
De: Maria Alexandra Caroca Herrera < >
Enviado el: lunes, 17 de junio de 2024 19:27
Para: DS Lista Sitios
Asunto: SITIOS PRIORITARIOS REGION DE OHIGGINS
Datos adjuntos: PROYECTO DE GRADUACION_MACH.pdf

Buen día, mi Nombre es Maria Alexandra Caroca Herrera, Ingeniera Agrónoma y Magister en Gestión Ambiental de la Universidad de Talca.

En las Redes sociales de la Seremi de Medio Ambiente O´Higgins vi que están recepcionando información referente a sitios prioritarios, por lo que me gustaría compartir con uds mi proyecto de graduación referente a los sitios prioritarios de la Región de O'Higgins.

Mi proyecto se denomina "Cambios en la Vegetación de sitios prioritarios de la región de O'Higgins", en este estudio se analizó las transformaciones y cambios en la vegetación de los sitios prioritarios de la región del Libertador Bernardo O'Higgins en los últimos 40 años.

Adjunto envío pdf del proyecto.

Saludos cordiales.

--

María Alexandra Caroca Herrera.
Ingeniero Agrónomo.



Universidad de Talca
Vicerrectoría de Innovación
Magíster en Gestión Ambiental Territorial

**CAMBIOS EN LA VEGETACION DE SITIOS PRIORITARIOS DE LA REGIÓN DEL
LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS**

MARÍA ALEXANDRA CAROCA HERRERA

PROYECTO DE GRADUACIÓN PARA
OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE
MAGÍSTER EN GESTIÓN AMBIENTAL
TERRITORIAL

PROFESOR GUÍA: Dr. Carlos Mena Frau

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo General	3
2.2. Objetivos Específicos	3
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. Protección de la Biodiversidad en Chile	4
3.2. Estrategia Nacional de Biodiversidad	4
3.3. Sitios Prioritarios Para la Conservación	5
3.4. Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas (SBAP)	6
3.5. Biodiversidad en Chile Central	8
3.6. Degradación de la Biodiversidad	9
3.7. El Bosque Esclerófilo	10
3.8. Deforestación y metodologías de análisis	13
4. MATERIALES Y MÉTODOS	14
4.1. Descripción de la Zona de Estudio	14
4.2. Sitios Prioritarios Ley 19.300	15
4.3. Clima de la Región	16
4.4. Agua e Hidrografía	16
4.5. Características y usos del Suelo	17
4.6. Vegetación	18
4.7. Información y procesamiento de imágenes satelitales	18
4.8. Índices de vegetación	19
4.8.1. Índice Normalizado Diferencial de Vegetación (NDVI)	20
4.8.2. Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI)	22
4.8.3. Índice de Vegetación mejorado (EVI)	24
4.8.4. Índice de Clorofila Verde (GCI)	25
4.8.5. Índice de pigmentación insensible a la estructura (SIPI)	25
4.9. Análisis Multitemporal	26

4.9.1. Cálculo promedio de índices:	27
4.9.2. Diferencia entre temporadas	27
4.9.3. Promedio de diferencias entre años	27
5. PRESENTACION Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	29
5.1. Índices de vegetación	29
5.1.1. Índice normalizado diferencial de vegetación (NDVI)	29
5.1.2. Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI)	31
5.1.3. Índice de Vegetación mejorado (EVI)	33
5.1.4. Índice de Clorofila Verde (GCI)	35
5.1.5. Índice de pigmentación insensible a la estructura (SIPI)	37
5.2. Análisis Multitemporal	39
5.2.1. Cálculo promedio de Índices	39
5.2.1.1 NDVI, SAVI y EVI	39
5.2.1.2. GCI	41
5.2.1.3. SIPI	43
5.2.2. Diferencia entre temporadas	44
5.2.2.1. NDVI, SAVI y EVI	44
5.2.2.2. GCI	48
5.2.2.3. SIPI	49
5.2.3. Promedio de diferencias entre años	51
5.2.3.1. NDVI, SAVI Y EVI	51
5.2.3.2. GCI	55
5.2.3.3. SIPI	56
6. CONCLUSIONES	57
7. BIBLIOGRAFÍA	58

ÍNDICE DE CUADROS

Tabla 1. Superficie de sitios prioritarios de primera y segunda prioridad.	6
Tabla 2. Clasificación y superficie de sitios prioritarios de la región de O'Higgins. ...	11
Tabla 3. Clasificación de usos de suelo de la región de O'Higgins.	17
Tabla 4. Superficie de Bosque nativo de acuerdo al Catastro Vegetacional CONAF 2021.	18
Tabla 5. Detalle de imágenes satelitales.	19
Tabla 6. Cálculo de NDVI de acuerdo a Satélite.	20
Tabla 7. Rangos para el análisis de NDVI.	22
Tabla 8. Cálculo de SAVI de acuerdo a Satélite.	23
Tabla 9. Rangos para el análisis de SAVI.	23
Tabla 10. Cálculo de EVI de acuerdo a Satélite.	24
Tabla 11. Cálculo de GCI de acuerdo a Satélite.	25
Tabla 12. Cálculo de SIPI de acuerdo a Satélite.	26

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación del NDVI (Merg et al. 2011).....	21
Figura 2. NDVI 1990, 2000, 2010, 2020.....	29
Figura 3. Cálculo NDVI sitios prioritarios Región de O'Higgins.	31
<i>Figura 4. SAVI 1990, 2000, 2010, 2020.</i>	<i>31</i>
Figura 5. Cálculo SAVI sitios prioritarios Región de O'Higgins.....	33
Figura 6. EVI 1990, 2000, 2010, 2020.....	34
Figura 7. Cálculo EVI sitios prioritarios Región de O'Higgins.	35
Figura 8. GCI 1990, 2000, 2010, 2020.	35
Figura 9. Cálculo GCI sitios prioritarios Región de O'Higgins.	36
Figura 10. Cálculo GCI años 1990, 2000 y 2010 sitios prioritarios Región de O'Higgins.	37
<i>Figura 11. SIPI 1990, 2000, 2010, 2020.....</i>	<i>38</i>
Figura 12. Cálculo SIPI sitios prioritarios Región de O'Higgins.	39
<i>Figura 13. Promedios NDVI, SAVI y EVI para los años 1990, 2000, 2010 y 2020.</i>	<i>40</i>
Figura 14. Gráfico promedios NDVI, SAVI y EVI años 1990, 2000, 2010 y 2020.....	41
Figura 15. Promedios GCI para los años 1990, 2000, 2010 y 2020.....	42
Figura 16. Gráfico promedios GCI para los años 1990, 2000, 2010 y 2020.....	42
Figura 17. Promedios SIPI para los años 1990, 2000, 2010 y 2020.	43
<i>Figura 18. Gráfico promedios SIPI para los años 1990, 2000, 2010 y 2020.</i>	<i>43</i>
Figura 19. Diferencias entre temporadas (T1-T2) de NDVI, SAVI y EVI.	44
Figura 20. Comparación EVI con imagen de sitio Corredor Angostura de Paine.	47
Figura 21. Comparación EVI con imagen de sitio Cáhuil.	47

Figura 22. Grafico Diferencias entre temporada 1 y 2 de NDVI, SAVI y EVI.....	48
Figura 23. Diferencia entre temporada (T1-T2) de GCI.....	48
Figura 24. Gráfico de diferencia entre temporada (T1-T2) de GCI.....	49
Figura 25. Diferencia entre temporada (T1-T2) de SIPI.	49
<i>Figura 26. Gráfico diferencia entre temporada (T1-T2) de SIPI.</i>	<i>50</i>
Figura 27. Promedio de diferencias entre años para NDVI, SAVI y EVI.	51
Figura 29. Gráfico promedio de diferencias entre años para NDVI, SAVI y EVI.	52
Figura 28. Análisis temporal de Cordillera de la Costa del Valle Central.	53
Figura 30. Análisis temporal de sitio Corredor Los Lingues.	55
Figura 31. Promedio de diferencias entre años para GCI.	55
Figura 32. Grafico promedio de diferencias entre años para GCI.	55
Figura 33. Promedio de diferencias entre años para SIPI.....	56
Figura 34. Grafico promedio de diferencias entre años para SIPI.....	56

1. INTRODUCCIÓN

La cobertura y el uso del suelo, son dos elementos que a través del tiempo evidencian la transformación de la superficie terrestre realizada por la acción humana con la finalidad de cubrir sus necesidades de agricultura, expansión de infraestructura, asentamientos humanos, producción, extracción de madera, entre otras. No obstante, la intensidad o el alcance de estas transformaciones se encuentra determinada por factores biofísicos del territorio tales como, la calidad del suelo, la topografía, las características del paisaje, la aptitud para actividades productivas, los incendios, las sequías, entre otros (Miranda et al., 2016).

La zona centro y sur de nuestro país originalmente se encontraba cubierta casi completamente por extensos bosques. A partir de la segunda mitad del siglo pasado, estos bosques comenzaron a presentar alteraciones en su composición a gran escala, relacionadas con los cambios en el uso del suelo (Fran y Finckh, 1997). Específicamente, estas transformaciones se asocian a la expansión de las fronteras agropecuarias para satisfacer las necesidades internas como también, la creciente demanda externa de productos agrícolas, a la ganadería, la actividad forestal, y al desarrollo urbano e industrial (Aguayo et al., 2009). Es así como, a pesar de que Chile adoptó acuerdos internacionales de derecho ambiental y de su participación en foros de biodiversidad, la pérdida histórica de biodiversidad persiste, y los alcances de esta pérdida continúan siendo desconocidos para los ciudadanos comunes (Jorquera et al., 2012).

En la actualidad, el bosque esclerófilo mediterráneo de Chile Continental se encuentra compuesto principalmente por fragmentos de vegetación, pero que albergan una gran riqueza de especies con un alto grado de endemismo (Moreno-Chacón et al., 2018). A pesar del alto valor para la conservación de la biodiversidad, los procesos antrópicos como la tala de bosques, la agricultura de subsistencia, los incendios forestales, la intensificación de la producción agrícola, la expansión de los centros urbanos y la

sobreexplotación de especies nativas, han cambiado drásticamente el paisaje, evidenciando un alto nivel de degradación y pérdida de los bosques nativos (Otavo y Echeverría, 2017). Estudios realizados por Miranda et al. (2016) determinaron que entre los años 1973 y 2011 se reportó una pérdida de 782.120 ha de bosque nativo, donde la mayor pérdida se observa entre 1970-1990, disminuye entre 1990-2000, y vuelve a aumentar entre 2000-2011 (Aguayo et al., 2009).

Nuestro país posee variados hábitats y formaciones vegetales, y a escala global tenemos 2 ecorregiones relevantes por su importancia biológica, la primera es la Ecorregión del Bosque Templado lluvioso Valdiviano y la segunda es la Ecorregión del Matorral de Chile Central (Lizana y González, 2019), en esta última se encuentra la región de O'Higgins y en ella los 28 sitios prioritarios para la conservación de Biodiversidad, de los cuales sólo 4 se encuentran bajo protección oficial por la Ley 20.417 y los otros 24 restantes solo se encuentran descritos sin ningún tipo de protección oficial, lo que genera una pérdida de hábitats y biodiversidad.

Por lo anterior es que, el presente trabajo apunta a evaluar, a escala espacial y temporal, la dinámica del cambio del uso del suelo en los sitios prioritarios de la región de O'Higgins, analizando la transformación del paisaje y cuantificando los cambios de la cobertura vegetal en una zona con alto valor para la biodiversidad a nivel mundial.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

- Analizar las transformaciones y cambios en la vegetación de los sitios prioritarios de la región del Libertador Bernardo O'Higgins en los últimos 40 años.

2.2. Objetivos Específicos

- Generar coberturas de índices de vegetación de los sitios prioritarios de la región del Libertador Bernardo O'Higgins, para los años 1990, 2000, 2010 y 2020.
- Cuantificar y analizar la dinámica del cambio de la cubierta vegetal en los sitios prioritarios de la región del Libertador Bernardo O'Higgins.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. Protección de la Biodiversidad en Chile

A nivel global, la pérdida de biodiversidad es uno de los problemas ambientales más importantes que debe ser considerado en la gestión y administración de cada país. En Chile la protección oficial de la biodiversidad comenzó con la protección de los ecosistemas terrestres al crear la Reserva Nacional Malleco en el año 1907 (Jorquera et al., 2012). Más recientemente, en 1992 Chile suscribió el Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB), que fue ratificado como Ley de la República en el año 1994. Con esto, el país se comprometió a elaborar e implementar una Estrategia y Plan de Acción para la Biodiversidad (EPAB), para así cumplir con los objetivos del CDB respecto de equilibrar el uso actual de los recursos biológicos y las metas de desarrollo social y económico del país (Squeo et al., 2008). Desde esa fecha se han establecido una serie de iniciativas, que incluyen la promulgación de la Ley de Bases del Medio Ambiente en 1994 (Jorquera et al., 2012), y la modificación de la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente (Ley 20.417) en el año 2010. Con esta última, se creó el Ministerio del Medio ambiente, la Superintendencia del Medio Ambiente, el Servicio de Evaluación Ambiental, y además se mandató la creación del Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas y el Sistema Nacional de Áreas protegidas, que está a cargo de la conservación de la biodiversidad y de la administración de la gestión integral de las áreas protegidas del país (MMA, 2017).

3.2. Estrategia Nacional de Biodiversidad

En el año 2003, el Consejo Directivo de la Corporación Nacional de Medio Ambiente (CONAMA) aprobó la Estrategia Nacional de Biodiversidad, instrumento que pretende suplir los vacíos existentes en temas ambientales y también crear el marco orientador con acciones específicas que actúen sobre el patrimonio natural del país. Esta estrategia toma como base el Convenio Internacional de Diversidad Biológica, que plantea objetivos como la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de sus componentes, y la participación justa y equitativa de los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos (CONAMA, 2003).

Esta estrategia también puso énfasis en implementar medidas para la conservación de la biodiversidad en los ambientes terrestres, entre las cuales, el establecimiento de sitios prioritarios se pensó como una herramienta muy importante para la conservación in situ (MMA, 2022), con la finalidad de concentrar los esfuerzos en la protección oficial de estos lugares.

3.3. Sitios Prioritarios Para la Conservación

El Proyecto de Servicio Nacional de Biodiversidad y Áreas Protegidas define a los sitios prioritarios como “áreas de valor ecológico, terrestre o acuáticas, marinas o continentales, identificados por su aporte a la representatividad ecosistémica, su singularidad ecológica o por constituir hábitat de especies amenazadas, priorizada para la conservación de su biodiversidad por el servicio” (Manzur, 2020).

Los sitios prioritarios para la conservación fueron identificados gracias al trabajo realizado por los Comités Regionales de Biodiversidad, coordinados por la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), entre los años 2001 y 2002 (Manzur, 2020).

En Chile existen 330 sitios prioritarios, de los cuales 64 sitios se encuentran clasificados como sitios de primera prioridad y se encuentran bajo protección oficial y

son reconocidos por la Ley 19.300 Art. 11 letra d (SEA, 2010). Los otros 266 sitios prioritarios se categorizaron como de segunda prioridad, por lo que no cuentan con protección oficial de parte del Estado de Chile, y solo se encuentran reconocidos por la Estrategia Nacional de Biodiversidad (ERB) (Tabla 1).

Tabla 1. Superficie de sitios prioritarios de primera y segunda prioridad.

Sitios prioritarios	Cantidad	Superficie (ha)
Primera Prioridad o / Ley 19.300	64	4.606.973,53
Segunda Prioridad / ERB	266	9.575.762,68
Total	330	14.182.736,21

Fuente: Manzur (2020).

El 28 de septiembre del año 2010, mediante el Oficio N°103008, la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) imparte instrucciones sobre los sitios prioritarios, indicando a los Directores Regionales de la CONAMA que, para la aplicación de la letra d) del artículo 11 de la Ley 19.300, que refiere a la localización en o próximo a un sitio prioritario para la conservación, se utilicen los 64 sitios prioritarios que fueron definidos en la Estrategia Nacional de Biodiversidad (2003). Este oficio genera un hito en la protección de estos sitios, ya que a la fecha solo se encontraban reconocidos en la Estrategia Nacional de Biodiversidad, pero no habían sido puestos bajo protección oficial (CONAMA, 2010).

3.4. Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas (SBAP)

Este proyecto de ley Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas (SBAP, 2019) fue aprobado por el Senado en el año 2019 y tiene como objetivo la conservación de la

biodiversidad biológica y la protección del patrimonio natural del país, mediante la preservación, restauración y uso sustentable de genes, especies y ecosistemas. El proyecto entrega funciones y atribuciones al SBAP respecto a los sitios prioritarios en (PL N° 175/SEC/2019):

- Fiscalización (Art. 5) de la aplicación de la Ley General de Pesca y Acuicultura, Ley sobre Pesca recreativa, Ley de Caza, Ley de Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal en sitios prioritarios.
- Planificación ecológica (Art. 28), que incluye la identificación de los sitios prioritarios en nuestro país, sobre la base de los inventarios de ecosistemas terrestres y acuáticos, marinos y continentales existentes, la clasificación de los ecosistemas y las cuencas hidrográficas del país.
- Sitios Prioritarios (Art. 29), los sitios prioritarios identificados por el Servicio en el marco de planificación ecológica serán categorizados como tales bajo criterios técnico-científicos. Además, el Servicio mantendrá un registro espacial actualizado de los sitios prioritarios del país, y deben ser objeto de uno o más instrumentos para la conservación de la biodiversidad establecidos en la Ley. El ministerio del Medio Ambiente determinará mediante decreto supremo aquellos sitios prioritarios de primera prioridad, de acuerdo a criterios que establezca un reglamento dictado por dicho ministerio. Además, los sitios prioritarios de primera prioridad deberán ser reconocidos en los instrumentos de ordenamiento territorial tales como los Planes regionales de ordenamiento territorial, planes reguladores intercomunales, planes reguladores comunales y planes seccionales, planes regionales de desarrollo urbano y zonificaciones del borde costero, del territorio marítimo y el manejo integrado de cuencas.
- Permiso para la alteración física de humedales (Art. 40), se prohíbe la alteración física de los humedales que constituyan sitios prioritarios de primera prioridad.
- Prácticas sustentables (Art. 49), tales como certificación y etiquetado, promoción de contratos de retribución por servicios ecosistémicos, proposición de criterios

ambientales para ser incorporados en subsidios y subvenciones sectoriales, y la promoción de acuerdos de producción limpia, son las prácticas sustentables que serán promovidas en sitios prioritarios con el objeto de conservar la biodiversidad.

- Infracciones fuera de las áreas protegidas (Art. 118), considerar acciones ejercidas en sitios prioritarios tales como: extracción de tierra de hoja o turba; capturar, herir o dar muerte a ejemplares de fauna nativa; destrucción de nidos, lugares de asentamiento, reproducción o crianza o ejecución de acciones que interfieran o impidan el ciclo de reproducción de especies nativas; corte y extracción de especies nativas plantas, algas, hongos, líquenes; bloqueo, alteración o drenaje de cuerpos de agua, incluyendo humedales, así como la extracción de arena o ripio de su cauce.
- Reclamación (Art. 136), el Decreto supremo que determine aquellos sitios prioritarios de primera prioridad, podrán ser reclamados ante los Tribunales Ambientales de acuerdo a lo dispuesto en el número 9) del Artículo 17 de la Ley N° 20.600.

3.5. Biodiversidad en Chile Central

Existen sitios prioritarios descritos a lo largo de todo el país, pero la mayor riqueza de especies se encuentra ubicada en el área Mediterránea, que comprende la zona central de Chile, entre la región de Valparaíso y la Araucanía (entre 32° y 40° Latitud Sur). En esta zona es posible encontrar la mayor diversidad de especies de plantas y animales y el mayor número de especies endémicas (Manzur, 2005).

El Bosque esclerófilo de Chile Central se caracteriza por presentar un clima Mediterráneo. A nivel global los ecosistemas con clima Mediterráneo presentan severos problemas de degradación y fragmentación, y a pesar de que son menos del 5% de la superficie terrestre, son conocidos como hotspots de la biodiversidad, ya que

albergan aproximadamente el 20% de todas las plantas existentes en el planeta y además presentan altos índices de endemismo (Garfias et al., 2018).

La vegetación más común en Chile central son matorrales y bosques esclerófilos (Garfias et al., 2018). El bosque esclerófilo se distribuye aproximadamente desde los 31° a los 37° de Latitud Sur, en una zona donde predomina el clima Mediterráneo, y donde las especies presentes son arbustos altos de hojas esclerófilas, arbustos espinosos, arbustos bajos xerófitos, suculentas y espinosas y laurifolios con gran desarrollo en altura (CONAF, 2018).

3.6. Degradación de la Biodiversidad

Uno de los factores que producen mayor degradación de la biodiversidad es la deforestación, ya que causa la pérdida directa de la superficie de bosque. La deforestación se genera tanto a escala local como regional, y afecta negativamente el funcionamiento global del medio ambiente, generando una serie de cambios que interfieren en el clima y en el ciclo del carbono, que derivan en una pérdida de biodiversidad, problemas en la sostenibilidad de la agricultura y en el sumidero de agua potable (Pacheco et al., 2011). La principal causa de la deforestación en Sudamérica es la conversión de bosques a terrenos de uso para la agricultura y urbanización (FAO, 2011) (Bergh y Promis, 2011). Este proceso ocasiona una modificación de la estructura natural del paisaje, también conocida como fragmentación, generando una discontinuidad espacial de los bosques (Montenegro et al., 2005).

Autores como Vitousek et al. (1997), y Sala et al. (2000), señalan que en las últimas décadas el cambio de uso de suelo es el proceso responsable de la pérdida de integridad funcional de los ecosistemas, y el factor clave de la pérdida de biodiversidad (Velásquez et al., 2014). Además, el cambio de uso del suelo en los últimos 50 años, y la actividad creciente de la agricultura, ganadería y forestería, han contribuido a

profundos cambios en el paisaje vegetal, donde es posible encontrar mayor conservación en zonas con menos accesibilidad para las actividades humanas (Garfias et al., 2018).

3.7. El Bosque Esclerófilo

En Chile, si bien existen varios ecosistemas degradados, el bosque esclerófilo de la zona central presenta una condición particular de riesgo debido a la alta presión y amenazas antrópicas que ha sufrido en los últimos años. Esta situación y considerando que son bajas las alternativas de sumar este tipo de ecosistemas al Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) (Parra, 2016), hacen urgente la necesidad de implementar acciones de protección, recuperación y restauración de este tipo de bosque nativo (CONAF, 2018).

En la región de O'Higgins el bosque esclerófilo está compuesto por especies xeromórficas, que se caracterizan por tener hojas perennes, coriáceas con entrenudos cortos. Este tipo de vegetación puede enfrentar inviernos lluviosos y una estación seca estival como la que se produce en la zona central (Skewes et al., 2018). Este bosque es muy heterogéneo en cuanto a su composición florística y también en su ubicación latitudinal y altitudinal. De acuerdo a la Reseña de la Vegetación de Chile del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), en las zonas de quebradas con cursos de agua es posible encontrar especies como Lingue, Peumo, Chequen, Arrayán, Canelo, Belloto, Temu y Patagua. En la zona de laderas sombrías habitan Quillayes, Litre, Peumo, Corontillo, Molle, Mayú, Boldo, Maquicillo, entre otras. En laderas de solana, zonas con afloramientos rocosos y que reciben gran insolación encontramos Chagual, Quiscos, Colliguay, entre otras. En las zonas planas y faldeos de cerros, es común la presencia de Espino, Guayacán, Algarrobo, Maiten, Huañil, Romerillo, y también especies de las laderas sombrías. Otra especie nativa que está presente en este bosque y que no ha sido mencionada es la Palma Chilena, presentando bosques característicos con esta

especie reconocida a nivel nacional, como por ej. Las Palmas de Cocalán, las Palmas de Ocoa, Palmares en torno a Valparaíso entre otros. Y en la zona cordillerana presenta un tipo de bosque de coníferas, que se encuentra representado por el Ciprés de la Cordillera, especie que puede crecer, con Litre, Peumo, Quillay, Roble, Hualo y otras especies (SAG, 2014).

En nuestro país el bosque forestal esclerófilo representa el 2% de la superficie, y ha sido talado intensamente debido a que gran parte de las especies que lo componen presentan algún grado de interés comercial, ya sea por la extracción de productos tanto maderables como no maderables (Durán, 2005).

Estos bosques han presentado perturbaciones en los últimos años debido a los incendios forestales del año 2017, donde se afectaron 335.000 ha considerado el área de distribución de tipo forestal esclerófilo (Garfias et al.,2018).

En la región de O'Higgins existen 4 sitios prioritarios de primera prioridad que están bajo protección oficial y reconocidos por la Ley 19.300 Art.11 letra d (SEA, 2010). Por otra parte, la Estrategia Nacional de Biodiversidad (ENB) también reconoce sitios prioritarios de segunda prioridad (28 sitios), pero el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas (SBAP) en la actualidad no mantiene una protección oficial para estos sitios (Manzur, 2020), los que pueden estar siendo amenazados en disminución de superficie debido a la presión antrópica y al cambio de uso del suelo (Tabla 2).

Tabla 2. Clasificación y superficie de sitios prioritarios de la región de O'Higgins.

	Nombre	Tipo	Superficie (ha)
1	Estuario Río Rapel	Sitios ERB	975,84
2	Corredor Limítrofe Sur (Angostura)	Sitios ERB	8387,48
3	Rinconada de Yáquil	Sitios ERB	22831,22
4	Río Claro de Rengo	Sitios ERB	2497,08
5	Cerros Islas Coinco	Sitios ERB	7678,29
6	Merquehue Peñablanca	Sitios ERB	1918,25

Continuación Tabla..

7	Navidad Tanumé	Sitios ERB	20170,82
8	San Miguel de las Palmas	Sitios ERB	8886,41
9	Altos de Lolol y Chépica	Sitios ERB	63383,40
10	Cordillera de la Costa Valle Central	Sitios ERB	34365,01
11	Sierra de Bellavista	Sitios ERB	4098,78
12	Precordillera Andina Sur	Sitios ERB	58749,03
13	Precordillera Andina Norte	Sitios ERB	86799,62
14	La Rufina - Las Damas	Sitios ERB	17521,94
15	Río Cipreses	Sitios ERB	10656,96
16	Corredor de Angostura de Paine	Sitios ERB	4062,08
17	Río Cortaderal	Sitios ERB	6740,63
18	Corredor Los Lingues	Sitios ERB	1365,17
19	Cáhuil	Sitios ERB	877,11
20	La Boca de Navidad	Sitios ERB	447,45
21	Boyeruca	Sitios ERB	16,21
22	Las Brisas Topocalma	Sitios ERB	5660,16
23	Cajón del Río Teno	Sitios ERB	22618,51
24	Río Rapel	Sitios ERB	940,12
25	Topocalma	Sitios Ley 19.300	95,77
26	Las Cardillas	Sitios Ley 19.300	1567,16
27	Laguna de Bucalemu	Sitios Ley 19.300	285,78
28	La Roblería/Cordillera de la Costa Norte y Cocalán	Sitios Ley 19.300	102113,66
Superficie Total			495709,92

Fuente: GORE O'Higgins

3.8. Deforestación y metodologías de análisis

Para analizar y comprender los factores causales de los procesos de deforestación, existen metodologías basadas en el estudio de casos a nivel local, donde se identifican las causas de las pérdidas de cobertura vegetal mediante análisis estadísticos y también con procesamiento de imágenes satelitales (Pacheco et al., 2011).

Las imágenes satelitales tienen la ventaja de que la información que entregan es multiespectral, de alta resolución espacial y de resolución temporal. Y por su parte los Sistemas de Información Geográficas (SIG) facilitan el análisis de los territorios considerando atributos espaciales específicos y su relación con procesos ecológicos y sociales, lo que permite diseñar e implementar modelos de análisis, que seleccionan componentes e interacciones significativas con la realidad. Y por otra parte, nos entregan ilustraciones cartográficas y bases de datos que van formando sistemas de soporte de toma de decisiones (Romero y Órdenes, 2003).

La teledetección mediante imágenes satelitales o fotografías aéreas, permiten describir algunos aspectos estructurales y funcionales de los sistemas ecológicos a diferentes escalas, y el nivel de resolución espacial que entregan permite discriminar unidades de vegetación, tipos de bosque y también individuos de diferentes especies en bosques mixtos, formando así una importante herramienta para la gestión y conservación de la biodiversidad. Varios estudios demuestran que varias especies vegetales de pastizales poseen diferentes firmas espectrales y es posible distinguirlas mediante fotografías aéreas en color infrarrojo (Arenas et al., 2010).

Altamirano y Lara (2010) realizaron un análisis multitemporal para determinar los cambios en la cobertura del suelo en la zona de la Precordillera Andina de la Región del Maule. Para este estudio utilizaron imágenes de los años 1989 y 2003, y analizaron las causas de la deforestación del bosque nativo, y como resultado obtuvieron que la superficie de bosque fue reemplazada por cobertura de matorral y plantaciones de especies exóticas, lo cual se redujo el bosque nativo en un 44%, con una tasa de deforestación anual de 4.1%.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Descripción de la Zona de Estudio

La zona de estudio considera los sitios prioritarios en estudio se encuentran emplazados en la región del Libertador Bernardo O'Higgins (Figura 1). Esta Región se extiende entre los 33° 50' y los 34° 50' de latitud Sur, por el Este limita con Argentina en la Cordillera de los Andes, y por el Oeste con el Océano Pacífico. En ella se encuentran, de Este a Oeste, cuatro grandes unidades morfológicas: la Cordillera de los Andes, la Depresión Intermedia, la Cordillera de la Costa, y las Planicies litorales (Sánchez y Carvacho, 2013).

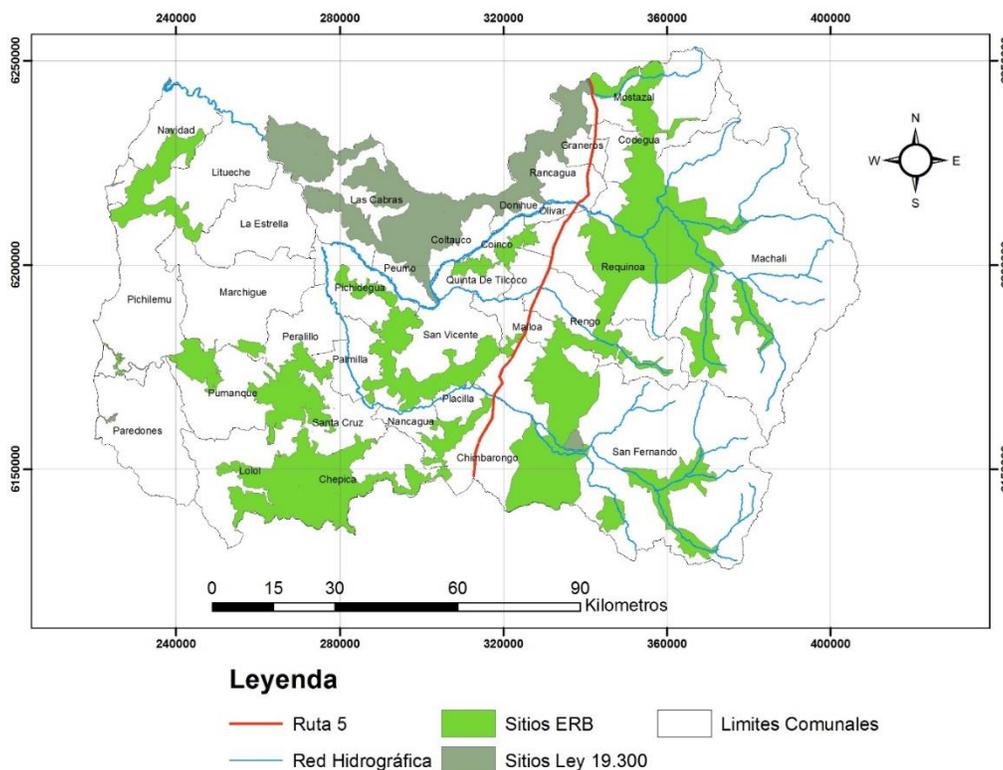


Figura 1. Sitios prioritarios de la región de O'Higgins.

4.2. Sitios Prioritarios Ley 19.300

Los sitios prioritarios incluidos en la Ley 19.300 son considerados agentes relevantes para la conservación de la biodiversidad en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, ya que presentan las siguientes características:

- **La Roblería/ Cordillera de la Costa Norte y Cocalán:** Dentro de este sitio se encuentra la Reserva Nacional Roblería del Cobre de Loncha. La vegetación dominante es de tipo esclerófilo y espinoso, y destaca por presentar una de las mayores poblaciones de Roble de Santiago (*Nothofagus macrocarpa*) y una importante población de Palma Chilena (*Jubaea chilensis*) en el sector palmas de Cocalán (Serey et al., 2007).
- **Laguna de Bucalemu:** Laguna costera que alberga gran variedad de especies animales y vegetales. Es considerado un lugar de descanso y alimentación para numerosas aves locales y migratorias. Presenta especies tales como Chincol, Chirihue, Loica, Mirlo, Trile, Diuca, Jilguero, Churrete, Trabajador, Golondrina, Gorrión, Chercán Común, Colegial, Siete Colores, Diucón, Cisne Cuello Negro, Pato Colorado, Pato Jergón Grande, Pato Real, Garza Chica, Garza Grande, Huairao, Jote Cabeza Negra, Tiuque, Queltehue, Pilpilén, Gaviota Cáhuil, Gaviota Dominicana, Playero De Baird, Perrito, Pimpollo, Picurio, Piden, Tagua, Tagua Chica, Taguita, Picaflor Común, Cormorán Yeco, y Pelicano (Tello, 2004).
- **Las Cardillas:** Sitio inserto en la zona andina y preandina de la comuna de San Fernando, donde la altitud genera una diferenciación en el tipo de vegetación presente, encontrando bosque esclerófilo en las zonas bajas y Roble Hualo en las zonas más altas (Cruz y Venegas, 2005).
- **Topocalma:** Humedal costero, considerado lugar de descanso, refugio, alimentación y reproducción de avifauna acuática y costera de numerosas aves

locales y migratorias, tales como Flamencos, Chercán de las vegas, Siete colores y Pidencillo (MMA, 2020). El ecosistema terrestre presente en este sitio es bosque espinoso mediterráneo costero de *Acacia caven* – *Maytenus boaria* y el ecosistema marino es Litoral Blando – Chile central (SIMBIO, 2022).

Para efectos de este estudio se consideraron los 4 sitios prioritarios protegidos por Ley y 18 sitios de segunda prioridad (Navidad Tanumé, Cáhuil, San Miguel de las Palmas, Boyeruca, Merquehue Peñablanca, Rinconada de Yáquil, Cordillera de la Costa del Valle Central, Altos de Lolol y Chépica, Cerros Islas Coinco, Corredor Los Lingues, Corredor de Angostura de Paine, Precordillera Andina Norte, Precordillera Andina Sur, Sierra de Bellavista, La Rufina- Las Damas, Rio Claro de Rengo, Rio Cipreses y Rio Cortaderal).

4.3. Clima de la Región

Predomina el clima templado de tipo mediterráneo con lluvias durante la estación fría y una estación cálida seca, que puede alcanzar de cuatro a seis meses. Presenta una diferenciación clara de las cuatro estaciones del año, y también existen algunas diferencias de mar a cordillera y de Norte a Sur, que se manifiestan en el aumento de las precipitaciones debido al ascenso gradual del relieve y al avance en latitud (ODEPA, 2018), lo que influye fuertemente en la producción agrícola de la región (Sánchez y Carvacho, 2013).

4.4. Agua e Hidrografía

La Red hidrográfica de la región está representada por el río Rapel, que se forma por la confluencia de los ríos Cachapoal y Tinguiririca (Sánchez y Carvacho, 2013)

4.5. Características y usos del Suelo

De acuerdo con el Sistema de Información Territorial (SIT) de la Corporación Nacional Forestal (CONAF) (<https://sit.conaf.cl/>), la región de O'Higgins presenta una superficie de 1.634.436 hectáreas, con usos del suelo clasificados en la Tabla 3.

La región presenta 590.391 hectáreas de bosque, que se dividen en: plantaciones forestales con 130.536 ha (22,11%), bosque nativo con 459.309 ha (77,8%) y bosque Mixto con 546 ha (0,09%). Las especies presentes de bosque nativo abarcan las siguientes superficies: Ciprés de la Cordillera con 2.901 ha, Palma Chilena 4.343 ha, Roble-Hualo 33.187 ha y esclerófilo 418.879 ha (ODEPA, 2018).

Tabla 3. Clasificación de usos de suelo de la región de O'Higgins.

Usos de suelo	Superficie (ha)
1. Áreas Urbanas e Industriales	33.704
2. Terrenos Agrícolas	405.304
3. Praderas y Matorrales	326.242
4. Bosques	590.391
5. Humedales	6.628
6. Áreas Desprovistas de Vegetación	56.407
7. Nieves y Glaciares	205.389
8. Cuerpos de Agua	10.371
9. Áreas No Reconocidas	0
Total Región	1.634.436

Fuente: ODEPA, 2018.

4.6. Vegetación

Las condiciones climáticas y morfológicas de la región permiten el desarrollo de una vegetación arbustiva de *Acacia caven* en la depresión intermedia, mientras que en los sectores de la Cordillera de la Costa y de los Andes, debido a la mayor humedad, se desarrolla un bosque esclerófilo de Boldos y Peumos, y sobre los 1.400 msnm es posible encontrar bosques de *Nothofagus obliqua*.

La acción humana ha alterado y degradado la vegetación natural en la región, donde se ha observado que el matorral esclerófilo y la estepa de espino han sido intensamente explotados para la fabricación de carbón, y también que el bosque nativo de robles en algunos casos ha sido reemplazado por especies exóticas como pino, álamos y eucaliptos para la producción forestal y explotación de la madera (BCN, 2020).

La superficie de bosque nativo de acuerdo al Catastro Vegetacional de CONAF (2021) es:

Tabla 4. Superficie de Bosque nativo de acuerdo al Catastro Vegetacional CONAF 2021.

Tipo Forestal	Superficie (ha)
Ciprés de la Cordillera	2.901
Roble-Hualo	33.186,8
Esclerófilo	418.879
Palma Chilena	4.343
Total	459.309,7

Fuente: CONAF (2021).

4.7. Información y procesamiento de imágenes satelitales

El análisis y cuantificación de las cubiertas vegetales de los sitios prioritarios comprende una ventana temporal de 40 años. Los análisis serán realizados con 4 imágenes Landsat de los años 1990, 2000, 2010 y 2020 (tabla 4).

Tabla 5. Detalle de imágenes satelitales.

Satélite	Fecha	Resolución
Landsat 5	07/11/1990	30 x 30 mts
Landsat 5	18/11/2000	30 x 30 mts
Landsat 5	14/11/2010	30 x 30 mts
Landsat 8	11/12/2020	30 x 30 mts

Las imágenes fueron obtenidas de la página de USGS Earth explorer:
<https://earthexplorer.usgs.gov/>

Los sitios prioritarios fueron obtenidos de la página de Infraestructura de Datos Espaciales Chile (IDE), disponibles en: <https://www.ide.cl/index.php/medio-ambiente/item/2030-sitios-prioritarios>

4.8. Índices de vegetación

La vegetación es un indicador que permite evaluar procesos biofísicos en los ecosistemas, tales como: pérdida de biodiversidad, desertificación, relación entre la vegetación y erosión del suelo e interacción vegetación-clima.

La teledetección es considerada una valiosa herramienta ya que, puede ser utilizada para establecer indicadores de degradación y conservación de los recursos naturales, y además ayuda a evaluar dinámicas en los cambios de uso de suelo y coberturas

vegetales. Y entre estas técnicas derivadas del uso de datos satelitales multiespectrales, se destaca el uso de los índices de vegetación (Gonzaga, 2014).

Cuando se habla de índices se refiere a un conjunto de operaciones algebraicas efectuadas sobre los valores numéricos de los píxeles, utilizando dos o más bandas pertenecientes a la misma escena (Muñoz, 2013).

Para el analizar el cambio de la cobertura vegetal de los sitios prioritarios se calcularon los siguientes índices de vegetación en el software Arcgis 10.8.

4.8.1. Índice Normalizado Diferencial de Vegetación (NDVI)

NDVI por su traducción al inglés Este índice se basa en el comportamiento radiométrico de la vegetación, relacionado con la actividad fotosintética y estructura foliar de las plantas, permitiendo finalmente determinar la vigorosidad de la planta (Díaz, 2015).

El cálculo de NDVI utiliza dos bandas en sus cálculos; Infrarrojo Cercano (NIR) y el rojo (RED).

$$NDVI: \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

NIR: Reflectancia espectral infrarrojo cercano; RED: Reflectancia en el rojo del visible

Tabla 6. Cálculo de NDVI de acuerdo a Satélite.

Satélite	Cálculo Índice
Landsat 5	$NDVI: \frac{(B4 - B3)}{(B4 + B3)}$
Landsat 8	$NDVI: \frac{(B5 - B4)}{(B5 + B4)}$

Los valores de este índice fluctúan entre -1 y 1. Estudios señalan que valores superiores a 0.1 indican presencia de vegetación, y cuanto más alto sea el valor de este índice mejores son las condiciones de vigor. Cuando tenemos valores menores a 0.1 indica presencia de suelos desnudos o cuerpos de agua. El NDVI es uno de los índices de vegetación más utilizado para monitorear la cobertura y producción de vegetación. Este índice en plantas mide que tan verde es la zona en estudio y de esa forma estima la cantidad de vegetación que existe en un área y su estado (Meneses, 2011).

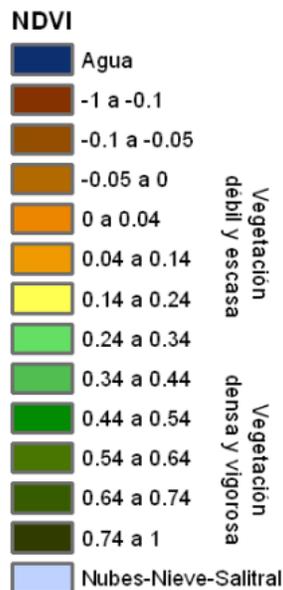
Los resultados del NDVI nos permiten identificar y comparar los cambios en la vegetación de los años en estudio, y además, con el NDVI podemos identificar la presencia de vegetación en la superficie y caracterizar su distribución espacial, así como también la evolución de su estado a lo largo del tiempo (Merg et al. 2011).

Para realizar el análisis de resultados debemos tomar en consideración lo siguiente:

- El agua presenta una reflectancia $R > IRC$, por lo que se presenta con valores negativos de NDVI.
- Las nubes presentan valores similares de R e IRC , por lo que su NDVI es cercano a cero.
- En suelo descubierto y con vegetación rala los valores de NDVI son positivos, pero no tan elevados.
- La vegetación densa, húmeda y bien desarrollada presenta valores de NDVI más altos.

Los valores de NDVI muestran la vigorosidad de la vegetación de acuerdo a la siguiente clasificación:

Figura 1. Clasificación del NDVI (Merg et al. 2011).



Para la interpretación del NDVI de cada año en estudio, se utilizó la tabla 6 de interpretación, basada en la tabla de vegetación de Merg, et al. (2011), Paula et, al. (2018) y López et, al. (2015).

Tabla 7. Rangos para el análisis de NDVI.

Rango	Interpretación
< 0.01	Nubes y cuerpos de agua
0.01-0.1	Suelo sin vegetación
0.11-0.2	Vegetación ligera
0.21-0.4	Vegetación moderada
0.41-1	Vegetación Alta

Fuente: Merg, et al. (2011), Paula et, al. (2018) y López et, al. (2015).

4.8.2. Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI)

El índice de vegetación ajustado al suelo, se diferencia del anterior, porque reduce el efecto de la reflectancia del suelo, lo que permite separar las reflectancias específicas

en casos donde los pixeles contiene una mezcla de vegetación y suelo (Ceceña et. Al., 2021). Todos aquellos pixeles desconocidos que tienen igual relación en los valores de reflectancia de las bandas roja e infrarroja son categorizados como suelo desnudo. Por lo que, en la medida que los valores se alejan de la línea de suelo, son categorizados como vegetación (Gilabert et. Al., 1997).

Este índice combina las reflectancias captadas en el infrarrojo cercano y rojo, al igual que el NDVI, pero utiliza un factor de corrección del efecto suelo llamado “Línea de Suelo”. El valor del factor L es 0.5 (Gonzaga, 2014).

$$SAVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED+L} * 1 + L$$

NIR: Reflectancia espectral del canal infrarrojo cercano

RED: Reflectancia en el canal rojo del visible

L: Parámetro que varía según densidad de la vegetación, para el análisis se utilizó 0.5.

Tabla 8. Cálculo de SAVI de acuerdo a Satélite.

Satélite	Cálculo Índice
Landsat 5	$SAVI = \frac{B4-B3}{B4+B3+0.5} * 1 + 0.5$
Landsat 8	$SAVI = \frac{B5-B4}{B5+B4+0.5} * 1 + 0.5$

Para analizar los resultados se tomó en consideración la siguiente tabla de clasificación (Alencar da Silva, 2019):

Tabla 9. Rangos para el análisis de SAVI.

Rango	Interpretación
> 0	Agua
0.001- 0.226	Suelo expuesto
0.227 – 0.341	Vegetación poco densa
0.342 – 0.405	Vegetación medio densa
0.406 – 0.688	Vegetación muy densa

4.8.3. Índice de Vegetación mejorado (EVI)

Este índice combina en una misma ecuación las bandas: azul, rojo e infrarrojo cercano, con el fin de extraer los valores del verdor del dosel, discriminando las variaciones asociadas a la interferencia del suelo y a los aerosoles atmosféricos (Bravo et. Al., 2013).

EVI es un buen complemento al NDVI, debido a que es más sensible a la banda infrarroja cercana, lo que ayuda a diferenciar de mejor forma las variaciones estructurales del dosel vegetal (Carvacho y Sánchez, 2010). Además, el EVI cuenta con una sensibilidad mejorada para determinar regiones de alta biomasa. Los valores positivos de EVI se encuentran asociados a la presencia de vegetación, y mientras mayor sea dicho valor, la vegetación es más fuerte y vigorosa (Borja, 2020).

$$EVI = 2.5 * \frac{(NIR - RED)}{(NIR + C1 * RED - C2 * BLUE + L)}$$

NIR: Reflectancia espectral del canal infrarrojo cercano

RED: Reflectancia en el canal rojo del visible

BLUE: Reflectancia en la banda azul

Coeficientes adoptados en algoritmo EVI-MODIS: C1: 6, C2: 7.5, L: 1

Tabla 10. Cálculo de EVI de acuerdo a Satélite.

Satélite	Cálculo Índice
Landsat 5	$EVI = 2.5 * \frac{(B4 - B3)}{(B4 + 6 * B3 - 7.5 * B1 + 1)}$
Landsat 8	$EVI = 2.5 * \frac{(B5 - B4)}{(B5 + 6 * B4 - 7.5 * B2 + 1)}$

4.8.4. Índice de Clorofila Verde (GCI)

Se emplea para estimar el contenido de clorofila en las hojas y es un indicador que refleja el estado fisiológico de la vegetación. La clorofila disminuye en plantas estresadas, por lo que este índice es utilizado como una medida del estado de salud de la planta (Palma, 2020).

$$GCI = \frac{NIR}{GREEN} - 1$$

Este índice es considerado muy sensible a las variaciones en el contenido de clorofila presente en la vegetación, y es utilizado en estudios de monitoreo para evaluar el impacto de la estacionalidad, estrés ambiental o para evaluar la aplicación de pesticidas (Palma, 2020).

Tabla 11. Cálculo de GCI de acuerdo a Satélite.

Satélite	Cálculo Índice
Landsat 5	$GCI = \frac{B4}{B2} - 1$
Landsat 8	$GCI = \frac{B5}{B3} - 1$

4.8.5. Índice de pigmentación insensible a la estructura (SIPI)

Este índice se relaciona con la presencia de carotenoides y clorofila en las plantas, los que se ven afectados en condiciones de estrés. Con este índice es posible monitorear el estado de salud de las plantas, determinar a tiempo enfermedades y además, identificar los factores que les producen estrés (Cárdenas, 2022).

$$SIPI = \frac{NIR - BLUE}{NIR - RED}$$

Este índice se encuentra fuertemente relacionado con el contenido relativo de agua, que indica un posible aumento progresivo de la relación que existe entre los carotenoides y la clorofila, debido a la degradación de la clorofila a causa de la desecación (Martínez, 2014). El valor de este índice varía de 0 a 2 y el rango común para la vegetación verde es de 0.8 a 1.8 (Alayo, 2021). Valores altos de SIPI reflejan un aumento de carotenoides y disminución de clorofila, lo que indica la presencia de enfermedades, ya que se asocia a la pérdida de clorofila en las plantas (Martínez, 2014).

Tabla 12. Cálculo de SIPI de acuerdo a Satélite.

Satélite	Cálculo Índice
Landsat 5	$SIPI = \frac{B4 - B1}{B4 - B3}$
Landsat 8	$SIPI = \frac{B5 - B2}{B5 - B4}$

4.9. Análisis Multitemporal

El análisis temporal permite obtener información relacionada con las transformaciones espaciales de una región, y el procesamiento implica que las series de datos provenientes de diferentes fechas se convierten en un conjunto único de datos (Mehl y Peinado, 1997).

Para realizar el análisis multitemporal los cálculos realizados fueron los siguientes:

4.9.1. Cálculo promedio de índices:

Para realizar el análisis multitemporal se calculó el promedio de los 4 años en estudio, a cada uno de los índices de Vegetación.

$$\textit{Promedio Indices} = \left(\frac{IV\ 1990 + IV\ 2000 + IV\ 2010 + IV\ 2020}{4} \right)$$

Donde:

IV: corresponde al Índice de vegetación (NDVI, SAVI, EVI, GCI, SIPI)

4.9.2. Diferencia entre temporadas

Este cálculo se realizó para todos los Índices de Vegetación y se tomó en consideración 2 temporadas para la obtención del promedio de cada índice de vegetación.

$$\textit{Promedio temporadas} = \left(\frac{T1}{2} \right) - \left(\frac{T2}{2} \right)$$

Valores negativos y positivos nos indican cambios en la cubierta vegetal. Los primeros nos indican una pérdida o retroceso, y los segundos valores indican ganancia de vegetación.

Donde:

T1: IV 1990 + IV 2000; T2: IV 2010 + IV 2020

IV: Corresponde al Índice de vegetación (NDVI, SAVI, EVI, GCI, SIPI)

4.9.3. Promedio de diferencias entre años

Este cálculo nos entrega la frecuencia o dinámica de variabilidad del cambio de los índices entre los años de estudio. Valores positivos nos indica que existieron cambios

en las zonas de estudio, y por su parte, los valores negativos nos indican la presencia de un proceso constante con menos cambios durante el periodo de estudio.

Para llevar a cabo este análisis, se calculó el promedio de diferencias entre años para todos los índices mediante la siguiente expresión:

$$Promedio = \left(\frac{(IV\ 1990 - IV\ 2000) + (IV\ 2000 - IV\ 2010) + (IV\ 2010 - IV\ 2020)}{3} \right)$$

Donde:

IV: corresponde al Índice de vegetación (NDVI, SAVI, EVI, GCI, SIPI).

5. PRESENTACION Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Índices de vegetación

5.1.1. Índice normalizado diferencial de vegetación (NDVI)

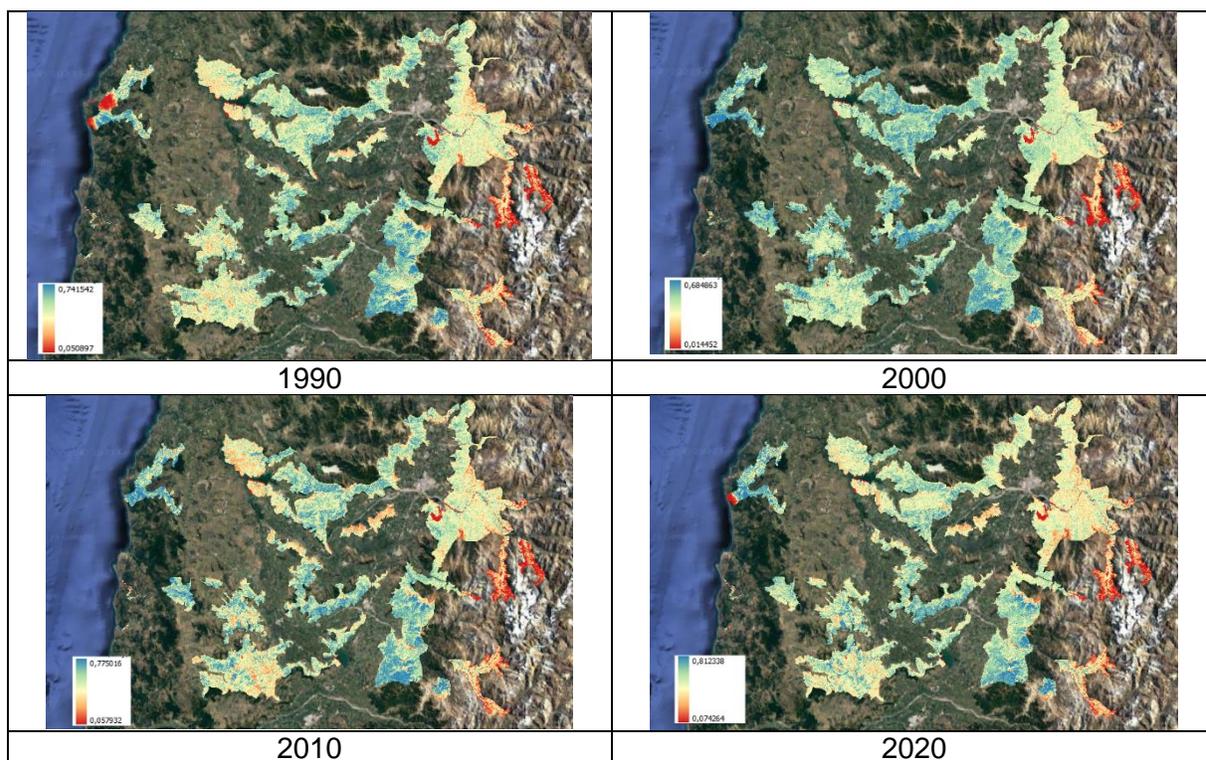


Figura 2. NDVI 1990, 2000, 2010, 2020.

En cuanto al análisis de NDVI de los sitios prioritarios para los años 1990, 2000, 2010 y 2020, tenemos los siguientes resultados:

- Se observa que los valores de NDVI obtenidos en el año 1990 se encuentran en un rango de 0,02 a 0.65, en 2000 entre 0.07 a 0.57, en 2010 entre 0.11 a 0.68, y en 2020 entre 0.13 a 0.74.
- Laguna de Bucalemu, Topocalma y Boyeruca, son los sitios que presentan una mayor variación en los valores de NDVI (desviación estándar de 0.09, 0.13 y

0.19 respectivamente). Además, el sitio Topocalma presenta variaciones de NDVI, ya que como se observa en la figura 3 en el año 1990 presentaba suelos sin vegetación, posteriormente en el año 2000 presenta vegetación moderada, al año 2010 presenta poca vegetación y al año 2020 la vegetación se vuelve a presentar moderada, estos cambios en la vegetación es posible que se deban a la variación de las precipitaciones en los meses previos a la toma de la Imagen Landsat (Castaño et al., 1999).

- En los sitios La Rufina-Las Damas y Rio Claro de Rengo la vegetación es moderada y no presenta cambios al comparar los tiempos de estudio.
- El sitio Boyeruca presenta cambios en la vegetación de ligera a moderada.
- Precordillera Andina Norte y La Roblería y Cordillera de Costa y Cocalán son los sitios que presentan mínima variación de los valores de NDVI (desviación estándar de 0.01).
- Los sitios prioritarios tales como: Navidad Tanumé, San Miguel de las Palmas, La Roblería/ Cordillera de Costa y Cocalán, Merquehue Peñablanca, Rinconada de Yáquil, Cordillera de la Costa del Valle Central, Altos de Lolol y Chépica, Corredor Los Lingues, Corredor de Angostura de Paine, Precordillera Andina Norte, Precordillera Andina Sur, las Cardillas y Sierra de Bellavista no presentan variaciones en sus valores de NDVI en los 4 años en estudios. La vegetación se mantiene densa o vigorosa.

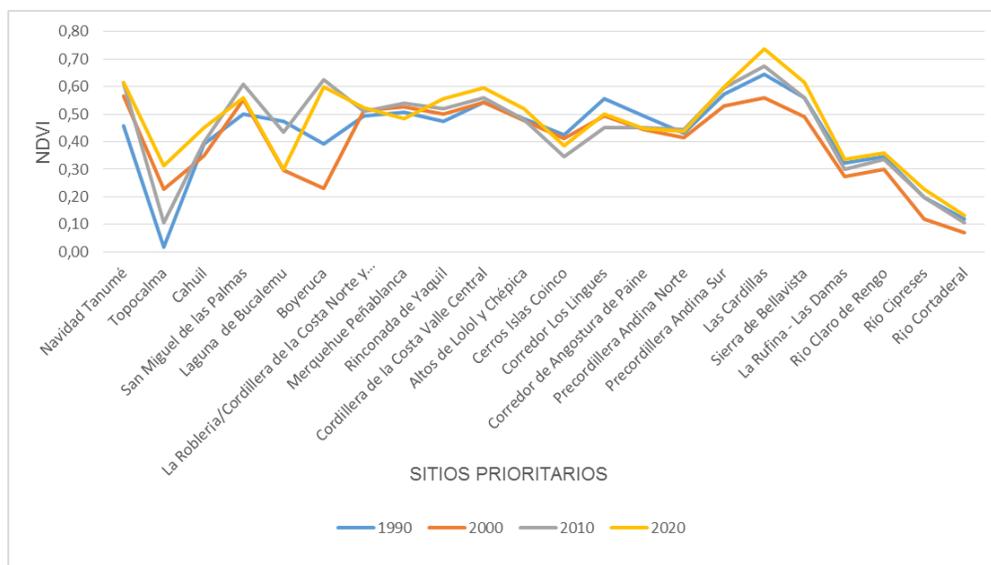


Figura 3. Cálculo NDVI sitios prioritarios Región de O'Higgins.

5.1.2. Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI)

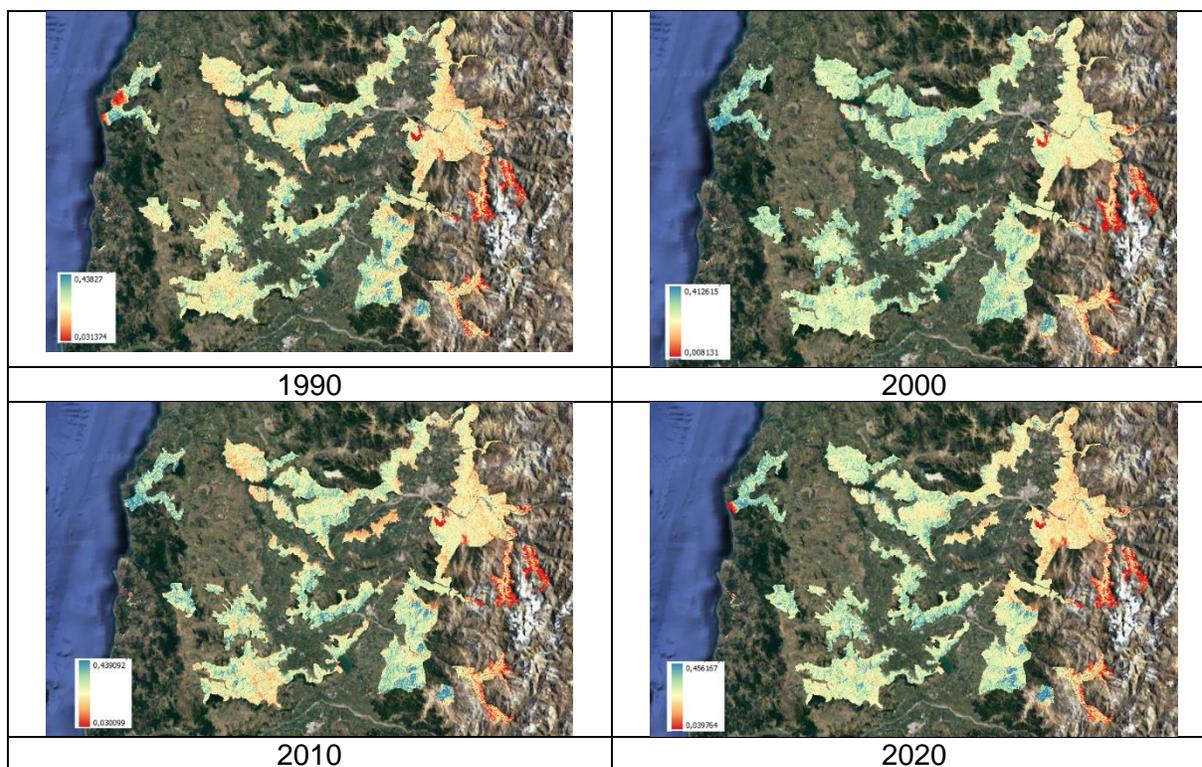


Figura 4. SAVI 1990, 2000, 2010, 2020.

Este índice es muy parecido al NDVI y surge de un reajuste realizado por Heute en el año 1988, a la fórmula original del NDVI, donde se incorpora el efecto del suelo (Alencar da Silva, 2019).

- De los análisis se obtiene que los valores de SAVI se encuentran en un rango de 0,02 a 0.32 en 1990, de 0.04 a 0.32 en 2000, 0.06 a 0.34 en 2010, y de 0.07 a 0.37 en 2020.
- En los sitios Navidad Tanumé, Cáhuil, San Miguel de las Palmas, La Roblería/ Cordillera de la Costa Norte y Cocalán, Merquehue Peñablanca, Rinconada de Yáquil, Cordillera de la Costa Valle Central, Altos de Lolol y Chépica, Corredor los Lingues, Corredor de Angostura de Paine, y Precordillera Andina Sur la vegetación es poco densa, de acuerdo a la clasificación descrita en el punto 4.8.2.
- Topocalma presenta suelo expuesto y el sitio Laguna de Bucalemu presentó una disminución en su vegetación, pasando de vegetación poco densa a suelo expuesto desde el año 2000 en adelante.
- Por otra parte, tenemos que los sitios ubicados Cordillera Andina tales como: Cerros de Coinco y Precordillera Andina Norte, La Rufina- Las Damas, Rio Claro de Rengo, Rio Cipreses, y Rio Cortaderal se encontrarían con suelo expuesto. Cerros de Coinco y Precordillera Andina Norte, son zonas con altas pendientes y altitud. La Rufina- Las Damas son fondos de quebradas en torno al Rio Tinguiririca y Rio Claro de Rengo, Rio Cipreses y Rio Cortaderal son zonas que se encuentran ubicados en torno a los ríos, siendo zonas con nula aptitud agrícola, por lo que los cambios en la vegetación es posible asociarlos al déficit de precipitaciones que se ha presentado en las últimas décadas. Siendo el año 1998 el que presenta mayor déficit a nivel nacional, seguido por 2019. Además el periodo más seco desde 1961 es del año 2010 al 2019, presentando un promedio de 20.6%. y el periodo 2011 a 2020 presenta un 20.4% déficit de precipitaciones (DGAC, 2021).
- El sitio las Cardillas y Sierra de Bellavista cambiaron de vegetación poco densa a medio densa en 2010 y 2020 respectivamente.

- El sitio Boyeruca (humedal) pasó de tener suelos con vegetación poco densa en 1990 al año 2000 presentar suelo descubierto, pero en 2010 y 2020 se vuelve presentar vegetación poco densa, lo que podía indicar que hay una recuperación de la cubierta vegetal.

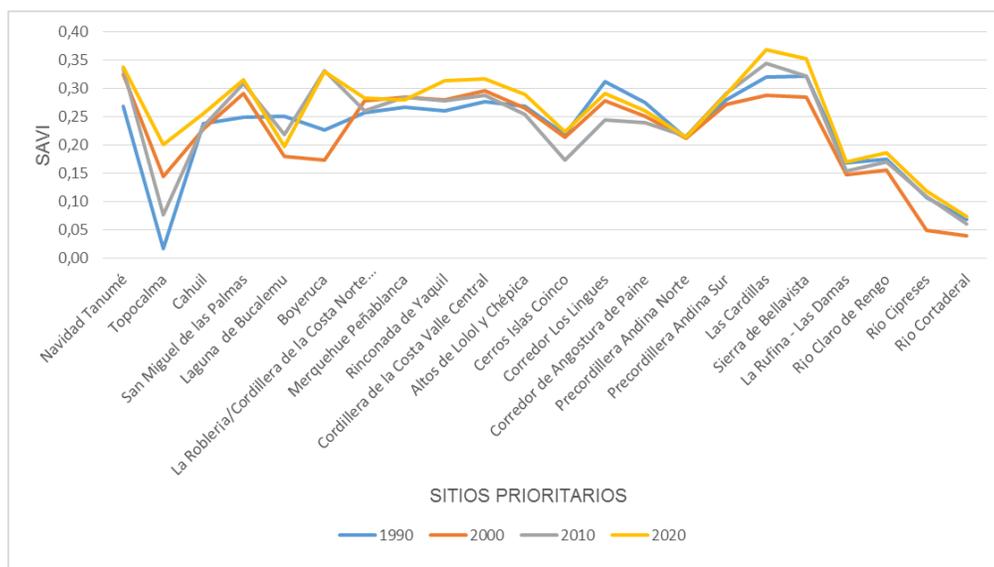
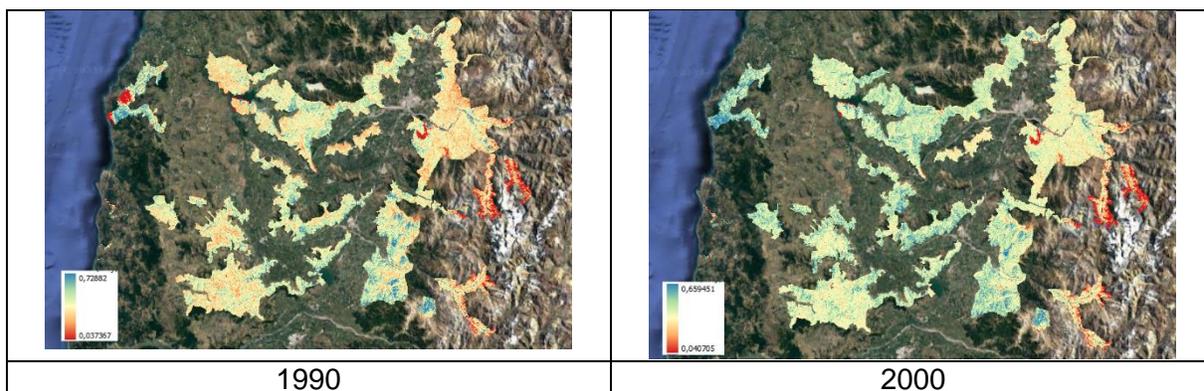


Figura 5. Cálculo SAVI sitios prioritarios Región de O'Higgins.

5.1.3. Índice de Vegetación mejorado (EVI)



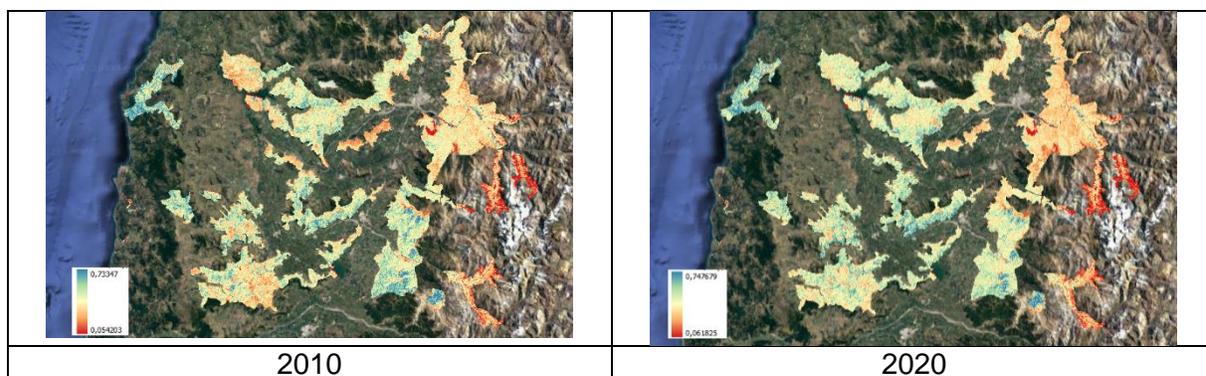


Figura 6. EVI 1990, 2000, 2010, 2020.

Del análisis de EVI se obtienen los siguientes resultados:

- Los valores de EVI se encuentran en un rango de 0.02 a 0.53 en 1990, de 0.13 a 0.52 en 2000, de 0.11 a 0.56 en 2010, y de 0.11 a 0.58 en 2020.
- Al igual que en SAVI los sitios La Rufina- Las Damas, Rio Claro de Rengo, Rio Cipreses y Rio Cortaderal mantienen la tendencia de disminución de los valores de EVI en los años de estudio.
- Los sitios que se encuentran más cercanos a la costa (Navidad Tanumé, Topocalma, Cáhuil, San Miguel de las Palmas, Laguna de Bucalemu y Boyeruca) se encuentran en un rango de EVI mínimo de 0,02 (1990) y máximo de 0,56 (2010 y 2020), siendo Topocalma el que presenta una mayor variación.
- Los sitios ubicados en la Cordillera de la Costa (La Roblería/ Cordillera de la Costa Norte y Cocalán, Rinconada de Yáquil, Cordillera de la Costa del Valle Central, Altos de Lolol y Chépica) y en el Llano Central (Cerros Islas de Coinco, Corredor Los Lingues, Corredor Angostura de Paine) no presenta variaciones significativas en los valores de EVI.

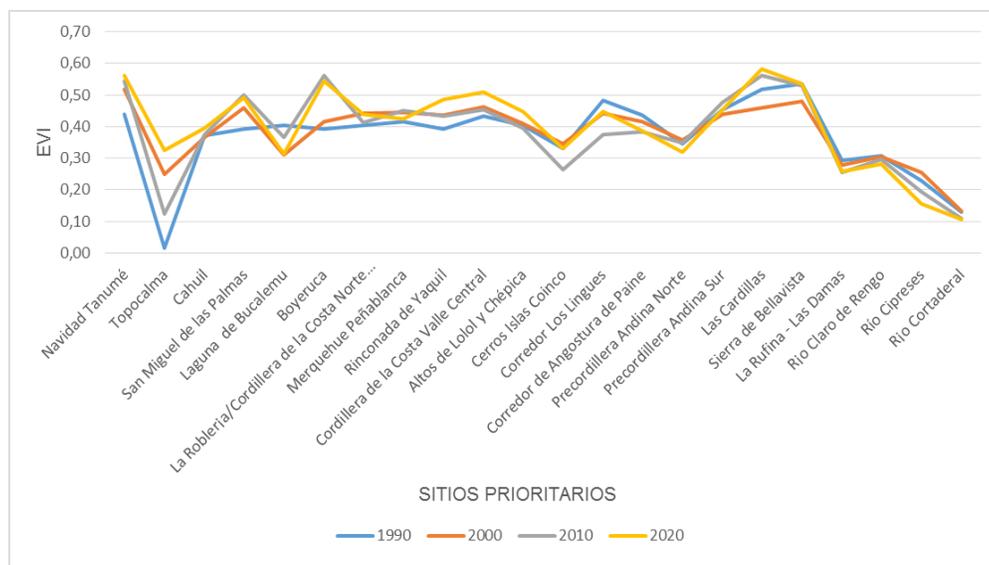


Figura 7. Cálculo EVI sitios prioritarios Región de O'Higgins.

5.1.4. Índice de Clorofila Verde (GCI)

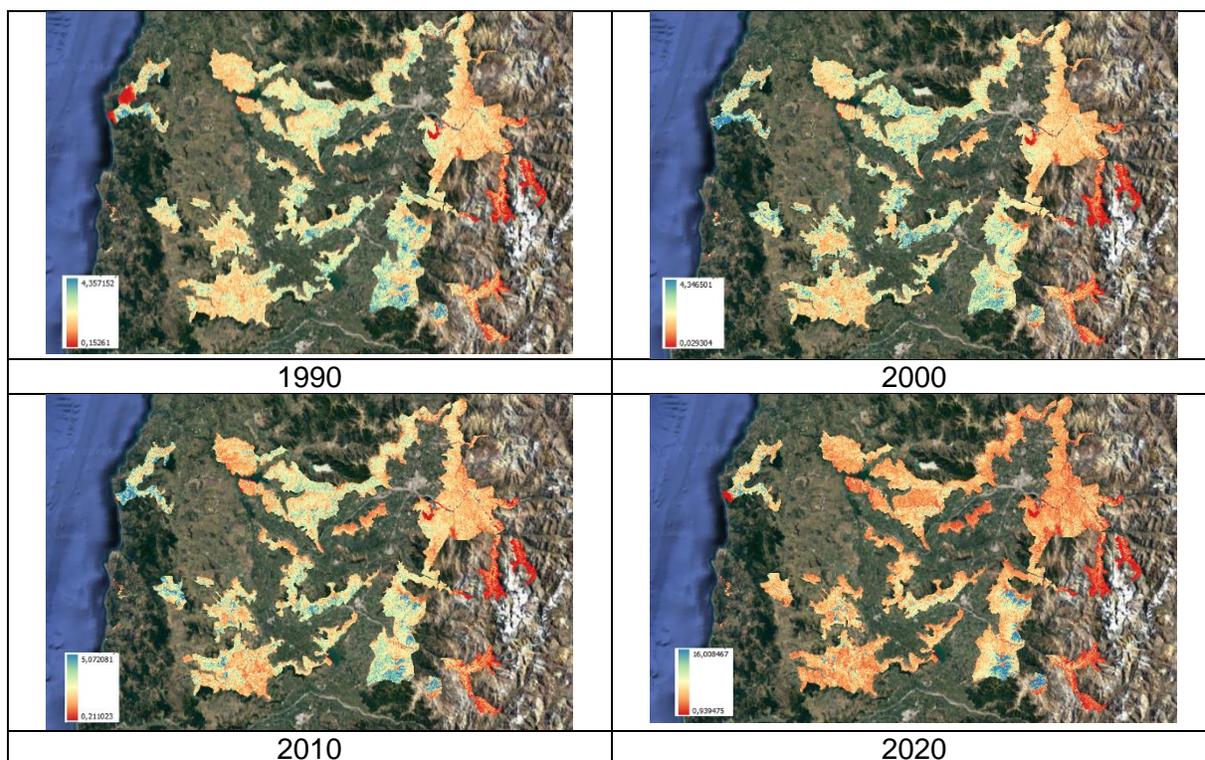


Figura 8. GCI 1990, 2000, 2010, 2020.

Los análisis de este índice entregan los siguientes resultados:

- Los valores de GCI para los 4 años de estudio se encuentran en un rango de 0.07 a 3.41 en 1990, 0.20 a 2.94 en 2000, de 0.34 a 3.72 en 2010, de 2.22 a 17.26 en 2020.
- El cálculo del GCI para el año 2020 entrega valores mayores a 2.22, lo que se encuentran muy por sobre la media de los años 1990, 2000 y 2010 (Figura 9). Esto se debe a que el ancho de la Banda del NIR del satélite Landsat 8 es menor que el NIR de Landsat 5, por lo que hace que los valores se encuentren sobre el promedio y no sea posible compararlos.

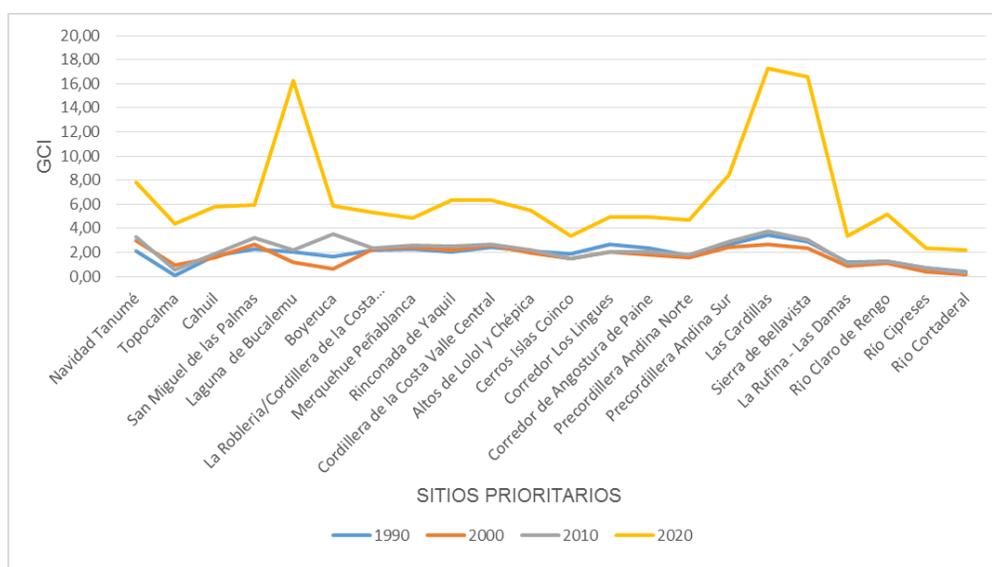


Figura 9. Cálculo GCI sitios prioritarios Región de O'Higgins.

Al omitir el año 2020 (Figura 10) para los análisis de GCI, obtenemos lo siguiente:

- De los años 1990, 2000 y 2010 el rango de valores de GCI se encuentra entre 0.07 en Topocalma (1990) y 3.72 en Las Cardillas (2010).
- Boyeruca y Las Cardillas, presentan las mayores diferencias de valores de GCI entre los años 2000 y 2010, en ambos casos existe un aumento del GCI.
- Topocalma es el sitio que presenta los menores valores de GCI, seguido de Río Cipreses y Río Cortaderal.

- Los sitios que se encuentran ubicados en la Cordillera de la Costa y en Llano central no presentan variaciones significativas de GCI.
- Al igual que NDVI, SAVI y EVI, el sitio La Rufina- Las Damas, Rio Claro de Rengo, Rio Cipreses y Rio Cortaderal mantienen la tendencia de disminución de los valores de GCI en los años 1990, 2000 y 2010.
- Los valores más altos de GCI nos indican que la vegetación se encuentra en buen estado, por lo que la mayoría de los sitios presenta esta característica, a excepción de: Topocalma, Rio Cipreses y Rio Cortaderal que presentan valores cercanos a cero, lo que nos indicaría que la vegetación presenta algún tipo de estrés, o también se podría deber a que en estas zonas hay menor presencia de vegetación.



Figura 10. Cálculo GCI años 1990, 2000 y 2010 sitios prioritarios Región de O'Higgins.

5.1.5. Índice de pigmentación insensible a la estructura (SIPI)

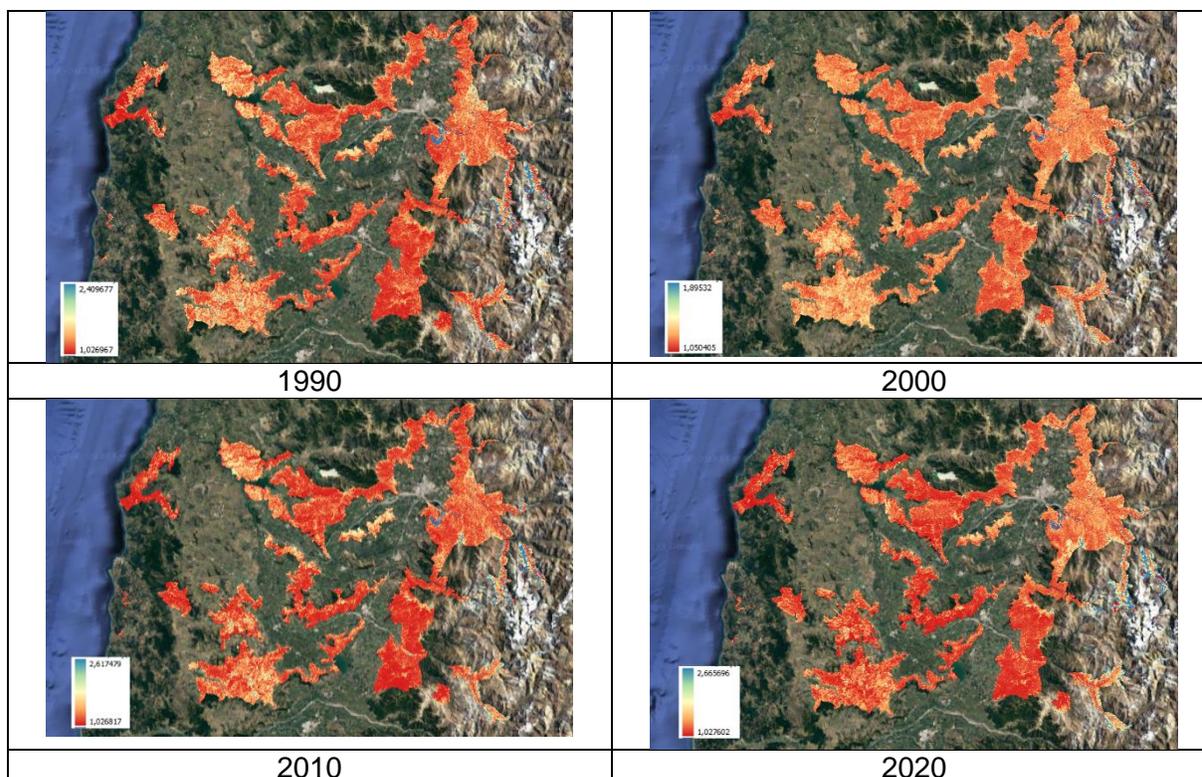


Figura 11. SIPI 1990, 2000, 2010, 2020.

Del análisis de SIPI se obtiene lo siguiente:

- Los valores obtenidos se encuentran en un rango de 1.10 a 2.94 en 1990, de 0.24 a 0.86 en 2000, de 0.91 a 2.41 en 2010, y de 1.07 a 3.34 en 2020.
- El sitio Precordillera Andina Sur, presenta un promedio de 0.18 y una variación de 0.01 (desviación estándar) en los valores de SIPI.
- Topocalma, Laguna Bucalemu y Rio Cortaderal son los que presentan mayor diferencia en los valores de SIPI (desviación estándar de 0.32, 0.43 y 0.46 respectivamente).
- Rio Cortaderal y Rio Cipreses son los únicos sitios que presentan en todos los años de estudios valores de SIPI sobre 2.
- Laguna de Bucalemu y Rio Claro de Rengo en el año 2000 presentan valores sobre 2.
- La totalidad de los sitios se encuentra dentro del rango 0.8 a 1.8 que indica vegetación sana, a excepción de Rio Cipreses y Rio Cortaderal que presentan

valores sobre 2.37 lo que nos indica que a planta se encuentra en condiciones de estrés o enfermedad, debido al aumento en los carotenoides y disminución en la clorofila de la vegetación.

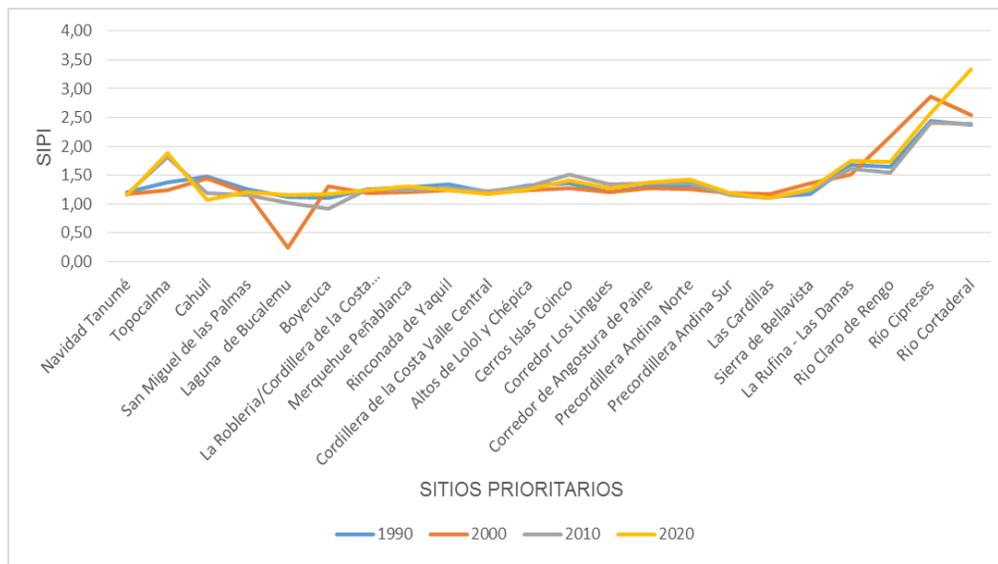


Figura 12. Cálculo SIPI sitios prioritarios Región de O'Higgins.

5.2. Análisis Multitemporal

5.2.1. Cálculo promedio de Índices

5.2.1.1 NDVI, SAVI y EVI

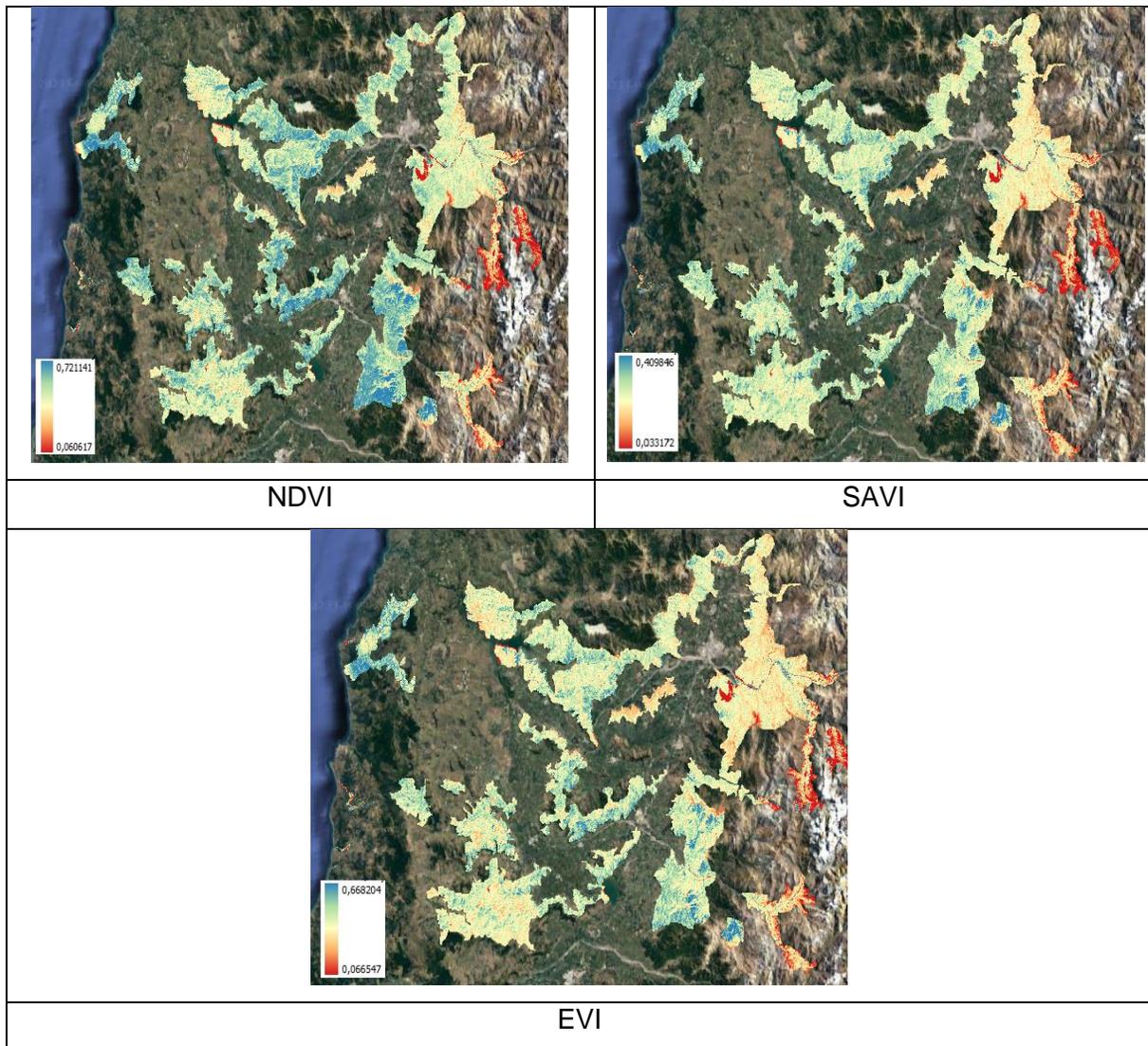


Figura 13. Promedios NDVI, SAVI y EVI para los años 1990, 2000, 2010 y 2020.

El cálculo del promedio de los índices de vegetación nos entrega los siguientes resultados:

- El promedio de los años de estudio de NDVI, SAVI y EVI se encuentran en un rango de 0.06 y 0.65 lo que indica que en los sitios en estudio es posible encontrar desde suelos sin vegetación, hasta suelos con alta vegetación.
- NDVI presenta valores más altos, que EVI y SAVI, exceptuando en Boyeruca y Rio Cipreses.

- Los sitios La Rufina- Las Damas, Rio Claro de Rengo, Rio Cipreses y Rio Cortaderal en los tres índices presenta valores muy cercanos a cero, lo que nos indica que hay presencia de suelos descubiertos y con baja vegetación.
- Parte del Sitio la Roblería limita con el embalse Rapel, y en el análisis se observa una zona con bajo NDVI, SAVI y EVI, lo que nos podría indicar que existen cambios en la cobertura vegetal de este sitio protegido por Ley, pero al revisar una imagen reciente, en esta zona no existen cambios. Por lo que, al revisar los límites de la Capa Sitios Prioritarios (utilizada para los análisis), es posible observar que los límites se encuentran desfasados en varios puntos (aproximadamente 500 metros en algunas zonas).

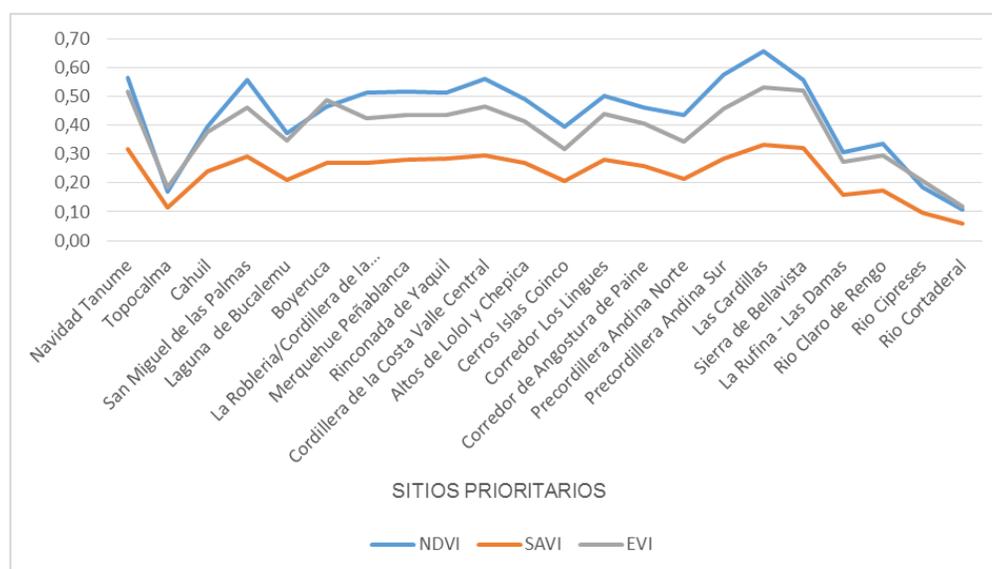


Figura 14. Gráfico promedios NDVI, SAVI y EVI años 1990, 2000, 2010 y 2020.

5.2.1.2. GCI

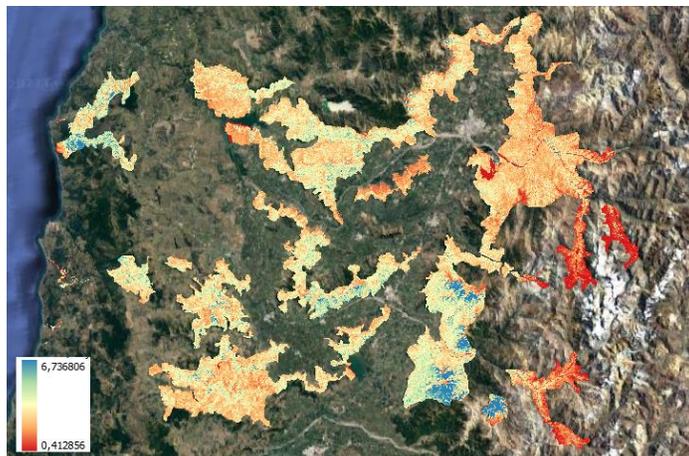


Figura 15. Promedios GCI para los años 1990, 2000, 2010 y 2020.

- El Sitio Topocalma, La Rufina- Las Damas, Rio Cipreses y Rio Cortaderal presentan valores de GCI dentro del rango 0.78 y 1.63, los demás sitios se encuentran en un rango superior a 2, llegando hasta 6.77. En este índice el promedio se encuentra sobre el rango, debido a que en el análisis del GCI del año 2020, todos los valores se encuentran sobre 2 (punto 5.1.4.)

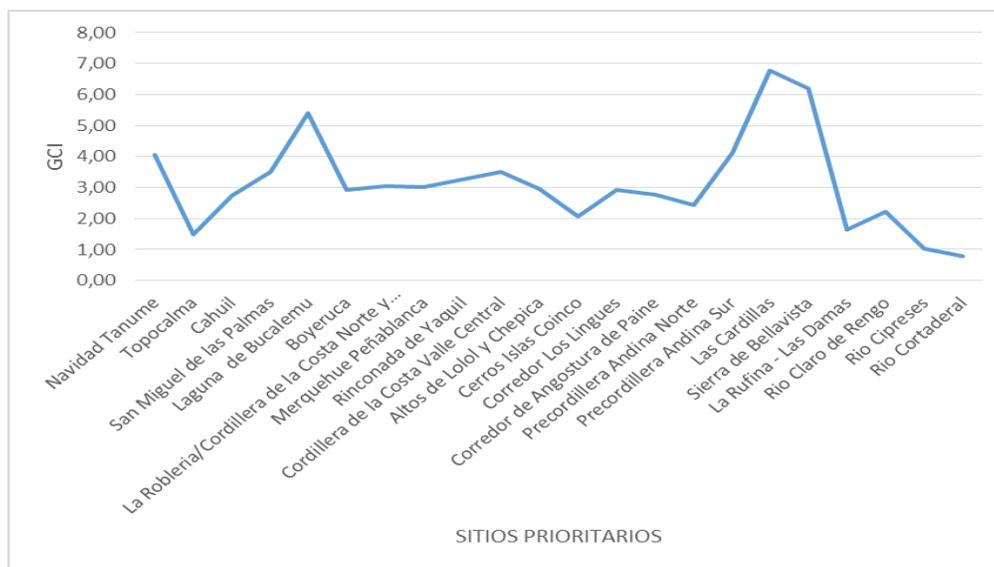


Figura 16. Gráfico promedios GCI para los años 1990, 2000, 2010 y 2020.

5.2.1.3. SIPI

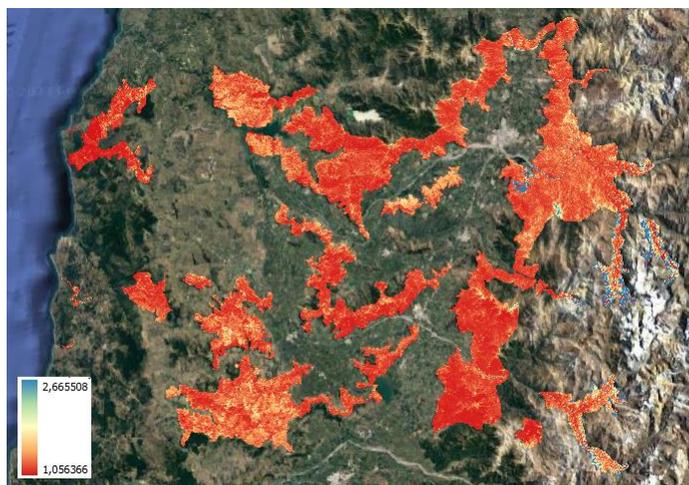


Figura 17. Promedios SIPI para los años 1990, 2000, 2010 y 2020.

Los valores promedio de SIPI de los sitios en estudio de mar a cordillera se presentan en un rango de 0.66 a 1.77, a excepción de Río Cipreses y Río Cortaderal que presentan valores de 2.57 y 2.65 respectivamente. Los valores sobre el rango que presentan estos sitios nos indican que la vegetación en esta zona presentaría estrés o enfermedad, debido al alto contenido de carotenoides y baja clorofila.



Figura 18. Gráfico promedios SIPI para los años 1990, 2000, 2010 y 2020.

5.2.2. Diferencia entre temporadas

5.2.2.1. NDVI, SAVI y EVI

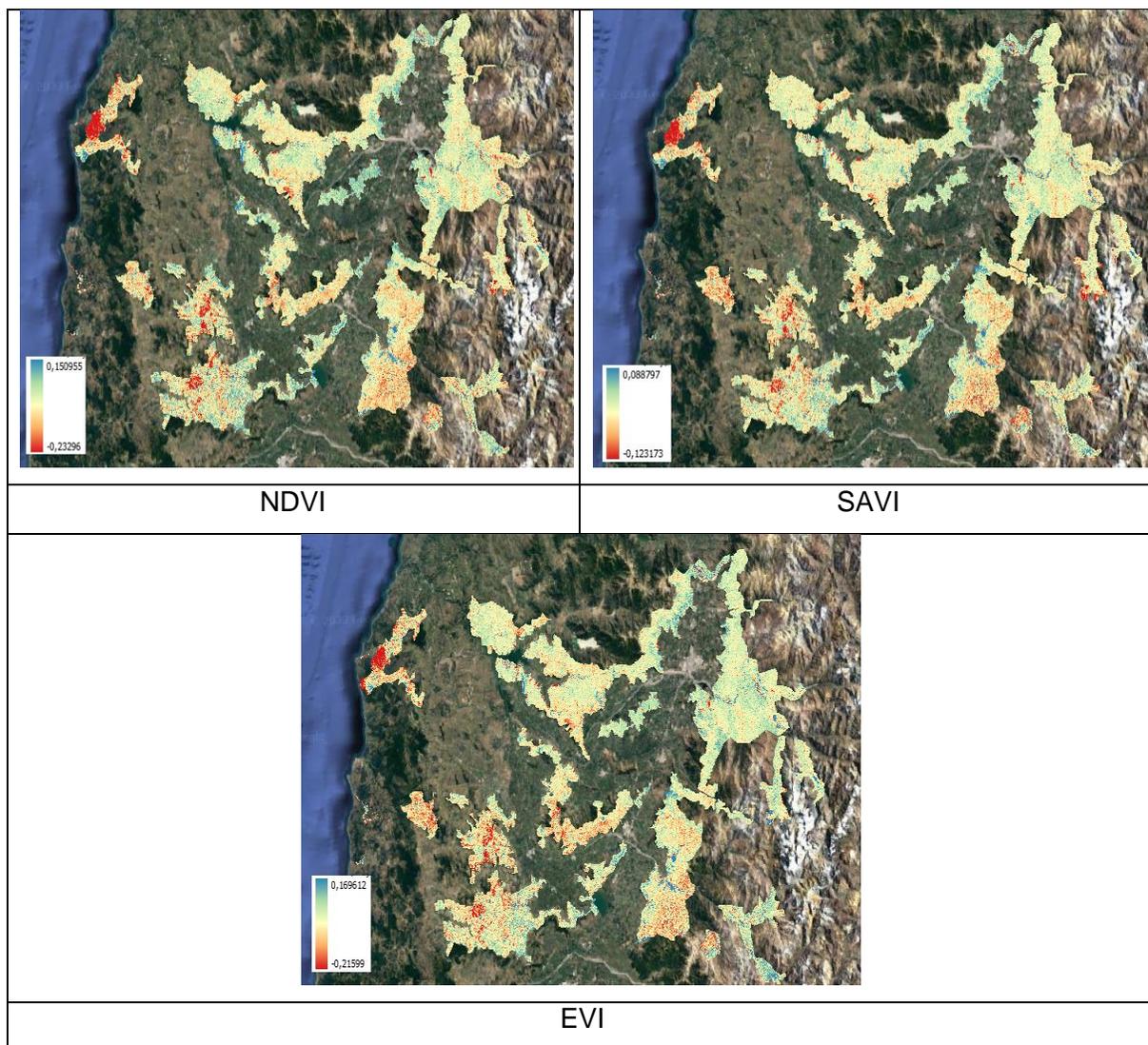


Figura 19. Diferencias entre temporadas (T1-T2) de NDVI, SAVI y EVI.

El cálculo de temporadas de NDVI, nos muestra que 17 de los 22 sitios en estudio presentan cambios al comparar la temporada 1 con la 2. El sitio Sierra de Bellavista es el que presenta mayores cambios en la vegetación con un valor de -0.28, seguido de Rio Claro de Rengo (-0.10), Laguna de Bucalemu (-0.10), La Rufinas- Las Damas

(-0.09), Rinconada de Yáquil (-0.06), Boyeruca (-0.06), Las Cardillas (-0.06), Corredor los Lingues (-0.05), Navidad Tanumé (-0.05), Cordillera de la Costa del Valle Central (-0.5), Merquehue Peñablanca (-0.03), Precordillera Andina Norte (-0.03), Topocalma (-0.02), La Roblería/Cordillera de la Costa Norte y Cocalán (-0.02), Cerros Islas Coinco (-0.02), Altos de Lolol y Chépica (-0.02) y Río Cortaderal (-0.01).

Los sitios San Miguel de las Palmas, Corredor de Angostura de Paine, Río Cipreses, Precordillera Andina Sur y Cahuil, no presentan cambios en la vegetación ya que, se encuentran en un rango de 0.00 a 0.05.

El análisis de temporadas de SAVI nos indica que los sitios: Sierra de Bellavista (-0.12), La Rufina- Las Damas (-0.06), Río Claro de Rengo (-0.05), Boyeruca (-0.04), Laguna de Bucalemu (-0.04), Corredor los Lingues (-0.04), Rinconada de Yáquil (-0.03), Navidad Tanumé (-0.03), Merquehue Peñablanca (-0.02), Cordillera de la Costa del Valle Central (-0.01), Topocalma (-0.01), Precordillera Andina Norte (-0.01), Las Cardillas (-0.01), San Miguel de las Palmas (-0.01), La Roblería/Cordillera de la Costa Norte y Cocalán (-0.01) presentan cambios en la comparación de las temporadas.

Y en el cálculo de EVI los sitios que presentan valores negativos son: Sierra de Bellavista (-0.13), La Rufina- las Damas (-0.10), Río Claro de Rengo (-0.08), Laguna de Bucalemu (-0.07), Boyeruca (-0.07), Navidad Tanumé (-0.05), Merquehue Peñablanca(-0.03), Rinconada de Yáquil (-0.03), Las Cardillas (-0.02), Cordillera de la Costa del Valle Central (-0.01), La Roblería/Cordillera de la Costa Norte y Cocalán (-0.01) y San Miguel de las Palmas (-0.01).

Al analizar las curvas de los índices NDVI, SAVI y EVI, los sitios que presentan cambios en los 3 índices al calcular la diferencia de las temporadas son: Laguna de Bucalemu, Boyeruca, Navidad Tanumé, Merquehue Peñablanca, Rinconada de Yáquil, Cordillera de la Costa del Valle Central, La Roblería/Cordillera de la Costa Norte y Cocalán, Las Cardillas, Sierra de Bellavista, La Rufina- las Damas, y Río Claro de Rengo.

Un estudio realizado por CIREN (2011) denominado “sistematización de información para el diagnóstico del estado actual del bosque esclerófilo en Chile – Biblioteca Digital”, indica que existe una alta vulnerabilidad ecosistémica en el secano costero (entre las comunas de Paredones y Navidad) de la región de O’Higgins, debido a la alta presión antrópica por establecer cultivos forestales de rápido crecimiento y sumado a la alta fragilidad físico biológica de los suelos con bosque esclerófilo. En la Provincia de Cardenal Caro donde encontramos los sitios Laguna de Boyeruca, Boyeruca y Navidad- Tanumé, las especies sustituidas corresponden a la asociación Peumo-Quillay-Litre y el cambio en el uso del suelo ha sido para establecer plantaciones forestales y plantación de rotación tipo cultivo- pradera.

Otro indicador de cambios en la vegetación y en el uso del suelo son los incendios, los que en la Provincia de Colchagua en el periodo comprendido entre 1995 y 2000 reportaron una pérdida del 84% de bosque nativo (CIREN, 2011). En esta provincia se encuentran los sitios Merquehue- Peñablanca, Rinconada de Yáquil, Cordillera de la Costa del Valle Central, Las Cardillas, Sierra de Bellavista, y La Rufina-Las Damas.

El sitio La Roblería/Cordillera de la Costa Norte y Cocalán el valor de las diferencias de temporadas es uno de los más cercanos a cero, lo que nos indica que hay cambios mínimos en la cubierta vegetal, pero al revisar la zona no se aprecian cambios significativos, por lo que se intuye que este valor se debe a que los límites de este sitio se encuentran desfasados (5.2.1.) lo que podría estar alterando el resultado.

Del año 1995 al 2000 el bosque nativo de la región presentó un descenso en su superficie de 4.6%, en los usos renoval, bosque nativo adulto-renoval y bosque nativo adulto. Los mayores decrecimientos se presentaron en la provincia de Colchagua comuna de San Fernando, comuna donde se ubica el sitio Sierra de Bellavista. Los tipos forestales que disminuyeron fueron Ciprés de la Cordillera y Esclerófilo debido a los incendios forestales (CONAF, 2001).

Por otra parte tenemos que los sitios Cáhuil, Corredor Angostura de Paine, Precordillera Andina Sur y Rio Cipreses en los 3 índices presentan valores positivos, lo que indicaría una ganancia de vegetación en estas zonas.

En la figura 20 se presenta el sitio Corredor Angostura de Paine, sitio que al presentar valores positivos al comparar las temporadas nos indicaría una ganancia de vegetación, pero en este caso la ganancia de vegetación está dada por la presencia de cultivos agrícolas presentes en la zona. Caso contrario se presenta en el sitio Cáhuil, ya que al analizar la zona, no existe intervención agrícola, por lo que el aumento o ganancia de vegetación se dio de forma natural (Figura 21).

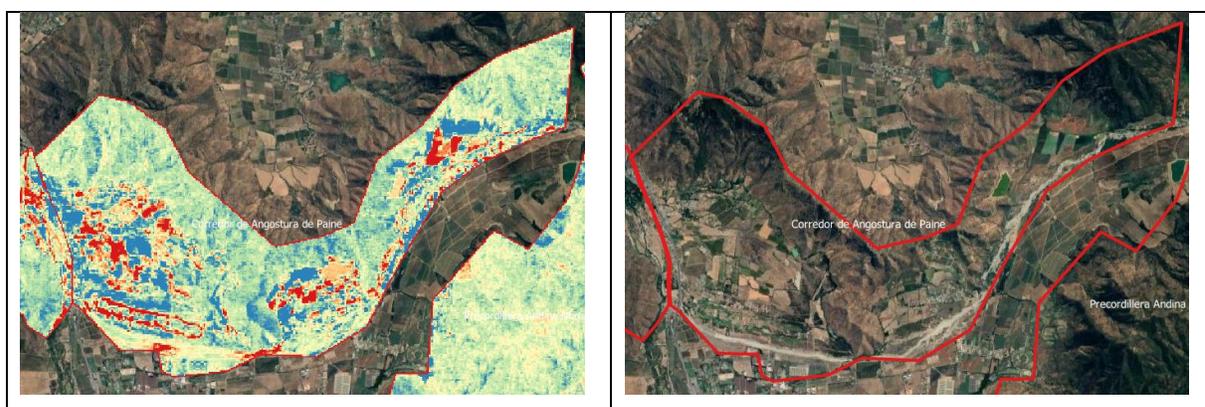


Figura 20. Comparación EVI con imagen de sitio Corredor Angostura de Paine.

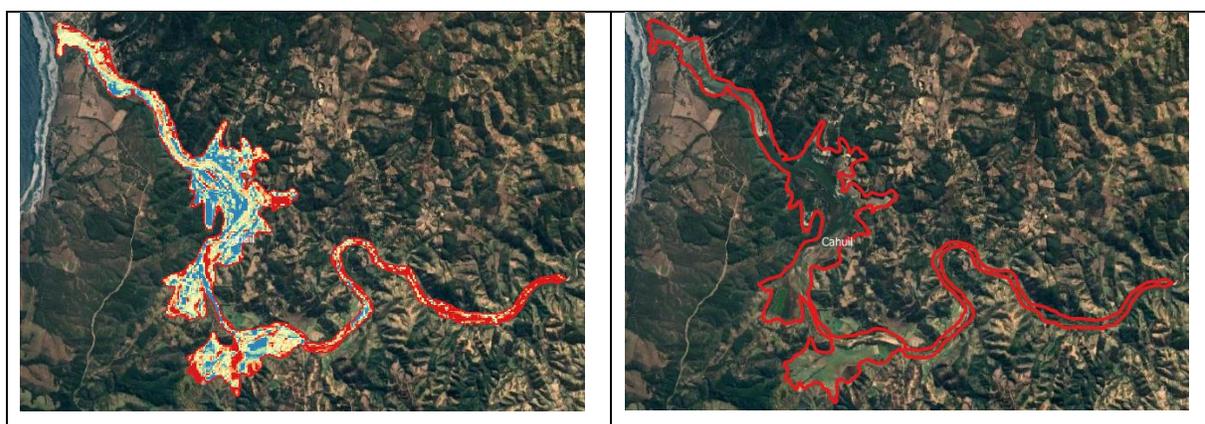


Figura 21. Comparación EVI con imagen de sitio Cáhuil.

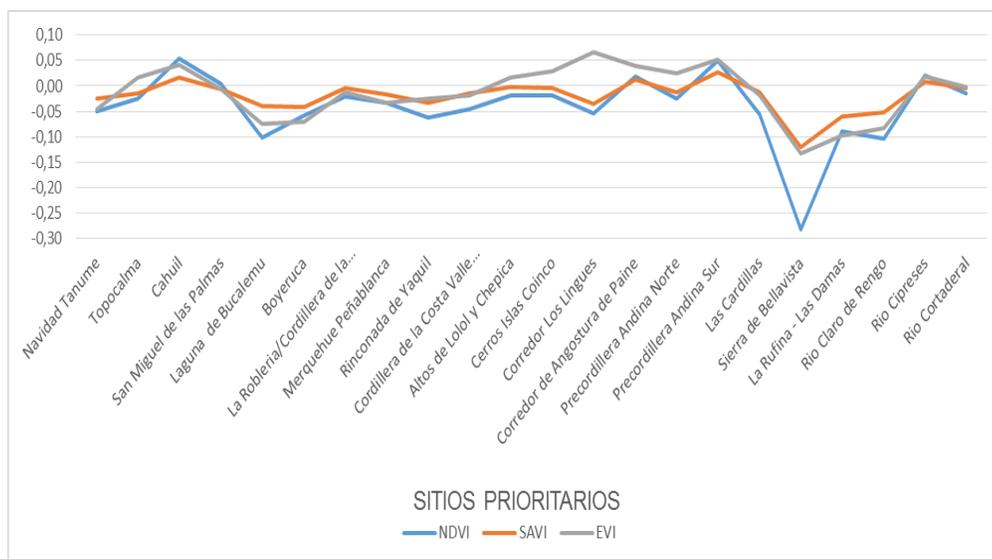


Figura 22. Grafico Diferencias entre temporada 1 y 2 de NDVI, SAVI y EVI.

5.2.2.2. GCI

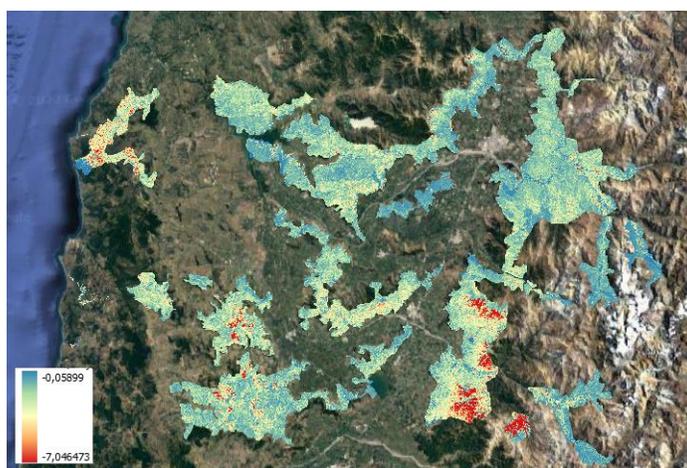


Figura 23. Diferencia entre temporada (T1-T2) de GCI.

Para el Cálculo de la diferencia entre temporadas de GCI el total de los sitios presentan valores negativos, esto se debe a que los valores GCI de la temporada 2 se encuentran

sobre el rango. Por lo que no es posible analizar la presencia de cambios, debido a lo mencionado en el punto 5.1.4.



Figura 24. Gráfico de diferencia entre temporada (T1-T2) de GCI.

5.2.2.3. SIPI



Figura 25. Diferencia entre temporada (T1-T2) de SIPI.

La diferencia entre temporadas para SIPI nos indica que los sitios Laguna de Bucalenu (-0.99), Precordillera Andina Norte (-0.42), Rio Cipreses (-0.38), Navidad Tanumé (-0.15), Topocalma (-0.15), Cáhuil (-0.15), Cerros Islas Coinco (-0.10), Precordillera Andina Sur (-0.10), Altos de Lolol y Chépica (-0.10), Corredor de Angostura de Paine (-0.08), San Miguel de las Palmas (-0.02), y Rio Cortaderal (-0.02), presentan diferencias en al comparar la temporada 1 con la 2. Esta diferencia se debe a que los valores de SIPI son mayores en la temporada 2.

Los demás sitios la Roblería/ Cordillera de la Costa Norte y Cocalán, Merquehue Peñablanca, Cordillera de la Costa del Valle Central, Rinconada de Yáquil, Boyeruca, Rio Claro de Rengo, Corredor los Lingues, Las Cardillas, La Rufina- Las Damas y Sierra de Bellavista se encuentran en un rango de 0.0 y 0.34, lo que nos indica que la vegetación se encuentra sana y no presentaron cambios significativos al comparar las temporadas.



Figura 26. Gráfico diferencia entre temporada (T1-T2) de SIPI.

5.2.3. Promedio de diferencias entre años

5.2.3.1. NDVI, SAVI Y EVI

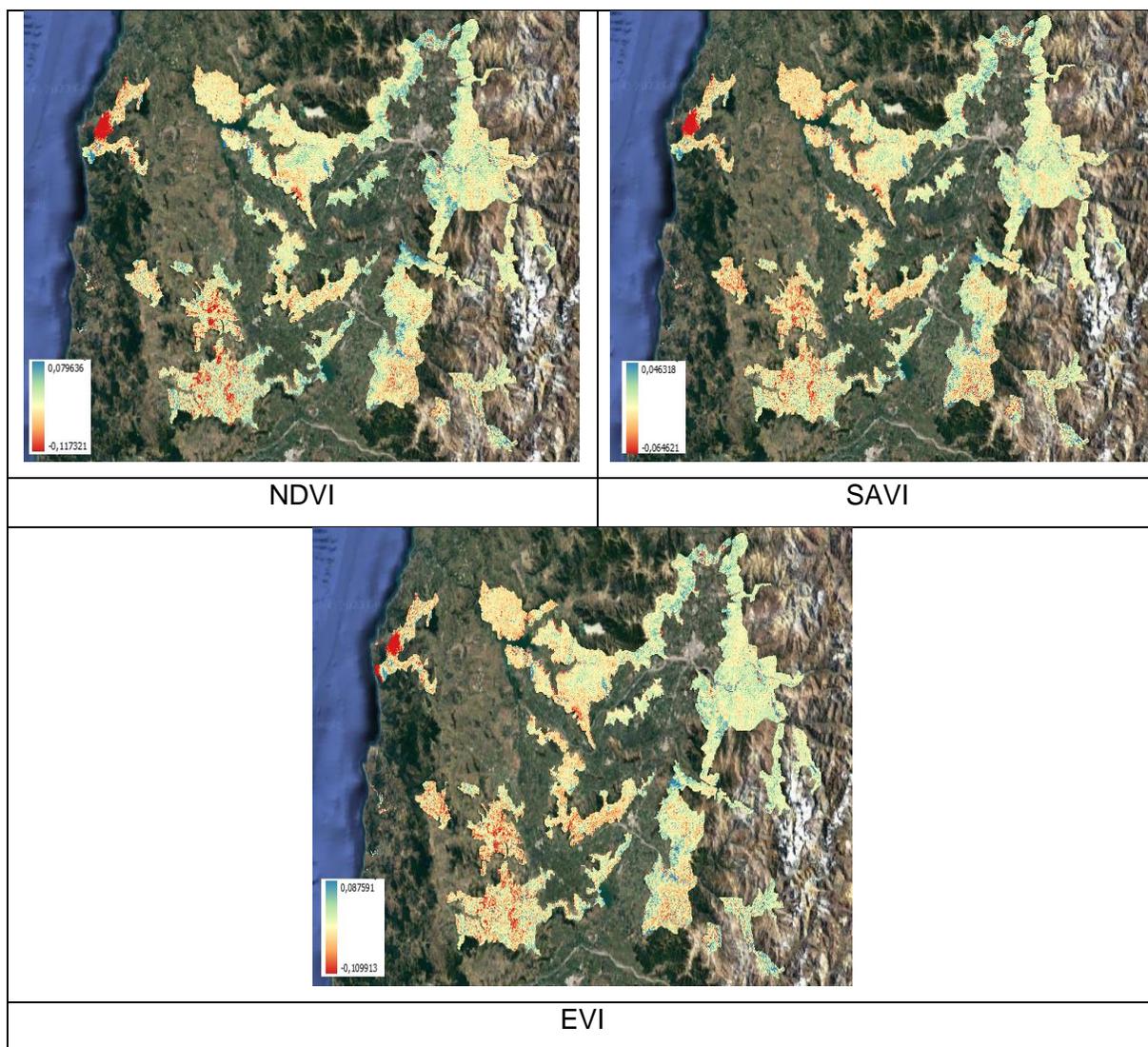


Figura 27. Promedio de diferencias entre años para NDVI, SAVI y EVI.

El promedio de Diferencias para NDVI, SAVI y EVI, evidencia cambios significativos en los índices vegetacionales ubicados en la zona de planicies marinas (Navidad-Tanumé, Topocalma, Cáhuil, Laguna de Bucalemu, y Boyeruca. Los sitios ubicados

en la cordillera de la costa, mantienen una tendencia negativa, y el sitio Corredor Los Lingues ubicado en el Llano Central presenta valores positivos al igual que el sitio La Rufina-Las Damas, Rio Claro de Rengo y Rio Cortaderal ubicados en la Cordillera Andina.

Los valores positivos nos indican que existieron cambios en los años de estudio, por su parte los valores negativos o más cercanos a cero nos indican menores cambios en la cobertura vegetal de esos sitios.

Los sitios Topocalma, Boyeruca y Cerros Islas de Coinco presentan diferencias negativas en los valores de NDVI, SAVI y EVI.

Laguna de Bucalemu, Merquehue Peñablanca, Cerros Islas Coinco, Corredor de Angostura de Paine, Precordillera Andina Norte y Rio Cipreses, presentan valores positivos de NDVI y EVI, pero negativos de SAVI. Caso contrario ocurre con Navidad-Tanumé, Boyeruca, La Roblería/Cordillera de la Costa Norte y Cocalán, Altos de Lolol y Chépica y Las Cardillas, que presentan valores de NDVI y EVI negativos y valores de SAVI positivos.

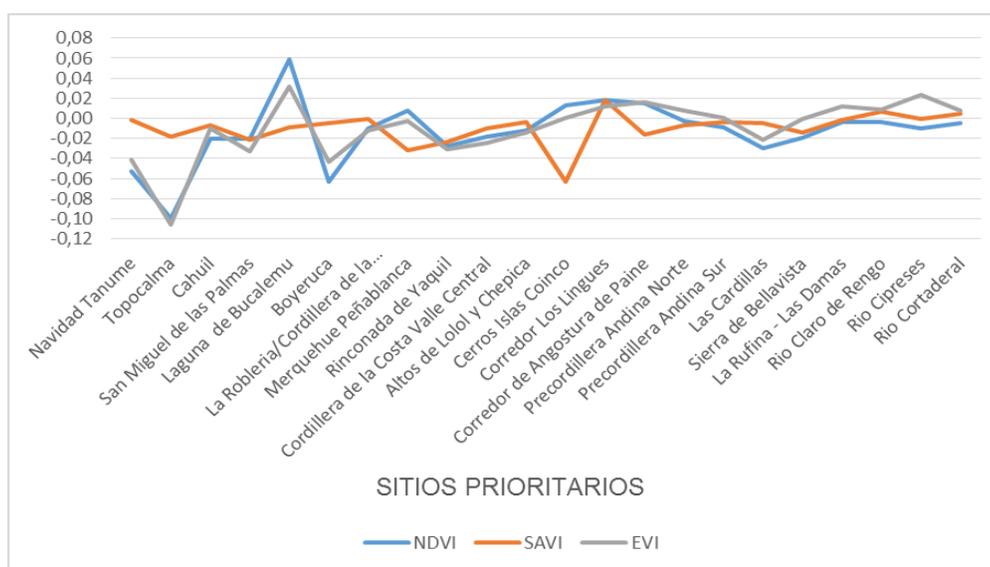


Figura 28. Gráfico promedio de diferencias entre años para NDVI, SAVI y EVI.

Los sitios que presentan los tres índices con valores negativos son: Topocalma, Cáhuil, San Miguel de las Palmas, Rinconada de Yáquil, y Cordillera de la Costa del Valle Central. En estos sitios el rango va de -0.01 a -0.11.

Al analizar el sitio Cordillera de la Costa del Valle Central, es posible observar que esta zona presenta cambios en la cubierta vegetal en los últimos 20 años (Figura 28). Los cambios se encuentran ubicados en las comunas de Pichidegua, Palmilla y San Vicente, donde el cambio de uso del suelo es utilizado para cultivos agrícolas.

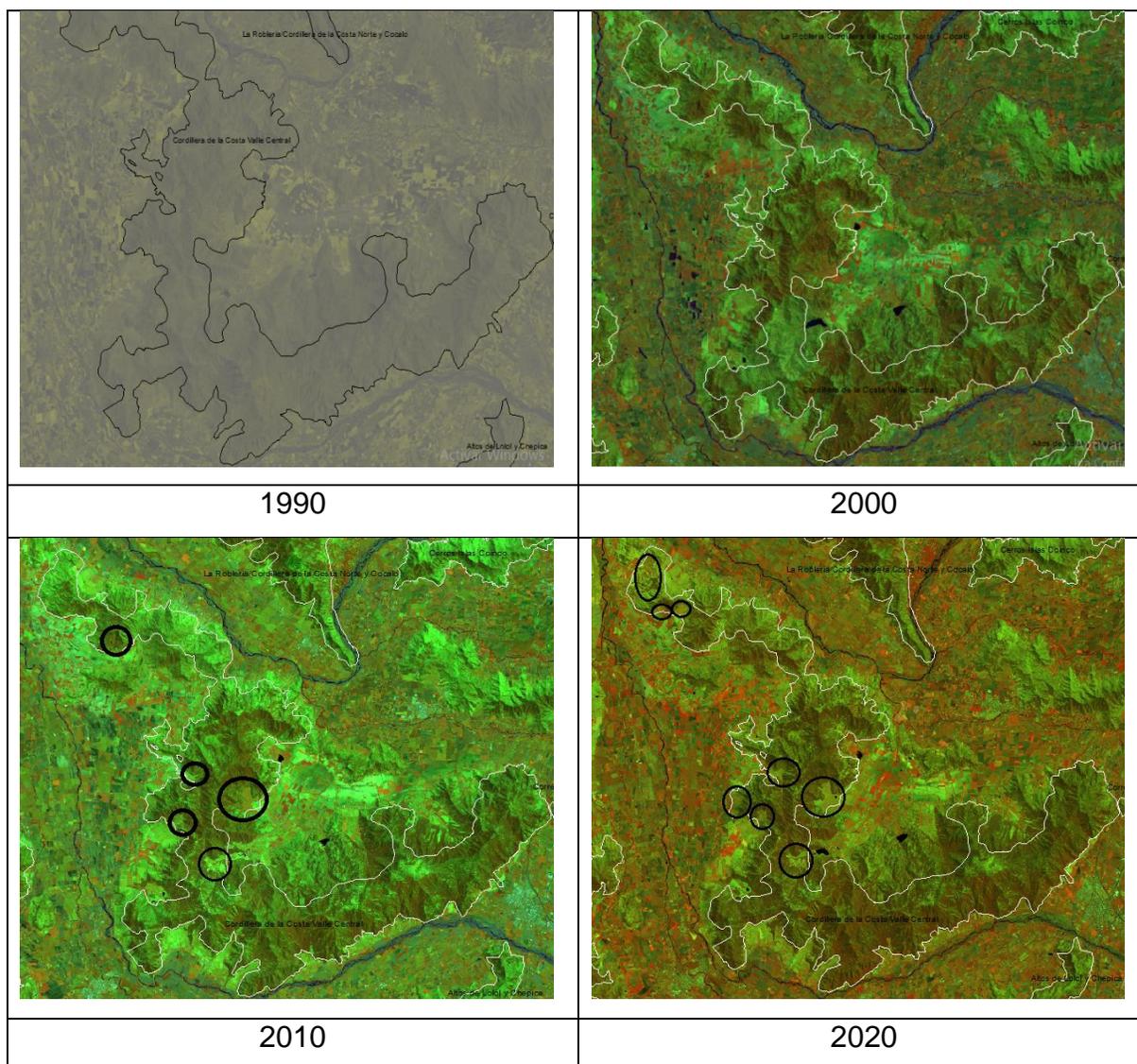


Figura 29. Análisis temporal de Cordillera de la Costa del Valle Central.

Finalmente los sitios Corredor Los Lingues, La Rufina-Las Damas, Rio Claro de Rengo y Rio Cortaderal presentan valores positivos en los tres índices, si bien esto nos indica cambios entre los años de estudio en los últimos tres sitios los cambios son naturales, ya que no se encuentran intervenidos por acción humana.

En la figura 30, se presentan los cambios en la cubierta vegetal del sitio Corredor Los Lingues, en la figura es posible apreciar que desde el año 2010 comenzó a presentar cambios en la cubierta vegetal, y en la actualidad esta zona se encuentra intervenida por cultivos agrícolas.

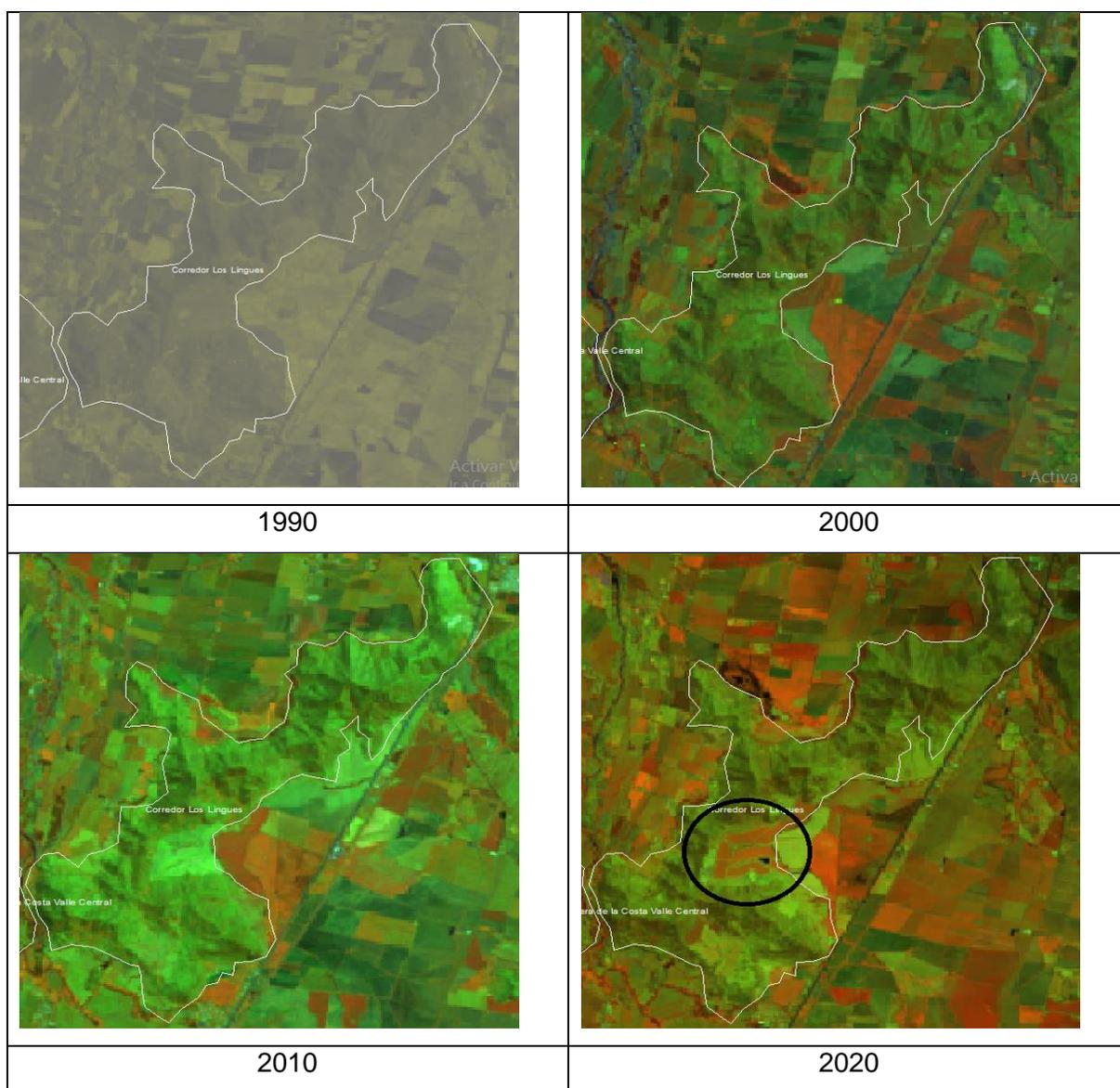


Figura 30. Análisis temporal de sitio Corredor Los Lingues.

5.2.3.2. GCI

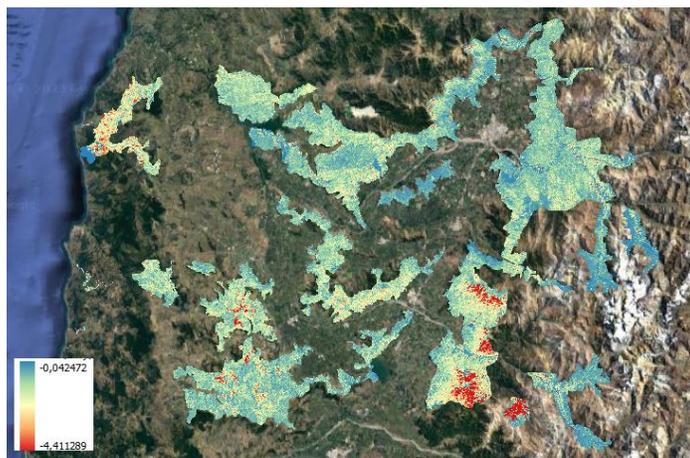


Figura 31. Promedio de diferencias entre años para GCI.

Al igual que en el punto 5.2.2.2 los resultados de GCI no son comparables, debido a los valores que nos entrega el cálculo del año 2020.

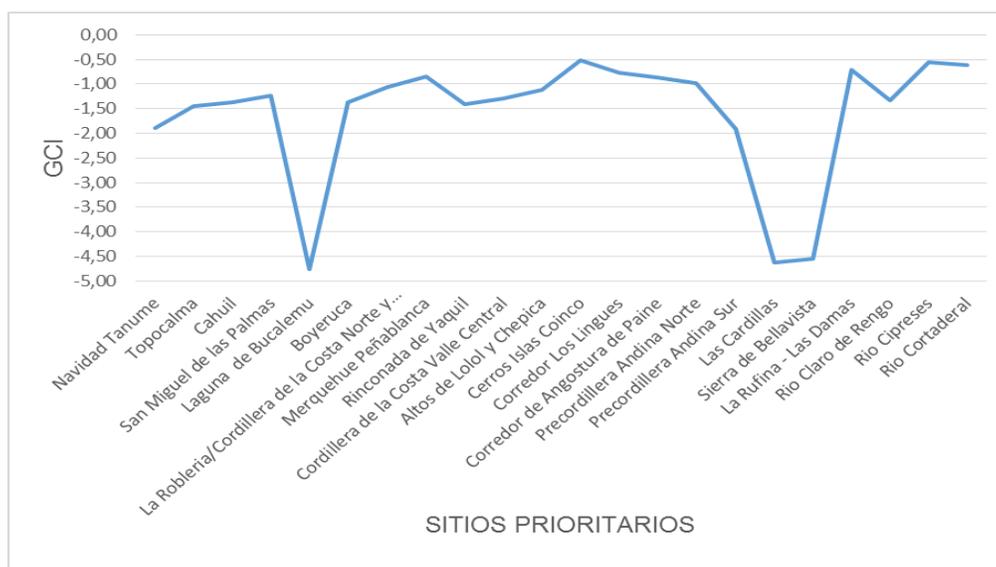


Figura 32. Grafico promedio de diferencias entre años para GCI.

5.2.3.3. SIPI



Figura 33. Promedio de diferencias entre años para SIPI.

En análisis nos muestra que los sitios Navidad-Tanumé y Topocalma presentan los valores de SIPI negativos más extremos (-0.66). Cáhuil, San Miguel de las Palmas, y Boyeruca, presentan valores positivos de GCI. Los sitios presentes en la Cordillera de la Costa, a excepción de Merquehue Peñablanca presentan valores positivos. Y los sitios que se encuentran ubicados en el Llano Central y Cordillera Andina, a excepción de Las Cardillas, presentan valores negativos.



Figura 34. Grafico promedio de diferencias entre años para SIPI.

6. CONCLUSIONES

El análisis multitemporal nos indica que la cobertura vegetal y el uso de suelo en los sitios prioritarios se encuentran expuestos a cambios en el transcurso del tiempo debido al cambio climático, que modifica tanto las precipitaciones como las temperaturas del planeta y también por acción antrópica.

El análisis nos entrega como resultados que no existen cambios en la cubierta vegetal en los sitios prioritarios de primer orden.

Los sitios prioritarios de segundo orden presentan cambios entre temporadas debido a la presión por establecer cultivos forestales, por la disminución de las precipitaciones de la región y también por causa de incendios forestales.

Por otra parte, tenemos que los sitios que presentaron mayores cambios al analizar el promedio de diferencias se encuentran ubicados en la Cordillera Andina y los cambios en La Rufina-Las Damas, Río Claro de Rengo y Río Cortaderal son más bien naturales a diferencia de los cambios en el sitio Corredor Los Lingues y Cordillera de la Costa del Valle Central, donde sí se aprecia cambios en el uso del suelo para cultivos agrícolas.

Para proteger los remanentes de vegetación nativa y reducir la tendencia a la disminución, es importante poner en práctica programas de gobierno que protejan los sitios que solo se encuentran mencionados en la Estrategia Regional de Desarrollo, ya que estas zonas también presentan vegetación nativa y un alto valor ecológico.

7. BIBLIOGRAFÍA

Aguayo, M.; Pauchard, A.; Azócar, G.; Parra, O. 2009. Cambio del uso del suelo en el centro sur de Chile a fines del siglo XX. Entendiendo la dinámica espacial y temporal del paisaje. (en línea). Revista Chilena de Historia Natural 3(82):361-374. Consultado 20 mar. 2022. Disponible en https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0716-078X2009000300004&script=sci_arttext

Alayo, H. 2021. Cobertura vegetal, servicios ecosistémicos hídricos y su relación con la disponibilidad el agua para consumo humano en la zona oriental de Arequipa, ámbito del sistema hidrogeológico oriental – 2021. (en línea). Consultado 26 dic. 2022. Disponible en <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/UPalcahf.pdf>

Altamirano, A. Lara, A. 2010. Deforestación en ecosistemas templados de la Precordillera andina del centro-sur de Chile. Revista Bosque. 31 (1). 53-64. Consultado 17 nov. 2022. Disponible en [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002010000100007#:~:text=El%20bosque%20nativo%20se%20redujo,de%20especies%20ex%C3%B3ticas%20\(27%25\).](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002010000100007#:~:text=El%20bosque%20nativo%20se%20redujo,de%20especies%20ex%C3%B3ticas%20(27%25).)

Arenas, S. Haeger, J. Jordano, D. 2010. Aplicación de técnicas de teledetección y GIS sobre imágenes Quickbird para identificar y mapear individuos de peral silvestre (*Pyrus bourgeana*) en bosque esclerófilo mediterráneo. Revista de Teledetección. 35. 55-71. Consultado 13 nov. 2022. Disponible en http://www.aet.org.es/revistas/revista35/Numero35_07.pdf

BCN. 2020. Clima y Vegetación Región Libertador Bernardo O'Higgins. Consultado 12 oct. 2022. Disponible en <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region6/clima.htm#:~:text=Las%20condiciones%20clim%C3%A1ticas%20y%20morfol%C3%B3gicas,peumos%20el%20que%20sobre%20lo>

s

Borja, C. 2020. Análisis de la variabilidad espacio- temporal del Índice de Vegetación Mejorado (EVI) y su relación con índice atmosféricos globales en el Páramo Ecuatoriano.

(en línea). Consultado 29 de dic. 2022. Disponible en file:///C:/Users/Usuario/Downloads/CD%2010473%20(1).pdf

Bravo, C. Castellanos, A. Alatorre, L. Torres, M. 2013. Tendencias temporales del índice mejorado de la vegetación (EVI) en cinco coberturas naturales del occidente, norte y noroeste de México durante el periodo 2000-2013. (en línea). Consultado 22 dic. Disponible https://www.researchgate.net/profile/Luis-Alatorre/publication/302876920_Tendencias_temporales_del_indice_mejorado_de_la_vegetacion_EVI_en_cinco_coberturas_naturales_del_occidente_norte_y_noroeste_de_Mexico_durante_el_periodo_2000-2013/links/57d0919e08ae0c0081dead89/Tendencias-temporales-del-indice-mejorado-de-la-vegetacion-EVI-en-cinco-coberturas-naturales-del-occidente-norte-y-noroeste-de-Mexico-durante-el-periodo-2000-2013.pdf

Bergh, G.; Promis, A. 2011. Conservación de los bosques nativos de Chile - Un análisis al Informe FAO sobre la evaluación de los recursos forestales nacionales. (en línea). Revista bosque nativo 48:9-11. Consultado 22 sep 2022. Disponible https://www.researchgate.net/profile/Alvaro-Promis/publication/236797180_Conservacion_de_los_bosques_nativos_de_Chile_-_Un_analisis_al_Informe_FAO_sobre_la_Evaluacion_de_los_Recursos_Forestales_Nacionales/links/004635193c2f0a8136000000/Conservacion-de-los-bosques-nativos-de-Chile-Un-analisis-al-Informe-FAO-sobre-la-Evaluacion-de-los-Recursos-Forestales-Nacionales.pdf

Cárdenas, M. 2022. Estudio del comportamiento espectral de variedades de Rye grass (clima templado) por efecto del uso eficiente del agua (dos épocas). (en línea). Consultado 23 dic. 2022. Disponible en <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/27665/4/FAG-CIA-ALVEAR%20MARSHURY.pdf>

Carvacho, L. Sanchez, M. 2010. Comparación de los índices de vegetación a partir de imágenes MODIS en la región del Libertador Bernardo O'Higgins, Chile, en el periodo 2001-2005.(en línea). Tecnologías de Información Geográfica: la información al servicio de los Ciudadanos. Consultado 28 dic. 2022. Disponible en <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/66614/CARVACHO.PDF;jsessionid=1AFEE2C2D0A6B827D5D3CACE92FB7C87?sequence=1&isAllowed=y>

Castaño, S. Mejuto M. Quintanilla, A. Ruiz, J. García-Consuegra, J. 1999. Utilidad del NDVI para el estudio de la dinámica de los Humedales Costeros. O Sapal de Castro Marim (Portugal). Teledetección. Avances y Aplicaciones. (en línea). Consultado 29 dic. 2022. Disponible en <http://www.aet.org.es/congresos/viii/alb6.pdf>

Ceceña, M. González, R. Solís, A. Delgadillo, J. Luna, L. Ortega, A. 2021. Evaluación de los cambios en la cobertura vegetal en Isla Guadalupe mediante índices de vegetación. (en línea). Madera y bosques. 1(27). Consultado 29 dic. 2022. Disponible en https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712021000100116

CIREN. 2011. Sistematización de información para el diagnóstico del estado actual del bosque esclerófilo en Chile- Biblioteca Digital: Informe final. (en línea). Consultado 12 ene. 2023. Disponible en <https://simef.minagri.gob.cl/bibliotecadigital/handle/20.500.12978/24974>

CONAF. 2001. Monitoreo y actualización catastro de uso del suelo y vegetación sexta región. (en línea). Consultado 12 dic. 2023. Disponible en <https://sit.conaf.cl/>

CONAF. 2018. Evaluación de técnicas pasivas y activas para la recuperación del bosque esclerófilo de Chile Central. Santiago. Chile. Consultado 1 may. 2022. Disponible en https://investigacion.conaf.cl/archivos/repositorio_documento/2020/08/Documento-tecnico-Proy-007-2013.pdf

CONAF. 2021. Catastro Vegetacional. (en línea). Consultado 30 dic. 2022. Disponible en <https://www.conaf.cl/nuestros-bosques/bosques-en-chile/catastro-vegetacional/>

CONAMA. 2003. Estrategia nacional de biodiversidad. Consultado 26 sep. 2022. Disponible https://www.conaf.cl/cms/editorweb/GEF-BM/Apendice-7_01-Estrategia_Nacional_Biodiversidad.pdf

CONAMA. 2010. Instructivo Sitios Prioritarios para la Conservación en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Consultado 1 may. 2022. Disponible https://transparencia.sea.gob.cl/2016/10-octubre/Marco_Normativo/Instructivo_103008.pdf

Cruz, P.; Venegas, A. 2005. Propuesta de ordenación para sitios prioritarios de biodiversidad. Consultado 1 may. 2022. Disponible <http://bdrnap.mma.gob.cl/recursos/SINIA/Biblio%20SP-64/389.pdf>

DGAC. 2021. Reporte anual de la evolución del clima en Chile. (en línea). Consultado 29 dic. 2022. Disponible en <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/06/ReporteClimatico2020-edmay2021.pdf>

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. (en línea). Consultado 22 dic. 2022. Disponible en https://eprints.ucm.es/id/eprint/31423/1/TFM_Juan_Diaz_Cervignon.pdf

Durán, L. 2005. Evaluación de la producción y productividad en biomasa aérea de Boldo (*Peumus boldus* Mol.) en un bosque esclerófilo de la comuna de María Pinto, provincia de Melipilla, región Metropolitana. (en línea). Memoria de pregrado Ingeniería Forestal. Chile. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. 65 p. Consultado 11 noviembre 2022. Disponible en https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/10682/INFOR_TES_20.pdf?sequence=1&isAllowed=y

FAO.2011. Situación de los bosques del mundo 2011. (en línea). Consultado 22 sep. 2022. Disponible en <https://www.fao.org/3/I2000s/I2000s.pdf>

Frank, D; Finckh, M. 1997. Impactos de las plantaciones de pino Oregón sobre la vegetación y el suelo en la zona centro-sur de Chile. (en línea). Revista Chilena de Historia Natural (70): 191-211. Consultado 20 mar. 2022. Disponible en http://rchn.biologiachile.cl/pdfs/1997/2/Frank_&_Finckh_1997.pdf

Garfias, R.; Castillo, M.; Ruiz, F.; Vita, A.; Bown, H.; Navarro, R. 2018. Remanentes del bosque esclerófilo en la zona mediterránea de Chile central: caracterización y distribución de fragmentos. Interciencia 43(9):655-663. Consultado 20 ago 2022. Disponible en <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2018/09/655-GARFIAS-43-09.pdf>

Gilabert, M. González, J. García, J. 1997. Acerca de los índices de Vegetación. (en línea) Revista de teledetección. 8:1-10. Consultado 29 dic. 2022. Disponible en http://www.aet.org.es/revistas/revista8/AET8_4.pdf

Gonzaga, C. 2014. 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. (en línea). Consultado 22 dic. 2022. Disponible en http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/34487/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Jorquera, C.; Vega, A.; Aburto, J.; Martínez, K.; León, M.; Pérez, M.; Gaymer, C.; Squeo, F. 2012. Conservación de la biodiversidad en Chile: Nuevos desafíos y oportunidades en ecosistemas terrestres y marino costeros. (en línea). Revista Chilena de Historia Natural 3(85):267-280. Consultado 20 mar. 2022. Disponible en https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0716-078X2012000300002&script=sci_arttext&tlng=en

López, A. Martínez, M. Fernández, D. 2015. Priorización de áreas de intervención mediante análisis morfométrico e índice de vegetación. (en línea). *Tecnol. Cienc. Agua.* 1 (6): 121-137. Consultado 28 dic. 2022. Disponible en https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222015000100007

Lizana, C. Gutiérrez, A. 2019. Sitios prioritarios para la recuperación de bosque nativo intervenido en la Región de Los Ríos, Chile. *Revista de investigaciones geográficas.* (en línea). 4-17. Consultado 12 nov. 2022. Disponible en <https://investigacionesgeograficas.uchile.cl/index.php/IG/article/view/51052/56752>

Manzur, M. 2005. Situación de la Biodiversidad en Chile: Desafíos para la Sustentabilidad. Consultado 26 ago 2022. Disponible en <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/31694>

Manzur, M. 2020. Sitios Prioritarios Proyecto SBAP. Consultado 26 ago 2022. Disponible en https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmID=214971&prmTipo=DOCUMENTO_COMISION

Martínez, R. 2014. Análisis de especies vegetales representativas del Páramo de Chingaza mediante espectroradiometría de campo. (en línea). Consultado 23 de dic. 2022. Disponible en <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/1742/T052%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Mehl, H. Peinado, O. 1997. Fundamentos del procesamiento digital de imágenes. (en línea). Consultado 12 dic. 2022. Disponible en file:///C:/Users/Usuario/Downloads/silo.tips_fundamentos-del-procesamiento-digital-de-imagenes.pdf

Meneses, C. 2011. NDVI as indicator of degradation. (en línea). Consultado 28 dic. 2022. Disponible en <https://www.fao.org/3/i2560e/i2560e07.pdf>.

Merg, C. Petri, D. Bodoira, F. Nini, M. Fernández, M. Schmidt, F. Montalva, R. Guzmán, L. Rodríguez, K. Blanco, F. Selzer, F. 2011. Mapas digitales regionales de lluvias, índice estandarizado de precipitación e índice verde. (en línea). Consultado 28 dic. 2022. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3788351>

Miranda, A.; Altamirano, A.; Cayuela, L.; Lara, A.; González, M. 2016. Native forest loss in the Chilean Biodiversity Hotspot: revealing the evidence. Reg. Environ. Change (en línea). Consultado 25 ago 2022. Disponible en <https://www.forestal.uach.cl/manejador/resources/mirandaetal2016nativeforestlosschile.pdf>

MMA. 2017. Estrategia Nacional de Biodiversidad. Consultado 10 sep. 2022. Disponible en https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/03/Estrategia_Nac_Biodiv_2017_30.pdf

MMA. 2020. Noticia: Topocalma pronto formará parte de un nuevo santuario de la Naturaleza en la región de O'Higgins. Consultado 10 sep. 2022. Disponible en <https://mma.gob.cl/laguna-topocalma-pronto-formara-parte-de-un-nuevo-santuario-de-la-naturaleza-en-la-region-de-ohiggins/>

MMA. 2022. Estrategia Nacional de Biodiversidad 2003. Consultado 10 sep. 2022. Disponible en <https://biodiversidad.mma.gob.cl/enb-2003/#:~:text=La%20Estrategia%20tuvo%20como%20%C3%A9nfasis,los%20ecosistemas%20en%20nuestro%20pa%C3%ADs.>

Montenegro, C.; Strada, M.; Bono, J.; Gasparri, N.; Manghi, E.; Parmuchi, G.; Brouwer, M. 2005. Estimación de la pérdida de superficie de bosque nativo y tasa de deforestación en el norte de argentina. Consultado 12 sep. 2022. Disponible en

https://www.researchgate.net/publication/323548055_Estimacion_de_la_perdida_de_su_perficie_de_bosque_nativo_y_tasa_de_deforestacion_en_el_norte_de_argentina

Moreno-Chacón, M.; Mardones, D.; Viveros, N.; Madriaza, K. Carrasco-Urra, F. Marticorena, A.; Baeza, C.; Rodríguez, R.; Saldaña, A. 2018. Flora vascular de un remanente de bosque esclerófilo mediterráneo costero: Estación de Biología Terrestre de Hualpén, Región del Biobío, Chile. (en línea). Gayana Bot. 75(1):466-481. Consultado 10 sep. 2022. Disponible en <https://scielo.conicyt.cl/pdf/gbot/v75n1/0717-6643-gbot-75-01-00466.pdf>

Muñoz, P. 2013. Apuntes de Teledetección: Índices de vegetación. (en línea). Consultado 28 dic. 2022. Disponible en <https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/26389/Tema%20Indices%20de%20vegetaci%C3%B3n%2C%20Pedro%20Mu%C3%B1oz%20A.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ODEPA. 2018. Región del Libertador Bernardo O'Higgins. Información regional 2018. Disponible <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2018/03/OHiggins.pdf>

Otavo, S.; Echeverría, C. 2017. Fragmentación progresiva y pérdida de hábitat de bosques naturales en uno de los hotspot mundiales de biodiversidad. Revista Mexicana de Biodiversidad 88(4):924-935. Consultado 28 agosto 2022. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1870345317302191>

Ordoñez, A. Serna, J. 2015. Análisis superficial y multitemporal de imágenes Landsat 7 ETM+ y Landsat 8 OLI en el proyecto carbonífero la luna entre los años 2001 y 2015. (en línea). Consultado 05 dic. 2022. Disponible en <https://ridum.umanizales.edu.co/bitstream/handle/20.500.12746/2523/ANALIS%c3%8cS%20SUPERFICIAL%20Y%20%20MULTITEMPORAL%20DE%20IM%c3%81GENES%20LANDSAT%207%20ETM%2b%20Y%20LANDSAT%208%20OLI%20TIRS%20FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Pacheco, C.; Aguado, I.; Mollicone, D. 2011. Las causas de la deforestación en Venezuela: un estudio retrospectivo. *BioLlania Edición Esp.* 10:281-292. Consultado 22 sep 2022. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/269037920> Las causas de la deforestacion en Venezuela un estudio retrospectivo.

Palma, K. 2020. Evaluación del estado del humedal Pugllohuma perteneciente al área de conservación hídrica Antisan (ACHA), mediante el análisis de índices espectrales de imágenes capturadas desde una aeronave no tripulada (UAV). (en línea). Consultado 23 dic. 2022. Disponible en <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/21131/1/CD%2010645.pdf>

Parra, C. 2016. Valorización de servicios ecosistémicos del bosque esclerófilo, por comunidades campesinas, en la región de Valparaíso. (en línea). Tesis Magíster en Áreas Silvestres y Conservación de la Naturaleza. Chile. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza. 100 p. Consultado 28 agosto 2022. Disponible en <http://mascn.forestaluchile.cl/wp-content/uploads/2017/01/Catalina-Parra.pdf>

Paula, P. Zambrano, L. Paula, P. 2018. Análisis multitemporal de los cambios de la vegetación, en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo como consecuencia del cambio climático. (en línea). *Enfoque UTE.* 2 (9): 125-137. Consultado 28 dic. 2022. Disponible en http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S1390-65422018000200125&script=sci_arttext#t1

Romero, H. Ordenes, F. 2004. El impacto de la Forestación y la necesidad de la Evaluación Ambiental Estratégica en el desarrollo Territorial del sur de Chile: El caso de Collipulli. (en línea). Consultado 15 nov. 2022. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/118054>

SAG. 2014. Reseña de la vegetación de Chile. (en línea). Consultado 09 nov. 2022. Disponible en https://www.sag.cl/sites/default/files/la_flora_de_chile_continental_5f_junio_2014_final_2.pdf

Sala, O. Stuart F. Armesto, J. Berlow, E. Bloomfield, J. Dirzo, R. Huber-Sanwald, E. Huenneke, I. Jackson, R. Kinzing, A. Leemans, R. Lodge, D. Mooney, H. Oesterheld, M. Leroy, N. Sykes, M. Walker, B. Walker, M. Wall, D. 2000. Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. Science's Compass. (en línea). Consultado 22 sep. 2022. Disponible en <https://jornada.nmsu.edu/files/bibliography/JRN00301.pdf>

Sánchez, M.; Carvacho, L. 2013. Aproximación a la determinación del déficit hídrico en la región del Libertador General Bernardo O'Higgins, Chile, a partir de imágenes MODIS y datos meteorológicos. (en línea). Revista de Geografía Norte Grande. 55: 109-124. Consultado 15 sep 2022. Disponible <https://www.scielo.cl/pdf/rgeong/n55/art08.pdf>

SBAP (Proyecto de Ley Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas). 2019. (en línea). Consultado 28 sep. 2022. Disponible en <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/09/PL-SBAP-Aprobado-en-Senado-1.pdf>

SEA. 2010. Instructivo "Sitios prioritarios para la conservación en el sistema de evaluación de impacto ambiental". Consultado 20 ago 2022. Disponible en <https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/26048/HUM2-0134.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Serey, I.; Smith-Ramírez, C.; De La Barrera, F.; Moraga, S.; Ricci, M.; Lobos, P.; González, T. 2007. Sitios Prioritarios de la Región de O'Higgins. En Serey et al. (eds). Libro rojo de la región de O'Higgins: prospección del estado de conservación de la flora y fauna nativa de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins (p. 123-137), Conaf-Universidad de Chile. Consultado 25 sep 2022. Disponible en <https://www.researchgate.net/profile/Cecilia-Smith->

Ramirez/publication/322083760_Libro_Rojo_de_la_Region_del_Libertador_Bernardo_OHiggins/links/5a67bc7f0f7e9b76ea8f0926/Libro-Rojo-de-la-Region-del-Libertador-Bernardo-O-Higgins.pdf

SIMBIO, 2022. Sitio Prioritario (Ley 19.300 art. 11, Letra d) "Topocalma". (en línea). Consultado 25 nov. 2022. Disponible en <https://simbio.mma.gob.cl/AreaProtegida/VistaImpresion/1388>

Squeo, F.; Letelier, L.; Estevez, R.; Lohengrin, C.; Mihoc, M.; López, D.; Arancio, G. 2008. Definición de los sitios prioritarios para a conservación de la flora nativa de la región de Atacama. (en línea). En Squeo et al. (eds), Libro Rojo de la Flora Nativa y de los sitios prioritarios para su conservación: Región de Atacama. p. 137-163. Consultado 22 sep 2022. Disponible en http://www.observatoriocaldera.cl/territorio/590/articles-64768_documento.pdf

Skewes, J. Trujillo, F. Riquelme, W. Catalán, E. 2018. La apicultura y la conservación socialmente inclusiva del bosque esclerófilo y templado en Chile. Revista Iberoamericana de Viticultura, Agroindustria y Ruralidad. (en línea). 5 (14). 128-148. Consulta 05 nov. 2022. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=469554838015>

Tello. 2004. Avifauna de cuatro lagunas costeras de la VI Región. Consultado 26 sep. 2022. Disponible en <http://bdrnap.mma.gob.cl/recursos/SINIA/Biblio%20SP-338/190.pdf>

Velásquez, A.; Bocco, G.; Siebe, C. 2014. Cambio de uso del suelo. Consultado 22 sep 2022. Disponible https://www.researchgate.net/profile/Alejandro-Velazquez-9/publication/263342417_Cambio_de_uso_del_suelo/links/54e371780cf2b2314f5d22f4/Cambio-de-uso-del-suelo.pdf

Villalta, D. Yumbay, P. 2020. Determinación de la influencia del cambio de uso de suelo en la calidad ambiental de las zonas alta, media y baja en las microcuencas de los ríos

Guallicanga y San Antonio del Cantón Cañar y El Tambo, 1990-2018. (en línea). Consultado 08 dic. 2022. Disponible en <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/UPS-CT008727.pdf>

Vitousek, P. Mooney, H. Lubchenco, J. Melillo, J. 1997. Human Domination of Earth's Ecosystems. (en línea). Science, New Series. 5325 (277): 494-499. Consultado 20 oct. 2022. Disponible en https://zhiyuan.sjtu.edu.cn/file/course/20150313113711_Hu_Seminar2_Vitousek.pdf