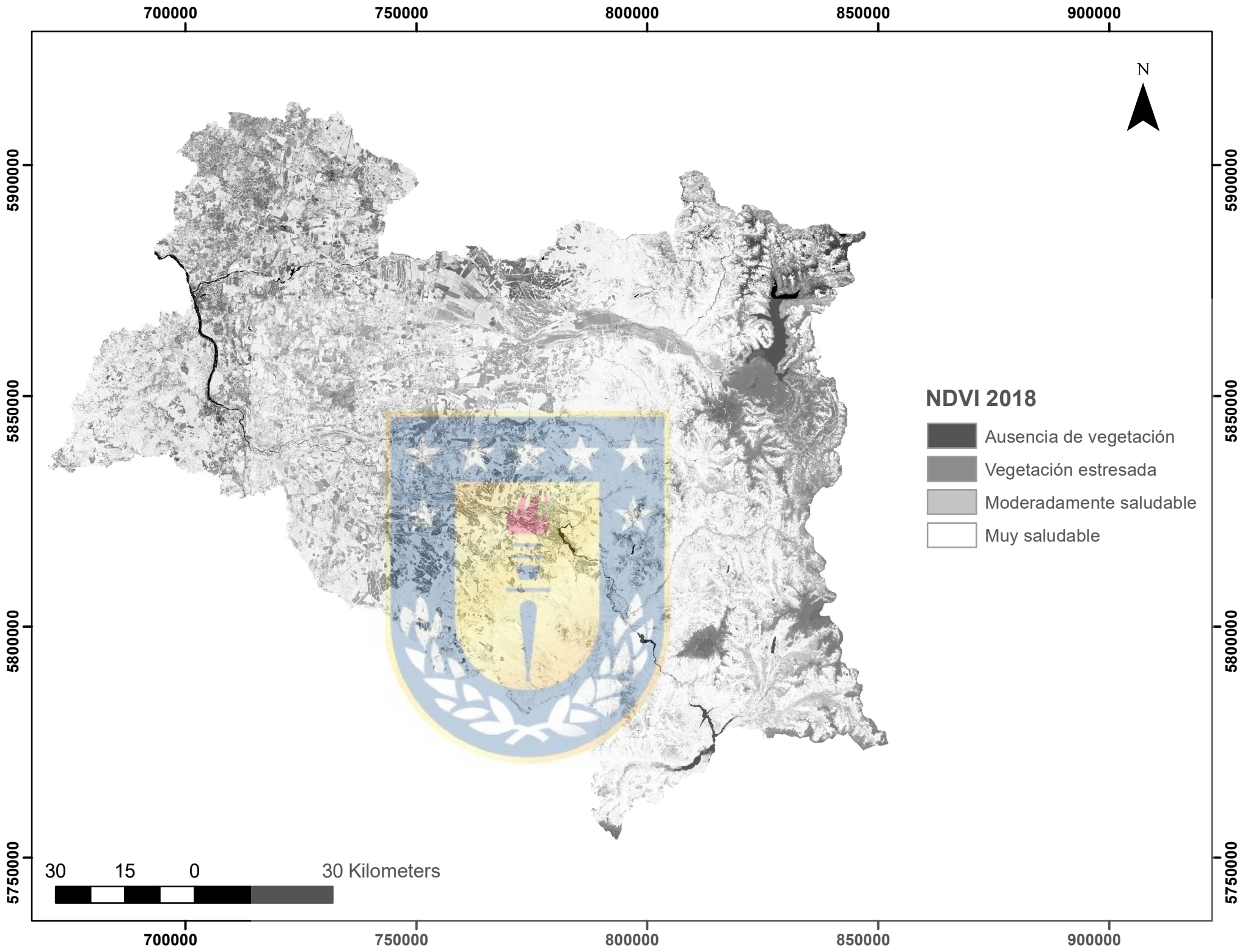
800000

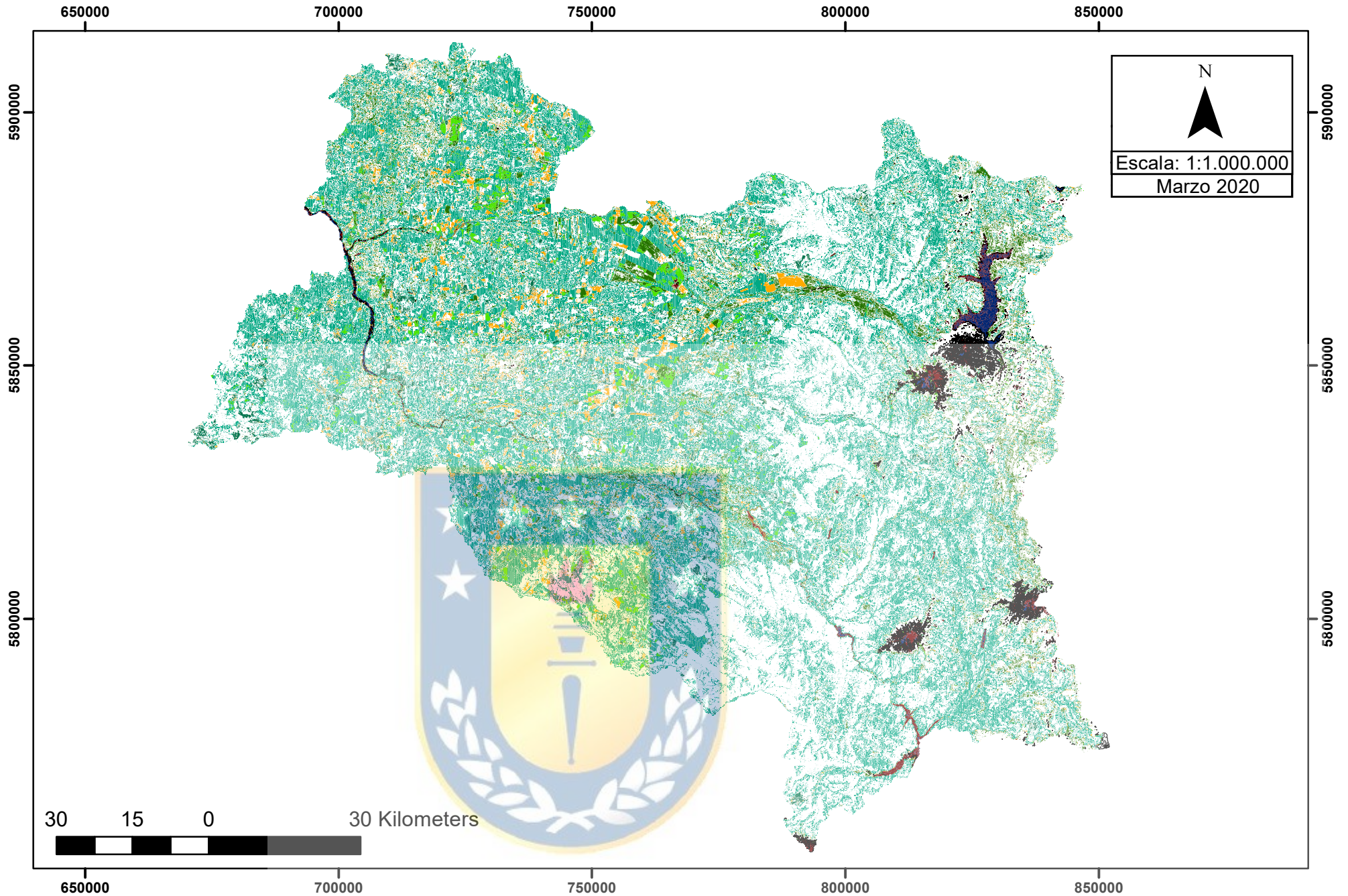
850000

900000









Simbología	
	Veg. Est. - Aus. Veg
	Veg. Est. - Mod. Salud.
	Veg. Est. - Veg. Muy Salud.
	Mod. Salud. - Aus. Veg.
	Mod. Salud. - Veg. Est.
	Mod. Salud. - Veg. Muy Salud.
	Veg. Muy Salud. - Aus. Veg.
	Veg. Muy Salud. - Veg. Est.
	Veg. Muy Salud. - Mod. Salud.
	Cuerpos de agua

**Mapa de Cambios en la Vegetación 2012 - 2018**

Elaborado por: Fernanda Haydée Medina Labrín  
 Datos Cartográficos:  
 Proyección Universal Transversal de Mercator (UTM)  
 Zona: 18 Sur