

# USO DEL INDICE NORMALIZADO DIFERENCIAL DE LA VEGETACION (NDVI) PARA DIAGNOSTICAR CAMBIOS EN FORMACIONES DE BOSQUE NATIVO AFECTADOS POR SEQUIA EN LA COMUNA DE NOGALES (REGION DE VALPARAISO)



Preparado por: Nelson Vergara Rodríguez, Ingeniero Forestal U. de Chile  
Email: nelson.vergara@bosquesyambiente.cl  
Fecha: abril de 2020

## 1).- INTRODUCCION

La reciente alerta efectuada por el Colegio de Ingenieros Forestales (1) y algunos especialistas ligados a centros universitarios respecto a la sequía que están sufriendo los bosques nativos adultos (2), (5) de la Región Metropolitana de Chile, es una materia que nos debe preocupar y motivar a tomar medidas urgentes que vayan en pro de la conservación del material genético que se está perdiendo por esta situación.

En el tramo Nogales - Cuesta El Melón, Región de Valparaíso, se aprecian síntomas de estrés hídrico severo en bosques adultos de Quillay, Litre, Belloto y Peumo, en exposiciones sur, sureste y suroeste. Así mismo, formaciones de bosque nativo existentes al poniente del cruce de la Ruta 5 norte con el acceso a La Ligua también presentan síntomas de estrés hídrico.



Figura 1. Aspecto de la vegetación nativa el 2 de enero 2015 y el 11 de enero 2020 en Cuesta El Melón (Valparaíso). Fotografías Sr. Cesar Ormazabal.

Las formaciones vegetacionales del área indicada (así como de otros sectores de la Región Metropolitana) están mostrando un deterioro progresivo que se manifiesta a través de la caída de hojas y copas de árboles adultos totalmente secas.



Figura 2. Vista bosque esclerófilo adulto seco en Cuesta El Melon 11 enero 2020. Fotografía Sr. Cesar Ormazabal



Figura 3. Izquierda: Vista de ejemplares de Quillay, Peumo, Litre con copas parcial o totalmente secas en sector Laguna Aculeo (RM) en febrero de 2020 (Fotografía Sr. Alvaro Sotomayor). Derecha: Ejemplar de Quillay semi seco en Hda Loncha (Comuna Alhue) en marzo 2020. (Fotografía Sr. Carlos Lorenzo).

La sequía y la consiguiente crisis hídrica que ha afectado a la zona central de Chile en los últimos años ha generado una serie de complicaciones en términos sociales, principalmente por su impacto en la agricultura y, por ende, en la economía de diversos sectores afincados en esta parte del país. En materia de biodiversidad, una de las consecuencias más graves tiene que ver con el impacto directo en los ecosistemas presentes alrededor de la Región Metropolitana, y de manera especial, en el bosque esclerófilo que se encuentra creciendo en las cordilleras de Los Andes y de la Costa. Así lo ha comprobado el estudio realizado por investigadores de la Universidad Católica y la Universidad Mayor, que a partir de imágenes satelitales han comprobado el efecto de la sequía

sobre el bosque esclerófilo de la Región Metropolitana, compuesto principalmente por árboles como el Quillay, el Litre y Peumo (5).

Como lo señala Miranda (2), “la pérdida de follaje e individuos se está dando a nivel masivo, con disminución en la estructura y estratos del bosque. Si se comprueba una progresión de pérdida masiva de este bosque, la Región Metropolitana completa podría volverse más desértica”.

La gravedad del impacto de la sequía sobre los bosques nativos de la zona central de Chile ha sido reconocida por CONAF quien a través de su Director Ejecutivo manifestó en entrevista al **Diario El Mercurio** de Santiago de fecha 22 de enero de 2020 que: "*no sabemos cómo van a reaccionar esos bosques y no descartamos, lamentablemente, que esos árboles mueran y eso significa que el bosque esclerófilo de la zona central podría terminarse, extinguirse*" (4).

Dado lo señalado anteriormente, es necesario cuantificar la superficie de vegetación nativa afectada por sequía, con especial referencia a los bosques del tipo forestal esclerófilo. En tal sentido CONAF (3) a través de un trabajo conjunto con investigadores de Geografía de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV), están desarrollando una plataforma satelital para apreciar los efectos de la actual escasez hídrica sobre la vegetación del Parque Nacional La Campana, lo que ha permitido tomar medidas como la prohibición total de uso de fuego o fuentes de calor al interior de esta área protegida.

La prueba y adaptación de metodologías para evaluar de manera rutinaria y operativa la condición actual de los bosques afectados por sequía es muy necesaria para poder cuantificar de manera precisa los efectos y definir estrategias de acción.

## **2).- OBJETIVOS**

La presente investigación tiene como objetivo probar -al nivel piloto de una comuna- la validez de una metodología de estratificación de los bosques de acuerdo con su vigor de copas y la cuantificación de superficies según clases de vigor; tomando como base de estratificación de los bosques afectados el uso del índice normalizado diferencial de la vegetación, denominado NDVI; el cual permite diferenciar según la reflectancia del follaje la condición de vigor de estos.

Esta estratificación y cuantificación es necesaria para definir acciones mitigación y adaptación; en particular para las especies que están catalogadas a la fecha en alguna categoría de conservación.

Un segundo objetivo de este trabajo es caracterizar cada una de las clases de vigor a través del comportamiento que ha experimentado el NDVI en los últimos 3 años en zonas boscosas del área de estudio.

## **3).- ANTECEDENTES**

### **3-1).- Monitoreo de la vegetación utilizando información satelital**

Hoy en día, sensores instalados en satélites orbitan la tierra y pueden cuantificar la actividad de la vegetación en la tierra. A fines de los años 70, los científicos encontraron que la actividad fotosintética de la vegetación estaba directamente relacionada con la absorción de radiación fotosintéticamente activa. Es decir, mientras más radiación en el espectro visible era absorbida por la vegetación, mayor era la tasa de fotosíntesis, de transpiración y productividad. Esto se debe a que

los pigmentos alojados en cloroplastos de las plantas absorben en gran proporción la radiación fotosintéticamente activa (rango entre 400 y 700 nm, conocida como radiación visible VIS) mientras que reflejan fuertemente la radiación entre los 700 y 1000 nm, espectro electromagnético denominado infrarrojo cercano (NIR). En la siguiente Figura 4 se señala la reflectividad (y contrario absorción) en una vegetación sana y enferma, frente a la radiación solar.

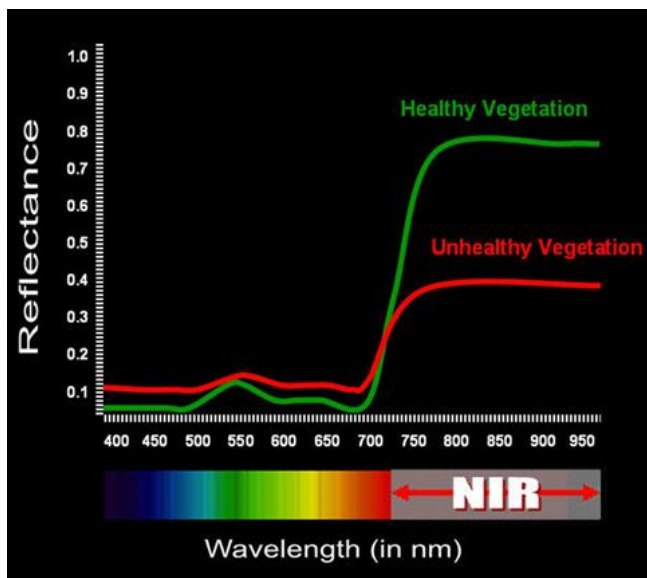


Figura 4. Reflectancia de la vegetación sana y dañada frente a la radiación solar (Fuente: Tetracam INC. An Introduction to Multispectral Imaging and How Growers and Other Users Benefit from this Technology. <http://www.tetracam.com/MS%20Database.htm>).

Con base a esta contrastada diferencia entre los niveles de absorción por parte de la vegetación de la radiación solar en las bandas del VIS y el NIR, se han desarrollado los Índices de Vegetación (IV), los cuales permiten realizar un monitoreo del desarrollo de las plantas, eliminando efectos de otros elementos de la superficie (6). De este modo, los IV pueden ser aplicados en análisis cuantitativos del desarrollo de la vegetación en una zona ya que permiten determinar rápidamente el estado de desarrollo de la vegetación presente y analizar efectos sobre el desarrollo de la biomasa de factores como sequías, heladas, inundaciones, incendios, desmontes, granizo, plagas y/o deficiencias nutricionales (6). Así y como una gran variedad de factores afecta directamente la producción de biomasa en las plantas, los IV pueden emplearse para determinar la influencia de dichos factores en una zona o momento.

### 3-2).- Índice de Vegetación de Diferencias Normalizado (NDVI)

Los primeros estudios relacionados con el comportamiento estacional de la vegetación, utilizando información proporcionada por un sensor montado sobre un satélite, ocurrió en 1974. Fue con el satélite LANDSAT 1 MSS (Multi-Spectral Scanner Instrument) y los trabajos efectuados demostraron que las características biofísicas de la vegetación en terrenos de pastoreo y de agricultura podían ser inferidas desde mediciones espectrales efectuadas por los satélites, a pesar de las diferencias zenitales solares a lo largo del gradiente latitudinal y longitudinal (5).

En dicha época, se desarrollaron los primeros IV que relacionaban la reflectancia de las plantas en el infrarrojo cercano (NIR) y el rojo (R). No fue hasta el año 1979 en que finalmente se desarrolló el **Índice de Vegetación de Diferencias Normalizado (NDVI)**, cuya expresión matemática es:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{Red}}{\text{NIR} + \text{Red}}$$

Donde:

NIR= reflectancia en el espectro del infrarrojo cercano

Red = reflectancia en el espectro del rojo.

La normalización de la diferencia tuvo como principal ventaja la minimización de los efectos de la reflectancia direccional, vista fuera del nadir, reduciendo el ángulo solar, las sombras, los efectos de variación topográfica y la minimización de los efectos del vapor de agua y aerosoles. Esto permitió el monitoreo de la vegetación a gran escala haciendo posible la comparación de diferentes regiones a través del tiempo (5).

Teóricamente los valores del NDVI oscilan en el rango -1 a +1. El rango típico de NDVI medido sobre vegetación y otros materiales de la superficie de la tierra están en el rango -0,1 (NIR menor a Red en ecuación anterior) para superficies no vegetadas, hasta un valor de 0,9 para una cobertura verde densa. De este modo, el NDVI se incrementará en la medida que aumente la biomasa de la vegetación en tierra, por el aumento de la absorción de la radiación solar indicada anteriormente. Por tanto, el NDVI puede dar seguimiento al desarrollo estacional de la vegetación y a su respuesta frente a condiciones ambientales, como puede ser limitantes en la disponibilidad hídrica en el suelo (estrés hídrico producto de sequía, desfoliación) o lluvias que induzcan el desarrollo vegetativo (6). En la siguiente Figura 5 se muestra la evolución temporal del índice NDVI en una vegetación cultivada (parrón) en ausencia de estrés.

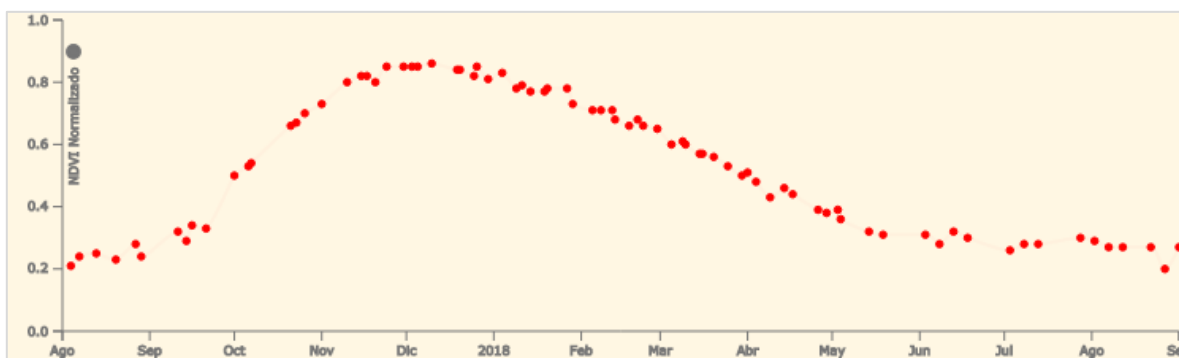


Figura 5. Evolución temporal del índice NDVI en una vegetación cultivada (parrón) en ausencia de estrés.

Respecto a otros índices de vegetación más complejos, el NDVI tiene las ventajas de tener una gran sencillez de cálculo y de facilitar la interpretación directa de los parámetros biofísicos de la vegetación (6).

Respecto de las limitaciones del NDVI pueden citarse las siguientes:

- El NDVI tiene algunos problemas en la estimación de la cubierta vegetal en índices de área foliar (IAF) altos, superiores a 4 (Gill et al., 2009 citado en (6)). Así mismo, presenta baja sensibilidad para cubiertas vegetales bajas. Por este motivo puede sobre o subestimar la cubierta vegetal, dando información errónea en algunas zonas (Zhongming et al., 2009 citado en (6))
- La compensación de los efectos atmosféricos no es completa en el NDVI, entre otras cosas porque las condiciones atmosféricas (aerosoles presentes en la atmósfera) no afectan por igual a las longitudes de onda utilizadas en su cálculo. Por este motivo, se implementan procesos de corrección atmosférica como es la normalización de las imágenes.

Dentro de los análisis operativos implementados a partir de los valores del NDVI, está el uso de series temporales extensas, donde su valor promedio permite establecer la condición de crecimiento “normal” para la vegetación en una determinada región y para una determinada época del año. En otras palabras, para un periodo de tiempo, puede ser utilizado para caracterizar la salud de la vegetación allí presente respecto de la condición normal (10).

A la fecha, los programas satelitales de NASA y NOAA tienen 2 décadas de datos de NDVI sobre el globo entero. La comparación -por ejemplo, del valor del NDVI de este mes o de este año- con el promedio de 20 años, revela si la productividad en una determinada región es típica, o si el crecimiento de las plantas es mayor o menor al promedio. Entonces, una determinada región en que hay un periodo de crecimiento reducido de las plantas (debido a falta de precipitaciones por ejemplo) se denomina “en sequía”. Otra posible causa para un valor de NDVI más bajo que lo normal son las temperaturas excepcionalmente cálidas que pueden demorar o acortar la estación de crecimiento (10).

De acuerdo a esto, el Observatorio de la Tierra de NASA (8), prepara periódicamente un mapa con la anomalía del valor del NDVI, en el cual se mapea la intensidad con que la sequía está afectando los valores de NDVI en Chile Central.

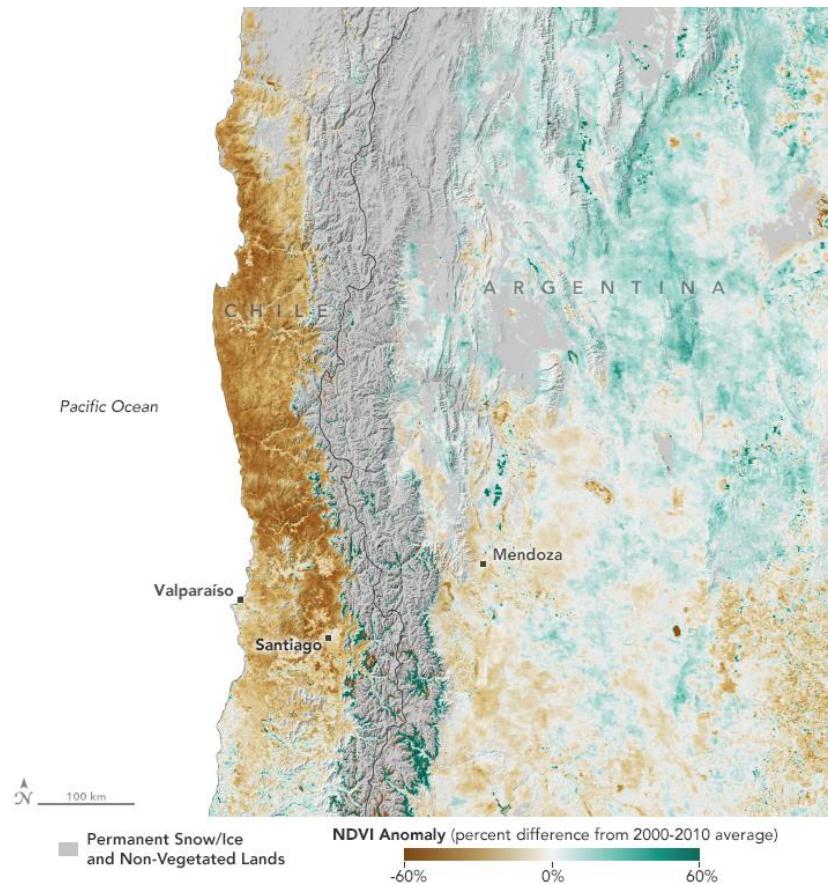


Figura 6. Mapa de anomalía del NDVI satelital para Chile central (Comparación NDVI imágenes septiembre - noviembre 2019 con NDVI promedio período 2000-2010). Fuente: Observatorio de la Tierra de NASA.

Como se puede ver en el mapa anterior, el color pardo indica vegetación menos abundante y saludable que lo normal para este periodo del año, mientras que las áreas en color verde (principalmente cerca de cursos de agua) tienen abundante vegetación, debido a aporte del riego en la agricultura y probablemente al incremento del derretimiento y escorrentía desde glaciares y sectores nevados.

El Centro de Investigaciones del Clima y la Resiliencia CR2 de la Universidad de Chile, señaló en un reporte preparado el año 2015 (9), que, aunque la vegetación nativa y ciertas especies exóticas se han adaptado a sequías de corto período, pero intensas, la persistencia de la actual mega sequía está comenzando a causar deterioro visible de la vegetación no irrigada en un vasto territorio de la zona central de Chile. El mismo artículo, refiere la opinión del investigador Sr. René Garreaud, quien señala que la larga sequía es el producto de una combinación de variabilidad natural (la fase negativa de la Oscilación Pacífica Decadal) y humana causante de un cambio climático.

#### 4).- MATERIAL Y METODO

##### 4-1). Área de estudio

El presente estudio se enmarca en los límites geográficos de la Comuna de Nogales, Provincia de Quillota, Región de Valparaíso. En la siguiente Figura 7 se indica la zona analizada.

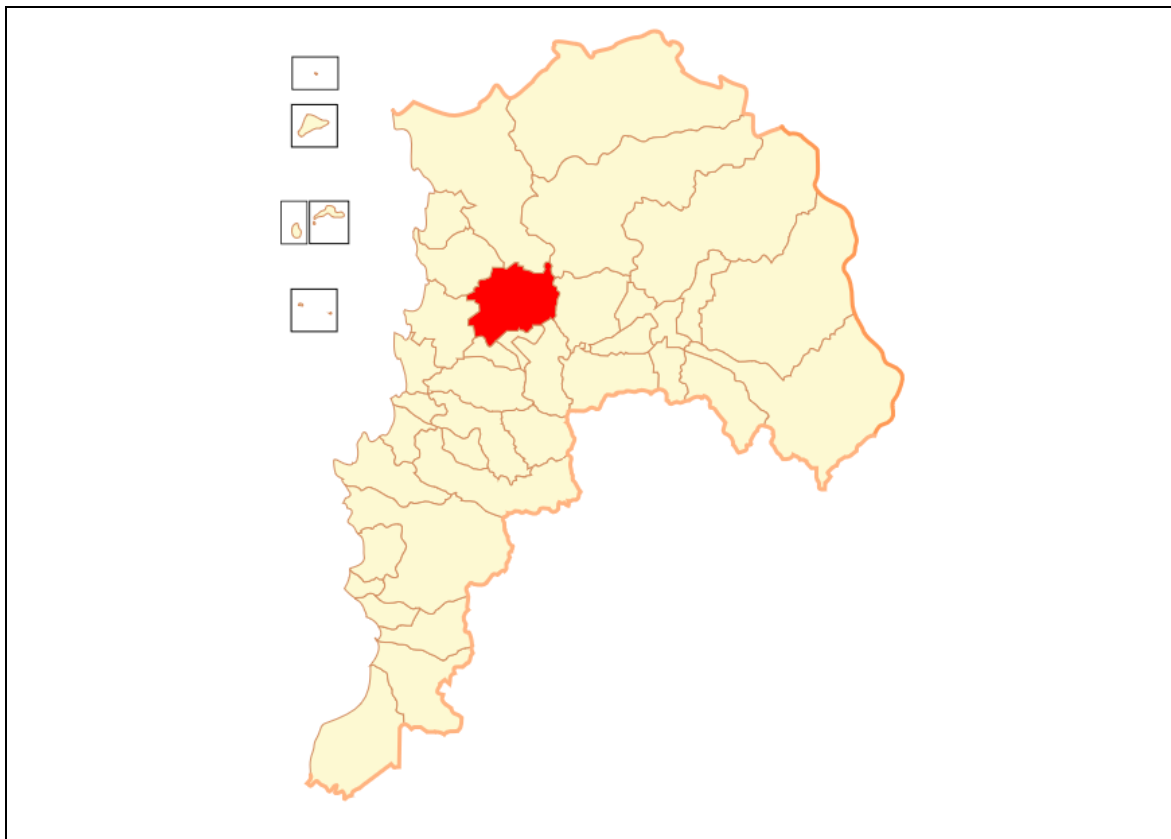


Figura 7. Ubicación de la Comuna de Nogales en el contexto de la Región de Valparaíso, Chile.



#### 4-2). Situación climática del área de estudio

De acuerdo con los antecedentes de un estudio elaborado para el Ministerio de Medioambiente (7) la línea base climática de la Comuna de Nogales para el periodo 1980-2010 presenta una precipitación promedio de 384 mm anuales (Cuadro 1).

Cuadro 1. Condiciones meteorológicas Comuna de Nogales para el período 1980-2010 (Fuente: (7))

LINEA BASE (1980-2010)									
COMUNA/ZONA	TXE	TNE	TXJ	TNJ	Temed	Timed	PPA	PPA MIN	PPA MAX
	(°C)				mm/año				
NOGALES	26,6	11,7	14,7	6,3	18,2	10	384	337	442
Cerros	26,5	11,3	14,2	6	18	9,6	418	351	477
Valle Central	26,7	12	15,2	6,5	18,4	10,3	350	322	408

El mismo estudio refiere que **la Comuna de Nogales tendrá al año 2050 un escenario climático muy desfavorable** tanto en el ámbito de las temperaturas como el de las precipitaciones (Cuadro 2).

Cuadro 2. Condiciones meteorológicas **escenario climático año 2050** (Fuente: (7))

ESCENARIO 2050										
COMUNA/ZONA	TXE	TNE	TXJ	TNJ	Temed	Timed		PPA	PPA MIN	PPA MAX
	(°C)				mm/año					
NOGALES	28,8	13,6	16,6	7,9	20,1	11,7		324	285	374
Cerros	28,6	13,3	16,2	7,7	19,9	11,4		353	297	403
Valle Central	28,9	13,9	17,1	8,1	20,3	11,9		296	272	344

Donde:

TXE Temperatura máxima estival (Máxima media del mes más cálido, ENERO)

TNE Temperatura mínima estival (Mínima media del mes más cálido, ENERO)

TXJ Temperatura máxima invernal (Máxima media del mes más frío, JULIO)

TNJ Temperatura mínima invernal (Mínima media del mes más frío, JULIO)

Temed Temperatura media del período estival (Dic-Ene-Feb)

Timed Temperatura media del período invernal (Jun-Jul-Ago)

PPA Precipitación normal anual

PPA MIN Precipitación anual más baja en cada subcomuna

PPA MAX Precipitación anual más alta en cada subcomuna

Los antecedentes de la línea de base climática del periodo 1980 – 2010 para el área de estudio son valiosos pero la dinámica climática se ha visto profundamente alterada en los últimos 3 años, periodo en el cual se ha percibido una fuerte disminución de las precipitaciones. Por tal razón se

recurrió a los antecedentes de precipitación mensual registrados por las estaciones meteorológicas pertenecientes a la red AGROMET (<http://agromet.inia.cl/>). El autor, consultó y procesó los datos de precipitaciones de las estaciones Nogales y La Cruz registrados entre enero de 2015 y febrero de 2020. En este estudio no fueron considerados los datos de temperaturas medias, máximas y mínimas.

#### 4-3).- Determinación del uso del suelo

Para determinar la superficie del área de estudio y los usos del suelo, se recurrió a la plataforma del Sistema de Información Territorial de CONAF (en [www.sit.conaf.cl](http://www.sit.conaf.cl)).

En dicha plataforma se pudo obtener la información de los usos del suelo al año 2013, la cual fue delimitada con el deslinde de la comuna de Nogales con la base cartográfica para los usos del suelo ya indicados.

#### 4-4).- Imágenes NDVI

Los valores del NDVI utilizados en el presente estudio, fueron obtenidos de la Plataforma Agrícola Satelital PLAS (<http://maps.spiderwebgis.org/login/?custom=plas>) (Figura 8). Este proyecto es un esfuerzo de especialistas en climatología, riego y recursos hídricos, pertenecientes al Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Universidad de Chile, Universidad de Talca, Universidad de Concepción y Pontificia Universidad Católica de Chile, junto al apoyo del Consejo Nacional de Innovación para la Desarrollo (CNID) y el co-financiamiento de la Fundación para la Innovación Agraria (FIA). Para más información en <https://www.redagricola.com/cl/plataforma-agricola-satelital-plas/>.



Figura 8. Portal web Plataforma Agrícola Satelital PLAS.

La información disponible en la Plataforma es abierta a todo usuario y corresponde a todas las imágenes NDVI disponibles desde los satélites LandSat 8 (NASA) y Sentinel 2A y 2B (ESA). La frecuencia de disponibilidad estará de acuerdo con la nubosidad en la zona analizada.

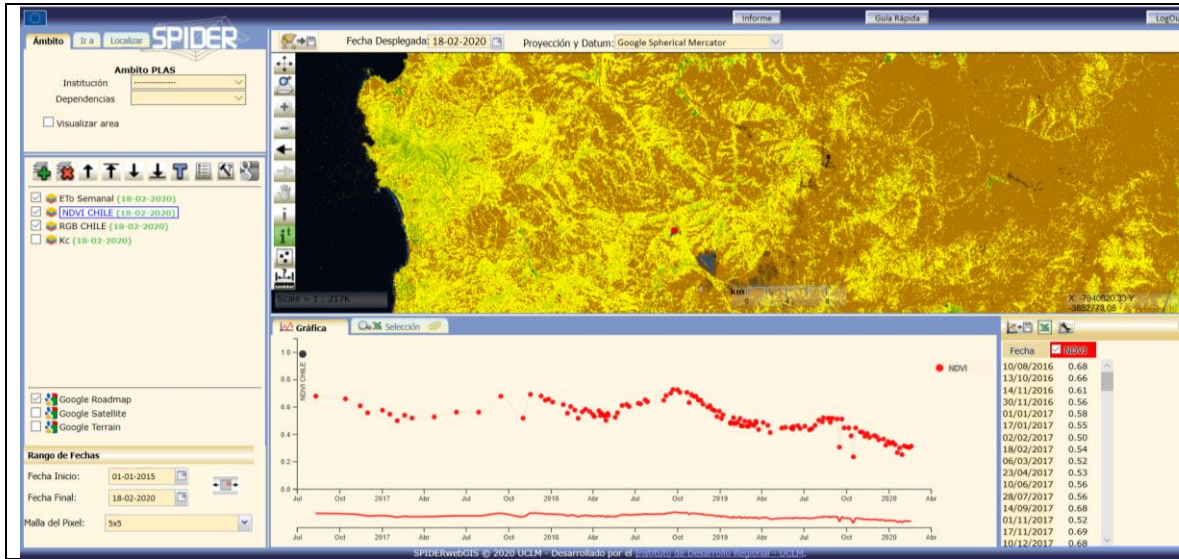


Figura 9. Visor web Plataforma PLAS con la evolución temporal del NDVI para la zona de consulta

Una de las ventajas que tiene esta plataforma es poder generar información histórica del NDVI para cualquier punto de una imagen, con lo cual se abre la posibilidad de estudiar los patrones históricos que ha tenido el NDVI y su respectiva interpretación. La información se puede descargar y manejar posteriormente en hoja Excel.

El autor utilizó además una imagen SENTINEL S2B del día 18 de febrero de 2020, pre procesada por INIA INTIHUASI, con la información del NDVI para cada uno de los píxeles de la imagen. A partir de esta imagen se obtuvo una imagen ráster del área de estudio que posteriormente se transformó en una imagen vectorial para trabajarla en conjunto con la información obtenida desde la plataforma del Sistema de Información Territorial de CONAF.

#### 4-5).- Superficie de bosques en el área de estudio

Dado que la investigación se orientó a estratificar, cuantificar y caracterizar los bosques según su grado de afectación por sequía, se procedió a procesar los usos del suelo al año 2013 obtenido de la plataforma del Sistema de Información Territorial de CONAF y se obtuvo el archivo de los usos del suelo para la comuna de Nogales. Luego, a partir del archivo obtenido, se segregaron solo los polígonos de BOSQUES, cuya superficie totalizó 19.466,9 ha para la Comuna de Nogales.

En lo general se puede señalar que la superficie de Bosques de la Comuna de Nogales está compuesta básicamente por Bosques del Tipo Forestal Esclerófilo (Cuadro 3):

Cuadro 3. Superficie por Tipos forestales Comuna de Nogales al 30 de diciembre de 2013 (Fuente: Sistema de Información Territorial de CONAF).

Tipo Forestal	Superficie (ha)	%
Esclerófilo	18.256,2	93,8
Palma chilena	1.140,4	5,9
Ciprés de la cordillera	23,9	0,1
No aplica (*)	46,4	0,2
<b>TOTAL</b>	<b>19.466,9</b>	<b>100,0</b>

(\*): sectores con plantaciones forestales y otros en proceso de corta para la construcción de obras civiles (galpones y camino de montaña)

#### 4-6).- Actualización de la superficie de bosques del área de estudio

La superficie de bosques aportada por el Sistema de Información Territorial de CONAF al 30 de diciembre de 2013 fue actualizada al 18 de febrero de 2020, para lo cual se llevó a cabo una fotointerpretación de imágenes satelitales de la comuna de Nogales y se marcaron todos los polígonos de bosque nativo en que se observaron cambios. Se generó una cartografía corregida de los bosques de la comuna de Nogales que fue utilizada más tarde para efectuar los análisis de afectación de estos por efecto de sequía.

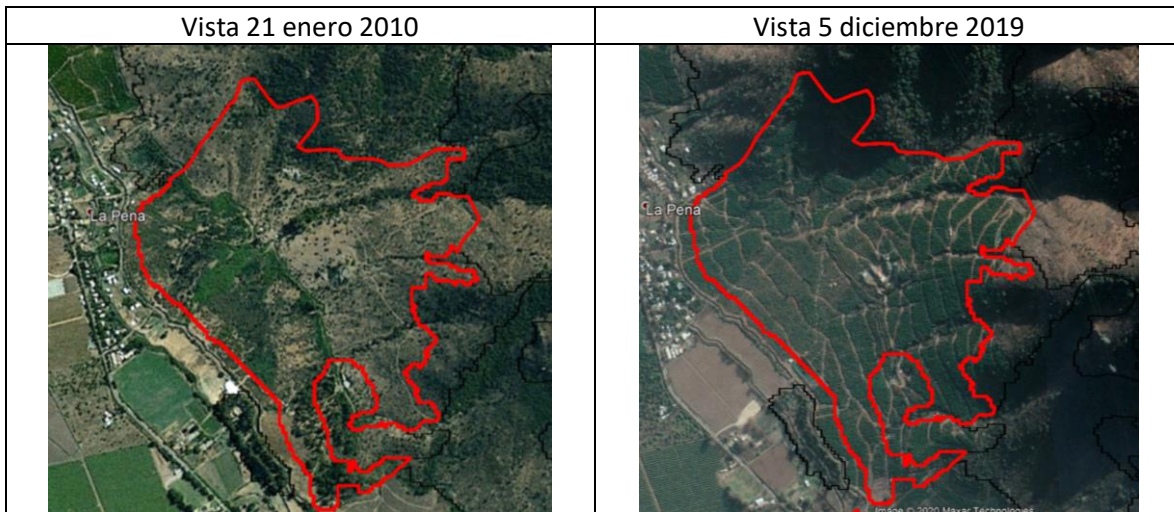


Figura 10. Sector de cambio de uso del suelo desde bosque nativo a otro uso

#### 4-7).- Estratificación de las áreas con bosque en clases de NDVI

Enseguida, se llevó a cabo la cuantificación de las superficies de Bosque según clases de NDVI, para lo cual se procedió del siguiente modo:

- A partir de imagen satelital SENTINEL S2B del día 18 de febrero de 2020 (aportada por INIA INTIHUASI) se procedió a recortar de la misma la parte correspondiente a la comuna de Nogales
- Una vez recortada, la imagen en formato ráster se transformó en una imagen vectorial poligonal.
- Posteriormente la imagen vectorial se trabajó en SIG ARCGIS 10.5 para totalizar la superficie de los polígonos por clase de NDVI

Luego, los bosques del área de estudio fueron clasificados en clases de NDVI con un enfoque orientado a la definición de los grados de sequía que los afecta. Para realizar esta labor, se analizó la distribución de frecuencias del NDVI en el área cubierta por bosques. Se pudo verificar que esta distribución de frecuencias se aproxima a una distribución normal, por lo cual se tomó el criterio de estratificar la distribución en tres clases cuyos límites de clase quedaron definidos por la desviación estándar de la distribución del modo siguiente:

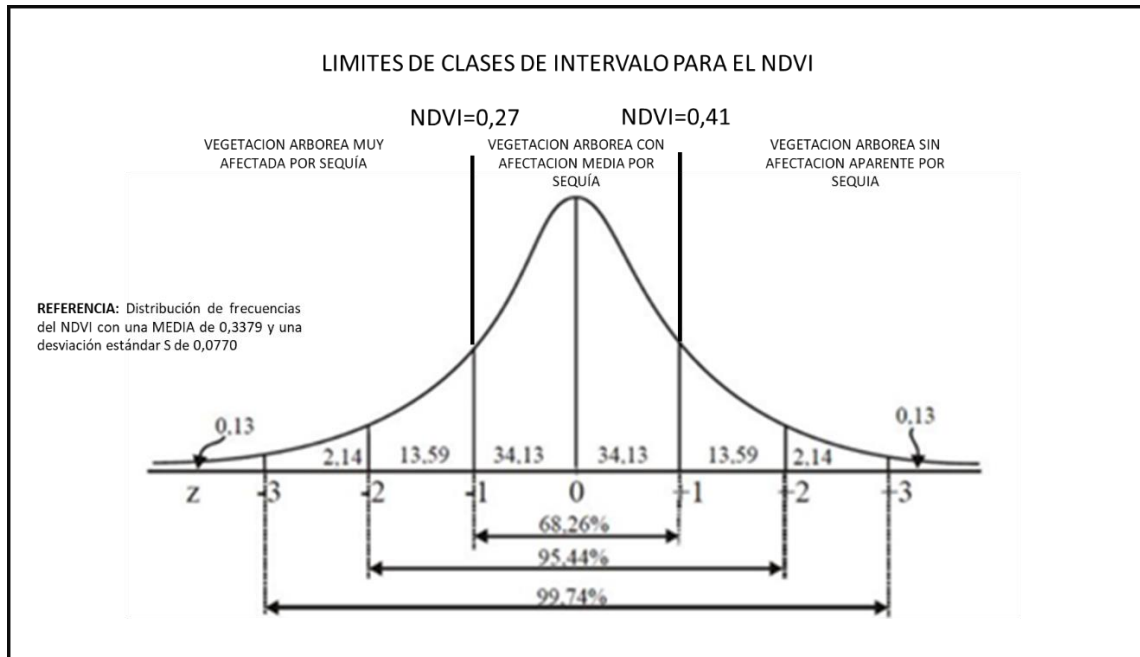


Figura 11. Sector de cambio de uso del suelo desde bosque nativo a otro uso

Los valores de NDVI entre -0,13 y 0,11, que corresponden a áreas rocosas, sectores con sombra y áreas con bosque en cotas muy elevadas (entre los 800 m.s.n.m y 2.100 m.s.n.m) fueron descartados del estudio, aunque considerados en cuanto a la superficie de uso del suelo.

Finalmente, las clases utilizadas fueron las siguientes:

Cuadro 4. Valores clase de NDVI asociados con la clase de afectación de vegetación arbórea por sequía.

clase NDVI	Afectación de la vegetación arbórea por sequía
-0,13 - 0,11	(zona excluida del estudio)
0,12 - 0,26	Muy afectada por sequía
0,27 - 0,41	Con afectación media por sequía
0,42 y más-	Sin afectación aparente por sequía

La clase MUY AFECTADA POR SEQUIA, refiere a la vegetación arbórea asociada con los Bosques del área de estudio que presenta claros indicios de sequía, como por ejemplo árboles secos en pie en forma masiva. Es muy frecuente en esta clase la presencia de áreas afectadas por incendios forestales ya sea recientes o antiguos.

La clase CON AFECTACION MEDIA POR SEQUIA, refiere a la vegetación arbórea asociada con los bosques del área de estudio que presenta signos de afectación por sequía, ejemplares parcialmente secos en pie mezclados con otros que están vivos. Esta categoría comprende a todos los bosques situados en cualquier exposición en que los ejemplares muestran un comienzo de afectación por sequía, follaje parcialmente verde, pero en que se advierte una tonalidad que indica una falta de agua. Las especies arbustivas secundarias demuestran una afectación en sus hojas, mucha de las cuales ya han caído.

La clase SIN AFECTACION APARENTE POR SEQUIA agrupa a todos los bosques en que a vista general no se aprecian signos de sequía. Follaje verde tanto en árboles como en arbustos secundarios.

#### 4-8).- Consideración sobre los incendios forestales que han afectado al área de estudio

El área de estudio tiene una larga data respecto a la ocurrencia de incendios forestales, que han afectado tanto vegetación nativa, como plantaciones forestales y sectores agrícolas.

De acuerdo con estadísticas de CONAF publicadas en sitio web [www.conaf.cl](http://www.conaf.cl), en las últimas nueve temporadas se han quemado 1.173,51 ha de vegetación natural según detalle siguiente:

Cuadro 5. Superficies afectadas por incendios forestales que afectaron vegetación natural. Últimas nueve temporadas (Fuente: CONAF).

Temporada	Superficie (ha) según tipo de cobertura vegetal			Total
	Arbolado	Matorral	Pastizal	
2018 – 2019	16,41	56,64	63,36	136,41
2017 – 2018	1,83	21,68	57,97	81,48
2016 – 2017	123,26	113,67	124,17	361,1
2015 – 2016	0,4	5,37	8,46	14,23
2014 – 2015	1,14	5,22	7,07	13,43
2013 – 2014	37,7	15,4	3,66	56,76
2012 – 2013	22,29	97,1	27,4	146,79
2011 – 2012	12,66	38,27	21,62	72,55
2010 – 2011	129,06	122,0	39,7	290,76
<b>TOTAL</b>	<b>344,75</b>	<b>475,35</b>	<b>353,41</b>	<b>1.173,51</b>

La inclusión de las superficies quemadas en este estudio responde a la necesidad de levantar una alerta para tratar de recuperar los bosques afectados por incendios forestales, pues la suma de los efectos de la sequía y de los incendios forestales es catastrófica y como se expondrá más adelante la recuperación de estas áreas no se está produciendo, al menos según la evaluación del vigor vegetal medido a través del NDVI.

Finalmente, se dispuso de un total de 159 puntos de inicio de incendio forestal según coordenadas geográficas obtenidas con GPS por personal de CONAF al momento de llevar a cabo el combate del fuego. Estos puntos fueron ubicados cartográficamente para llevar a cabo los análisis de su influencia en los resultados del estudio.

#### 4-9).- Determinación de los patrones de reflectancia del NDVI periodo 2016 - 2020

Una vez realizada la estratificación de los bosques según su afectación por sequía (según Cuadro 4.), se procedió a obtener patrones de reflectancia del NDVI para cada una de las clases en que se segregaron los bosques según su afectación por sequía.

Para tal efecto, se utilizó de manera intensiva la plataforma PLAS en donde se llevó a cabo el establecimiento de puntos de control del NDVI para cada una de las clases de afectación de la vegetación arbórea por sequía.

La plataforma PLAS cuenta en su utilidad con la opción de poder determinar los valores históricos del NDVI, para lo cual se utilizó el rango fechas comprendido entre el 1 de agosto de 2016 y el 18 de febrero de 2020.

Cada punto replantado en la plataforma PLAS consistió en una matriz de 5 x 5 píxeles. Cada píxel tuvo un tamaño de 10 x 10 m, por lo tanto, los datos provienen de una unidad muestral de 50 x 50 m (0,25 ha)

A continuación, se presenta la metodología utilizada para cada clase.

**a).- Bosques muy afectados por sequía:** se seleccionaron puntos de control de manera aleatoria que estuvieran comprendidos en el rango de NDVI 0,12 a 0,26 al día 18 de febrero de 2020. Los puntos fueron elegidos tanto en exposición norte como en exposición sur, verificándose en cada caso que cada punto correspondiera a sectores con presencia de bosque.

A modo de ejemplo, se expone en figura siguiente el replanteo del Punto de control N° 1. Ver figura siguiente:

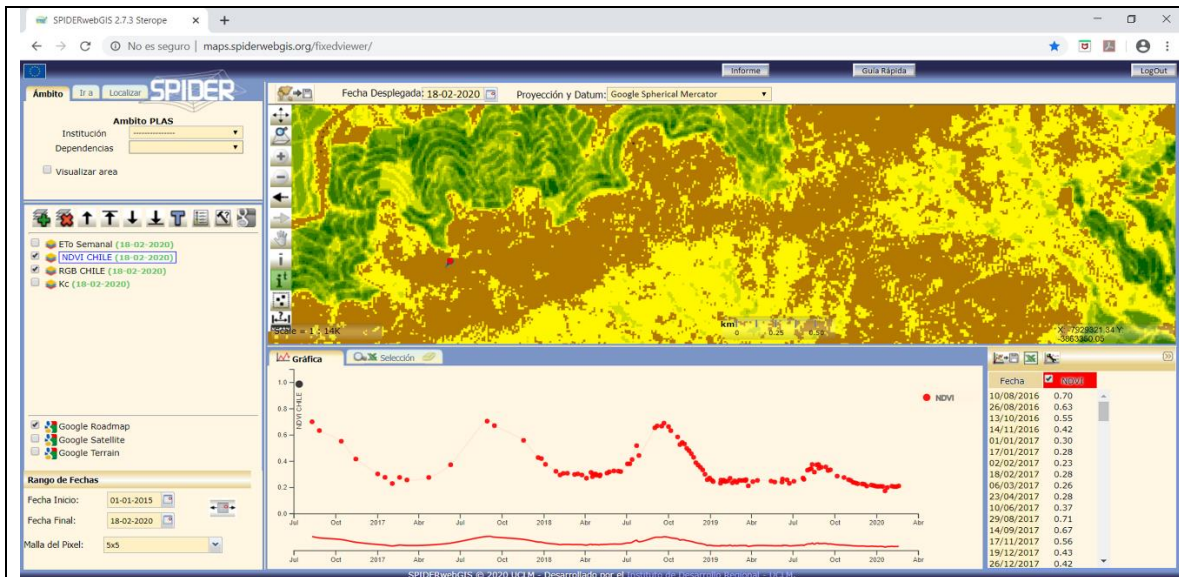


Figura 12. Vista de Punto de control N° 1, establecido en sector con NDVI 0,2. Clase: bosques muy afectados por sequía. En pantalla superior derecha se aprecia la ubicación del punto de control (punto rojo). En pantalla inferior derecha se aprecia la secuencia de valores del NDVI ordenado por fecha y en pantalla inferior central un gráfico del comportamiento de la serie de datos del NDVI.

**b).- Bosques con afectación media por sequía:** se seleccionaron puntos de control tanto en exposición norte como en exposición sur, tomando como base el valor de NDVI al día 18 de febrero de 2020 en el rango 0,27 a 0,41. Estos puntos se replantearon en la plataforma PLAS lo que permitió disponer de una secuencia de valores del NDVI en el periodo 2016-2020.

**c).- Bosques sin afectación aparente por sequía:** se seleccionaron puntos de control en bosques ubicados en exposición sur, que es la exposición predominante en la cual se ubican estos bosques en el área. Se tomó como base el valor de NDVI al día 18 de febrero de 2020 en el rango 0,42 y más. Estos puntos se replantearon en la plataforma PLAS lo que permitió disponer de una secuencia de valores del NDVI en el periodo 2016-2020.

Para cada punto de control establecido, se generó un archivo EXCEL con la serie de datos (Fecha, NDVI). Estas series fueron posteriormente graficadas y comparadas por clase de afectación de la vegetación arbórea por sequía.

## 5).- RESULTADOS

### 5-1).- Situación climática del área de estudio

De acuerdo con los registros de la estación climática de NOGALES y LA CRUZ, en el período 2015-2020 las precipitaciones han estado bajo la media normal. Ver cuadro y gráfico siguientes:

Cuadro 6. Precipitaciones mensuales según anualidad. Periodo 2015-2020

año	Precipitaciones mensuales (mm)												TOTAL (mm)
	ene	Feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	
2015	0	0	10,4	0	0,4	0	22	200,6	43,2	70,2	0	0	346,8
2016	2	0	0	119,4	25,7	83,7	94,4	0,2	0,2	17,9	0	10,1	353,6
2017	0	0	0	0,2	113,6	107,6	28,2	75,8	14,4	22	1,2	0	363,0
2018	0	0	0	0	18	70,8	69,4	17	0	0,8	0	0	176,0
2019	0	0,2	0,2	1,4	4	43,2	8,6	0	0	0	0	0	57,6
2020	0	0											0,0

Fuente: datos provenientes de plataforma AGROMET (<http://www.agromet.cl>); procesados por el autor. Datos para el periodo oct-dic 2018 y año 2019 pertenecen a Estación La Cruz.

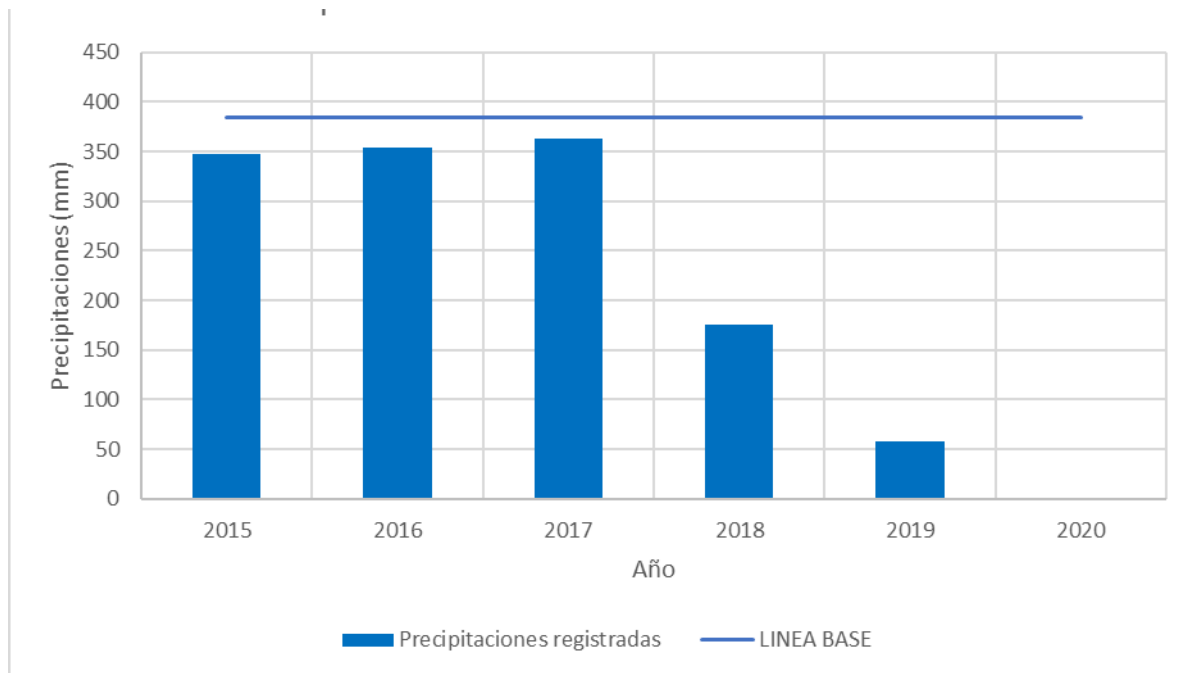


Figura 13. Gráfico precipitaciones anuales comuna Nogales período 2015-2020

Hasta el año 2017 las precipitaciones anuales del área de estudio se mantuvieron en un valor cercano a los 350 mm anuales. Sin embargo, en el período 2018-2019 las precipitaciones anuales del área de estudio disminuyen de manera muy acentuada. En efecto el año 2018 precipitaron 176 mm y el año 2019 precipitaron 57,6 mm.

Entre el 1 de enero de 2020 y el 29 de febrero de 2020 no se registraron precipitaciones en el área.



Sin duda que las bajas precipitaciones observadas desde el año 2018 a la fecha han tenido un importante efecto en el deterioro del vigor de los bosques de la comuna de Nogales y la mortalidad de individuos en pie.

Por otra parte, la distribución de las precipitaciones mensuales en el periodo 2015 – 2019 ha sido heterogénea. En efecto, en gráfico siguiente se advierte que -por ejemplo- el año 2015 que fue un año normal respecto a precipitaciones totales, estas se concentraron en los meses de agosto, septiembre y octubre; a diferencia de los años 2016 – 2019 en que las precipitaciones ocurren principalmente entre abril y agosto.

Es notable la baja de precipitaciones y la distribución de estas para el periodo 2017 – 2019-

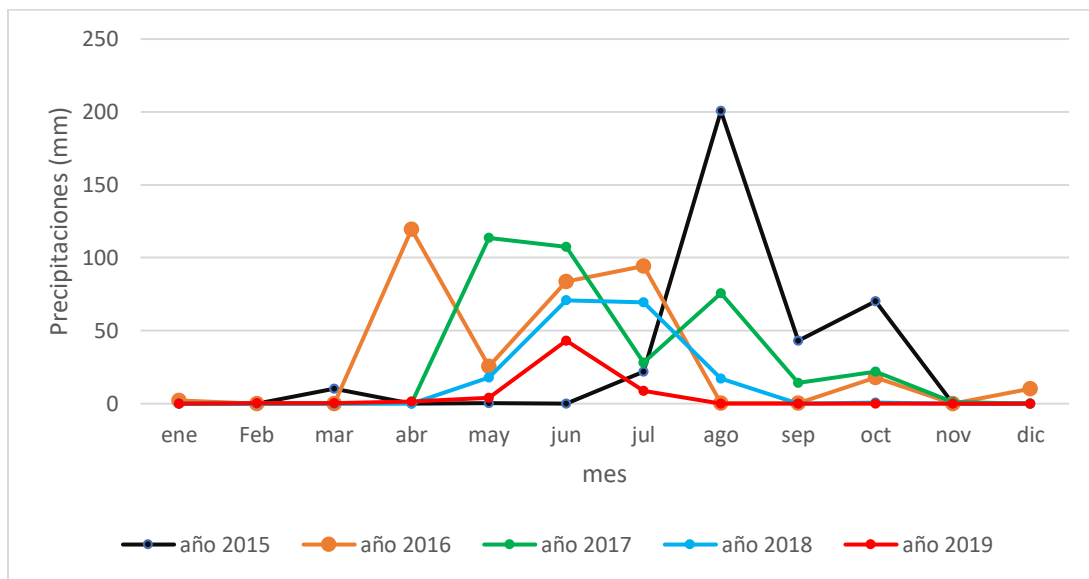


Figura 14. Distribución de las precipitaciones según mes. Periodo 2015-2019 comuna Nogales

## 5-2).- Uso del suelo

La comuna de Nogales tiene una superficie de 40.596,4, que se distribuye del siguiente modo según el uso del suelo:

Cuadro 7. Uso del suelo comuna de Nogales al 30 de diciembre de 2013 (FUENTE: CONAF)

Clase Uso del Suelo	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Bosque	19.466,9	48,0%
Praderas y matorrales	11.793,4	29,1%
Terrenos agrícolas	6.871,5	16,9%
Minería Industrial	1.349,6	3,3%
Áreas desprovistas de vegetación	584,7	1,4%
Áreas urbanas	470,2	1,2%
Cuerpos de agua	60,1	0,1%
<b>TOTAL</b>	<b>40.596,4</b>	<b>100,0%</b>

FUENTE: Sistema de Información Territorial CONAF, Usos del suelo a diciembre de 2013. Datos procesados por el autor.

Se aprecia en cuadro 7 que al 30 de diciembre de 2013, los bosques representan el tipo de uso del suelo más relevante en la comuna de Nogales, ocupando el 48% de la superficie comunal, seguido por las Praderas y Matorrales que representan el 29,1% de la superficie comunal. En su conjunto, ambos tipos de Uso del Suelo representan el 77,1% de la superficie comunal

Ver distribución de los usos del suelo de la comuna de Nogales en figura 15:

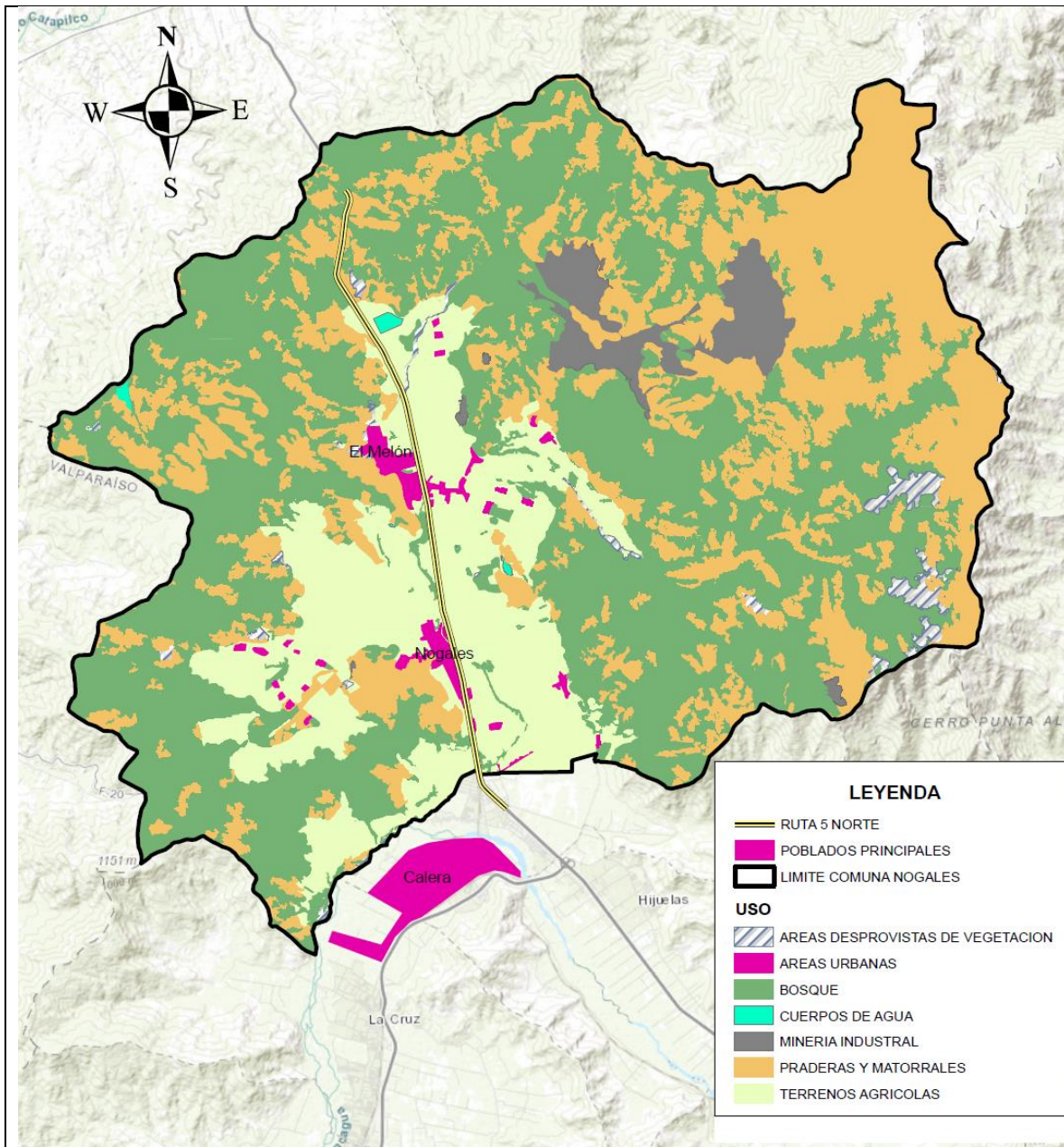


Figura 15. Ocupación del suelo de la comuna de Nogales al 30 de diciembre de 2013 según CONAF

### 5-2-1).- Actualización de la superficie de bosques de la comuna de Nogales

En el período comprendido entre el 30 de diciembre de 2013 y el 18 de febrero de 2020, se localizaron en el área de estudio un total de 839,95 ha en las cuales se produjo cambio de uso del suelo desde bosque nativo a otros usos según detalle expuesto en cuadro 8:

Cuadro 8: Superficies de cambio desde bosque nativo a otros usos periodo 30 diciembre 2013 al 18 febrero 2020

desde bosque nativo a	superficie (ha)	%
descampes (cortas)	458,76	54,6%
plantaciones frutales	150,97	18,0%
casa y potreros	46,99	5,6%
campo cultivado	43,19	5,1%
caserío y potreros	41,04	4,9%
plantación forestal	34,95	4,2%
tranque relaves	22,45	2,7%
carretera	12,14	1,4%
tranque riego	7,73	0,9%
camino cortafuego	7,54	0,9%
explotación minera	5,07	0,6%
construcciones industriales	3,96	0,5%
instalaciones mineras	3,23	0,4%
casa patronal	1,37	0,2%
encierra ganado	0,45	0,1%
construcciones galpones	0,11	0,0%
<b>TOTAL</b>	<b>839,95</b>	<b>100,0%</b>

Se aprecia en Cuadro 8 que en el periodo indicado se llevaron a cabo un total de 458,76 ha de cortas de bosque nativo que tuvieron como fin los descampes, es decir cortas orientadas a despejar terrenos, posiblemente para un fin de tipo pecuario. En segundo lugar, aparecen las cortas de bosque nativo que tuvieron como fin el establecimiento de plantaciones de frutales (150,97 ha).

En su conjunto, estas dos categorías de cambio de uso del suelo agrupan el 72,6% de la superficie de bosque nativo talada en el área de estudio.

Desde el punto de vista de la tipología forestal afectada, se pudo determinar que los mayores cambios ocurrieron en bosques pertenecientes al Tipo Forestal Esclerófilo. Ver cuadro 9.

Cuadro 9: Superficies de cambio desde bosque nativo a otros usos según tipo forestal. Periodo 30 diciembre 2013 al 18 febrero 2020.

Tipo Forestal	Superficie afectada (ha)	%
Esclerófilo	796,23	94,8
Palma chilena	25,09	2,9
No aplica (plantaciones)	18,63	2,3
<b>TOTAL</b>	<b>839,95</b>	<b>100,0</b>

Se desprende entonces a partir de las cifras de los cuadros 8 y 9 que la superficie actualizada de bosque nativo al 18 de febrero de 2020 alcanza a 18.626,95 ha. Ver Figura 16:

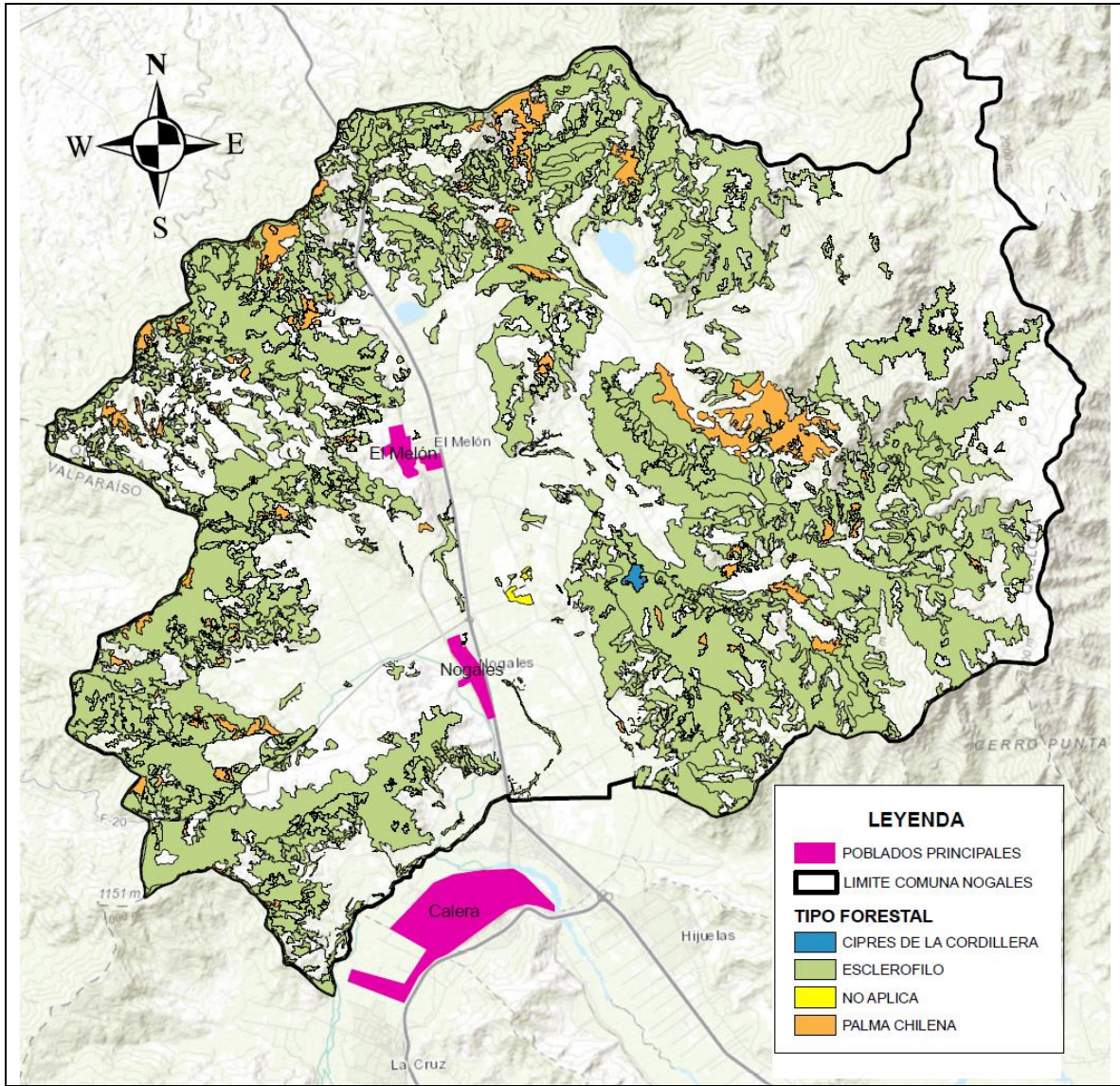


Figura 16: Localización de los bosques existentes al 18 de febrero de 2020 (18.626,95 ha) según Tipo Forestal

### 5-3).- Índice normalizado diferencial de la vegetación (NDVI) del área de estudio

A continuación, se presenta la situación del NDVI de la Comuna de Nogales al 18 de febrero de 2020. Ver figura 17:

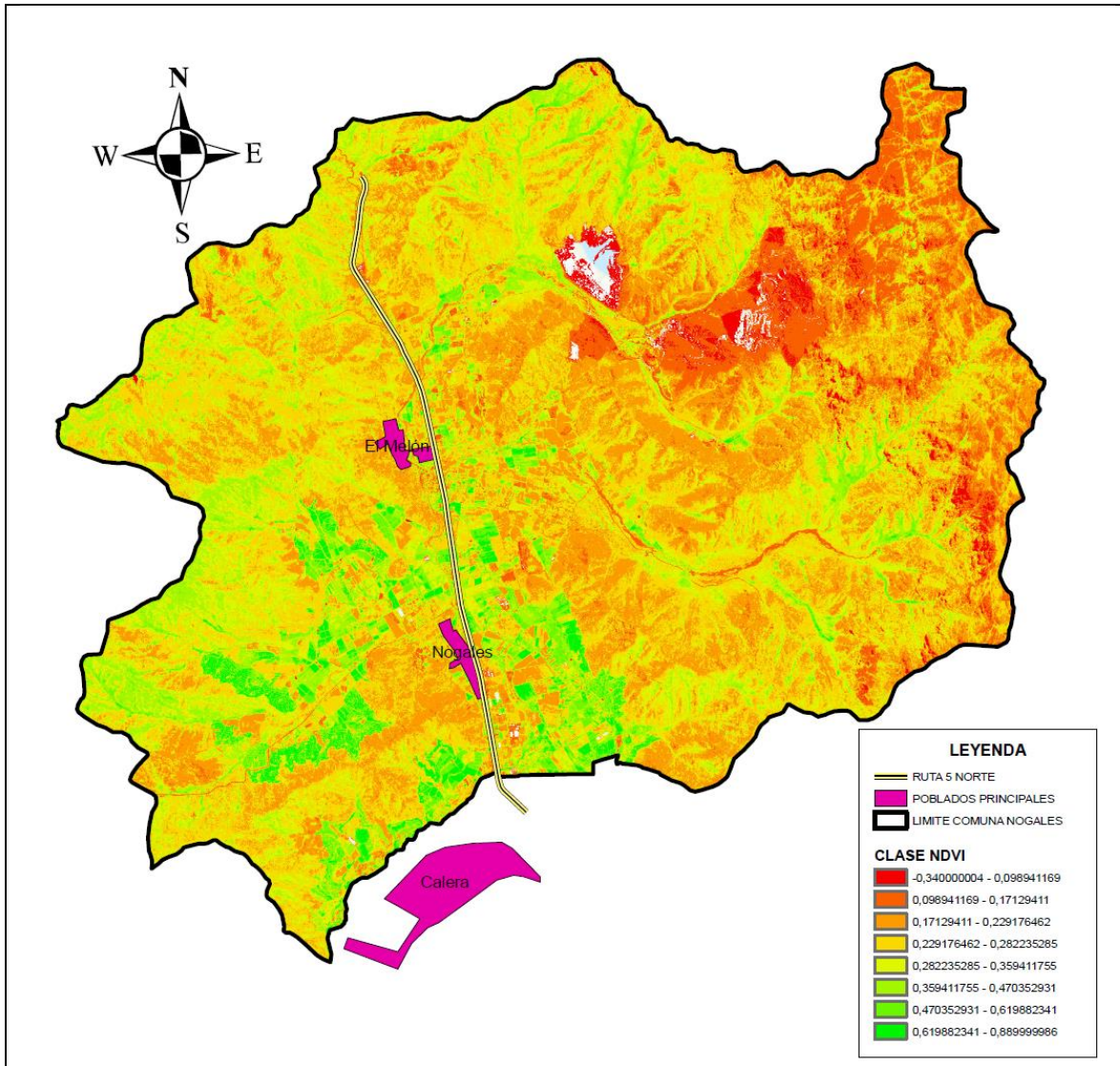


Figura 17. Mapa de los valores del índice NDVI de la Comuna de Nogales al 18 de febrero de 2020

Al 18 de febrero de 2020 el Índice Normalizado Diferencial de la Vegetación (NDVI), de la Comuna de Nogales tiene un gradiente que va desde valores negativos (NDVI -0,34), que representa los sectores rocosos alta cordillera y lechos de ríos que a la fecha están secos; hasta valores positivos como la clase NDVI 0,61 – 0,89 que se asocia con terrenos agrícolas irrigados y valles cultivados (sectores en color verde ubicados al oriente y poniente del tramo entre Nogales y El Melón).

Los sectores ubicados en fondos de quebrada aparecen asociados a la clase de NDVI 0,47 – 0,61, principalmente en la parte alta de la cuenca hidrográfica.

#### 5-4).- Índice normalizado diferencial de la vegetación (NDVI) de las áreas con bosque

A continuación, se presenta la clasificación de los bosques de la comuna de Nogales según clase de NDVI al 18 de febrero de 2020. Ver figura 18:

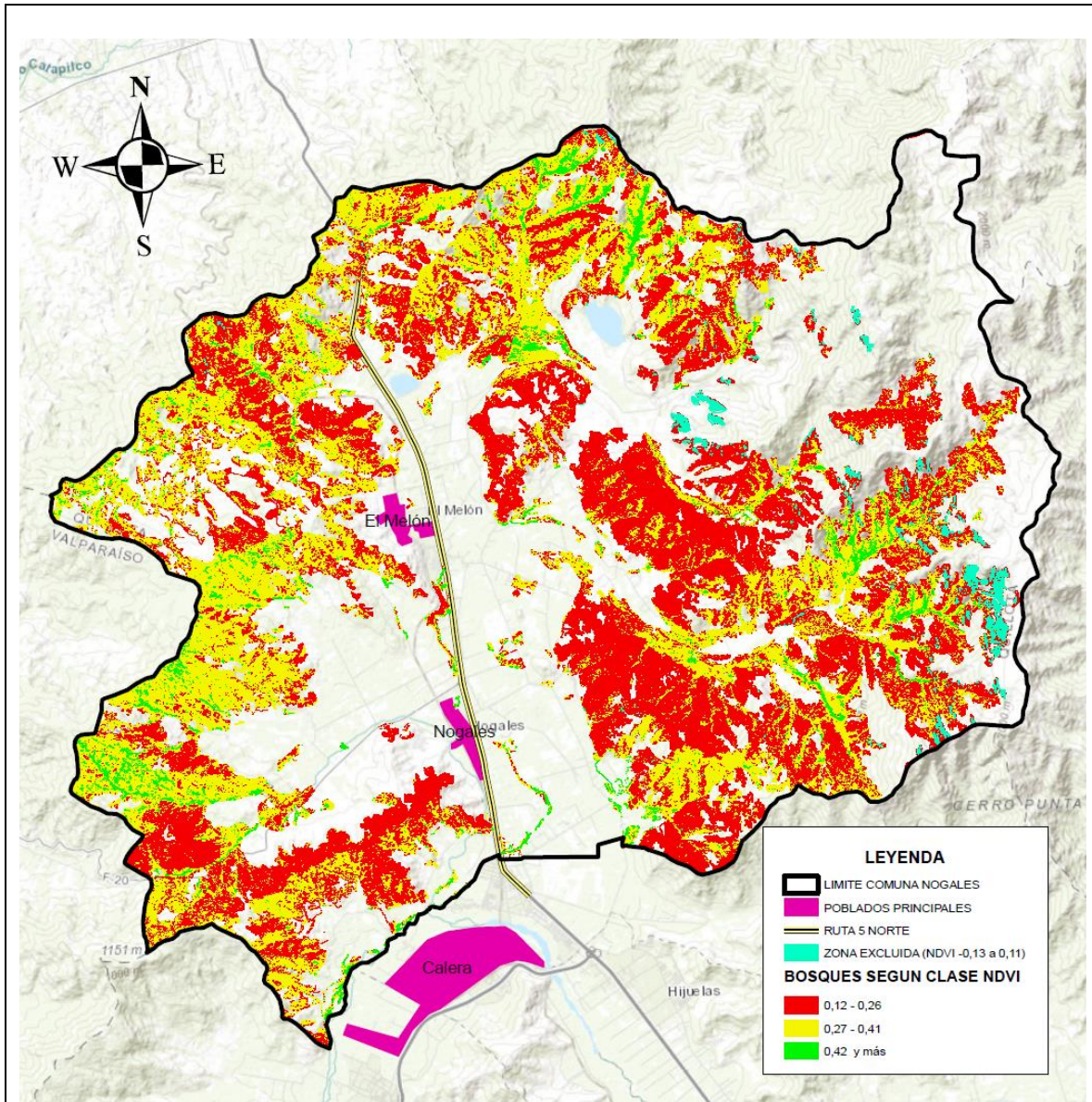


Figura 18. Distribución de los bosques de la comuna de Nogales según clase de NDVI

Se aprecia en Figura 18 la predominancia que tiene la clase de NDVI 0,12 a 0,26 que está presente en todos los sectores del área de estudio. La clase de NDVI 0,27 a 0,41 está presente en algunos contrafuertes cordilleranos y en las pendientes de la cuesta El Melón y cerros ubicados al poniente de la Ruta 5 norte. La clase de NDVI 0,42 y más está presente en los sectores bajos (lechos de río y en exposiciones sur y fondos de quebrada de la comuna de Nogales. Esta última clase es la menos presente en el área.

La cuantificación de la superficie de bosque nativo por clase de NDVI se expone en cuadro siguiente:

Cuadro 10. Superficie de bosques según clase de NDVI, comuna de Nogales. Situación al 18 de febrero de 2020.

clase NDVI	Afectación de la vegetación arbórea por sequía	Superficie (ha)	%
-0,13 - 0,11	(zona excluida del estudio)	145,91	0,8%
0,12 - 0,26	Muy afectada por sequía	9.110,78	48,9%
0,27 - 0,41	Con afectación media por sequía	8.469,94	45,5%
0,42 y más	Sin afectación aparente por sequía	900,32	4,8%
		<b>18.626,95</b>	<b>100,0%</b>

De acuerdo con lo indicado en Cuadro 10 la superficie de bosques **Muy afectada por sequía** alcanza a 9.110,78 ha que representan el 48,9% de la superficie de bosques existentes en el área de estudio al 18 de febrero de 2020.

La superficie de bosques **Con afectación media por sequía** alcanza a 8.469,94 ha y representa el 45,5% de la superficie de bosques de la comuna de Nogales.

Los bosques **Sin afectación aparente por sequía** totalizan solo 900,32 ha y representan el 4,8% de la superficie de bosques de la comuna de nogales.

#### 5-4-1).- Características de los bosques muy afectados por sequía

Los bosques muy afectados por sequía tienen presencia en toda la comuna de Nogales. De acuerdo con antecedentes generados por CONAF asociados al Catastro Vegetacional, la cobertura de estos bosques al 30 de diciembre de 2013 era predominantemente abierta a muy abierta como se expone en cuadro siguiente:

Cuadro 11. Superficie según clase de cobertura de los bosques muy afectados por sequía (Fuente: CONAF)

Cobertura	Superficie (ha)	%
Semidenso	3.699,14	40,6
Muy abierto	2.731,75	30,0
Abierto	2.603,22	28,6
Denso	67,68	0,7
No aplica (*)	8,99	0,1
<b>TOTAL</b>	<b>9.110,78</b>	<b>100,0</b>

(\*): corresponde a sectores cubiertos por el tipo forestal Palma chilena

De acuerdo con lo expuesto en cuadro 11 las clases de cobertura Muy Abierto y Abierto totalizan 5.334,97 ha que representan el 58,6% de la superficie de bosques muy afectados por sequía. La fracción restante se distribuye en las clases de cobertura semidenso, denso y No aplica.

La distribución de las superficies según tipo y subtipo forestal se expone en cuadro 12

Cuadro 12. Distribución de las superficies de bosques muy afectados por sequía según tipo y subtipo forestal. Situación al 30 de diciembre de 2013 (FUENTE: CONAF)

TIPO FORESTAL	SUBTIPO FORESTAL	SUPERFICIE (ha)
ESCLEROFILO	Peumo-Quillay-Litre	4.168,23
	Espino	3.473,96
	Esclerófilo	979,44
	<b>SUB TOTAL</b>	<b>8.621,63</b>
PALMA CHILENA	No aplica	457,56
	<b>SUB TOTAL</b>	<b>457,56</b>
CIPRES DE LA CORDILLERA	No aplica	22,57
	<b>SUB TOTAL</b>	<b>22,57</b>
NO APLICA	Plantaciones	8,99
	<b>SUB TOTAL</b>	<b>8,99</b>
<b>TOTAL GENERAL</b>		<b>9.110,75</b>

Se desprende del cuadro 12 que los bosques muy afectados por sequía mayoritariamente afectan al tipo forestal Esclerófilo, compuesto por los subtipos forestales Peumo-Quillay-Litre, Espino y Esclerófilo. Este tipo forestal representa el 94,6% de la superficie afectada.

A la baja cobertura que tienen estos bosques se suma los intensos daños que han sufrido producto de los incendios forestales que han hecho variar tanto su estructura como la situación de cobertura evaluada por CONAF en el Catastro vegetacional al 30 de diciembre de 2013. Para dejar de manifiesto esta situación, se expone a continuación el mapa de distribución 159 puntos de inicio de incendio forestal según coordenadas geográficas obtenidas con GPS por personal de CONAF al momento de llevar a cabo el combate del fuego.

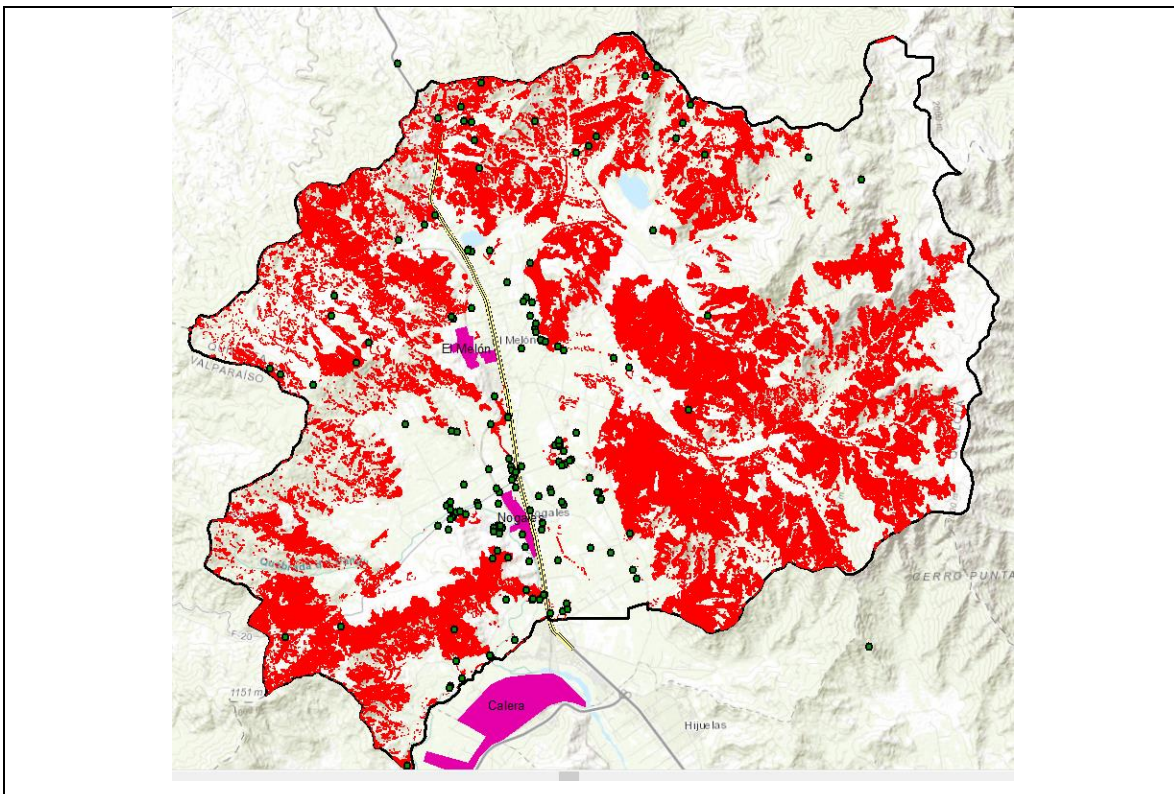


Figura 19. Ubicación de los bosques muy afectados por sequía y su cercanía con puntos de inicio de incendios forestales ocurridos en el periodo 2010 – 2019.



De acuerdo con una revisión preliminar sobre este tema, algunas áreas han tenido ya sea de manera total o parcial varios incendios que las han afectado en el periodo 2000 – 2019 por lo tanto es evidente que el gran daño que han sufrido los bosques sumado al efecto de la sequía está acabando con los mismos y promoviendo un cambio del uso de estos terrenos. Ver ejemplo siguiente de incendio que afectó una superficie de 384,1 ha el pasado 26 de enero de 2019.

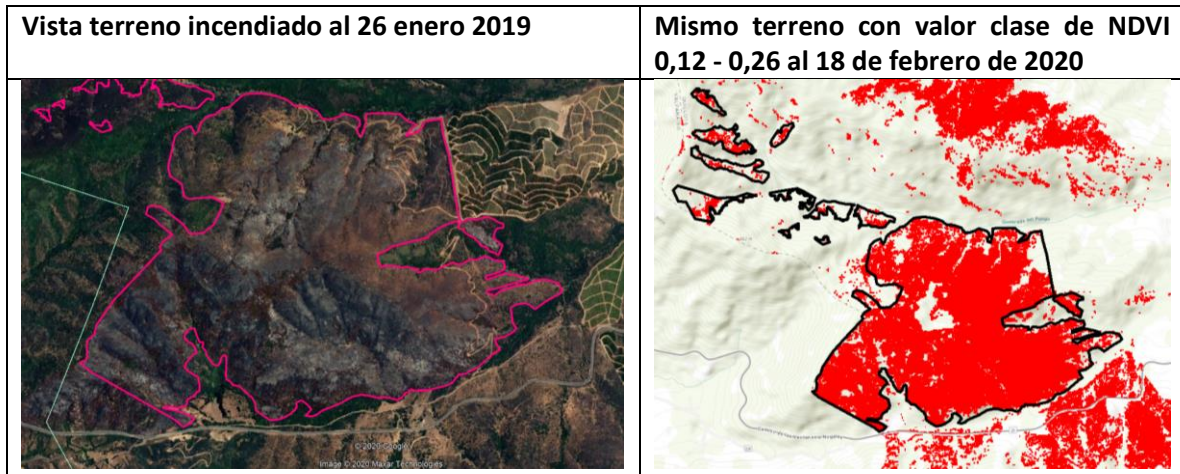


Figura 20. Bosque que sufrió un gran incendio el 26 de enero de 2019 y su relación con el valor clase de NDVI asociado a bosques muy afectados por sequía.

El examen visual de imágenes satelitales de los terrenos que tienen la condición de estar muy afectados por sequía revela una estrecha asociación con incendios forestales antiguos y recientes y una baja densidad de especies arbóreas, de ahí el bajo valor de NDVI que presentan al 18 de febrero de 2020 revelando una muy baja actividad fotosintética.

El comportamiento histórico del NDVI de estos bosques en el periodo agosto 2016 a febrero de 2020 generado a partir del muestreo de esta variable en un total de 13 puntos cuya ubicación se expone en Figura 21 se presenta en las Figuras 22 y 23.

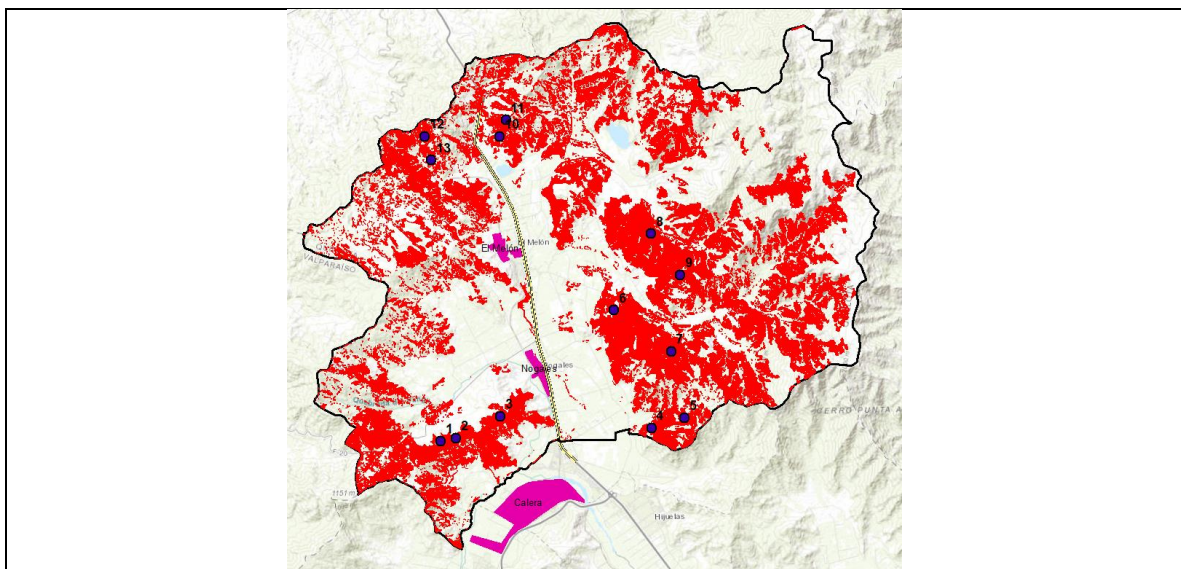


Figura 21. Ubicación de puntos de muestreo del NDVI histórico, Bosques muy afectados por sequía.

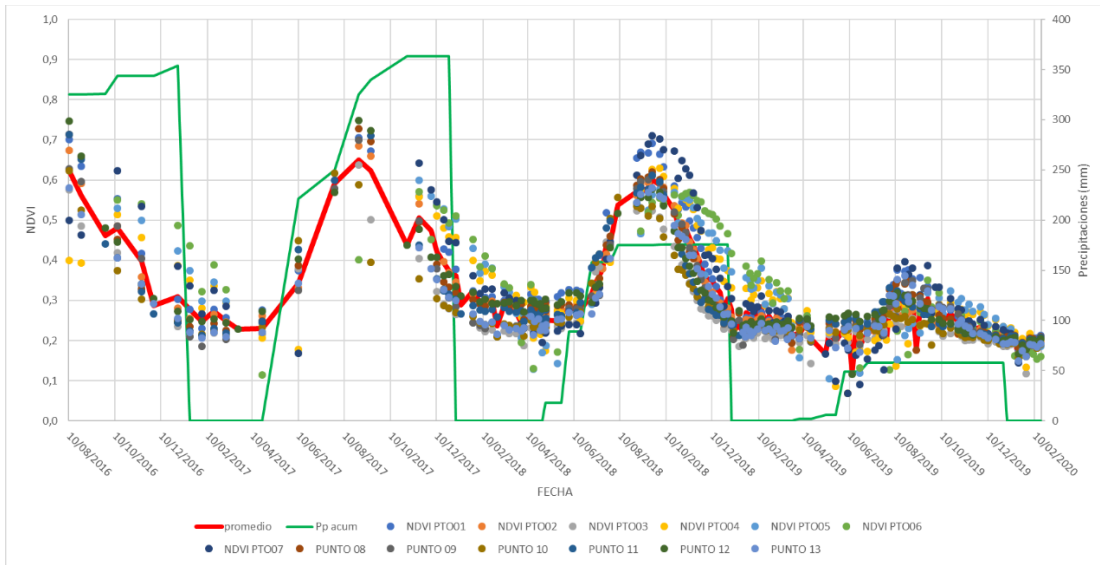


Figura 22. Comportamiento del NDVI y precipitaciones mensuales acumuladas. Bosques muy afectados por sequía periodo agosto 2016 a febrero de 2020.



Figura 23. Distribución de frecuencias del NDVI correspondiente a los bosques muy afectados por sequía. Periodos 2016 – 2018 y 2019-2020.

De acuerdo con lo expuesto en Figura 22 se advierte que el NDVI tiene valores máximos que se presentan en época de primavera-verano y valores mínimos que se observan en los meses de otoño-invierno. Entre los años 2016 y 2017 los valores de NDVI correspondientes a la época de primavera-verano tuvieron un valor medio de NDVI 0,63 pero el año 2018 el NDVI máximo medio fue de 0,58 y el año 2019 disminuyó bruscamente a 0,29. Estos cambios a la baja del NDVI son coincidentes con la disminución de las precipitaciones registradas en el mismo periodo.

Al 18 de febrero de 2020 el NDVI promedio de estos bosques alcanza a 0,20.

Por otra parte, al analizar la Figura 23 se advierte que la distribución de frecuencias del NDVI histórico ha cambiado drásticamente en el periodo 2016 – 2020. En efecto, entre los años 2016 y 2018 el NDVI tuvo una distribución más amplia cubriendo una mayor cantidad de clases con lo cual queda de manifiesto que estos bosques tuvieron en dicho periodo un vigor más alto. Entre el 1 de enero de 2019 y el 18 de febrero de 2020 la distribución de frecuencias del NDVI se desplazó hacia valores más bajos y se concentró en pocas clases lo que indica que el vigor disminuyó drásticamente al igual que su variabilidad, lo que indica que los bosques muy afectados por sequía tienen una gran homogeneidad en su condición de vigor actual.

#### 5-4-2).- Características de los bosques con afectación media por sequía

Los bosques con afectación media por sequía tienen presencia en toda la comuna de Nogales. De acuerdo con antecedentes generados por CONAF asociados al Catastro Vegetacional, la cobertura de estos bosques al 30 de diciembre de 2013 era predominantemente semidenso como se expone en cuadro siguiente:

Cuadro 13. Superficie según clase de cobertura de los bosques con afectación media por sequía (Fuente: CONAF)

Cobertura	Superficie (ha)	%
Semidenso	5.538,55	65,4
Abierto	1.465,95	17,3
Muy Abierto	1.424,21	16,8
Denso	24,87	0,3
No aplica (*)	16,36	0,2
<b>TOTAL</b>	<b>8.469,94</b>	<b>100,0</b>

(\*): corresponde a sectores cubiertos por plantaciones de Eucalipto

De acuerdo con lo expuesto en cuadro 13 la clase de cobertura semidenso era la más relevante con un total de 5.538,55 ha que representan el 65,4% del total. Le siguen en importancia las clases de cobertura abierto y muy abierto.

La distribución de las superficies según tipo y subtipo forestal se expone en cuadro 14

Cuadro 14. Distribución de las superficies de bosques con afectación media por sequía según tipo y subtipo forestal. Situación al 30 de diciembre de 2013 (FUENTE: CONAF)

TIPO FORESTAL	SUB TIPO FORESTAL	SUPERFICIE (ha)
ESCLEROFILO	Peumo-Quillay-Litre	4.795,51
	Espino	2.063,26
	Esclerófilo	992,10
	<b>SUB TOTAL</b>	<b>7.850,87</b>
PALMA CHILENA	No aplica	601,42
	<b>SUB TOTAL</b>	<b>601,42</b>
NO APLICA	Plantaciones	16,36
	<b>SUB TOTAL</b>	<b>16,36</b>
CIPRES DE LA CORDILLERA	No aplica	1,28
	<b>SUB TOTAL</b>	<b>1,28</b>
<b>TOTAL</b>		<b>8.469,93</b>

Se desprende del cuadro 14 que los bosques con afectación media por sequía mayoritariamente afectan al tipo forestal Esclerófilo, compuesto por los subtipos forestales Peumo-Quillay-Litre, Espino y Esclerófilo. Este tipo forestal representa el 92,7% de la superficie afectada.

Tal como se expone en Figura 24 los bosques con afectación media por sequía tienen una presencia en toda la comuna de Nogales. Las principales masas se ubican preferentemente en la cuesta El Melón y en los cerros que limitan con la Provincia de Valparaíso.

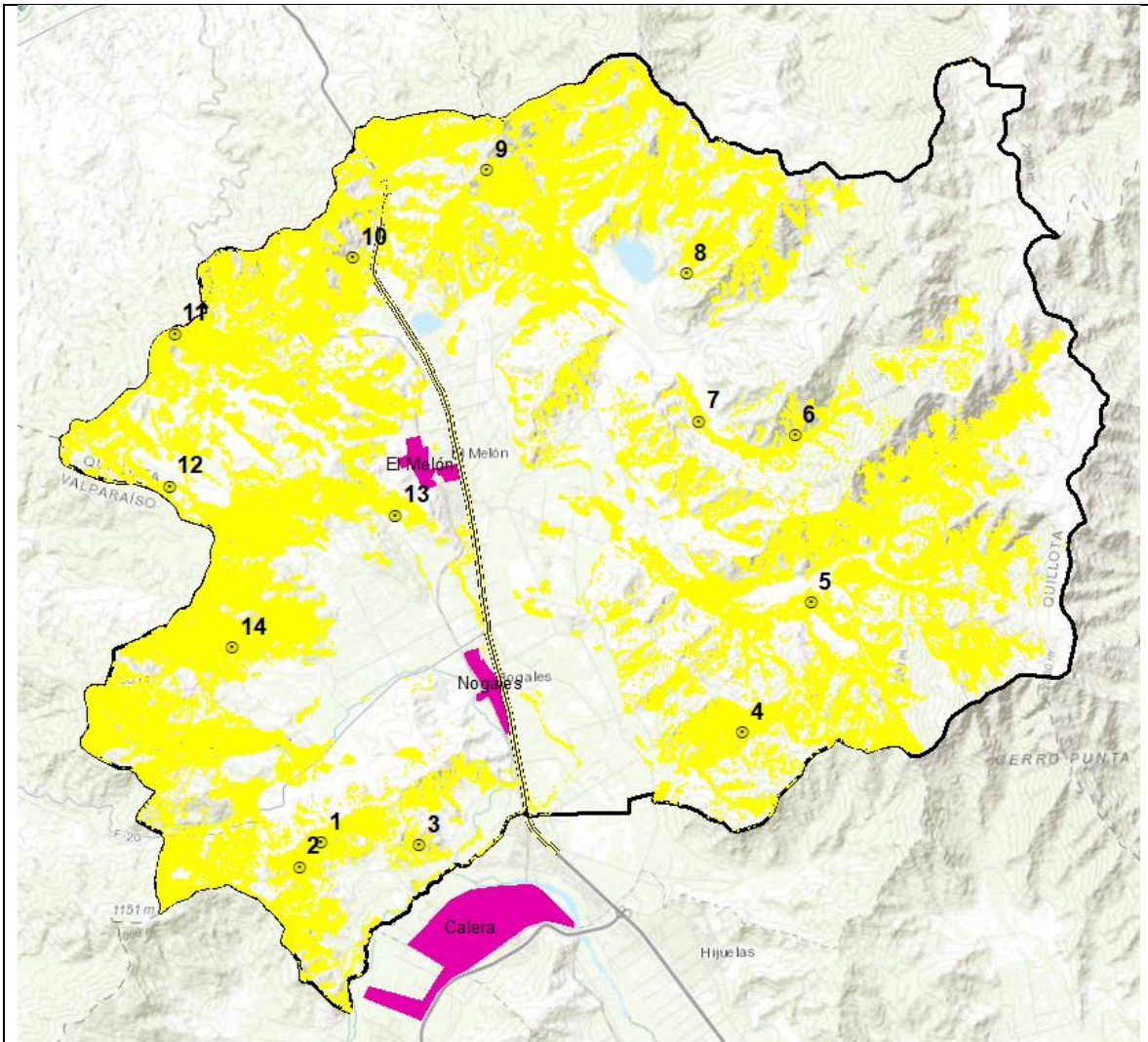


Figura 24: Localización de los bosques con afectación media por sequía en el área de estudio (color amarillo) y puntos de muestreo del NDVI histórico

Mediante análisis visual de imágenes satelitales actuales se pudo verificar que estos bosques se emplazan preferentemente en las exposiciones sur, sureste y suroeste; ocupando también fondos y costados de valles y quebradas que miran al norte.

Al revisar imágenes satelitales históricas (periodo 2010-2020) se pudo verificar que en varios casos estos bosques han sido afectados por el fuego en años anteriores. Lamentablemente la recuperación natural de los mismos está siendo muy afectada por la sequía que está haciendo estragos en la masa forestal existente.

A contar del mes de febrero de 2020 los árboles adultos ubicados preferentemente en exposición sur comenzaron masivamente a cambiar el color de su follaje desde color verde a color ocre. Ver Figura 25.

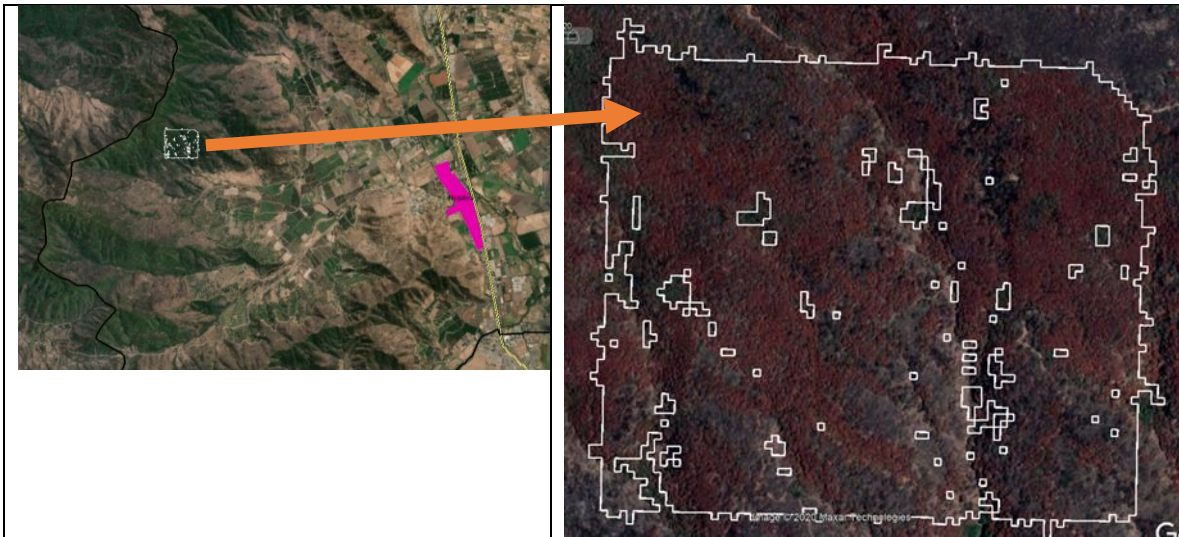


Figura 25. A la izquierda vista de una muestra de un sector clasificado como bosque con afectación media por sequía ubicado al poniente de Nogales. A la derecha en imagen ampliada, el mismo sector en imagen Google Earth del 3 de febrero de 2020, en que se advierte el cambio de tonalidad de las copas de los árboles del área a un color ocre.

El comportamiento histórico del NDVI de estos bosques en el periodo agosto 2016 a febrero de 2020 generado a partir del muestreo de esta variable en un total de 14 puntos cuya ubicación se indicó en Figura 24, se expone en figuras siguientes:

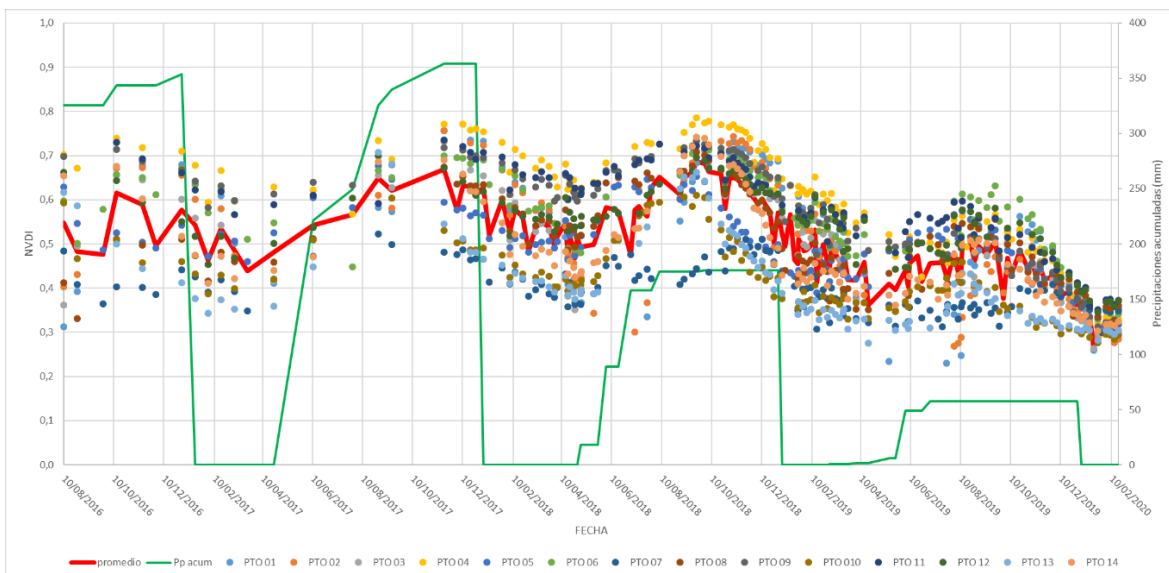


Figura 26. Valores del NDVI y tendencia media en el periodo agosto 2016 a febrero de 2020. Bosques con afectación media por sequía. En eje vertical derecho se expone las precipitaciones acumuladas para el mismo período.

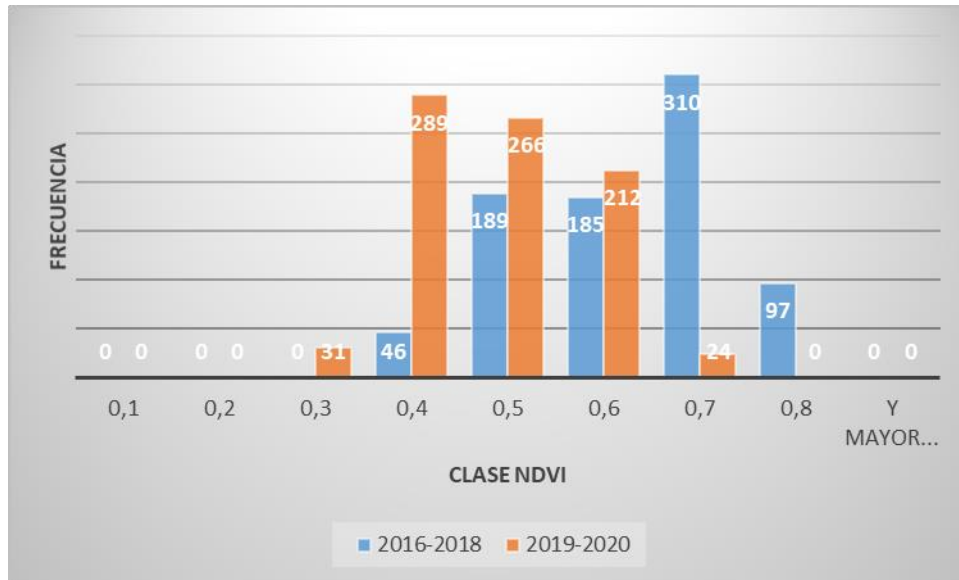


Figura 27. Distribución de frecuencias del NDVI correspondiente a los bosques con afectación media por sequía. Periodos 2016-2018 y 2019-2020.

En Figura 26 se aprecia que la tendencia media del NDVI tiene valores máximos que se presentan en época de primavera-verano y valores mínimos que se observan en los meses de otoño-invierno. Entre los años 2016 y 2018 se advierte que los valores de NDVI correspondientes a la época de primavera-verano tuvieron un valor comprendido en el intervalo 0,6 – 0,7. No obstante el año 2019 el NDVI promedio para el periodo primavera-verano disminuyó a un valor de NDVI 0,5. En el mismo periodo, se observa que las precipitaciones acumuladas registradas en los años 2016, 2017 y 2018 casi no tuvieron efecto en el NDVI promedio de los bosques con afectación media por sequía. No obstante, la fuerte baja de las precipitaciones registrada el año 2019 aunada a la disminución de estas el año 2018 fueron el detonante de la considerable disminución del valor medio del NDVI.

Al 18 de febrero de 2020 el NDVI promedio fue de 0,34.

Por otra parte, al analizar la Figura 27 se advierte que la distribución de frecuencias del NDVI histórico ha cambiado drásticamente en el periodo 2016 – 2020. En efecto, entre los años 2016 y 2018 el NDVI tuvo una distribución de frecuencias con una moda en 0,7 y valores en la clase NDVI 0,8; con lo cual queda de manifiesto que estos bosques tuvieron en dicho periodo un vigor más alto. Entre el 1 de enero de 2019 y el 18 de febrero de 2020 la distribución de frecuencias del NDVI se desplazó hacia valores más bajos con una moda en la clase NDVI= 0,4; lo que indica que el vigor disminuyó drásticamente al igual que su variabilidad, lo que indica que los bosques con afectación media por sequía están en un proceso de cambio acelerado y están perdiendo rápidamente su vigor.

### 5-4-3).- Características del estrato bosques sin afectación aparente por sequía

Los bosques sin afectación aparente por sequía tienen una presencia localizada en fondos de quebrada, riberas de río y sectores húmedos en toda la comuna de Nogales. De acuerdo con antecedentes generados por CONAF asociados al Catastro Vegetacional, la cobertura de estos bosques al 30 de diciembre de 2013 era predominantemente semidenso como se expone en cuadro siguiente:

Cuadro 15. Superficie según clase de cobertura de los bosques sin afectación aparente por sequía (Fuente: CONAF)

Cobertura	Superficie (ha)	%
Semidenso	713,60	79,3
Abierto	93,27	10,4
Muy Abierto	86,28	9,6
Denso	4,71	0,5
No aplica (*)	2,44	0,2
<b>TOTAL</b>	<b>900,30</b>	<b>100,0</b>

(\*): corresponde a sectores cubiertos por plantaciones de Eucalipto

De acuerdo con lo expuesto en cuadro 15 la clase de cobertura semidenso participa con un total de 713,6 ha que representan el 79,3% del total. Le siguen en importancia las clases de cobertura abierto y muy abierto.

La distribución de las superficies según tipo y subtipo forestal se expone en cuadro 16

Cuadro 16. Distribución de las superficies de bosques sin afectación aparente por sequía según tipo y subtipo forestal. Situación al 30 de diciembre de 2013 (FUENTE: CONAF)

TIPO FORESTAL	SUB TIPO FORESTAL	SUPERFICIE (ha)
ESCLEROFILO	Peumo-Quillay-Litre	537,02
	Esclerófilo	177,21
	Espino	128,19
	<b>SUB TOTAL</b>	<b>842,42</b>
PALMA CHILENA	No aplica	55,44
	<b>SUB TOTAL</b>	<b>55,44</b>
NO APLICA	Plantaciones	2,44
	<b>SUB TOTAL</b>	<b>2,44</b>
<b>TOTAL</b>		<b>900,30</b>

Se desprende del cuadro 16 que los bosques sin afectación aparente por sequía mayoritariamente pertenecen al Tipo Forestal Esclerófilo, compuesto por los subtipos forestales Peumo-Quillay-Litre, Esclerófilo y Espino. Este tipo forestal representa el 93,6% de la superficie afectada.

A continuación, en Figura 28 se expone la localización los bosques sin afectación aparente por sequía en el área de estudio:

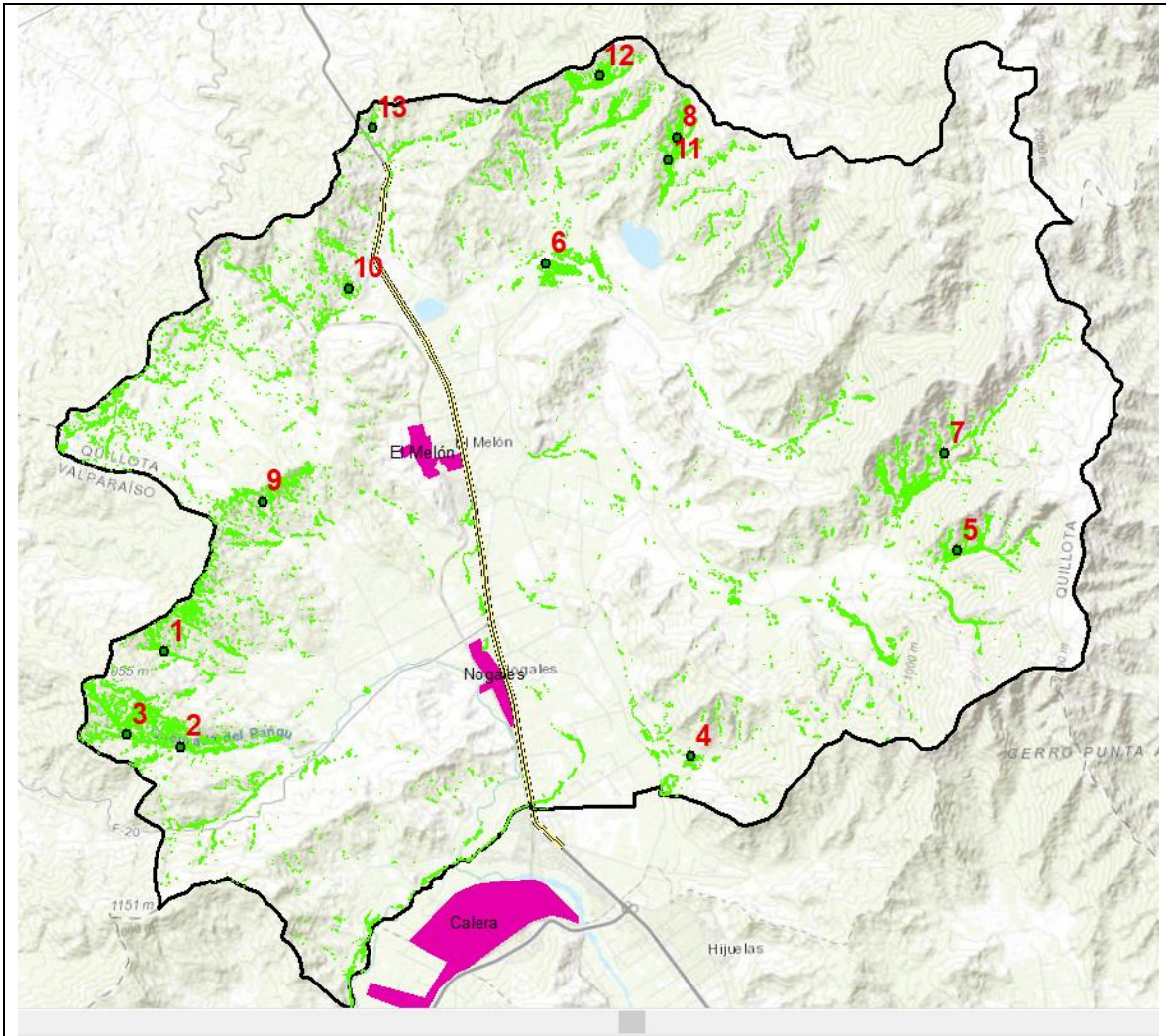


Figura 28: Localización de los bosques sin afectación aparente por sequía en el área de estudio (color verde) y puntos de muestreo del NDVI histórico

Los bosques sin afectación aparente por sequía tienen una extraordinaria importancia desde el punto de vista de la biodiversidad, pues albergan una gran riqueza florística que lamentablemente está en vías de desaparecer si no se llevan a cabo acciones de protección y rescate.

Según Flores, L (2008) estos bosques conforman Bosques Higrófilos entre los 500 – 900 m.s.n.m con un aspecto fisonómico de un bosque alto, denso, pluriestratificado, con enredaderas uniendo los distintos estratos. Mas del 50% de las plantas que habitan los fondos de quebrada en la Cordillera El Melón, son endémicas de Chile. (11)

Los resultados de una prospección efectuada en cuatro quebradas que se ubican en el área de estudio (quebradas El Pedernal, Ramadillas, La Madera y El Infiernillo) arrojaron los siguientes resultados: (11)

- *Beilschmiedia miersii* (belloto del norte), se encuentra creciendo en La Cordillera El Melón, en poblaciones circunscritas exclusivamente a los fondos quebrada, en forma fragmentada a lo largo de estas. Los fragmentos de bosques de belloto están insertos en un mosaico de bosques esclerófilos, matorrales



esclerófilos degradados, matorrales de quila, espinales (estepa de *Acacia caven*) y matorrales de suculentas y espinescentes.

- Estos bosques alcanzan alturas de 20 m de alto, como máximo, con coberturas de copa que puede llegar al 90%. Presentan claramente tres estratos: arbóreo, arbustivo y herbáceo, además de varias lianas que los unen.
- Los bosques de belloto del norte albergan 79 especies de plantas vasculares, de las cuales más del 80% de especies son autóctonas (nativas y endémicas).
- Las especies más importantes en los bosques de belloto, de acuerdo con frecuencia y cobertura en orden decreciente son:
  - ✓ *Beilschmiedia miersii* (belloto del norte)
  - ✓ *Criptocarya alba* (peumo)
  - ✓ *Loasa triloba* (ortiga)
  - ✓ *Adiantum chilense* (helecho palito negro)
  - ✓ *Aextoxicon punctatum* (olivillo)
- La presencia de Mirtáceas propias de bosques pantanosos: *Blepharocalyx cruckshanksii* (palo colorado), *Myrceugenia exsucca* (pitra), *Luma chequén* (arrayán blanco) y la abundancia de lianas, confirman el carácter higrófilo de estas comunidades.
- *Cryptocarya alba* (peumo), propia de los bosques esclerófilos, es la especie que se está autor remplazando exitosamente en estos bosques.
- La baja abundancia de individuos de belloto de clases dimétricas bajas y la escasa presencia de plántulas, sugiere la falta de regeneración de bellotos en los últimos años, posiblemente causado por: herbivoría, desecación, ataque de hongos, arrastre de la semilla por agua de lluvia en invierno.

El comportamiento histórico del NDVI de estos bosques en el periodo agosto 2016 a febrero de 2020 generado a partir del muestreo de esta variable en un total de 13 puntos cuya ubicación se indicó en Figura 28, se expone en figuras siguientes:

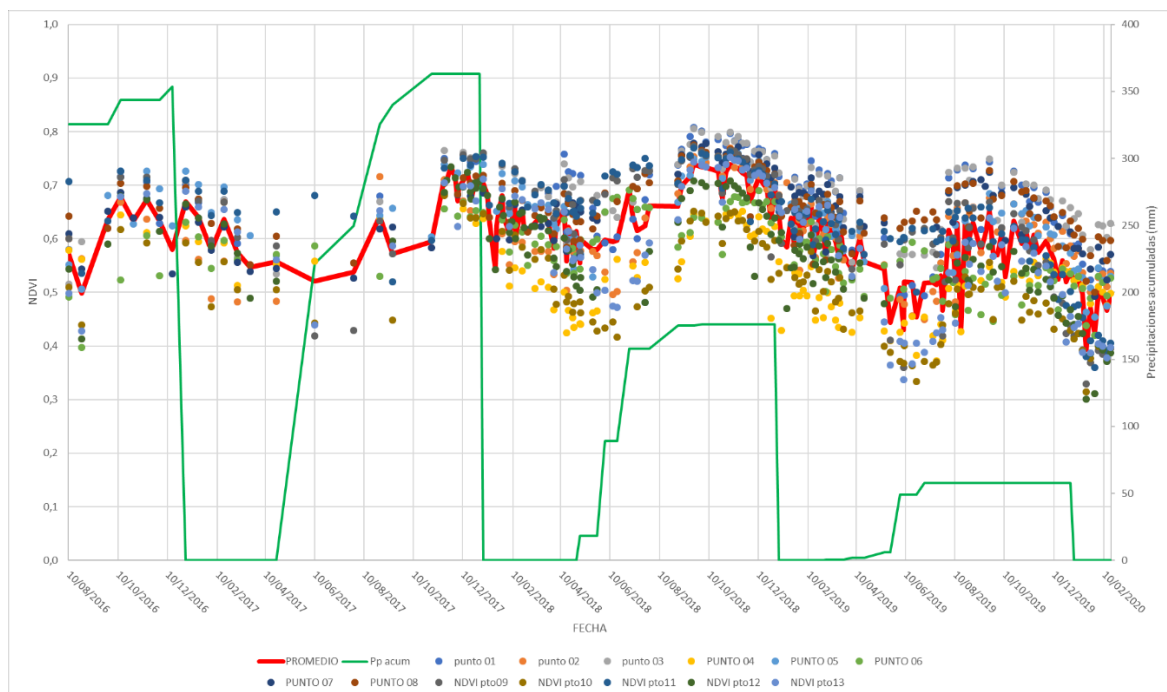


Figura 29. Valores del NDVI y tendencia media en el periodo agosto 2016 a febrero de 2020. Bosques sin afectación aparente por sequía.



Figura 30. Distribución de frecuencias del NDVI correspondiente a los bosques sin afectación aparente por sequía. Periodos 2016 – 2018 y 2019 – 2020.

De acuerdo con lo expuesto en Figura 29 el NDVI tiene valores máximos que se presentan en época de primavera-verano y valores mínimos que se observan en los meses de otoño-invierno. Entre los años 2016 y 2018 se advierte que los valores de NDVI correspondientes a la época de primavera-verano tuvieron un leve aumento, desde NDVI 0,68 en 2016 a NDVI 0,73 en 2018. Luego en 2019 el valor máximo del NDVI para el periodo primavera-verano disminuye a 0,64. Al 18 de febrero de 2020 el NDVI promedio fue de 0,49

Por otra parte, al analizar la Figura 30 se advierte que la distribución de frecuencias del NDVI histórico está cambiando en el periodo 2016 – 2020 aunque de un modo más paulatino que en las otras clases de bosques antes descritos. En efecto, entre los años 2016 y 2018 el NDVI tuvo una distribución de frecuencias con una moda en 0,7 y valores en la clase NDVI 0,8; con lo cual queda de manifiesto que estos bosques tuvieron en dicho periodo un vigor más alto. Entre el 1 de enero de 2019 y el 18 de febrero de 2020 la distribución de frecuencias del NDVI se desplazó hacia valores más bajos, manteniendo una moda en NDVI= 0,7 pero aumentando su frecuencia de participación en clases más bajas (entre 0,4 y 0,6). Este cambio estaría indicando que los bosques sin afectación aparente por sequía están efectivamente siendo afectados por sequía de manera paulatina y sostenida en el tiempo y están perdiendo su vigor.

Se prevé que de continuar la ausencia de precipitaciones es probable que en la primavera de 2020 estos bosques tengan un NDVI con una moda en NDVI= 0,6 y que algunos de sus componentes pasen a ser parte de los bosques con afectación media por sequía.

### 5-5).- Comparación de curvas históricas del NDVI para los bosques de la comuna de Nogales según grado de afectación por sequía

A modo de resumen, se presenta en figura 31 una comparación de las curvas históricas del NDVI para los bosques del área de estudio según su grado de afectación por sequía.

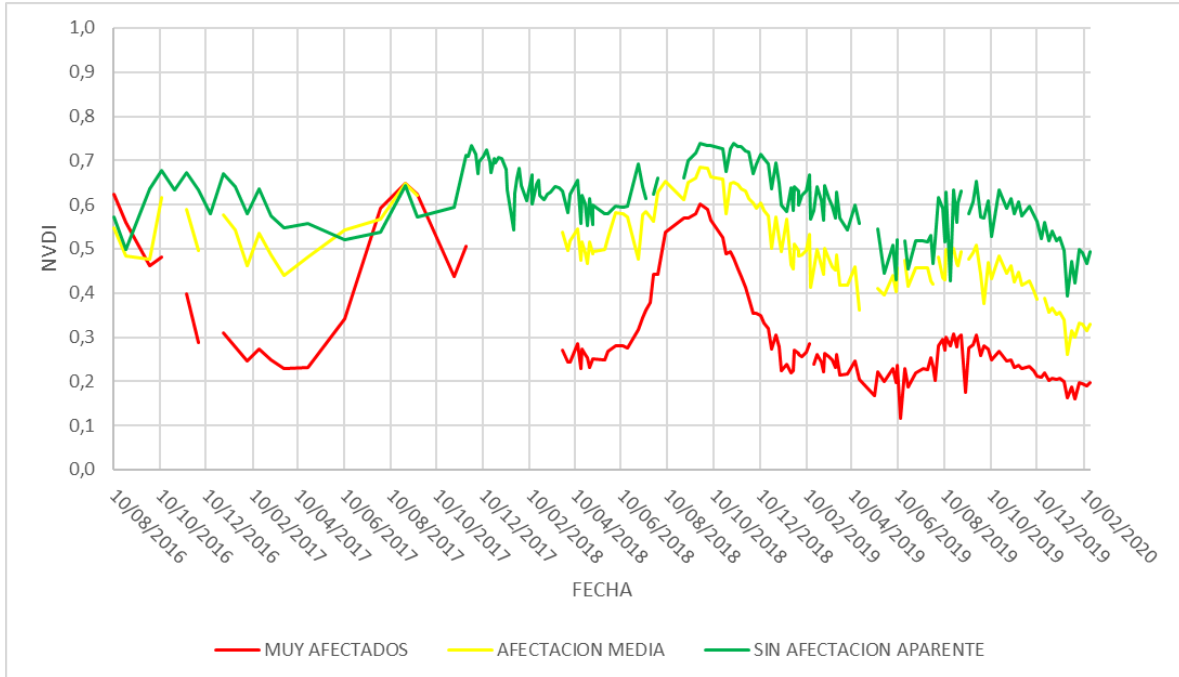


Figura 31. Curvas históricas del NDVI periodo 2016 – 2020 para los bosques del área de estudio según su afectación por sequía.

El análisis de las curvas expuestas en Figura 31 revela que la sequía está afectando a todos los bosques del área de estudio y que la tendencia a la baja que se observa en el valor del NDVI es evidente en los tres tipos de bosque en que se diferencié la población.

Se aprecia también que los bosques con afectación media por sequía tuvieron entre agosto de 2016 y agosto de 2018 un comportamiento similar al de los bosques sin afectación aparente por sequía, lo que significa que la disminución de precipitaciones del año 2018 y 2019 tuvo un gran efecto sobre los mismos iniciando un proceso de profunda afectación, observándose a mediados de octubre de 2019 una clara diferenciación entre los mismos. Es relevante señalar que la diferenciación entre ambos tipos de bosque se logró en un plazo aproximado de 17 meses.

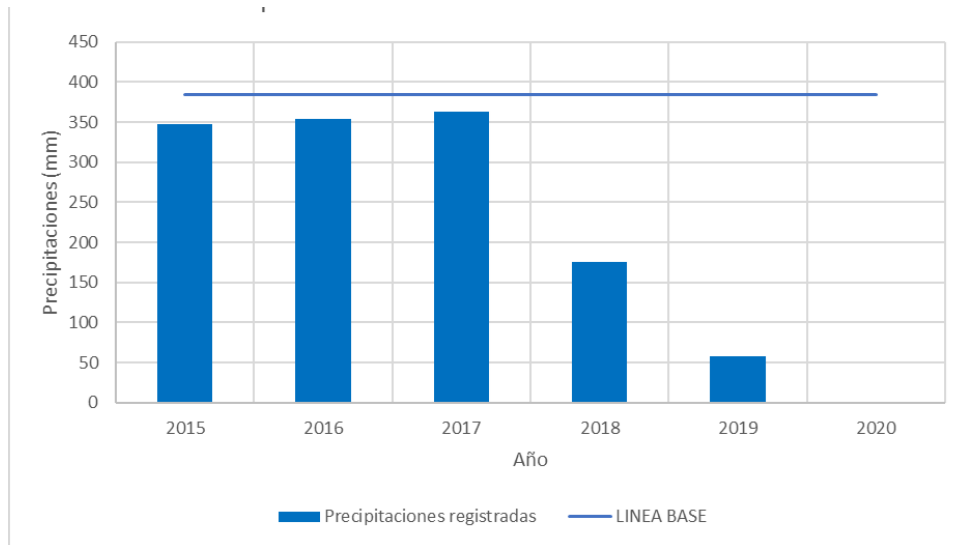
Con relación a los bosques muy afectados por sequía y complementando lo señalado en 5-4-1) el comportamiento del NDVI está muy influenciado por la pradera natural existente en estos bosques debido a su baja condición de densidad y cobertura. También, a la existencia de algunas especies pioneras arbustivas como ser el Tebo (*Talguenea trinervis*), Colliguay (*colliguaya odorifera*), y Tralhuen (*Talguenea quinquinervia*). La pradera natural con las primeras lluvias crece rápidamente y su explosiva actividad fotosintética queda asociada entonces a altos valores de NDVI. Por el contrario, y una vez avanzada la primavera (cuando comienza a faltar humedad en el suelo) esta pradera se seca fenómeno que se asocia a los bajos valores de NDVI observados entre noviembre y diciembre. Mas tarde el Tebo comienza a botar sus hojas en enero y hasta que se inicia un nuevo

ciclo. La actividad fotosintética de base se mantiene gracias a los ejemplares arbóreos existentes y a las especies arbustivas (el tebo tiene tallos fotosintetizadores). Esta dinámica queda plenamente reflejada el año 2019 en la cual solo precipitaron 53,7 mm en el área de estudio y el NDVI solo alcanzó un valor máximo medio de 0,3.

## 6).- CONCLUSIONES

### a).- Situación climática del área de estudio

La extrema sequía que está afectando a Chile Central durante los últimos 11 años ha tenido un fuerte impacto en la zona. De acuerdo con los registros de la estación climática de Nogales y La Cruz (perteneciente a la Red AGROMET), en el período 2015-2020 las precipitaciones han estado bajo la media normal, siendo notable la disminución de estas entre los años 2018 y 2019. Ver gráfico siguiente:



Sin duda que este escenario ha sido muy desfavorable para la sustentación de los Bosques Nativos de la comuna de Nogales y constituye un pilar fundamental en la explicación de la mortalidad de individuos observada en campo.

Por otra parte, la disminución del promedio de lluvias anuales para el área de estudio al año 2050 augura un panorama sombrío para la supervivencia de los Bosques.

La tendencia de la megasequía que afecta a la zona central de Chile no parece revertirse y en tal sentido -dada la situación actual de daño que este fenómeno ha causado- es mejor plantear acciones de mitigación y adaptación bajo un escenario climático pesimista.

### b).- Uso del suelo

La comuna de Nogales tiene una superficie de 40.596,4. Los bosques al 30 de diciembre de 2013 representaban el tipo de uso del suelo más relevante en esta comuna, ya que totalizaban 19.466,9 ha, ocupando el 48% de la superficie comunal, seguido por las Praderas y Matorrales (11.793,4 ha) que representaban el 29,1% de la superficie comunal. En su conjunto, ambos tipos de Uso del Suelo representaban el 77,1% de la superficie comunal (31.260,3 ha).

En lo general se puede señalar que la superficie de Bosques de la Comuna de Nogales está compuesta básicamente por Bosques del Tipo Forestal Esclerófilo, que al 30 de diciembre de 2013 estaba representado por una superficie total de 18.256,2 ha. Esta superficie representaba el 93,8% de la superficie total cubierta por bosques en la comuna.

En el período comprendido entre el 30 de diciembre de 2013 y el 18 de febrero de 2020, se localizaron en el área de estudio un total de 839,95 ha en las cuales se produjo cambio de uso del suelo desde bosque nativo a otros usos. El cambio de uso más importante en cuantía fue el de los descampes, es decir cortas destinadas a despejar terrenos seguramente con un fin de tipo pecuario (458,76 ha), seguida por las cortas destinadas a establecer plantaciones de frutales (150,97 ha).

En su conjunto, estas dos categorías de cambio de uso del suelo agrupan el 72,6% de la superficie de bosque nativo talada en el área de estudio.

Desde el punto de vista de la tipología forestal afectada, se pudo determinar que los mayores cambios ocurrieron en bosques pertenecientes al Tipo Forestal Esclerófilo, pues las cortas afectaron a un total de 796,23 ha pertenecientes a este tipo forestal.

La superficie actualizada de bosque nativo al 18 de febrero de 2020 en el área de estudio alcanza entonces a 18.626,95 ha.

#### **c).- Superficie de Bosques afectados por sequía**

Los Bosques del área de estudio están -de manera global- fuertemente afectados por la sequía que esta zona del país ha venido experimentando desde hace ya 11 años a la fecha.

Los resultados de este trabajo permiten señalar que -sobre una base de 18.626,95 ha de bosque existentes al 18 de febrero de 2020 en el área de estudio- la condición actualizada respecto de la afectación por sequía es la siguiente:

**Bosques muy afectados por sequía:** 9.110,78 ha que representan el 48,9% de la superficie de bosques de la comuna de Nogales.

**Bosques con afectación media por sequía:** 8.469,94 ha que representan el 45,5% de la superficie de bosques de la comuna de nogales

**Bosques sin afectación aparente por sequía:** 900,32 ha que representan el 4,8% de la superficie de bosques existentes en la comuna de Nogales.

Se excluyeron del estudio un total de 145,91 ha de bosques que CONAF clasificó en área alto andinas en la cual la aplicación del NDVI resultó infructuosa por la cantidad de rocas, sombras y otros que afectaron la veracidad del valor del índice

#### **d).- Características de los bosques afectados por sequía**

**Bosques muy afectados por sequía:** De acuerdo con los antecedentes aportados por CONAF, los bosques muy afectados por sequía se caracterizan por tener una cobertura abierta y muy abierta condición que tendrían estos bosques en un total de 5.334,97 ha de las 9.110,78 ha existentes (58,6% del total). A la baja cobertura que tienen estos bosques se suma los intensos daños que han sufrido producto de los incendios forestales que han hecho variar tanto su estructura como la situación de cobertura evaluada por CONAF en el Catastro vegetacional al 30 de diciembre de 2013. De acuerdo con una revisión preliminar sobre este tema, algunas áreas han tenido ya sea de manera total o parcial varios incendios que las han afectado en el periodo 2000 – 2019 por lo tanto es evidente que el gran daño que han sufrido los bosques sumado al efecto de la sequía está acabando con los mismos y promoviendo un cambio del uso de estos terrenos.

El examen visual de imágenes satelitales de los terrenos que tienen la condición de estar muy afectados por sequía revela una estrecha asociación con incendios forestales antiguos y recientes y una baja densidad de especies arbóreas, de ahí el bajo valor de NDVI que presentan al 18 de febrero de 2020 revelando una muy baja actividad fotosintética.

El análisis histórico del NDVI deja de manifiesto que el NDVI tiene valores máximos que se presentan en época de primavera-verano y valores mínimos que se observan en los meses de otoño-invierno. Entre los años 2016 y 2017 los valores de NDVI correspondientes a la época de primavera-verano tuvieron un valor medio de NDVI 0,63 pero el año 2018 el NDVI máximo medio fue de 0,58 y el año 2019 disminuyó bruscamente a 0,29. Estos cambios a la baja del NDVI son coincidentes con la disminución de las precipitaciones registradas en el mismo periodo.

Al 18 de febrero de 2020 el NDVI promedio de estos bosques alcanza a 0,20.

Por otra parte, la distribución de frecuencias del NDVI histórico ha cambiado drásticamente en el periodo 2016 – 2020.



En efecto, entre los años 2016 y 2018 el NDVI tuvo una distribución más amplia cubriendo una mayor cantidad de clases con lo cual queda de manifiesto que estos bosques tuvieron en dicho periodo un vigor más alto. Entre el 1 de enero de 2019 y el 18 de febrero de 2020 la distribución de frecuencias del NDVI se desplazó hacia valores más bajos y se concentró en pocas clases lo que indica que el vigor disminuyó drásticamente al igual que su variabilidad, lo que indica que los bosques muy afectados por sequía tienen una gran homogeneidad en su condición de bajo vigor actual.

**Bosques con afectación media por sequía:** Los bosques con afectación media por sequía tienen presencia en toda la comuna de Nogales. De acuerdo con antecedentes generados por CONAF asociados al Catastro Vegetacional, la cobertura de estos bosques al 30 de diciembre de 2013 era predominantemente semidensa, condición que tendrían estos bosques en un total de 5.538,55 ha de las 8.469,94 existentes (65,4% del total).

Mediante análisis visual de imágenes satelitales actuales se pudo verificar que los bosques con afectación media por sequía se emplazan preferentemente en las exposiciones sur, sureste y suroeste; ocupando también fondos y costados de valles y quebradas que miran al norte.

Al revisar imágenes satelitales históricas (periodo 2010-2020) se pudo verificar que en varios casos estos bosques han sido afectados por el fuego en años anteriores. Lamentablemente la recuperación natural de los mismos está siendo muy afectada por la sequía que está haciendo estragos en la masa forestal existente. A contar del mes de febrero de 2020 los árboles adultos ubicados preferentemente en exposición sur comenzaron masivamente a cambiar el color de su follaje desde color verde a color ocre.

El comportamiento histórico del NDVI de estos bosques en el periodo agosto 2016 a febrero de 2020 revela que la tendencia media del NDVI tiene valores máximos que se presentan en época de primavera-verano y valores mínimos que se observan en los meses de otoño-invierno. Entre los años 2016 y 2018 se advierte que los valores de NDVI correspondientes a la época de primavera-verano tuvieron un valor comprendido en el intervalo 0,6 – 0,7. No obstante el año 2019 el NDVI promedio para el periodo primavera-verano disminuyó a un valor de NDVI 0,5. En el mismo periodo, se observa que las precipitaciones acumuladas registradas en los años 2016, 2017 y 2018 casi no tuvieron efecto en el NDVI promedio de los bosques con afectación media por sequía. No obstante, la fuerte baja de las precipitaciones registrada el año 2019 aunada a la disminución de estas el año 2018 fueron el detonante de la considerable disminución del valor medio del NDVI.

Al 18 de febrero de 2020 el NDVI promedio fue de 0,34.

La distribución de frecuencias del NDVI histórico ha cambiado drásticamente en el periodo 2016 – 2020.



En efecto, entre los años 2016 y 2018 el NDVI tuvo una distribución de frecuencias con una moda en 0,7 y valores en la clase NDVI 0,8; con lo cual queda de manifiesto que estos bosques tuvieron en dicho periodo un vigor más alto. Entre el 1 de enero de 2019 y el 18 de febrero de 2020 la



distribución de frecuencias del NDVI se desplazó hacia valores más bajos con una moda en la clase NDVI= 0,4; lo que indica que el vigor disminuyó drásticamente al igual que su variabilidad. Se desprende entonces que los bosques con afectación media por sequía están en un proceso de cambio acelerado y están perdiendo rápidamente su vigor.

**Bosques sin afectación aparente por sequía:** Los bosques sin afectación aparente por sequía tienen una presencia localizada en fondos de quebrada, riberas de río y sectores húmedos en toda la comuna de Nogales. De acuerdo con antecedentes generados por CONAF asociados al Catastro Vegetacional, la cobertura de estos bosques al 30 de diciembre de 2013 era predominantemente semidensa, condición que tendrían estos bosques en un total de 713,6 ha de las 900,32 ha existentes (79,3% del total).

Los bosques sin afectación aparente por sequía tienen una extraordinaria importancia desde el punto de vista de la biodiversidad, pues albergan una gran riqueza florística que lamentablemente está en vías de desaparecer si no se llevan a cabo acciones de protección y rescate.

El comportamiento histórico del NDVI de estos bosques en el periodo agosto 2016 a febrero de 2020 revela que el NDVI tiene valores máximos que se presentan en época de primavera-verano y valores mínimos que se observan en los meses de otoño-invierno. Entre los años 2016 y 2018 los valores de NDVI correspondientes a la época de primavera-verano tuvieron un leve aumento, desde NDVI 0,68 en 2016 a NDVI 0,73 en 2018. Luego en 2019 el valor máximo del NDVI para el periodo primavera-verano disminuye a 0,64. Al 18 de febrero de 2020 el NDVI promedio fue de 0,49

La distribución de frecuencias del NDVI histórico está cambiando en el periodo 2016 – 2020 aunque de un modo más paulatino que en las otras clases de bosques antes descritos.



En efecto, entre los años 2016 y 2018 el NDVI tuvo una distribución de frecuencias con una moda en 0,7 y valores en la clase NDVI 0,8; con lo cual queda de manifiesto que estos bosques tuvieron en dicho periodo un vigor más alto. Entre el 1 de enero de 2019 y el 18 de febrero de 2020 la

distribución de frecuencias del NDVI se desplazó hacia valores más bajos, manteniendo una moda en NDVI= 0,7 pero aumentando su frecuencia de participación en clases más bajas (entre 0,4 y 0,6). Este cambio estaría indicando que los bosques sin afectación aparente por sequía están efectivamente siendo afectados por sequía de manera paulatina y sostenida en el tiempo y están perdiendo su vigor.

Se prevé que de continuar la ausencia de precipitaciones es probable que en la primavera de 2020 estos bosques tengan un NDVI con una moda en NDVI= 0,6 y que algunos de sus componentes pasen a ser parte de los bosques con afectación media por sequía.

**d).- Comentarios finales:**

El análisis de la información que se dispuso para elaborar este documento revela que la sequía está afectando a todos los bosques del área de estudio y que la tendencia a la baja que se observa en el valor del NDVI es evidente en los tres tipos de bosque en que se diferenció la población. Llama la atención la velocidad con que están ocurriendo estos cambios y el impacto que está teniendo la sequía sobre los bosques.

Los bosques con afectación media por sequía tuvieron entre agosto de 2016 y agosto de 2018 un comportamiento similar al de los bosques sin afectación aparente por sequía, lo que significa que la disminución de precipitaciones del año 2018 y 2019 tuvo un gran efecto sobre los mismos y gatilló un proceso de profunda afectación, observándose a mediados de octubre de 2019 una clara diferenciación entre los mismos. Es relevante señalar que la diferenciación entre ambos tipos de bosque se logró en un plazo aproximado de 17 meses.

La evaluación de la condición de vigor de los bosques a través del NDVI es un proceso extraordinariamente dinámico que puede ser evaluada adecuadamente a través de la plataforma PLAS que administra y coordina el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA).

Los pronósticos climáticos respecto de la ocurrencia de precipitaciones normales para la zona central de Chile son pesimistas y es altamente probable que durante el invierno de 2020 se vuelva a tener un gran déficit de las mismas. De producirse esta situación una gran parte de la superficie de los bosques con afectación media por sequía mudará a la categoría de bosques muy afectados por sequía y una fracción desconocida de los bosques muy afectados por sequía terminará totalmente seco. Esta situación debe hacer meditar a las autoridades responsables de los bosques para promover acciones de mitigación.

## 7).- RECOMENDACIONES

La metodología expuesta permite calificar los grados de afectación de la sequía y su impacto sobre los Bosques del área de estudio; y por ende apoyar la toma de decisiones referente a la implementación de acciones de rescate de material genético de estos Bosques. El autor recomienda por tanto implementar las siguientes acciones inmediatas:

### I. ACCIONES DE MITIGACION

El propósito de la mitigación es la reducción de la vulnerabilidad.

Se estima que para atenuar los daños de la sequía sobre la vegetación que constituye bosque y que está afectada por sequía se debería a lo menos llevar a cabo las siguientes acciones de mitigación:

#### a).- Rescate de semillas y varetas

Se recomienda implementar la colecta de semillas y varetas que pudieran ser utilizadas para la reproducción vegetativa en los rodales que a la fecha tienen semillas y que tienen la condición de vigor para asegurar el éxito de esta medida.

Este material debería ser guardado y conservado en medio criogénico.

Esta técnica fue probada por el autor de este documento en una experiencia en el marco de un Convenio entre Codelco e INIA en el cual se rescató semillas desde un sector que fue afectado por inundación por relaves como parte del proyecto Peraltamiento Caren (RCA 880/2008). Se rescató semillas de las siguientes especies: Quillaia saponaria, Puya coerulea, Escallonia pulverulenta, Neopteris curvispina, Psoralea glandulosa, Lithraea caustica y Peumus boldus. Del material germoplasma obtenido en campo se obtuvo una muestra para realizar ensayos de germinación previos a someter el material a crioconservación. Cinco años después, se volvió a repetir el mismo ensayo encontrándose que la calidad de las semillas fue mantenida en el tiempo, mostrando resultados similares a los obtenidos en los ensayos iniciales.

También, este rescate se puede hacer extensivo a la colecta de varetas para reproducir vegetativamente las especies que permitan esta técnica de reproducción.

Se podría pensar también en la posibilidad de instalar dentro del área comprendida entre el norte de la V Región y Talca, áreas específicas para la conservación de las especies afectadas por la sequía (como por ejemplo arboretums o jardines botánicos); sin embargo la opinión del autor es que estos lugares van a ser muy sensibles a la misma sequía, incendios forestales y vandalismo, por lo cual la posibilidad de mantener estas áreas será muy difícil; en cuyo caso es mejor que estas acciones se lleven a cabo considerando lo señalado en el punto II sobre Acciones de Adaptación.

#### b).- Definir rodales semilleros que se puedan conservar mediante riego manual

Es altamente necesario definir en el área rodales semilleros que puedan conservarse mediante técnicas de riego manual o semi tecnificado. Esta medida podría permitir el salvataje de rodales específicos que sustenten especies que en la actualidad se encuentran en estado de vulnerabilidad.

Esta acción se prevé podría ser de corto plazo (5 a 10 años) pues la fuerza del cambio climático que afecta a Chile Central manifestado a través del aumento de la temperatura y disminución de las precipitaciones hará insostenible la permanencia de estos rodales, más allá de dicho plazo.

A juicio del autor la idea es ganar tiempo con esta medida para producir semillas y varetas a partir de estos rodales para cosechar mientras se pueda germoplasma que pueda ser usado en programas de conservación de estas especies en otros lugares del país.

#### **c).- Congelar los permisos para cambios de uso del suelo**

Se recomienda que CONAF congele los permisos de cambios de uso del suelo de aquellos terrenos que han sufrido incendios en el área estudiada. Se debe analizar con detalle la evolución que ha tenido la recuperación natural de cada área quemada y promover su recuperación por las vías de ayuda existentes o bien de otras líneas de apoyo que se requiera crear para el efecto.

## **II. ACCIONES DE ADAPTACION**

Con respecto a las acciones de adaptación en el marco del cambio climático que afecta al país, cabe señalar las siguientes recomendaciones:

#### **d)- Generar un mapa de territorios de acogida para las especies afectadas**

Se trata de llevar a cabo para las especies pertenecientes al Bosque Esclerófilo un trabajo de investigación que permita definir los territorios de acogida que estas especies podrían tener en otros lugares del país, para permitir su traslado y plantación.

#### **e).- Migración asistida**

El concepto de migración asistida consiste en trasladar de semillas, propágulos, individuos juveniles o adultos, tanto dentro de la distribución geográfica de la especie, como en el margen de esta distribución e incluso fuera de su distribución histórica, con el fin de salvaguardar el potencial evolutivo de la especie, mediante el establecimiento de ensayos de progenie y procedencia.

Se busca con esta iniciativa un doble objetivo, por una parte, realizar un rescate de material genético que pudiera perderse debido a la sequía en la distribución natural de la especie, y por otra parte establecer las bases de una población que permita efectuar en el futuro iniciativas de restauración con el material genético rescatado

#### **f).- Establecer viveros para salvar procedencias**

Esta recomendación apunta a la posibilidad de lograr mediante convenio con grandes empresas o particulares la implementación de viveros para salvar procedencias, ya que una vez que los bosques del área se sequen se habrá perdido en forma irremediable un material genético muy valioso. Estas plantas podrían plantarse en lugares más favorables en unos 2 – 3 años más cuando ya se tenga más clara la distribución geográfica de la sequía en Chile Central. No hay que perder el material genético de esta zona.

#### **g).- Medidas de carácter legal**

Respecto de las plantaciones forestales compensatorias establecidas en el marco de planes de manejo forestal aprobados por CONAF o bien aprobados en el marco de una RCA, se recomienda

estudiar una medida de tipo legal que complemente y flexibilice lo establecido en el Artículo N° 33 del DS 193 del 12 de junio de 1998; por cuanto dicho artículo establece que los terrenos en que se efectúe la reforestación deberán estar ubicados preferentemente dentro de la provincia donde se efectúe la corta.

A juicio del suscrito, las cortas de Bosque Nativo que se efectúen a partir del 2020 en las Regiones V, RM, VI y VII y que comprometan reforestaciones compensatorias en las mismas regiones, deberían tener la posibilidad de efectuarse en otras zonas del país menos afectadas por la sequía - probablemente de la Región de Ñuble al sur- en que la condición hídrica de los terrenos es más favorable.

Con respecto a las especies a plantar también es necesario dictaminar una norma que establezca si dada la emergencia climática estas pueden ser cambiadas por otras más rústicas de tipo Xerofítico en caso de que se mantenga la obligación de la autoridad de plantar en la misma provincia en que se originó la corta y que esta provincia se encuentre ubicada en la V, RM, VI y VII Regiones.

#### **h).- Otras medidas**

También se recomienda complementar la metodología expuesta y aplicarla en otras áreas, preferentemente de la V, RM y VI Regiones de Chile, para evaluar la superficie de Bosques afectada por sequía y sus grados de afectación.

### **III. FINANCIAMIENTO**

Para financiar las acciones de Mitigación y de Adaptación, se recomienda que en lo inmediato estas sean financiados por el Estado a través de la creación de una línea especial del Fondo de Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo asociado a la Ley N° 20.283

## 8).- BIBLIOGRAFÍA

(1): La sequía y su impacto en los bosques, Diario La Tercera, Sección Opinión, Carta del presidente del Colegio de Ingenieros Forestales de Chile AG, 7 de febrero de 2020. En: <https://www.latercera.com/opinion/noticia/la-sequia-impacto-los-bosques/1003350/>

(2): Los Bosques se secan: 70% del Bosque Esclerófilo de Santiago estaría afectado. 27 de mayo de 2019, en: <https://laderasur.com/articulo/los-bosques-se-secan-70-del-bosque-esclerofilo-de-santiago-estaria-afectado/>

(3) Registrando la sequía casi en tiempo real, Jorge Ricci, 26 septiembre de 2019. En: <https://turismoysabores.cl/registrando-sequia-en-tiempo-casi-real/>

(4): Conaf advierte del riesgo que corre el bosque esclerófilo: "Estamos siendo protagonistas de la extinción de especies".

En: Fuente: Emol.com - <https://www.emol.com/noticias/Nacional/2020/01/22/974310/Conaf-bosque-esclerofilo-podria-terminarse.html>

(5): Impactantes imágenes satelitales revelan la rapidez con que se está secando el bosque nativo en la RM. 6 febrero de 2020, en: <https://heradio.cl/portal/2020/02/06/impactantes-imagenes-satelitales-revelan-la-rapidez-con-que-se-esta-secando-el-bosque-nativo-en-la-rm/>

(6): Aplicación de Índices de Vegetación Derivados de Imágenes Satelitales Landsat 7 ETM+ y ASTER para la Caracterización de la Cobertura Vegetal en la Zona Centro de la Provincia De Loja, Ecuador. Gonzaga, A.C. 2014. En: [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/34487/Documento\\_completo.pdf?sequence=1](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/34487/Documento_completo.pdf?sequence=1)

(7): Elaboración de una base digital del clima comunal de Chile: línea base (1980-2010) y proyección al año 2050. INFORME FINAL, Julio 2016. Elaborado por: Información para el Desarrollo Productivo Ltda. (INFODEP), Estudio encargado por el Ministerio del Medio Ambiente Departamento de Cambio Climático. En: [https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/Clima-Comunal\\_Informe\\_Final\\_29\\_08\\_2016-web.pdf](https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/Clima-Comunal_Informe_Final_29_08_2016-web.pdf)

(8): Long-Term Drought Parches Chile, NASA Earth Observatory, 18 November de 2019. En: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/145874/long-term-drought-parches-chile>

(9): Report to the Nation. The 2010-2015 mega-drought: A lesson for the future. November 2015 Center for Climate and Resilience Research (CR)2. En: [http://www.cr2.cl/wp-content/uploads/2015/11/InformeMegasequia\\_ingles\\_2016.pdf](http://www.cr2.cl/wp-content/uploads/2015/11/InformeMegasequia_ingles_2016.pdf)

(10) NASA Earth Observatory , Measuring vegetation (NDVI&EVI). NDVI as an Indicator of Drought. Agosto 30, 2000. En: [https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation/measuring\\_vegetation\\_3.php](https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_3.php)

(11) Flores, L (2008): Aspectos florísticos y dinámica de regeneración de los bosques de Belloto del norte, presentes en el Sitio Prioritario, Cordillera El Melón, Comuna de Nogales, Provincia de Quillota. XI CONCURSO NACIONAL DEL FONDO DE PROTECCIÓN AMBIENTAL 2008 (CONAMA), proyecto: Estudio fitogeográfico para un plan de conservación del bosque relicto, del Sitio Prioritario, Cordillera El Melón, Comuna de Nogales, Provincia de Quillota.