



COINTER PDVAgro 2020

V CONGRESSO INTERNACIONAL DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS

Edição 100% virtual | 02 a 05 de dezembro

ISSN:2526-7701 | PREFIXO DOI:10.31692/2526-7701

ANÁLISE DE IMAGENS MULTISPECTRAIS PARA VERIFICAR A CONCORDÂNCIA ENTRE DIREITO DE USO DE ÁGUA E CONSUMO DE CULTURAS AGRÍCOLAS

ANÁLISIS DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES PARA VERIFICAR LA CONCORDANCIA ENTRE DERECHO DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS Y CONSUMO DE CULTIVOS

ANALYSIS OF MULTISPECTRAL IMAGES TO VERIFY THE CONCORDANCE BETWEEN WATER RIGHTS AND CROP WATER REQUIREMENTS

Apresentação: Comunicação Oral

Kevin Sepúlveda Lazo¹; Paula Gómez Quiroz²; Andrés Honeyman Lucchini³

DOI: <https://doi.org/10.31692/2526-7701.VCOINTERPDVAgro.0703>

RESUMO

O sensoriamento remoto é uma ferramenta que se tornou muito importante em todos os tipos de áreas. Consiste principalmente na recepção de informações à distância. A área agrícola e os recursos naturais não estão isentos dessa ferramenta, que tem sido uma importante forma de gerenciamento de informações, além de facilitar a tomada de decisões. No Chile, a Direção Geral de Águas (DGA) procede à fiscalização dos direitos de uso da água (DAA) que concede, e exige uma modernização dos seus métodos de gestão dos recursos hídricos. Para isso, foi utilizado o sensoriamento remoto por meio da análise de imagens multiespectrais e da utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), buscando uma concordância entre o DAA de um produtor e a área de vegetação vigorosa que ele possui. Foi realizado na província de Chacabuco, pertencente à Região Metropolitana de Santiago, Chile, a partir de imagens do satélite Sentinel-2 e do software Quantum GIS, através dos quais foram gerados índices de vegetação e geoprocessamento que permitiram estimar a necessidade de água de os cultivos. Adicionalmente, utilizando material disponibilizado pelo DGA, foram pesquisadas áreas de interesse, as quais foram trabalhadas de forma a relacionar variáveis como área de vegetação vigorosa, cultivo, papel da propriedade e DAA, e assim verificar se constitui foco de interesse de fiscalização.

Foi constatado um total de vinte e sete áreas com saldo negativo que merecem uma revisão mais exaustiva da DGA. Esses resultados foram obtidos considerando uma série de limitações, principalmente voltadas ao uso de informações secundárias. Por fim, foi recomendado o uso das informações mais atualizadas, bem como imagens de satélite pagas para melhor resolução e precisão nas informações coletadas. O investimento em metodologias de sensoriamento remoto na gestão e fiscalização de recursos naturais permitiria um amplo leque de possibilidades que otimizariam o trabalho da DGA.

Palavras-Chave: Demanda de água, sensoriamento remoto, índice de vegetação, vigor, fiscalização.

RESUMEN

¹ Seminario de Título, Instituto Profesional INACAP, kevin.sepulveda03@inacpmail.cl

² Seminario de Título, Instituto Profesional INACAP, paula.gomez08@inacpmail.cl

³ Ing. Agrónomo MSc., Pontificia Universidad Católica de Chile, andres.honeyman@inacpmail.cl



ANÁLISE DE IMAGENS MULTISPECTRAIS

La teledetección o percepción remota es una herramienta que ha tomado gran relevancia en todo tipo de rubros. Consta fundamentalmente en la recolección de información a distancia. El área agrícola y los recursos naturales no quedan exentos de esta herramienta, y ha sido una importante forma de gestionar información, así como facilitar la toma de decisiones. En Chile, la Dirección General de Aguas (DGA), realiza la fiscalización de los derechos de aprovechamiento de aguas (DAA) que otorga, y requiere una modernización en sus métodos de gestión del recurso hídrico. Para esto, se utilizó la teledetección a través del análisis de imágenes multiespectrales y uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), buscando concordancia entre los DAA de un productor y el área de vegetación vigorosa que posee, y visualizar áreas mediante balances hídricos. Lo anterior se realizó en la provincia de Chacabuco, perteneciente a la Región Metropolitana de Santiago, Chile, utilizando imágenes del satélite Sentinel-2 y el software Quantum GIS, mediante el cual se generaron índices vegetacionales y geoprocursos que permitieron la estimación del requerimiento hídrico de los cultivos. Adicionalmente, utilizando material dispuesto por la DGA se buscaron zonas de interés, las cuales se trabajaron con el objetivo de relacionar variables tales como área de vegetación vigorosa, cultivo, rol predial y DAA, y verificar de esta manera si constituye un foco de interés fiscalizador.

Se encontró un total de veintisiete áreas con balance negativo que ameritan una revisión más exhaustiva por parte de la DGA. Estos resultados se obtuvieron considerando una serie de limitaciones, principalmente orientadas al uso de información secundaria. Finalmente, se recomendó el uso de información más actualizada, así como imágenes satelitales de pago para una mejor resolución y precisión en la información recabada. La inversión en metodologías de teledetección en el manejo y fiscalización de recursos naturales permitiría una amplia gama de posibilidades que optimizaría el trabajo por parte de la DGA.

Palabras claves: Demanda hídrica, teledetección, índice vegetacional, vigor, fiscalización.

ABSTRACT

Remote sensing is a tool that has taken great relevance in all types of areas. It mainly consists of receiving information at distance. The agricultural and natural resources areas are not exempt from the use of this tool, and it has been an important way of managing resources, as well as facilitating decision making. In Chile, the Dirección General de Aguas (DGA) oversees the control of the water rights (DAA) that it grants and requires a modernization in its methods of water resource management. For this reason, remote sensing was used through the analysis of multispectral images and Geographic Information Systems (SIG), seeking for a concordance between the DAA of a producer and vigorous vegetation surface that it possesses. This was done in the province of Chacabuco, belonging to the Metropolitan Region of Santiago (Chile) using images from the Sentinel-2 satellite and Quantum GIS software, which allowed to generate a Vegetation Index and work through geoprocesses that permitted the estimation of the crops water requirement. Additionally, using materials provided by the DGA, hotspots were searched, which were worked in order to match variables such as vigorous vegetation area, crop, property role and DAA, and thus verify in this way if it constitutes an area of supervisory interest.

A total of twenty-seven areas with negative hydric balance were found that merit a review by the DGA. These results were obtained considering a series of limitations, mainly oriented to the use of secondary information. Finally, the use of more up-to-date information was recommended, as well as paid satellite images for better resolution and accuracy in the collected information. The investment in remote sensing methodologies in the management and control of natural resources would allow a wide range of possibilities that would optimize the work by the DGA.

Keywords: Remote sensing, water requirements, vegetation index, vigorousness, inspection.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el planeta se encuentra en una gran crisis medioambiental, siendo uno de los mayores retos que la humanidad ha tenido que enfrentar. El aumento de la población humana, la industrialización, y el uso indiscriminado de recursos no renovables ha causado estragos en el equilibrio natural ambiental.

Los efectos del Cambio Climático y la sobreexplotación de las fuentes de agua no solo causan la escasez hídrica que presentan algunas áreas de Chile, sino también están dañando nuestros ecosistemas hídricos que son importantes proveedores del recurso (Escenarios Hídricos 2030, s.f). De este modo, y con el paso de los años, la escasez de agua comienza a notarse de sobremanera principalmente en regiones de la zona centro-norte del país.

Según Escenarios Hídricos 2030 (s.f), las principales causas de la escasez hídrica son la falta de transparencia del mercado del agua a nivel de cuenca, limitada fiscalización a los usuarios, desconocimiento e insuficiente fiscalización de extracciones ilegales de agua, crecimiento de actividades productivas, sobre otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas (DAA), entre otros.

En función de lo previamente expuesto, y bajo el contexto de una crisis climática y una escasez de agua en el país, dando énfasis a Chacabuco, provincia de la Región Metropolitana de Santiago, y utilizando Sistemas de Información Geográfica (imágenes multiespectrales), DAA, cultivo, roles y delimitación geográfica, se buscará proponer un método de comprobación o verificación en el uso del recurso hídrico, buscando coincidencia entre los derechos otorgados y lo utilizado para riego de cultivos, con el fin de optimizar la labor de fiscalización por parte de la Dirección General de Aguas, organismo responsable de la administración y gestión de este recurso.

Como objetivo general, se busca verificar que los derechos de aprovechamiento de aguas de los productores de la provincia de Chacabuco concuerdan con el consumo del cultivo establecido a través de una puesta en contraste de estos mediante el análisis de imágenes multiespectrales en software SIG.

Entre los objetivos específicos está analizar el área de vegetación vigorosa utilizando índices vegetacionales en la provincia de Chacabuco; identificar las fuentes de agua mediante las cuales los usuarios de DAA obtienen el recurso; clasificar las áreas vigorosas dentro de la provincia e integrar información agronómica de demanda hídrica de cultivos; construir un mapa de balance hídrico tipo “semáforo” para identificar zonas de interés fiscalizador uniendo información de rol predial, DAA, área de vegetación vigorosa y cultivo asociado. Finalmente, reconocer situaciones que ameritan una visita a terreno o un análisis más exhaustivo para fiscalización producto de una clara discordancia en los factores a analizar.

Con el trabajo realizado, se busca contribuir a la optimización en las metodologías actuales de fiscalización por parte de la DGA integrando tecnologías SIG, herramientas que han tomado fuerza recientemente en la gestión de los recursos hídricos.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1. Organismos involucrados y marco legal en el uso de recursos hídricos

La administración y gestión de los recursos hídricos en Chile está bajo el cargo de la Dirección General de Aguas (DGA), organismo estatal que pertenece al Ministerio de Obras Públicas (MOP), el cual se encarga de promover la gestión y administración del recurso hídrico en un marco de sustentabilidad, interés público y asignación eficiente. (DGA, s.f)

A la fecha, la DGA pone a disposición información correspondiente a los derechos concedidos por región, que comprenden información tal como el nombre de solicitante, naturaleza del agua, tipo de derecho, uso del agua, caudal, ubicación mediante coordenadas (UTM) de captación y restitución (en caso de existir).

Para el caso de la información geográfica nacional, existen diferentes instituciones que la proporcionan como bases de datos catastrales de los predios. Una de esas instituciones es el Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN), institución con personalidad jurídica y de derecho privado que ha proporcionado información sobre los recursos naturales y productivos del país, mediante el uso de tecnologías y aplicaciones geoespaciales. Contienen las bases de datos más importante relacionada a información georreferenciada de suelos, recursos hídricos, climas, información frutícola y forestal que existen en Chile, además de un catastro de la propiedad rural.

En cuanto al marco legal, en relación con el artículo 140 del Código de Aguas, donde se establece que la demanda de agua para riego, para el caso de fuentes superficiales, el valor es de 2,5 l/s/ha, y para fuentes subterráneas, el valor promedio anual de la demanda es de 15.000 m³/año/ha (Decreto 743, 2005), valores que estiman una ocupación anual completa del recurso hídrico, lo que no siempre es así, según los cultivos específicos de cada regante.

2. Percepción remota y SIG

Se entiende por teledetección a un proceso o sucesión que permite obtener información de un objeto, como por ejemplo cultivos, lagunas y áreas urbanas a distancia. Este término permite entender cómo los objetos o diferentes fenómenos son detectados, registrados, almacenados, y procesados por un sistema sensor (Fallas, 2004). Las aplicaciones de teledetección tienen como objetivo que dicho sensor obtenga datos que luego puedan interpretarse permitiendo obtener una información (ej. áreas, perímetros, relieves, vigor vegetacional, etc.). Esta interacción tiene trasfondo (radiación electromagnética y materiales de la superficie terrestre) en que cada material tiene naturalmente una respuesta espectral propia, la cual se denomina “Signatura Espectral” o “Firma Espectral”.

Entre la amplia gama de satélites orbitando el globo, se encuentra uno de particular interés, este es el Sentinel-2. Entre las principales características de este satélite se describen la disposición de imágenes multispectrales (13 bandas en el Espectro visible, en el infrarrojo cercano e infrarrojos de onda corta); resolución espacial de 10x10 metros, es decir, de 100m² (banda 2, 3, 4 y 8); amplio campo de visión de 290 km, y su política de datos libres y apertura a cualquier usuario que desee utilizarlo.

Los SIG, por su parte, definido por Moreira (1996) como el proceso de obtención, almacenamiento y análisis de datos con ubicación geográfica, que permite generar información útil para la toma de decisiones, interpretan esta información según las necesidades del usuario, quienes utilizan los datos referenciados con respecto a coordenadas espaciales o geográficas. Uno de los principales usos que se da a las bandas espectrales, es la combinación de estas a través de operaciones que se realizan en un SIG, para la cual se necesitan al menos dos bandas, con el fin de generar una nueva imagen con mayor información y contenido interpretativo de la que inicialmente contaban.

Algunos ejemplos de cómo se trabaja con bandas son por ejemplo, índices vegetacionales obtenidos mediante una operación en un SIG, como lo son NDVI o NDRE. Otras funciones que se pueden describir son las de generar imágenes RGB (Red, Green, Blue), y de “falso color”.

En un marco de estudio de la vegetación, el NDVI, por sus siglas en inglés para “Normalized Difference Vegetation Index”, es fundamental. Para el análisis del verdor en una imagen satelital, se utiliza este índice para medir la relación entre la energía absorbida y emitida por los objetos terrestres (Meneses-Tovar, 2011). Otros índices utilizan el NDVI como parte del cálculo realizado en el SIG, no obstante, se corrige en función de diversos propósitos. Uno de estos es el SAVI, por sus siglas en inglés para “Soil Adjusted Vegetation Index”, el cual incorpora una constante de suelo, la que se usa de acuerdo con vegetación de baja, intermedia o alta densidad. Considera la influencia de la luz y del suelo oscuro en el índice. (Muñoz P., 2013).

3. Requerimiento hídrico de cultivos

Para conocer los requerimientos hídricos de cada cultivo, es necesario conocer algunos factores tales como Evapotranspiración de referencia (E_{to}), Coeficiente de cultivo (K_c), lo que permite calcular la Evapotranspiración de cultivo (E_c). Estos valores están definidos por variables climáticas, cultivo, y estado fenológico de este. (FAO, 2006)

4. Aplicación de SIG para estimar consumo hídrico de cultivos

En España se desarrolló una iniciativa de estudio que utilizaba los valores de derechos de aprovechamiento de aguas, cultivos y demanda hídrica de estos. Entre los principales objetivos que se perseguían se cuentan el uso de una herramienta llamada HidroMap para realizar un monitoreo efectivo y vincular la información satelital obtenida del Sentinel-2B con catastros e información agronómica. La herramienta previamente mencionada, de acuerdo con (Piedelobo, y otros, 2018), permite monitorear zonas de irrigación, gestionar predios de riego no regularizado, y optimizar la supervisión de recursos fluviales mediante imágenes satelitales.

METODOLOGIA

1. Zona de Estudio

1.1 Ubicación

La zona en la cual se realizó el estudio es la provincia de Chacabuco, ubicada al norte de la Región Metropolitana de Santiago, Chile, y está formada por las comunas de Colina, Lampa y Til-Til. Entre las características hidrográficas, se pueden encontrar el Estero Lampa, Til-Til, Chacabuco, Río Colina, entre otros.

1.2 Climatología

Se obtuvieron los datos de climatología de la región metropolitana mediante el Explorador de Cuencas Hidrográficas CAMELS-CL, que integra información física e hidrometeorológica de cuencas de todo Chile. A través de este explorador, se recopiló la información de evapotranspiración (Eto) en la zona de manera anual y se utilizó este dato para toda la provincia.

1.3 Cultivos presentes

Mediante los catastros frutícolas obtenidos de la plataforma IDE CHILE, dispuestos por CIREN, se pudo constatar algunos de los cultivos establecidos en la zona en el año 2016, ya que es la última actualización disponible. Por medio de esta información, se estableció un coeficiente propio para cada cultivo promedio (K_c) de acuerdo con datos de la FAO, utilizando los valores asociados al K_{cini} , K_{cmed} , y K_{cfin} , y asumiendo que no hay cobertura de suelo y sin heladas (cultivos sin estrés y en óptimas condiciones).

2. Manejo de imágenes satelitales y procesamiento de bandas espectrales

Se extrajo una imagen multispectral del servidor EarthExplorer del USGS, la cual tiene fecha de captura del día 28 de febrero de 2019. La imagen pertenece al satélite Sentinel-2, y se utilizaron las bandas 2, 3, 4 y 8 dado que estas poseen una resolución de 10 x 10 m.

Para el procesamiento de las bandas espectrales se utilizó el software de código abierto QGIS en su versión 3.4.8. Se ingresaron las bandas ráster y combinaron utilizando el plugin Semi-Automatic Classification para una mejor manejo e interpretación de éstas de la siguiente manera: RGB, Falso color, e Índice vegetacional.

Una vez se identificaron las zonas agrícolas, se prosiguió a calcular el índice vegetacional. Para este caso, el NDVI fue corregido para hacer aún más perceptible las zonas de vegetación vigorosa utilizando el índice SAVI.

En cuanto al análisis de datos, se evaluó el índice SAVI en las zonas de uso agrícola de acuerdo con una escala de 0,157 a 1,12 en ocho clases, para lo cual se analizó únicamente las zonas demarcadas con un uso de suelo agrícola en la provincia (de medianamente vigoroso a muy vigoroso).

Se realizó una clasificación supervisada de acuerdo con la vigorosidad expresada por el índice SAVI. Para esta, se utilizó el complemento Semi-Automatic Classification de QGIS utilizando herramientas de clasificación a través de la generación de un archivo de entrenamiento con 8 clases. Una vez generada la clasificación, se hizo una vectorización del resultado con el fin de obtener los polígonos de las zonas vigorosas (primeros cuatro intervalos en la clasificación), y se limpiaron los polígonos más pequeños que no serían considerados (de 1 a 3 píxeles).

3. Uso e integración de catastros y base de datos

Además de establecer un índice de vegetación vigorosa, se utilizaron fuentes de información como el catastro de uso de suelos del Ministerio del Medio Ambiente, mediante el cual se pudo conocer los suelos de uso agrícola en la provincia a través de un geoprocesamiento. Este dato se complementó utilizando el catastro de productores frutícolas de CIREN (actualizado al año 2016) obtenido mediante IDE Chile a través de un WMS (WebMapService), el cual otorgó información relevante en cuanto a los cultivos frutales existentes en la zona y dónde están ubicados.

Adicionalmente, se utilizó el catastro de propiedades de CIREN (actualizado al año 1997) con formato vectorial y que permitió el vínculo de información de DAA y Rol predial. Esta información se apoyó con el mismo catastro de propiedades, pero del año 2015, el cual se obtuvo a través de un WMS de IDE Chile.

Se incluyó además una capa vectorial que corresponde a los canales de regadío a través de la Comisión Nacional de Riego (CNR), los determinan posibles captaciones de agua por parte de productores, además de DAA de origen subterráneo. A esta capa se le generó un buffer

ANÁLISE DE IMAGENS MULTISPECTRAIS

de 50m para determinar posibles captaciones de aguas, verificando si existe un cruce entre estas zonas de vegetación vigorosa y el curso de esteros, ríos o canales de regadío, y quitando los predios que efectivamente interceptaban estos canales.

Finalmente, se ingresó la base de datos de DAA otorgados por la DGA al software QGIS en formato (.CSV). Al tener datos georreferenciados, se pudo visualizar todos los puntos de captación de aguas, el origen de ésta, el caudal asociado, entre otra información.

4. Demanda hídrica de los cultivos

Para estimar la demanda hídrica de los cultivos, se utilizaron fórmulas asociadas al cálculo de evapotranspiración de cultivo (ET_c), la demanda de agua neta del cultivo (D_n), y la demanda de agua bruta del cultivo (D_b).

Para la ET_c se consideraron los datos obtenidos de las estaciones meteorológicas mencionadas, y el K_c por cultivo de acuerdo con el promedio anual. Para el caso de la D_n , se utilizó el mismo valor de la ET_c , puesto que las precipitaciones generarían irregularidades a la hora de determinar los datos teniendo en cuenta la amplitud de la superficie con la que se trabaja, y finalmente para la D_b se utilizó un valor constante en la eficiencia de riego, asumiendo un valor del 80% (dado que se trabaja con frutales y no con hortalizas, además del uso de aguas subterráneas, se asume un sistema de riego tecnificado con pérdidas multifactoriales).

Para aquellos casos en que el cultivo no esté definido por el catastro frutícola, se asumió una metodología alternativa asociada al consumo máximo expuesto en el Decreto Supremo 743, es decir, 15000 m³/ha/año como demanda de dicho cultivo.

5. Vinculación Demanda cultivo/Derechos de aprovechamiento

Para la estimación de un balance entre la demanda hídrica del cultivo y los derechos de aprovechamiento de aguas, se utilizó el mapa SAVI para establecer diferencias entre vigorosidad de las diversas zonas agrícolas (definidas por el mapa de uso de suelo y apoyado por el catastro frutícola). Esto se puso en contraste con los DAA con el fin de definir “zonas de interés”.

Dentro de las zonas de interés, se revisó la superficie de cubrimiento de vegetación vigorosa existente en el predio, definido como el área de regadío, para la cual se generó un polígono representativo. Este valor (área en ha) se multiplicó por la D_b .

Luego de estimado el consumo de agua para riego por cultivo en las áreas de interés, se utilizó la información del catastro de propiedades para saber a quién pertenece dicho predio o las distintas áreas que componen la zona de interés, a modo de unir las y verificar más

concretamente quién o quiénes son los implicados en la extracción de agua, así como comprobar si tiene más de una zona de cultivos, o una proximidad a aguas superficiales o un APR (Comité de Agua Potable Rural).

Tras lo anterior, se construyó una base de datos vinculando los roles de predios, superficie de vegetación vigorosa, cultivo, Db, DAA, y el balance hídrico, para el cual se determinó si es positivo o negativo, y si corresponde a una potencial fiscalización por parte de la DGA.

Finalmente, se ingresaron los datos vinculados al software SIG para generar un “mapa de balance hídrico” respondiendo a los resultados obtenidos del estudio, y un “mapa de zonas de urgencia”, que responden a las zonas más críticas y que debiesen ser fiscalizadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

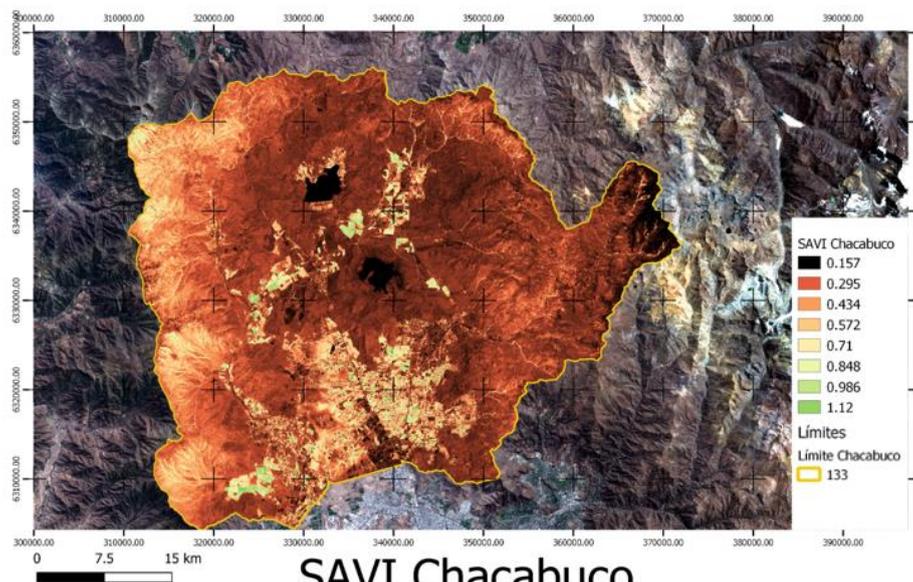
1. Análisis y manejo de imágenes multiespectrales

1.1 Índices vegetacionales y vigorosidad

El rango del índice SAVI va desde 0,157 a 1,12 en ocho clases que representan el comportamiento entre los valores más altos (verde intenso, por lo tanto una alta vigorosidad), y valores bajos (amarillo a anaranjados, evidenciando un suelo descubierto sin presencia de cultivos o muy baja vigorosidad, negro para aguas superficiales) (Figura 1). Los valores determinados representan un resultado de repetidas visualizaciones buscando un punto de mayor distinción de las características requeridas. Bajo esta premisa, los valores considerados como vegetación vigorosa y que se asumió que existe sistema de regadío, van del orden del 0,71 a 1,12, mientras que lo demás se considera como no vigoroso, vegetación seca, suelo descubierto, o aguas superficiales, como se ve claramente en la figura 2 con la comparativa de RGB y el índice SAVI.

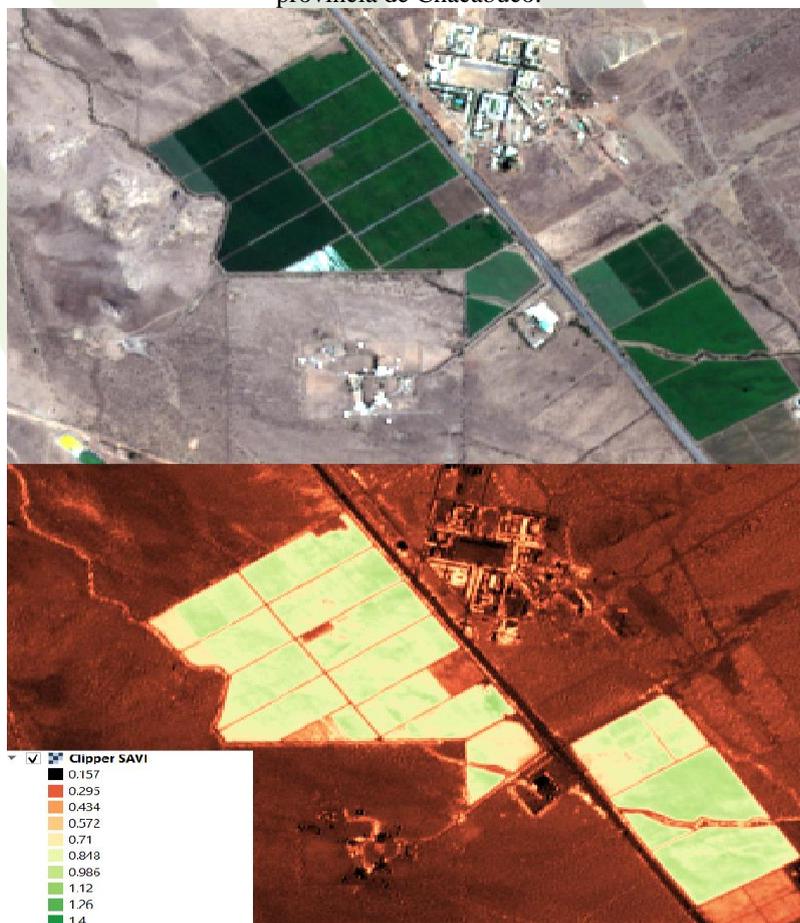
ANÁLISE DE IMAGENS MULTISPECTRAIS

Figura 01: Índice SAVI de la provincia de Chacabuco. Se muestra un rango de valores desde el 0,157 para aguas superficiales, a 1,12 para vegetación muy vigorosa. El punto de corte se encuentra en el 0,71 para lo que supone predios bajo riego y a evaluar.



Fuente: Propia (2019).

Figura 02: Visualización del índice SAVI mediante una comparativa con la capa RGB de un predio en la provincia de Chacabuco.



Fuente: Propia (2019).

1.2 Geoprocursos

La clasificación fue ejecutada mediante el complemento SCP, y tuvo principalmente como objetivo poligonizar el ráster SAVI a través de la selección de valores vigorosos. Esta poligonización se interceptó con el catastro de uso de suelo, obteniendo un mapa más focalizado en lo que a predios y áreas respecta. El producto de la interceptación de estas capas, a su vez, se unió al catastro de propiedades y predios del año 1997 dispuesto por la DGA, para así reconocer la superficie vigorosa por predio, para finalmente determinar zonas de interés al contrastar esta capa resultado con los puntos de captación y DAA correspondientes a cada producción. (Ver figura 3)

Figura 03: Ejemplo de zona de interés contrastado con el DAA dentro del rol



Fuente: Propia (2019).

2. Estimación de demanda hídrica de cultivos y propuesta de fiscalización

Mediante los cálculos de evapotranspiración de cultivo, que fue estimado previamente con la evapotranspiración de referencia (utilizando un valor promedio de 3,876 mm/día) y el coeficiente de cultivo, se procedió a hacer una tabla con los principales frutales de la provincia de Chacabuco estimando demanda hídrica anual que requiere cada uno de estos. En la tabla 1 se expresan dichas demandas hídricas brutas (l/ha/año):

Tabla 01: Demanda hídrica anual por cultivos en la provincia de Chacabuco.

Cultivo	Kc (promedio anual)	Etc (mm)	Dn (mm/día)	Db (mm/día)	Db (l/m2/año)	Total Db (l/ha/año)
Vid de mesa	0,53	2,054	2,05	2,47	899,73	8997264,36

ANÁLISE DE IMAGENS MULTISPECTRAIS

Almendro	0,65	2,519	2,52	3,02	1103,44	11034380,82
Nogal	0,75	2,907	2,91	3,49	1273,20	12731977,87
Duraznero	0,7	2,713	2,71	3,26	1188,32	11883179,34
Nectarino	0,68	2,636	2,64	3,16	1154,37	11543659,93
Cerezo	0,7	2,713	2,71	3,26	1188,32	11883179,34
Ciruelo japonés	0,7	2,713	2,71	3,26	1188,32	11883179,34
Ciruelo europeo	0,7	2,713	2,71	3,26	1188,32	11883179,34
Peral	0,75	2,907	2,91	3,49	1273,20	12731977,87
Avellano	0,33	1,279	1,28	1,53	560,21	5602070,26
Naranjo	0,685	2,655	2,65	3,19	1162,85	11628539,79
Pistacho	0,65	2,519	2,52	3,02	1103,44	11034380,82
Mandarino	0,68	2,636	2,64	3,16	1154,37	11543659,93
Damasco	0,67	2,597	2,60	3,12	1137,39	11373900,23
Olivo	0,68	2,636	2,64	3,16	1154,37	11543659,93
Tuna	0,45	1,744	1,74	2,09	763,92	7639186,72
Palto	0,73	2,829	2,83	3,40	1239,25	12392458,46
Higuera	0,75	2,907	2,91	3,49	1273,20	12731977,87
Kiwi	0,83	3,217	3,22	3,86	1409,01	14090055,51

Fuente: Propia (2019).

Los valores en litros se transformaron en m³, y este valor se multiplicó por el área de vegetación vigorosa, para finalmente utilizar los valores de DAA y generar un balance de acuerdo con el Decreto Supremo 743.

Como propuesta final, utilizando la metodología descrita, y en función de los predios encontrados al generar zonas de interés, se describe en la tabla 2 los casos que ameritan una revisión por parte de la Dirección General de Aguas. Para los predios con más de un cultivo (policultivos), se sumó la necesidad hídrica de estos y se realizó un balance total, dejando únicamente aquellos con balance negativo.

Tabla 02: . Balance hídrico de acuerdo con cultivo, superficie, y DAA del usuario asociado al rol¹.

ZONAS DE INTERÉS	ROL	SUPERFICIE (HA)	CULTIVO	DB TOTAL (M3/AÑO)	DAA ANUAL (M3)	BALANCE M3	BALANCE (L/S)
1	1886-8	69	Nogal	878506,47	44150,4	-834356,07	-26,43
2	1886-9	18,8	Policultivo	187907,02	0	-187907,02	-5,95
3	1550-861	17	Policultivo	210926,43	0	-210926,43	-6,68
4	1886-106	9,2	Vid	82774,83	0	-82774,83	-2,62
5	1886-17	53,7	Policultivo	675898,27	126144	-549754,27	-17,42
6	1886-6	13,4	Policultivo	168910,91	0	-168910,91	-5,35
7	676-292	31,24	Policultivo	319430,05	0	-319430,05	-10,12
8	676-10	117,8	Policultivo	1288815,68	0	-	-40,83
9	1449-21	6,24	DS743 ²	93600,00	0	1288815,68 -93600,00	-2,97
10	1150-40	4,28	DS743	64200,00	47304	-16896,00	-0,54
11	1685-1	33,5	Vid	301408,36	0	-301408,36	-9,55
12	1865-82	82,3	Vid	740474,86	157680	-582794,86	-18,46
13	1867-2	25,9	Vid	233029,15	0	-233029,15	-7,38
14	1861-96	53,9	Nogal	686253,61	630720	-55533,61	-1,76
15	156-97	56,1	Policultivo	612408,14	0	-612408,14	-19,40
16	1656-98	22,4	Policultivo	253077,77	0	-253077,77	-8,02

ANÁLISE DE IMAGENS MULTISPECTRAIS

17	1126-66	10,1	DS743	151500,00	0	-151500,00	-4,80
18	1436-67	3,5	DS743	52500,00	0	-52500,00	-1,66
19	1564-85	14,8	DS743	222000,00	0	-222000,00	-7,03
20	1094-83	6,1	DS743	91500,00	0	-91500,00	-2,90
21	1734-86	5,2	DS743	78000,00	0	-78000,00	-2,47
22	1234-87	7,5	DS743	112500,00	0	-112500,00	-3,56
23	626-13	41	DS743	615000,00	0	-615000,00	-19,48
24	131-3	24,2	Vid	217733,80	0	-217733,80	-6,90
25	101-161	5,1	DS743	76500,00	0	-76500,00	-2,42
26	652-85	3,3	Nogal	42015,53	0	-42015,53	-1,33
27	682-86	4,6	Nogal	58567,10	0	-58567,10	-1,86

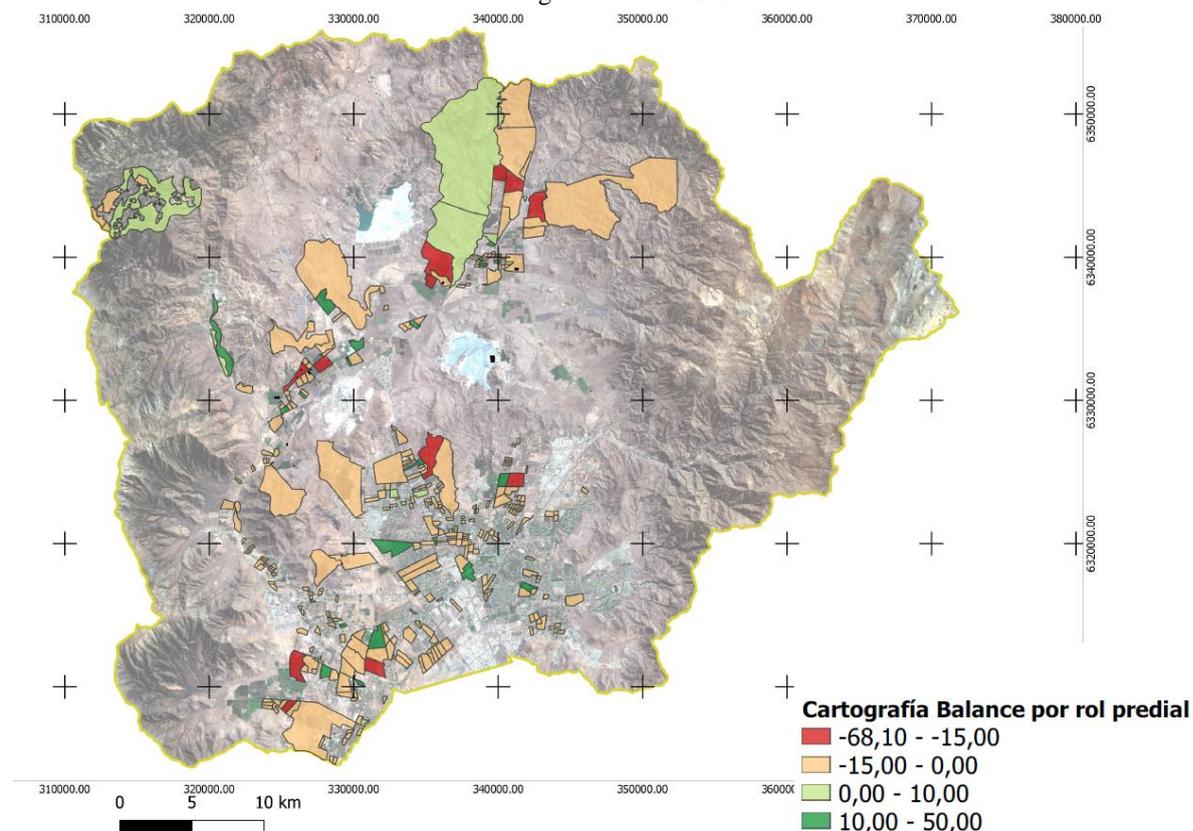
Fuente: Propia (2019).

¹: Los roles presentados aquí fueron modificados para proteger la privacidad de las personas y/o empresas asociadas.

²: Para el caso de las zonas de interés que no poseen descripción en el catastro frutícola, se utilizó como metodología lo propuesto por el Decreto Supremo 743, es decir, un consumo por hectárea de 15000 m³ al año.

De manera complementaria, se desarrolló una cartografía vinculando la base de datos de DAA con los roles prediales y las áreas vigorosas en cada uno de estos, generando así un balance hídrico de la misma manera que se realizó en la table 2, no obstante, esta no incluye el factor cultivo, sino que únicamente el DS743, y los DAA existentes. (Ver figura 4)

Figura 04: Cartografía de balance por rol predial utilizando metodología sin cultivos, es decir, asumiendo un consumo en áreas vigorosas de 15.000 m³ anuales/ha



Fuente: Propia (2019)

Esta cartografía permitió corroborar los resultados obtenidos en la tabla 2, así como hallar nuevos focos de interés que, utilizando la información agronómica, sería factible obtener un resultado más preciso, los cuales pueden ser considerado dentro de las zonas de interés.

CONCLUSIONES

A través del análisis de imágenes multiespectrales, la aplicación de índices vegetacionales, y la integración de información agronómica, se estimó la vigorosidad y demanda de los diversos cultivos encontrados en la provincia de Chacabuco. A su vez, utilizando información otorgada por la DGA (Base de datos de DAA y Catastro de Roles prediales de CIREN), se logró cruzar la información, encontrando así posibles focos de fiscalización realizando un balance hídrico entre los DAA que se poseen y la demanda hídrica del cultivo en las áreas de vegetación vigorosa.

Utilizando la teledetección, fue posible reconocer al menos 27 situaciones que ameritan una visita a terreno para fiscalización producto de la discordancia existente entre los parámetros que comprenden el balance efectuado. Estas situaciones principalmente fueron demostrativas y con el objeto de ilustrar la efectividad de la metodología utilizada. Si bien es posible revisar más casos, la eficiencia en la búsqueda de estos es lenta fundamentalmente debido al manejo

ANÁLISE DE IMAGENS MULTISPECTRAIS

de la información, esto es, el cruce entre rol, área de vegetación vigorosa, DAA existentes, y cultivos.

Es factible en las condiciones mencionadas manejar información a baja escala (40-100 datos), sin embargo, manejar 500-1000 datos requiere de una automatización mayor, y para eso es preciso un mayor orden en la información, los datos, y la manera en que se realizan los geoprocursos, así como capas adicionales (catastro frutícola en formato vectorial, y no un WMS). Para el presente caso, el principal impedimento en la ejecución de un mapa de balance hídrico con la metodología propuesta fue la ausencia de una capa vectorial del catastro frutícola manipulable. También como impedimento vale mencionar la base de datos de DAA, la cual contenía una serie de incertidumbres en la información, y requería de correcciones que, por un factor tiempo, no se logró hacer a cabalidad como se esperaba.

Respecto a la información utilizada a lo largo del trabajo, esta fue fundamentalmente de carácter secundario, es decir, gratuita. Esto es un punto importante que destacar, puesto que fue posible generar sugerencias en relación con un manejo futuro que utilice una metodología similar a la que fue propuesta. Dado que la disposición de gran parte de los materiales a utilizar no estaba en formatos manipulables (ejemplo de esto son los WMS), la eficiencia de trabajo era menor y la labor resultaba más compleja a la hora de hallar los resultados requeridos. A su vez, la información secundaria tiende a estar desactualizada a la fecha, lo que llevó a bastantes supuestos y asunciones durante todo el proceso.

Es a partir de lo anterior que las principales sugerencias que surgen son, en primer lugar, el uso de imágenes de alta resolución; para una identificación de los predios, sean cultivos anuales, hortícolas, o frutales. Las imágenes de alta resolución permitirían una mayor exactitud en los cálculos de requerimientos hídrico, y una menor dependencia de catastros frutícolas no actualizados a la fecha (dado que sería más fácil la aplicación de firmas espectrales), así como cubrir la ausencia de catastros hortícolas.

Por otro lado, el uso de capas de pago también generaría una mejora en la ejecución de los procesos. Al trabajar con información de pago, fiable y actualizada, los geoprocursos necesarios se podrán ejecutar sin problema (sobre todo en el caso de poseer capas vectoriales de pago), algo que no ocurre con el uso de WMS, donde la información es otorgada de manera online, sin posibilidad de modificarlos ni procesarlos con otras capas.

Al finalizar este proyecto es posible considerar la factibilidad y la eficiencia del trabajo realizado para un posible proceso de fiscalización, considerando que dicha eficiencia va directamente relacionada con la inversión económica que se disponga para la realización óptima

de este, y también la disponibilidad entregada, considerando la importancia de presentar y disponer información ordenada, actualizada y manipulable para el logro de este proyecto.

REFERENCIAS

Decreto 743. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, Chile, 16 de diciembre de 2005. De <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=245204>

DGA. (s.f). Dirección General de Aguas. Obtenido de DGA: <http://www.dga.cl/acercadeladga/Paginas/default.aspx>

Escenarios Hídricos 2030. (s.f). Escenarios hídricos. (C. Fernández, Ed.) Obtenido de <https://www.escenarioshidricos.cl/wp-content/uploads/2019/06/RESUMEN-BAJA-final-13-6-209-1.pdf>

Fallas, J. (2004). Obtenido de https://download.tuxfamily.org/tuxgis/geodescargas/uso_imagenes_master.PDF

FAO. (2006). Food and Agriculture Organization. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>

Meneses-Tovar, C. (2011). El índice normalizado diferencial de la vegetación como indicador de la degradación del bosque. *Unasyuva*, 62(238), 39-46. Obtenido de <http://www.fao.org/3/i2560s/i2560s07.pdf>

Moreira, A. (Junio de 1996). Los Sistemas de Información Geográfica y sus aplicaciones en la conservación de la diversidad biológica. *Ambiente y Desarrollo*, XII(2), 80-86. Obtenido de http://geografia.uc.cl/images/academicos/Andres_Moreira/Moreira_SIG_cons.pdf

Muñoz, P. (2013). Centro de Información de Recursos Naturales. Obtenido de CIREN: <http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/26389/Tema%20Indices%20de%20vegetación%2C%20Pedro%20Muñoz%20A.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Piedelobo, L., Ortega-Terol, D., Del Pozo, S., Hernández-López, D., Ballesteros, R., Moreno, M., . . . González, D. (2018). MDPI. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2220-9964/7/6/220>