

Percepción remota como herramienta de fiscalización en procesos de extracción de áridos para el fortalecimiento de las políticas públicas

Estefanía Hernández M.¹

Víctor Herrera G.²

Sumário: Se busca en el presente estudio poner a disposición herramientas de teledetección espacial que permitan mejorar los procesos de fiscalización y, en consecuencia, las políticas públicas al permitir mayor control de los bienes públicos a nivel territorial.

Palabras clave: geotecnologías, injusticias territoriales, geoderecho, extracción de áridos, percepción remota, derecho ambiental.

1. INTRODUCCION

La Teledetección Espacial o Percepción Remota es una técnica de observación que permite obtener datos de un cuerpo en estudio, principalmente sobre la superficie terrestre, a través de un sensor remoto [1]. Se utiliza dicho concepto para referirse especialmente a aquellos sensores que están montados en una plataforma espacial. Hoy en día, hay entidades de gran importancia que utilizan el concepto de teledetección para referirse exclusivamente a las imágenes obtenidas mediante satélites.

Así, los avances en percepción remota y la tecnología en general ofrecen hoy un sin número de información de los territorios. Durante los últimos años, las plataformas y sensores se han modernizado y diversificado. Esto ha permitido profundizar los estudios espectrales de las diferentes cubiertas del suelo y analizar de mejor manera los fenómenos ambientales que tanto le preocupa a la sociedad contemporánea.

De este modo, ya se pueden observar, además de otros fenómenos, las consecuencias producidas en el medioambiente por la acción del ser humano; un ejemplo es el caso del impacto de la actividad extractiva más importante de los últimos tiempos, la extracción de áridos. Esta, es la segunda materia prima más consumida a nivel mundial después del agua y se vincula principalmente al ámbito de la construcción.

1 Ingeniera en Geomensura de la Universidad de Santiago de Chile, e-mail: estefania.hernandez@usach.cl.

2 Doctor en Cartografía y teledetección, Profesor del Departamento de Ingeniería Geográfica de la Universidad de Santiago de Chile, e-mail: victor.herrera@usach.cl.

Desde la perspectiva legal, la extracción de esta materia prima es una actividad que carece de regulación única, lo cual genera un desorden generalizado. Ahora bien, el problema mayor radica principalmente en que, una vez concedidos los permisos, los organismos involucrados en la fiscalización no dan abasto en cuanto a recursos y capacidades; así lo han reconocido las autoridades en diferentes ocasiones.

Por otro lado, la evidente lejanía entre el mundo científico y político impide que las personas a cargo conozcan las posibilidades y potencialidades que ofrece, en este caso, la teledetección y sus aplicaciones. Luego, dar solución a este problema global implica, sin duda, la sincronía de varios actores y entidades, lo que representa para este trabajo una limitancia. En forma deductiva, se avanzará desde la teoría de la teledetección a la aplicación misma para poder reconocer las utilidades que pueden prestar sus herramientas en los procesos de fiscalización de extracción de áridos.

2. DESARROLLO

La percepción remota ha sido utilizada en variadas aplicaciones, y generalmente, se hace junto a otras geotecnologías que hacen posible manejar de mejor manera los datos, interrelacionarlos y potenciar los resultados obtenidos. Durante los últimos sesenta años, el avance de la tecnología ha permitido obtener cada vez mejores observaciones, y la gran cantidad de antecedentes recopilados desde aquella fecha permite visualizar cambios a través del tiempo del uso del suelo, de los recursos naturales [2]; como bosques, agua, minerales, entre otros. A esto último, se le conoce como análisis multitemporal.

Un sistema de teledetección espacial está compuesto por una fuente de energía, por una cubierta que corresponde a las superficies que reflejan y emiten energía, el sistema del sensor que involucra el sensor y la plataforma que los sostiene junto a todos los componentes que le permiten operar, sistema de recepción que son todos los aparatos que permiten la descarga y almacenamiento de las observaciones captada y permiten la posterior distribución de estas mismas, el intérprete u operador es quién analiza y procesa estos datos contenidos en las imágenes y la convierte en un producto informativo, y por último, el usuario final que es quién utiliza la información y le da uso. En este ámbito, uno de los recursos naturales no renovables más importante dentro de los últimos años del siglo XX y del siglo XXI, ha sido el árido, dado el crecimiento exponencial de las ciudades y la industria de la construcción. Los áridos corresponden a una materia prima estratégica de esta industria y, por lo tanto, corresponde a un insumo vital para el desarrollo del país, este es el origen de su alta demanda [3].

Los áridos se definen como partículas de mineral pétreo que tienen tamaño variable y se producen con la fragmentación de la corteza terrestre. Se extraen desde yacimientos, ríos, lagos y playas [4]. El Ministerio de Bienes Nacionales, MBN, señala en su página WEB que la mayor fuente de extracción a nivel nacional es, probablemente, la que proviene de rellenos aluviales [3]. En Chile la extracción de áridos es una actividad que carece de regulación única, existiendo normas dispersas en distintos cuerpos legales, de acuerdo

con la naturaleza del suelo del que se extraen los materiales. De este modo, si la extracción de áridos es desde suelo privado se rige por las normas del Código Civil. Mientras que, si se trata de suelo público, habrá que distinguir entre si es un bien nacional de uso público o un bien fiscal; para identificar el cuerpo legal por el cual se rige [5]. En cualquiera de los casos, toda actividad de extracción de áridos está bajo pago de derecho y/o permiso municipal [6]; con excepción de cualquier tipo de extracción que sea destinada para uso de obras públicas, independiente si es una entidad privada o no [7]. También, se exceptúan las extracciones desde ríos, lagos o territorio marítimo bajo jurisdicción del Ministerio de Defensa, ya que, en este caso el encargado de otorgar permisos o concesiones es la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante [8].

Además, los procesos de extracción de árido deben ser estudiados y acompañados de un informe técnico que analiza la viabilidad de los proyectos; ya que la explotación de este recurso natural puede poner en peligro a las comunidades colindantes, generar daños a la propiedad pública o privada e impacto en el medio ambiente [3]. Estos informes son generados por la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), y por la Dirección de Vialidad Regional si corresponde. Por su parte, la Dirección General de Aguas (DGA), solo posee atribuciones cuando los áridos se encuentran dentro de los cursos de agua, pero bajo ciertas tipologías, que son las intervenciones y las afectaciones de los cauces [9]. Las municipalidades pueden participar en los procesos de fiscalización conforme a la protección del medio ambiente, sin embargo, no es su responsabilidad obligatoria [11]; más bien, deben notificar a la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) las demandas realizadas por la comunidad respecto al impacto ambiental, para que dicha superintendencia proceda en la fiscalización [10].

En los últimos años, se han hecho públicas varias situaciones de extracción ilegal de áridos generando gran revuelo en los medios, debido a las graves consecuencias que puede generar esta desregularización [12]. La gran cantidad de casos de este tipo pone en evidencia que los organismos involucrados en la fiscalización sobre esta actividad extractiva se ven sobrepasados y no tienen la capacidad de controlar y fiscalizar dichos procesos. Luego, esta responsabilidad debiera asumirla el municipio, pero reconoce que ellos tampoco tienen las capacidades. Planteado esto, cobra gran relevancia la utilidad que puedan prestar las tecnologías que adquieren datos rápidamente y de forma remota; como lo ofrece la Teledetección y su forma no invasiva para adquirir información del territorio.

A nivel iberoamericano se realizó el segundo congreso de la Red JUST — Side³ donde se reconoció el gran impacto que puede llegar a tener el uso de las geotecnologías en las políticas públicas al utilizarlas como herramientas de apoyo en la toma de decisiones; dado el contexto en el que, se generan a diario cientos y cientos de datos de nuestros territorios. Estos datos

3 Proyecto sobre "Justicia y Sostenibilidad del Territorio a través de Sistemas de Infraestructura de Datos Espaciales" — JUST-Side, liderado por la Universidad de Coímbra en el cual participaron once equipos de investigadores de nueve países iberoamericanos.

capturados por satélites han sido almacenados durante todos estos años y además están disponible, en gran medida, de manera gratuita. Incluso, algunas entidades ofrecen plataformas digitales para visualizar y procesar imágenes satelitales, también, sin cobro alguno [13]. Es innegable que en el mundo académico y científico se manejan variadas aplicaciones de la Teledetección para el monitoreo de los recursos naturales. Sin embargo, esto sigue estando muy alejado de las autoridades a cargo de fiscalizar y tomar decisiones. Por otro lado, pareciera que las autoridades ya han identificado que el proceso de extracción ilegal de áridos es un problema al que se le debe prestar atención y recursos para regularizarlo.

Abrir los procesos de fiscalización a las comunidades y llevar las herramientas científicas a la sociedad civil se muestra como un método prometedor. En cuanto al plano legislativo, en Chile se están estudiando los procesos de extracción de áridos. De hecho, se han realizado asesorías parlamentarias al respecto y hay cinco mociones en tramitación, estas son:

- Un proyecto de ley que busca definir la extracción industrial de áridos como aquellas plantas que superan los diez mil metros cúbicos de material anual, independiente de su ubicación; dentro de la Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente [14].
- Un proyecto de ley que busca crear una nueva ley para la extracción de áridos que contempla normas generales sobre explotación, recuperación y abandono de pozos lastreros, además de, modificar la Ley General de Urbanismo y Construcciones [15].
- Un proyecto de ley que busca crear una nueva ley de extracción de áridos que considera mayormente el impacto que puede tener esta actividad en la flora y fauna del fondo marino y de los bordes fluviales y lacustres, poniendo énfasis en los procesos de fiscalización [16].

En el plano internacional diferentes países han establecido una ley única para normar los procesos extractivos de áridos, ligados en algunos casos a la minería. Esto ha permitido que los municipios tengan un marco claro para regular, autorizar y fiscalizar la extracción de este recurso. Además, dichos procesos han sido directamente relacionados con los planes reguladores y han generado organismos específicos para planificar las extracciones y controlar el impacto medioambiental; en sus fases de implementación, operación y desmantelación.

En este proceso quedan en evidencia las injusticias territoriales, las cuales son la preocupación del citado proyecto JUST-Side, generando con ello lo que se ha definido como actividades “Generadoras de Riesgos Ambientales y Focos de Injusticia Territorial Evitables” — GRAFITE (3). Luego, ¿Cuándo podemos asegurar que una actividad GRAFITE genera injusticias? Múltiples orígenes de injusticias son posibles de detectar, siendo ó las más reconocidas (figura 1), a saber:

1. Injusticia Procedimental: Ocurre cuando las actuales víctimas del proyecto GRAFITE se manifiestan desfavorablemente, participando durante el proceso administrativo de aprobación del proyecto, pero el proyecto sin embargo es aprobado, aún así. También ocurre cuando los potenciales afectados no se han manifestado por desconocimiento o incapacidad.

2. **Injusticia Conmutativa:** Ocurre cuando las compensaciones a las víctimas del proyecto GRAFITE (que normalmente son los vecinos) no son consideradas suficientes, sea cuando los productos o servicios que son producidos por la actividad no son consumidos por las víctimas.

3. **Injusticia Preventiva:** Existe cuando el riesgo de una catástrofe o un accidente grave es considerado muy elevado, a punto de desvalorizar la propiedad, o de causar perturbaciones en la serenidad de los vecinos ambientales del proyecto GRAFITE.

4. **Injusticia Retributiva:** Ocurre cuando después de una actuación ilegal (o percibida como ilícita o antiética) ocurrida en la explotación del proyecto GRAFITE, las autoridades competentes no toman rápidamente medidas sancionatorias. La impunidad, aunque temporaria, aumenta la inseguridad percibida por la población ante los riesgos, corrupción y sentimientos de revuelta.

5. **Injusticia Restaurativa:** Ocurre cuando después de un daño personal, patrimonial o ambiental causado por un accidente o incidente en un proyecto GRAFITE, el *status quo ante* no es repuesto. El daño no recuperado es como una cicatriz que recuerda diariamente la injusticia ocurrida.

6. **Injusticia Distributiva:** Ocurre cuando las víctimas del proyecto GRAFITE viven en condiciones sociales y económicas más desfavorables que la mayor parte de la población en otros territorios, a nivel nacional o regional. Este tipo de justicia es comparativa y presupone tener dos términos de comparación, uno general y uno local, sobre los servicios públicos disponibles (educación, salud, comunicación, transporte, ocio, cultura, etc.).

FIGURA 1
ACTIVIDADES DEL TIPO GRAFITE



Fuente: Proyecto Just_side.

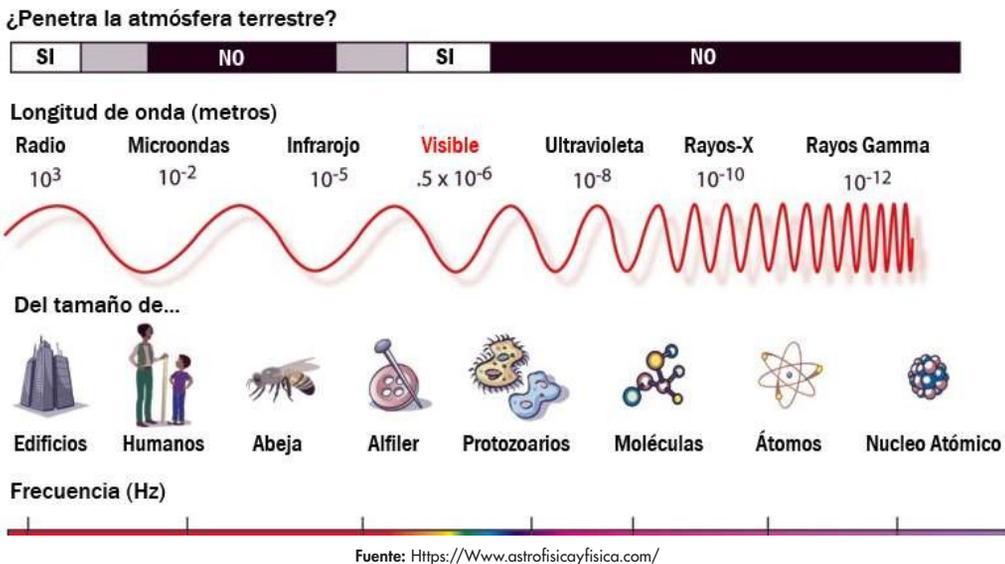
Es así como el principal objetivo del presente trabajo se centra en demostrar cómo la teledetección espacial o percepción remota puede ser utilizada como herramienta en los procesos de fiscalización de extracción de áridos, definiendo una simbiosis entre la información generada por las geotecnologías y su contribución para el mejoramiento de las

políticas públicas, un derecho ambiental más eficiente y una mejor protección de nuestros recursos naturales.

En este contexto, existen diversas plataformas espaciales que orbitan y proporcionan valiosa información de diferentes tipos para el estudio de nuestro planeta e incluso en su exterior. De esta forma, tenemos que un sensor remoto es un dispositivo capaz de observar, medir o detectar una propiedad física de un objeto sin tener que estar en contacto directo con él. En percepción remota, los sensores van montados sobre los satélites que orbitan la tierra y observan desde allí la energía emitida y/o reflejada por las diferentes cubiertas [17]. Luego, la distribución de esta energía electromagnética se encuentra conceptualizada en lo que se conoce como espectro electromagnético; el cual discrimina la energía según su frecuencia y longitud de onda. La región del espectro con la que se está más familiarizado es la región visible que se conoce como luz y corresponde a aquella energía que es captada por el ojo humano en diversos colores (Figura 2).

Una vez captada la energía electromagnética por el sensor, dicha medición es almacenada generalmente como nivel digital, ND. Más específicamente, una porción de la superficie terrestre es representada en un píxel por un valor numérico. De este modo, una imagen satelital consiste en una matriz rectangular numérica que puede ser analizada y modificada, si se requiere, en cuanto a la variación de la energía electromagnética medida. Además, cada imagen se caracteriza por su resolución espacial (tamaño del píxel), espectral (número de bandas espectrales), radiométrica (sensibilidad) y temporal (periodicidad entre una imagen y otra).

FIGURA 2
ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO



Además, existen diferentes softwares de procesamiento de imágenes. Los softwares

comerciales mayormente utilizados son: CATALYST ⁴, ENVI ⁵ y ERDAS Image ⁶. En cualquiera de estos casos, no se profundizará, ya que en el presente trabajo se les dará énfasis a los softwares de uso gratuito. Ejemplo de esto es el software GRASS, llamado así por sus siglas en inglés: *Geographic Resources Análisis Support System*, es un software gratuito de código abierto bajo términos de licencia GNU. Se puede trabajar en él desde una línea de código o bien desde la interfaz gráfica. Permite manipular datos ráster, vectoriales y 3D. Algunas de sus características son:

- *Geocodificación de mapas rasterizados y vectoriales.*
- *Análisis de nubes de puntos: LIDAR, interpolación.*
- *Análisis del terreno: generación de contornos y superficies, análisis de coste — trayectoria y pendiente-aspecto, herramientas hidrológicas.*
- *Marco temporal: soporte para la gestión y análisis de series de tiempo ráster y vectoriales, grandes datos ambientales espaciotemporales.*
- *Procesamiento de imágenes: datos aéreos, UAV y satelitales (MODIS, Landsat, Sentinel, etc.), clasificación supervisada y no supervisada, cadena completa de análisis de imágenes basado en objetos (OBIA).*
- *Estadística espacial: análisis de correlación y covarianza, regresión, estadística zonal.*

Otro elemento a considerar cuando se utilizan imágenes satelitales son los índices de vegetación, aptos para comparaciones entre suelos con diferentes niveles de densificación vegetal y, por lo mismo, estudios de suelos con posible presencia de áridos. Un ejemplo altamente utilizado, es el Índice de Diferencia de Vegetación Normalizada o NDVI, y que se observa en la ecuación 1. Sirve para identificar vegetación saludable y consiste en una escala que va desde el -1 al 1 [18]. Siendo agua los valores negativos más cercanos a -1. Los valores en torno a cero, entre -0.1 y +0.1, indican zonas sin vegetación como roca, arena o nieve. Los valores positivos pero pequeños corresponden a arbustos y campos cubiertos de hierba, aproximadamente entre +0.2 y +0.4. Mientras que, las cifras más elevadas, cercanas a +1, corresponden a bosques templados y las selvas tropicales (figura 3).

ECUACIÓN 1
ÍNDICE DE DIFERENCIA DE VEGETACIÓN NORMALIZADA

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

Fuente: Scripts Personalizados

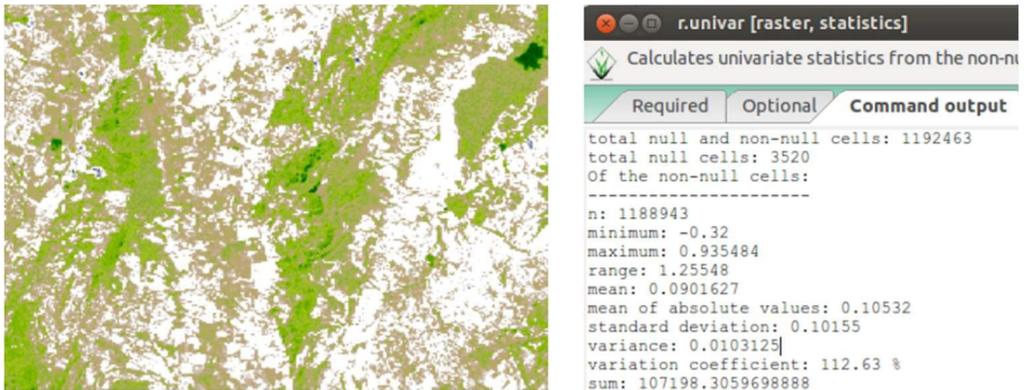
⁴ <https://catalyst.earth/products/>

⁵ <https://www.sigsa.info/productos/envi>

⁶ <https://www.hexagongeospatial.com/products/power-portfolio/erdas-imagine>

En este contexto de tratamiento digital, tenemos a la clasificación digital como uno de los objetivos principales de dicho procesamiento, lo cual consiste en agrupar píxeles que presentan un cierto nivel de similitud, utilizando para ello algoritmos de alto nivel [17], apuntando a categorizar una imagen multibanda estadísticamente, llevándola desde los niveles digitales a una escala nominal. Esto quiere decir que luego de una clasificación los niveles digitales no representarán los niveles de radiancia sino más bien será una categoría asignada [1].

FIGURA 3
NDVI CON SUS ESTADÍSTICAS CORRESPONDIENTES



Fuente: Introducción Al Procesamiento De Imágenes Usando Grass Gis 7.0 [19]

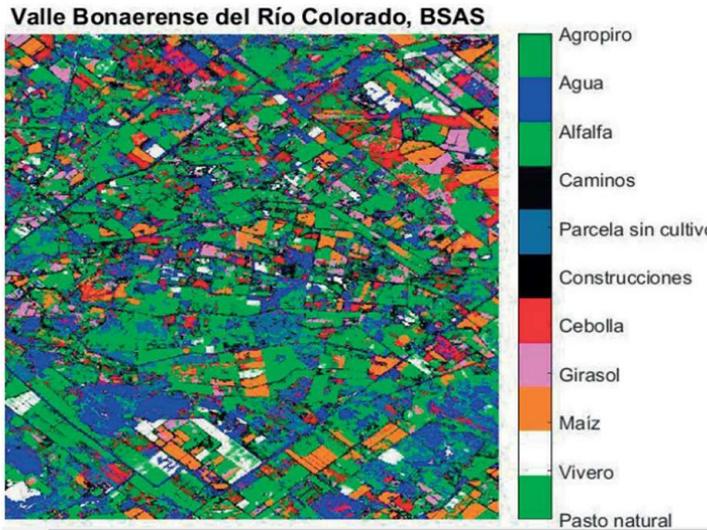
Para realizar clasificaciones se toman muestras de píxeles que cumplan con las características de la categoría que se quiere representar, considerando también su propia variabilidad. A través de un algoritmo se procesa la información para toda la imagen. Esto se conoce como clasificación supervisada, dado que se realiza una muestra de manera manual. Será una clasificación no supervisada si el software lo realiza de manera autónoma [18], agrupando píxeles similares sin toma de muestra (figura 4).

En el caso de los áridos, para poder realizar su clasificación digital en una imagen satelital, debemos conocer previamente su contenido e información básica para realizar una clasificación adecuada. Así, tenemos que estos provienen de la acción de fenómenos naturales sobre formaciones rocosas: efectos sobre la corteza terrestre que se han generado hace miles de años, erosión, transporte de material desde la alta montaña, sedimentación, etc., además de fenómenos actuales relacionados con el clima, como lluvias, temperaturas, hielo y viento.

Las propiedades de los áridos son sus componentes minerales, su textura, su procedencia o tipo de fabricación, las condiciones del depósito de origen, su homogeneidad, geomorfología y el grado de meteorización. Se clasifican según varios criterios, sin embargo, el más utilizado es según el origen. De este modo, se tienen los áridos naturales, los reciclados y los artificiales. Los primeros, son aquellos que han sido extraído de los yacimientos y únicamente han sido cernidos, lavados y en ocasiones triturados. Los segundos, son aquellos que son procesados a partir de escombros pétreos y residuos de los procesos de

demolición en la construcción. Y los últimos, son aquellos sometidos a procesos térmicos sofisticados en la industria de la minería.

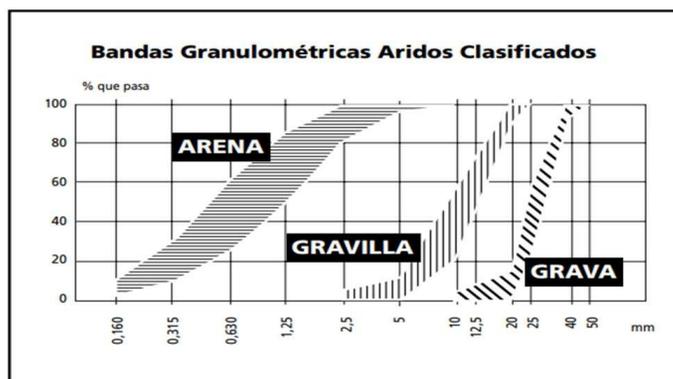
FIGURA 4
RESULTADO DE UNA CLASIFICACIÓN NO SUPERVISADA



Fuente: Clasificación De Usos Del Suelo A Partir De Imágenes Sentinel [20]

Otros criterios de clasificación son el tamaño granular (ver Figura), la continuidad de la explotación o el uso al que son dirigidos. La calidad del árido se asocia a este último criterio y dependerá de las propiedades del material y si cumplen con las exigencias normativas. Los usos que se le dan son en obras civiles como edificaciones, carreteras, líneas de ferrocarril, estructuras, obras de fábrica, puentes, viaductos, centros comerciales, aeropuertos, túneles, presas, escolleras, gaviones de protección de taludes, etc.

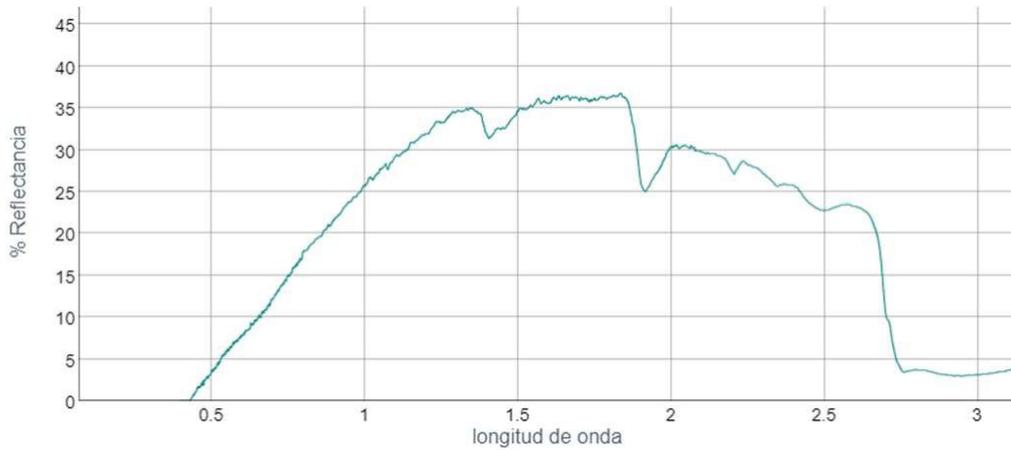
FIGURA 5
BANDAS GRANULOMÉTRICAS DE ÁRIDOS CLASIFICADOS



Fuente: Industria Del Árido En Chile [21]

Otro factor que influye en el comportamiento espectral del suelo es la textura; si el tamaño medio de las partículas del suelo es mayor, mayor es la reflectividad. Entre la Figura 6 y la Figura 7, se aprecia la diferencia de reflectancia en suelos de la misma clasificación taxonómica, pero con diferente granulometría.

FIGURA 6
REFLECTANCIA DEL SUELO ARENOSO GRUESO, EN MICRÓMETROS



Fuente: <https://SpecLib.jpl.nasa.gov/Library/EcospecLibinteractive>

FIGURA 7
REFLECTANCIA DEL SUELO ARENOSO FINO, EN MICRÓMETROS



Fuente: <https://SpecLib.jpl.nasa.gov/Library/EcospecLibinteractive>

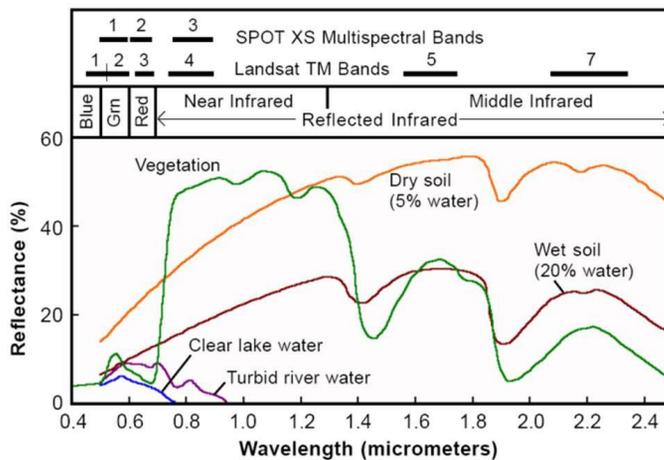
La composición química y mineralógica del suelo también influirá en la respuesta espectral, por ejemplo, el contenido de óxidos de hierro incrementa la reflectividad en la banda roja.

Ahora bien, cuando se trata de suelos desnudos esta interpretación es más sencilla, ya que para esos casos el comportamiento es reconocible; su firma espectral es bastante plana y ligeramente ascendente, esta gráfica ya definida anteriormente es lo que permanece

invariable para cada elemento presente sobre la superficie terrestre, siendo una especie de “huella digital” o “ADN” de cada especie, por lo cual que cualquier variación en ella representa una alteración o intervención sobre la misma, siendo así un aspecto técnico — científico que respalda cualquier acto ilícito o fenómeno ocurrido que afecta a cualquier elemento posible de reconocer por su firma espectral.

En la Figura se compara el comportamiento del suelo con el de otras cubiertas. Otras firmas espectrales se pueden encontrar en diferentes bibliotecas WEB, las búsquedas relativas al suelo se pueden hacer según el mineral, según la roca o el tipo de suelo.

FIGURA 8
FIRMA ESPECTRAL DEL SUELO SECO Y MOJADO V/S OTRAS COBERTURAS



Fuente: Introducción A La Teledetección Cuantitativa [22]

En esta parte se muestran, en un ejemplo práctico, algunas de las diferentes posibilidades que ofrece la teledetección para fiscalizar los procesos de extracción de áridos. Para ello, se ha elegido la comuna de Peñaflor como lugar de estudio, basado en tres criterios: el primero, guarda relación con el reciente nombramiento de la Reserva Natural Municipal al humedal ubicado en el Parque el Trapiche [31], el cual se detalla más adelante, que pone de manifiesto la urgencia del cuidado y resguardo medioambiental que requiere el sector; el segundo es que, en la actualidad, las autoridades de esta comuna no han otorgado ningún permiso para la extracción de árido, esto quiere decir, que cualquier actividad extractiva que se identifique en esta zona tendrá carácter ilegal, de ahí la importancia de regular dichas actividades en la zona. Que existen según acusa la comunidad del sector y; en tercer lugar, se ha priorizado la cercanía y factibilidad para realizar la constatación en terreno de los resultados.

Peñaflor es una comuna y ciudad de la provincia de Talagante, perteneciente a la Región Metropolitana de Santiago, a 37 km en dirección suroeste de la comuna de Santiago Centro. Las coordenadas geográficas aproximadas de Peñaflor $-33,606^{\circ}$ de latitud y $-70,876^{\circ}$ de longitud, y su elevación es de 395 m. Cuenta con una extensión territorial de 69 km² y

en general, sus pendientes decrecen de oriente a poniente. Limita al norte con la comuna de Padre Hurtado [23], al sur con Talagante, al este con Calera de Tango y al oeste con Melipilla (figura 9).

El río Mapocho es el principal recurso hídrico de la comuna, desde el cual se desprenden o desembocan, nueve canales de regadío. Las infiltraciones que se generan del escurrimiento de estos alimentan las napas subterráneas. De este modo, más del 50% de la superficie comunal constituye un área freática superficial [24].

FIGURA 9
UBICACIÓN REFERENCIAL DE PEÑAFLORES Y SUS LÍMITES COMUNALES



Fuente: Elaboración Propia En Google Earth

El río Mapocho es un afluente del río Maipo, su confluencia se produce en la comuna de El Monte a unos 25 km al sur oeste de Peñaflores. Ambos, junto a los demás tributarios, que componen su red hidrológica presentan un curso de agua exorreico [25]. Recibe importantes descargas de riles; siendo la mayor de ellas, entre los meses de abril y junio. El régimen hidrológico del río Mapocho es pluvionival, en consecuencia, sufre sus mayores crecidas en las estaciones de invierno y verano. Los cursos de agua se presentan en forma sinuosa y entrelazada, lo que le otorga una velocidad de escurrimiento menor, de ahí que, su cauce cuente con un extenso lecho de depósito fluvial pseudotrenzado.

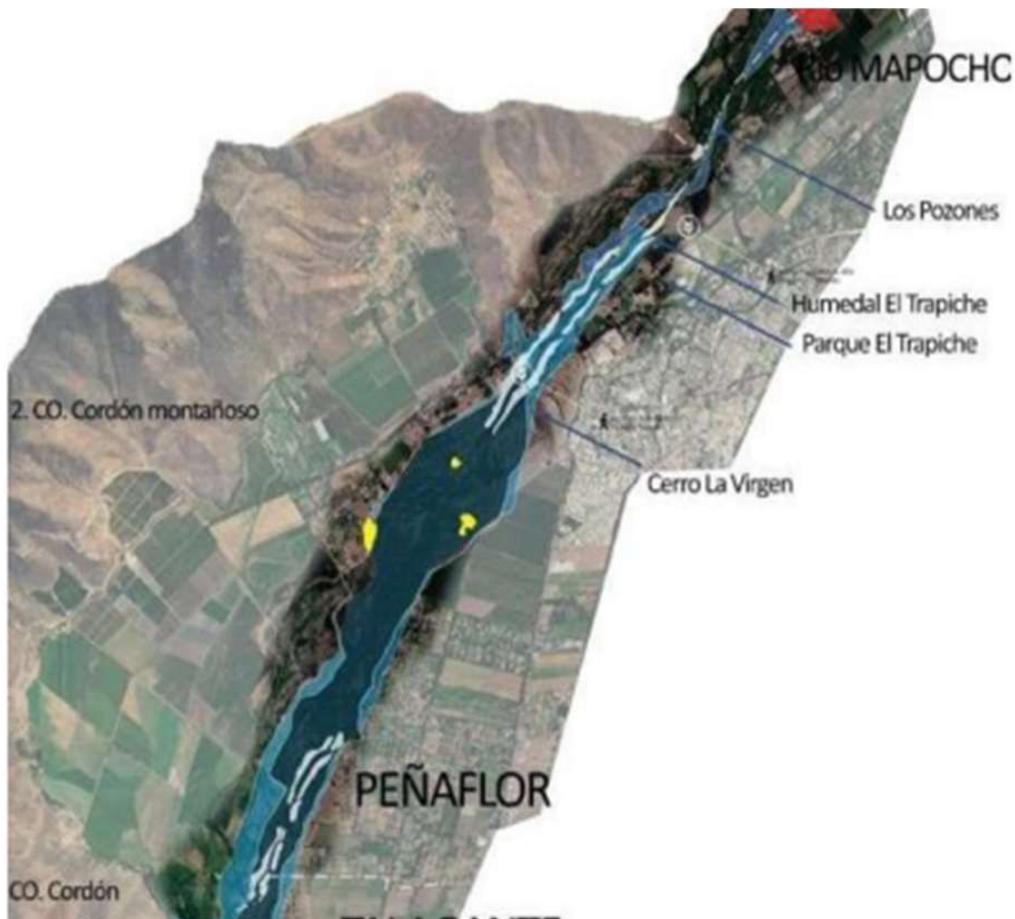
Por consiguiente, los depósitos fluviales son la principal fuente de áridos naturales de la comuna. Las rocas del río Mapocho son de origen sedimentario y volcánico; como granitos y andesitas. Desde el punto de vista granulométrico, presenta arenas y areniscas acumulados en algunos sectores, bolones y áridos gruesos; estos últimos en menor cantidad que el río Maipo.

En la planicie entre dicho cordón y el río, el uso es mayoritariamente agrícola, parcelas y de viviendas rurales, al igual que la existencia de obras de defensa fluvial (figura 10). Mientras que, al otro costado del lecho del río, hacia el este, sureste y sur, además de suelos de uso agrícolas, existen otros urbanizados cercanos al cauce.

En cuanto a la regulación de la extracción de áridos en la comuna, existe la ordenanza correspondiente, la cual data de junio de 1995 [27]. En ella se estipulan los mecanismos para solicitar los permisos y/o concesiones. Se aclara que, otorgados los permisos

conforme a la ley, será responsabilidad del permisionario o concesionario todo daño o afectación que se genere en el transcurso de sus actividades. Se permiten las actividades extractivas tanto artesanal como industrial, ya sea desde las islas de depósito fluvial como mediante bancos arenosos, con especificaciones técnicas y certificación correspondiente. Además, se señala que los permisos tienen una duración de 1 año, mientras que las concesiones tienen vigencia de entre 3 a 5 años, según lo amerite. Todos estos plazos pueden ser renovados si se considera que no han incurrido en faltas. Además, estipula que está prohibido procesar o comercializar el material en dicho lugar.

FIGURA 10
OBRAS DE DEFENSA FLUVIAL (EN COLOR BLANCO).



Fuente: Plan Maestro Borde De Ríos, Mapocho Y Maipo [26]

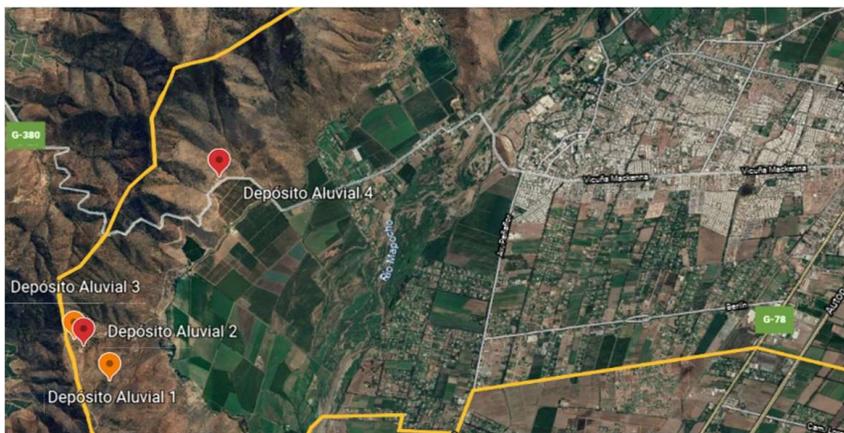
Al hacer una revisión a través de *Google Earth*, sistema que utiliza las imágenes satelitales del sensor QuickBird, se encontraron una gran cantidad de depósitos fluviales de pequeña y mediana envergadura dispuesto a lo largo de todo el río; específicamente en los lugares en los diferentes meandros y entre la vegetación presente entre las diversas islas,

por su cantidad no se han identificado de manera particular. Por su irregularidad y la presencia de huella vehicular en su inmediatas, algunos de ellos, parecen intervenidos. Aunque esta característica no necesariamente indica extracción de árido.

Por otro lado, no se observan construcciones de bancos arenosos, por lo tanto, se asume que de haber este tipo de actividad se hace de forma directa del cauce. Los depósitos aluviales se han identificado ya que son bastante menos, se han dejado fuera aquellos muy pequeños y de difícil acceso, como también aquellos de gran superficie menos concentrados a la vista. Se muestran entonces todos aquellos de una superficie de diámetro mayor a 10 m que presentan un aspecto más homogéneo. En la figura 11, se aprecian con indicadores en rojo aquellos depósitos que parecen intervenidos y en naranja los que no. El depósito aluvial 4, que se encuentra más alejado de los demás y más cercano a la carretera, tiene aspecto de ser un depósito que se ha generado posterior a la intervención del cerro.

Se observa que todas poseen maquinaria, por lo tanto, se considerará que la actividad que se está ejecutando es de carácter industrial, sin embargo, por el tamaño y distribución de las instalaciones parece ser una actividad industrial menor.

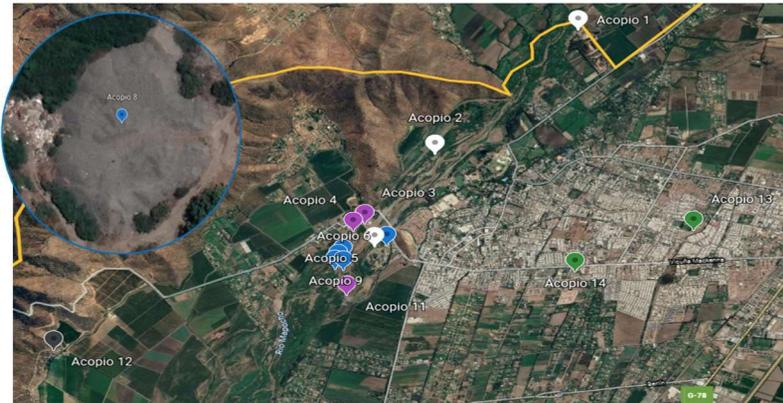
FIGURA 11
DEPÓSITO ALUVIAL CON Y SIN INTERVENCIÓN APARENTE



Fuente: Elaboración Propia Con Google Earth

En la figura 12 se observan los diferentes puntos de acopio identificados mediante Google Earth. Se muestran en azul aquellos que están en el cauce del río con actividad aparente, en violeta se muestran aquellos acopios que están al interior de una planta de procesamiento y en verde aquellos que se encuentran en zona urbana con fines de distribución y comercialización. Se ha reservado el color blanco para aquellos puntos que por apariencia son acopios, pero la resolución de la imagen no permite saber si son de áridos, pueden ser de tierra arcillosa, basura o escombros. El punto en negro es un ejemplo de ello, que al verificar en terreno corresponde a un acopio de escombros.

FIGURA 12
PUNTOS APARENTES DE ACOPIO DE ÁRIDOS



Fuente: Elaboración Propia En Google Earth

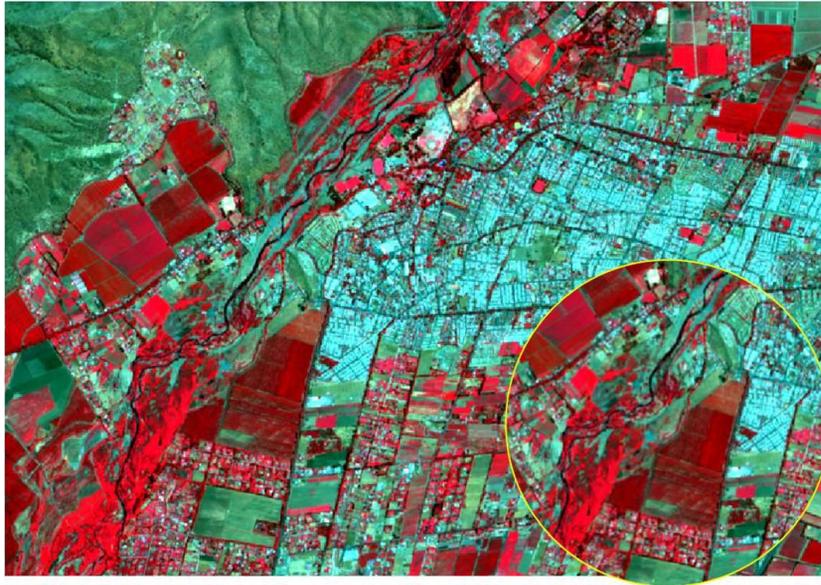
De esta manera, llegamos al punto central de la percepción remota: el procesamiento digital de las imágenes satelitales [28], donde se toma la información base entregada por los satélites en términos de bandas espectrales proveniente en formato matricial para proceder a modificar dicha información con el uso de algoritmos y obtener geoinformación con datos no invasivos de un territorio para analizar cambios, alteraciones o fenómenos ocurridos sobre la superficie terrestre. Todo comienza con la adquisición de imágenes, para el presente trabajo se han descargado dos imágenes Sentinel 2 de nivel 2A, con fechas 20 de diciembre del 2016 y 24 de diciembre del 2021 [29]. Además, se ha descargado una imagen OrbView3 desde **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**, con fecha 08 de diciembre del 2006, corregida radiométrica y topográficamente. También, se han descargado quince imágenes ya procesadas desde APPS SENTINEL-HUB con fechas 10 de noviembre del 2017, 10 de diciembre del 2018, 05 de diciembre del 2019, 09 de diciembre del 2020 y 09 de diciembre del 2021.

En esta parte se muestran los resultados obtenidos del procesamiento de las imágenes, ya mencionadas, a través de dos softwares diferentes y un servicio de procesamiento en línea. Los programas utilizados son GRASS GIS 7.8 y QGIS 3.16.9 [30]. Se optó por estos porque parecían ser más intuitivos que los demás enlistados. El procesamiento en línea se realizó y descargó desde APPSENTINEL-HUB, por ser el único dentro de los estudiados que permitía visualizar los resultados antes de ejecutar la descarga.

Para probar algunas de las técnicas de procesamiento se utiliza el programa QGIS. En él se procesa, en primer lugar, una imagen reciente de Sentinel2, es decir, aquella con fecha 24 de diciembre del 2021.

De esta manera tenemos la composición realizada es falso color convencional 843 para Sentinel2. Se observan los resultados en la Figura 13, en amarillo un acercamiento a la zona 1. En esta se aprecian los áridos en gris, pero la visualización de la vegetación en rojo otorga mayor contraste a la escena, quedando el árido mejor representado.

FIGURA 13
COMBINACIÓN FALSO COLOR CONVENCIONAL, 843 PARA SENTINEL2, 2021



Fuente: Elaboración Propia Con Qgis

Los resultados del NDVI se muestran en la Figura14, también con un acercamiento a la zona de interés. Se puede apreciar que la operación de este índice deja al árido y al suelo urbanos con valores cercanos a cero que se representan en color blanco y la vegetación vigorosa con índice mayor cercano a 1, se representan en verde oscuro [33]. Mientras que la vegetación arbustiva y menos densa se muestra en verdes más claros.

FIGURA 14
NDVI SENTINEL2, 2021



Fuente: Elaboración Propia En Qgis

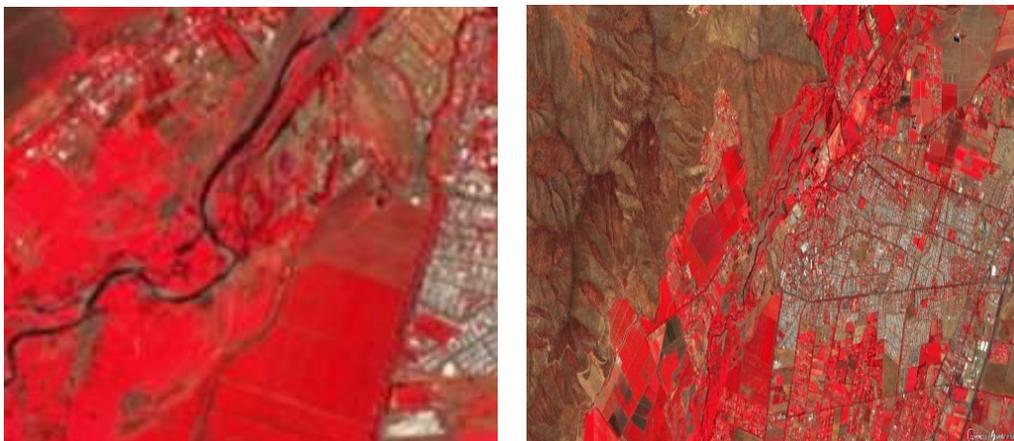
En la Figura 15 se aprecia el resultado de la clasificación supervisada, en esta imagen las cubiertas son más representativas, viéndose con claridad los sectores de acopio, las defensas fluviales y los depósitos de mayor envergadura. Aun así, sigue habiendo sectores de suelo urbano que se iluminan como árido, que por ser parte de los materiales que los componen es inevitable que suceda. Es importante señalar que en la cubierta de vegetación se ha incluido tanto suelo agrícola como zonas arbustivas.

FIGURA 15
SEGUNDA CLASIFICACIÓN SUPERVISADA DE IMAGEN SENTINEL2, 2021



Fuente: Elaboración Propia Con Qgis

FIGURA 16
COMPOSICIÓN FALSO COLOR 843 SENTINEL2, 2017 Y 2021 [ACERCAMIENTO]



Fuente: Elaboración Propia En Apps.sentinel-Hub

En la figura 16 se comparan los años 2017 y 2021 para notar las diferencias en este transcurso de tiempo. Se aprecia lo que ya se ha dicho antes respecto a la modificación del curso del río, la cantidad de sedimento en sus meandros y la aparición de un acopio

al sur. Pero también, se observa que en la medida que aumenta el acopio disminuye el contenido de vegetación en la zona intervenida.

En el sector norte del río también disminuye la vegetación y se aprecia un fenómeno similar lo que indicaría presencia de actividad extractiva también. Se logra visualizar también la huella de acceso al sector de extracción, la huella que conecta dicho lugar con el acopio y múltiples huellas que conectan el acopio con el sector más cercano al lecho del río.

3. ANÁLISIS

En primer lugar, es importante considerar que la comuna cuenta con una ordenanza propia para regular la extracción de áridos desde 1995, esto implica que cada empresa destinada a esta actividad en el sector posee un marco claro de acción. Sobre la base de que ninguna de estas empresas cuenta hoy con autorización ni patente, se infiere que tampoco con certificación ni declaración de impacto ambiental, ni estudio de impacto ambiental si fuera el caso. En consecuencia, todas requieren regularizarse.

Es necesario indagar si alguna de ellas en algún momento contó con autorización, para de este modo, poder definir desde cuando estarían funcionando de manera ilegal. Ya sea que desde siempre o no, también es sugerente investigar en qué punto son responsables de los cambios que se han generado en el río desde iniciada su actividad en el área. Luego, las infracciones que son posibles de constatar a través de imágenes satelitales son:

1. La ocupación de sector de la llanura sur del río por parte de la planta 3 desde el 2018 para actividades de acopio y clasificación de áridos. Se debe verificar si está o no en sector de uso público o bien dentro de dirección particular.
2. Alteración del nivel freático producto de múltiples pozos en las inmediaciones de la planta 3. Se debe medir las profundidades para evaluar el nivel de daño.
3. Fiscalización del origen de los áridos que se clasifican en dicha planta.
4. Presencia de un gran pozo al sur del río, cerca del Puente Pelvín desde el 2017. Evaluar si está dentro de suelo de uso público o bien en dirección particular.
5. Alteraciones del nivel freático producto de la explotación de este gran pozo. Se debe medir las profundidades para evaluar el nivel de daño.
6. Ocupación del sector norte del río para actividad de acopio por parte de la planta 1, la cual consta mediante huella vehicular que une su ubicación con los sectores de acopio en el cauce y por ser la única planta en funcionamiento desde que se visualiza dicho acopio.
7. Actividad de extracción desde el lecho y cauce del río por parte de la planta 1, la cual consta mediante huella vehicular que une su ubicación con los sectores de acopio en el cauce y a posibles focos de extracción desde el lecho en mismas temporalidades.
8. Presencia de diversos focos de extracción en el sector alto del río, no atribuibles a ninguna planta.

Un análisis del tipo GRAFITE nos señala que las infracciones (injusticias) serían: preventiva (pto. 5), retributiva (pto. 6), restaurativa (pts. 2 y 5), conmutativa (pto. 1), procedimental (pto.8) y distributiva (pts. 8 y 4).

El impacto medio ambiental que se ha generado por la actividad de extracción de áridos en la comuna, y que se puede observar a través del uso de imágenes satelitales, se relaciona principalmente con la disminución de la vegetación en las zonas involucradas, hay que recordar que esta posee gran importancia al actuar como una defensa fluvial natural (injusticia Restaurativa). Como se observa en las imágenes (figuras 14 y 15), el establecimiento de los acopios y plantas retrae la vegetación y, por lo tanto, las otras especies que en ella viven (injusticias Preventiva y Restaurativa). Imágenes que datan de 1985 muestran que las zonas que actualmente están siendo utilizadas para la extracción de áridos, eran zonas que poseían vegetación concentrada.

También, es relevante el resguardo de la zona recientemente nombrada Reserva Natural Municipal. Si bien, en la actualidad parece no estar afecta por focos de extracción requiere de mayor cuidado por la riqueza de los ecosistemas que allí habitan.

La desviación del curso de las aguas producto de las extracciones de áridos, no se pueden precisar, puesto que hay múltiples factores que se relacionan con este fenómeno. Sin embargo, la presencia de agua estancada en los múltiples pozos ya vislumbra un efecto negativo en la zona. Las afectaciones desde el punto de vista hidrológico es algo que se debe notificar a la DGA y por tanto todos los estudios que se requieran son de su competencia. Por otro lado, la inexistencia de autorización es algo que debe regular la municipalidad y puede utilizar la fuerza pública si lo requiriese. Paralelamente, ha de notificarse a la SMA quien debe evaluar el impacto que se ha realizado al medio ambiente y los incumplimientos que existan a la ley 19.300 [10].

En los sectores colindantes al cauce del río, existe presencia de zonas habitacionales y de parcelas de agrado que podrían verse afectadas por la modificación del curso del río y una eventual subida importante del caudal (injusticias Procedimental, Preventiva y Restaurativa). También, existen zonas agrícolas que podrían verse afectada en su producción de suceder el mismo fenómeno.

Por otra parte, la afectación sobre los límites prediales que genera el río al cambiar su curso incentiva a los propietarios o las entidades públicas a rellenar el lecho del río, lo cual si se hace de manera independiente sin los estudios pertinentes podría generar más alteraciones de este tipo en otros sectores, y aun cuando se realice con los debidos estudios por parte de las autoridades involucra un gasto público adicional. Cabe mencionar que se observaron varios puntos de rellenos en el periodo estudiado, que de no existir acción fiscal estarían afectando indiscriminadamente.

Es importante pensar en invertir recursos en la regularización para la extracción de áridos [32], así como también en la definición de métodos adecuados y controlados para dicha extracción, y en su futura fiscalización para que los procesos se realicen debidamente, para luego no tener que destinar recursos en la reparación de las consecuencias de una

actividad desregulada. En estos términos, tenemos que una fuente importante de recursos habría sido el pago de derechos y patentes para el municipio por la extracción de áridos. En este punto, el rol de la Contraloría General de la República es esencial para determinar si existe responsabilidad en alguna entidad pública involucrada, por la repercusión que esto tienen en los ingresos públicos, en la calidad de vida de los habitantes y el deterioro del medioambiente por el abandono u omisión de las funciones administrativas y fiscalizadoras de estos organismos.

El interés de las autoridades locales en ejercicio por la elaboración de un plan regulador puede ser una "punta de lanza" para realizar un levantamiento de los recursos naturales de la comuna, considerando los depósitos de áridos que existen y la definición de cuales son aptos para las actividades extractivas y cuáles no. Las imágenes satelitales serán una buena fuente de información para realizar un eventual diagnóstico, y los resultados podrían ser más detallados si se acompaña con otras técnicas de mensura. Por otro lado, la articulación de la labor municipal con las organizaciones locales es imprescindible para aumentar el control sobre el territorio. En el marco de esta misma línea existen experiencias a nivel latinoamericano, algunas de ellas documentadas en las publicaciones realizadas por la Red JUST-Side, sobre la importancia que tienen las comunidades y las geociencias en la gobernanza [2].

Luego, en el presente trabajo se han estudiado de manera conceptual algunas técnicas de teledetección las cuales están a disposición para el estudio y comprensión de diferentes fenómenos relacionados con los recursos naturales [33]. Las aplicaciones pueden ser innumerables y la elección de cada una de ellas dependerá de las características de lo que se desee estudiar. En nuestro caso, el árido es el segundo recurso natural más utilizado en el mundo, después del agua posee un comportamiento energético capaz de reflejar en qué forma se dispone, si es en un yacimiento, si es en un proceso productivo, en un punto de comercialización, o bien, en sus formas de uso. Dicho de otro modo, la respuesta espectral del árido similar al suelo desnudo y al suelo urbano refleja y evidencia su origen y su destino, respectivamente. Sin embargo, esto no constituye un problema a la hora de identificar en qué fase se encuentra, ya que la disposición, el tono, la forma y la relación con otras cubiertas presentes en la escena, permiten identificarlo [33]. Un ejemplo claro de ello es la forma redondeada que poseen los acopios, que se diferencian de las construcciones porque estas presentan formas cuadradas o rectangulares en su gran mayoría. O bien, la relación inversa que existe entre la vegetación y el árido, pues en la medida que la actividad extractiva gana terreno, la primera se retrae; esto constituye un elemento clave para identificar la cubierta de interés.

Al aplicar estas técnicas al estudio de los procesos extractivos del árido en un área determinada se ha podido analizar el comportamiento descrito. En consecuencia, hace falta ahora identificar cuál es el uso que se les puede dar para mejorar las instancias de fiscalización, principalmente formalizarlas desde la perspectiva de la percepción remota.

Sobre esto último se puede decir que las composiciones en color de las imágenes satelitales (ver figura 13) poseen la ventaja y, a su vez, la posibilidad de encontrar puntos de

acopio, pozos de extracción que alteran la capa freática y el retroceso de la vegetación por el aumento de la explotación del árido. En cuanto a los pozos, está limitada por la resolución, pero los más grandes aparecerán con claridad en resolución espacial de 10 m.

Las expansiones lineales o realces también son recomendables cuando se quiera aislar una cobertura (ver figura 16). Esta aplicación sobresale entre las otras porque simplifica la imagen, aumenta los contrastes y sería un buen elemento para realizar una ruta de fiscalización.

En cuanto a los pasos para identificación de zonas de interés, dentro de los procesos de fiscalización, tenemos que la velocidad con que se dispone de la información al trabajar con imágenes satelitales en comparación a otras técnicas de mensura que necesariamente requiere presencia en terreno, es más compatible. Además, la elaboración de un diagnóstico general a partir de imágenes satelitales gratuitas es completamente posible, ya sea desde Google Earth o bien mediante imágenes Sentinel2.

Dentro de los procesamientos digitales básicos aplicables a las imágenes de satélite son todos sencillos y rápidos de aplicar, a excepción de las clasificaciones supervisadas que podrían tardar un mayor tiempo para obtener buenos resultados. Por lo tanto, la mayoría de ellos son compatibles con una recopilación de antecedentes de forma remota y rápida, donde será posible apreciar la actividad extractiva y su impacto en el medio ambiente, además desde una perspectiva multitemporal [34].

Realizar una fiscalización rutinaria a gran escala, de la manera en que se ha planteado, es mejor que dejar los territorios sin cuidado porque no se tiene la capacidad para ir a terreno. Si bien, a la escala y con la precisión trabajada no se logra observar minuciosa y detalladamente todas las etapas de los procesos extractivos, si permitirá identificar la ocupación de sectores públicos o privados para realización de esta actividad y la forma en que intervienen sobre las especies aledañas; como, por ejemplo, si se han talado árboles, si se ha limpiado el suelo de su cobertura natural, si se está afectando los niveles freáticos, etc. Este diagnóstico general podría determinar que una demanda proceda y evitar que se desestime por falta de antecedentes.

En este conjunto y según el tipo de infracción que se esté demandando, será el alcance que puedan brindar las imágenes satelitales gratuitas para la verificación de los antecedentes. Como ya se dijo, con la resolución espacial de 10 m y la temporal de 10 días de Sentinel2, se podrán estimar fechas en que inicie o permanezca la actividad extractiva, se podrán definir sectores de mayor actividad, localización de acopios y plantas de procesamiento, algunos de estos indicadores podrán ser comprobados en Google Earth que ofrece mejor resolución espacial. Además, con esta verificación remota se podrán orientar y planificar de mejor manera las inspecciones en terreno, tanto aquellas que involucran visitas con mediciones simples y toma de fotografía común, como aquellas que involucran el uso de drones u otras formas de mensura.

En el futuro todas las instituciones relacionadas con la fiscalización de los recursos naturales deberían tener acceso a los datos proporcionados por FASat-Charlie y los próximos

satélites de la constelación chilena, según nuevo Sistema Nacional Satelital de Observaciones Terrestre [35]. Parte del diagnóstico planteado en este informe fue que Chile a pesar de ser un país que posee una infraestructura de datos propia, la difusión y uso de esta es escasa y sectorizada, en tanto se afirma que esta debería ser aprovechada de mejor manera para fortalecer los procesos de los organismos públicos.

En cuanto a la resolución de sentencias, la teledetección presenta una ventaja frente a otras técnicas de mensura en terreno, esta brinda la oportunidad de mirar hacia atrás y conocer desde qué fecha operan las empresas de extracción de árido. Esto será importante a la hora de aplicar multas a los infractores, de modo que sean acordes al tiempo que llevan operando en ilegalidad, pagarán así por el impacto que han generado desde iniciada su actividad y no solo desde el momento en que se realiza la demanda. En esta línea habría que considerar que los satélites son inspectores espaciales que recopilan antecedentes desde iniciada su operación, de este modo solo hace falta buscar la forma de sistematizar el acceso a su data. Hasta acá, se puede decir que las imágenes satelitales servirán principalmente como un aporte de antecedentes, ya sea para iniciar una demanda, o bien, para corroborar que los antecedentes presentados son procedentes. Ofrece la posibilidad de realizar un diagnóstico general de las zonas con mayor actividad extractivas, posibilitando la identificación de acopios, la localización de las plantas y la forma en la que intervienen en el medio. Por último, ofrece una alternativa viable para proceder con una investigación cuando las empresas se niegan a recibir a los inspectores, además de disponerse como una ventana hacia el pasado. En este punto, resulta importante recordar que existe poca claridad respecto al grado de responsabilidad de cada organismo en cuanto a la fiscalización de extracción de áridos, además de una desarticulación entre ellos y al interior mismo de las instituciones no existe la capacidad para asumir cabalmente la tarea de fiscalizar; se ven sobrepasados y no logran cubrir la fiscalización de actividades autorizadas ni ilegales. Por lo tanto, se requiere un marco normativo que aclare las funciones de cada entidad para que cada cual pueda proceder según su cometido. Ordenar las responsabilidades y hacer un trabajo sincronizado optimizará los esfuerzos en cuanto a la fiscalización.

En consecuencia, la efectividad de las políticas públicas depende de la existencia de marcos regulatorios claros, que reúna en este caso las disposiciones legales sobre la industria del árido y mencione de manera explícita los roles y relaciones, de cada y entre los organismos involucrados, respectivamente. Pero también, de la generación de las condiciones, recursos y capacidades para aplicar debidamente dichas leyes. Lo asegura así también un diagnóstico realizado sobre el Sistema Nacional de Coordinación de Información Territorial, SNIT ⁷, el cual, en sus falencias normativas sobre la asignación de

⁷ Red de instituciones públicas que trabaja para (...) poner a disposición de toda la comunidad, información geoespacial actualizada y confiable, que sea útil para la gestión pública y privada, atendiendo también a las necesidades ciudadanas [36].

atribuciones y responsabilidades de los órganos públicos, señala que: *“le ha dificultado la coordinación en la generación de la información geoespacial pública y su interoperabilidad”* [36]. De esta forma, se genera un desaprovechamiento de la infraestructura, productos y servicios espaciales, e impide que se desarrollen economías de escala al operar únicamente de manera sectorial.

Finalmente, la extracción de áridos constituye una actividad muy importante ligada a la industria de la construcción. Por ello, las regulaciones que se realicen en torno a ello tendrán un gran impacto en el desarrollo del país el cual requiere ser estudiado; tanto desde la perspectiva de la generación de empleos, de los indicadores de crecimiento económico, desde la alta demanda de material pétreo, cómo también, desde el impacto que genera en el medio ambiente [37]. Luego, es un deber poseer una estrategia para responsabilizarse adecuadamente en el uso de estos recursos públicos, es aquí donde las geotecnologías, y en particular la percepción remota mediante su aporte con imágenes satelitales, juegan un rol importante para la creación de políticas públicas efectivas para la protección y fiscalización de este y de otros recursos naturales.

4. CONCLUSIONES

A lo largo del desarrollo del presente artículo se ha logrado comprobar que la teledetección espacial o percepción remota puede ser utilizada como herramienta en los procesos de fiscalización de la extracción de áridos, y ponerla a disposición para las autoridades e instituciones consideren las potencialidades del uso de imágenes satelitales para el mejoramiento de las políticas públicas en este ámbito. Los argumentos demuestran en este artículo que en su conjunto al ser aplicadas en la zona de estudio correspondiente a la comuna Peñaflores — Chile, se pudo identificar presencia de extracción de áridos aun cuando dicha explotación no está autorizada.

De esta forma, se tiene desde el punto de vista de las geotecnologías que el uso de la percepción remota ofrece rapidez al realizar un diagnóstico en un área de gran extensión territorial como puede ser una comuna. Levantar esta gran cantidad de información que proveen las imágenes satelitales y compararlas con otras técnicas de mensura que involucra ir a terreno tomaría mucho más tiempo. En la actualidad en Chile no existe impedimento y/o autorización para acceder y proceder con la fiscalización, la cual mediante el uso de imágenes satelitales se realizaría en forma remota, siendo una técnica no invasiva.

Cabe destacar que el presente estudio se realizó únicamente con imágenes y programas de origen gratuito ya que el contexto sanitario mundial del año 2021 impidió el acceso a los recursos que pone a disposición en sus laboratorios la Universidad de Santiago de Chile en condiciones normales. Sin embargo, lo que ha sido una limitancia se ajusta muy bien a la idea de que los recursos en los organismos públicos siempre son escasos, y en ese

sentido presentar herramientas que no requieren de ninguna inversión es sin duda una potencialidad para el sector público. Incluso uno de los propósitos de la existencia de imágenes y softwares libres radica en poner a disposición insumos que sean accesibles para todos y brinden un aporte a las diferentes comunidades.

Las cubiertas con comportamiento espectral similar resultaron ser el suelo desnudo y el suelo urbano. Diversos indicadores permitieron diferenciarlo con claridad. Entre ellos resaltó la forma y textura de los acopios, la textura de las zonas intervenidas, la relación inversa de estas y el árido con la vegetación, y, la ubicación cercana al río. Es cierto que a partir de una única experiencia no se puede asegurar que aplicar estas técnicas funcionará para todos los casos que requieran un estudio sobre la extracción de áridos. No obstante, a partir de lo estudiado se puede afirmar que los áridos se comportaron según los antecedentes espectrales, variando levemente por sus características particulares, pero en definitiva permiten inferir que es altamente probable que se puedan distinguir de otras cubiertas en otras escenas. Se tiene entonces que, bajo escenas similares, estas técnicas podrían ser usadas para la fiscalización de extracción de áridos.

De las técnicas estudiadas los resultados de las clasificaciones supervisadas ofrecieron una mejor representación de la realidad que las no supervisadas, sin embargo, requirió de mayor tiempo su realización, recurso que se busca acotar en las fiscalizaciones. Las clasificaciones no supervisadas exigieron mayor conocimiento del sector estudiado y verificación en terreno, justamente lo que se trata de evitar para potenciar las fiscalizaciones remotas.

Ahora bien, ya que en cualquier caso es importante constatar en terreno la información visual obtenida con imágenes satelitales, esta verificación en terreno puede asociarse a la tarea de fiscalización, de este modo, el estudio remoto cumpliría un propósito orientativo. Por otro lado, las extracciones que no generan acopios en las inmediaciones del río no pueden ser identificadas cuando se mezclan con la cubierta urbana, o cuando no se relacionan con la actividad extractiva mediante huella vehicular, en esos casos se deberá indagar la procedencia de los áridos acopiados, sobre todo en direcciones particulares por otros medios.

A pesar de que este estudio no busca dar una solución al marco regulatorio, se constató que la industria del árido en Chile tiene una regulación poco madura, lo que no se condice con el nivel de explotación de dicho recurso. Esta situación beneficia a la industria del árido en términos que pueden explotar los causes de los ríos sin pagar ni asumir ningún costo. Sin embargo, los efectos y el riesgo que genera la extracción de árido implican un gasto en reparaciones y mantenciones bastante alto para el fisco. Sin mencionar, todos los costos medioambientales que no son contabilizados ni evaluados y que impactan de una u otra manera a todos los habitantes de los territorios en cuestión, lo cual se asocia directamente con las actividades del tipo GRAFITE ya señaladas anteriormente.

En la actualidad el uso de la teledetección espacial viene al alza; en el 2010 se estimó que *“el 10% del sector público presentaba una ‘utilización alta’ de imágenes satelitales como apoyo a su gestión institucional”*, la proyección para estos años era que llegase a un 64%.

Sin embargo, se puede comenzar a comprender cómo proceder con las fiscalizaciones sobre extracción de áridos, pero si no hay claridad de qué organismo es el más idóneo para fiscalizar los avances no lograrán materializarse. Por lo tanto, urge la definición de una normativa específica y clara, concluyendo que es importante avanzar hacia la utilización de las técnicas de teledetección en la industria del árido para aprovechar todo su potencial. Luego, el uso de percepción remota, incluyendo la variedad de geotecnologías asociadas, permitirá mejorar las políticas públicas pues en la medida que las entidades tomen conocimiento de los territorios podrán definir, comparar y priorizar por dónde comenzar las fiscalizaciones, según cuáles zonas están siendo más afectadas por la extracción de áridos y desde cuándo. Esto se convertirá en tomar el control de los territorios a través de una generación robusta de infraestructuras de bases de datos geoespaciales generadas a partir de plataformas espaciales y sus métodos no invasivos para estudios territoriales.

Para finalizar, la percepción remota o teledetección espacial debe ser una herramienta que sea considerada a la hora de zanjar las políticas por la potencialidad y el beneficio que ofrece, junto con ello los profesionales especialistas en el uso de las geotecnologías deben involucrarse en el sector público para poner a disposición estos conocimientos. Las diferentes instituciones deben abrirse e ir en búsqueda de profesionales para sacar mayor partido a este instrumento tecnológico que proporciona información técnico-científica para una mejor toma de decisiones y apoyo a reglamentaciones y leyes actualizadas más efectivas y eficientes.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] **Chuvieco, E.** *Fundamentos de la Teledetección Espacial*. Madrid: Ediciones Rialp S.A., 1990. Vol. 1.
- [2] **Instituto Jurídico de Faculdade de Direito da Universidade de Coimbra.** *Sistemas Sociais Complexos e Integração de Geodados no Direito e nas Políticas [Sistemas Sociales Complejos e Integración de Geodatos en el Derecho y la Política]*. Coimbra : Instituto Jurídico da Faculdade de Derito da Universidade de Coimbra, 2019.
- [3] **Ministerio de Bienes Nacionales.** <https://www.bienesnacionales.cl/>. [En línea] Ministerio de Bienes Nacionales, 2021. [Citado el: 2021 de Septiembre de 08.] <https://www.bienesnacionales.cl/?p=34472>.
- [4] **Velenzuela, J.** *Diagnóstico Multitemporal de la Situación de Extracción de Áridos en el Río Maipo, Comuna de Puente Alto — Porque*. Santiago de Chile: Universidad de Santiago de Chile, 2015. pág. 65.
- [5] **Orrego, K. y otros.** *Regulación Jurídica de la Extracción de Áridos*. Departamento de Estudios, Extensión y Publicaciones. s.l.: Biblioteca Nacional del Congreso Nacional de Chile/BCN, 2016. Asesoría Técnica Parlamentaria.
- [6] **Ministerio del Interior.** Decreto 2385. Versión 1 de julio del 2020 [ed.] Ministerio del Interior. *Decreto 2385 Fija Texto Refundido y Sistematizado del Decreto Ley Num. 3.063 de 1979, sobre Rentas Municipales*. s.l., Chile: Biblioteca del Congreso Nacional/BCN, 30 de Mayo de 1996. pág. 34.
- [7] **Ministerio de Obras Públicas.** Decreto con Fuerza de Ley 850. Versión 15 de Febrero del 2018 [ed.] Ministerio de Obras Públicas. *Decreto con Fuerza de Ley 850 Fija el Texto Refundido, Coordinado y Sistematizado de la Ley N.º 15.840 y del DFL. N.º 206, de 1960*. s.l., Chile : Biblioteca del Congreso Nacional/BCN, 12 de Septiembre de 1997. pág. 77.
- [8] **Ministerio de Hacienda.** Decreto con Fuerza de Ley 340. Versión 06 de Septiembre de 1991 [ed.] Ministerio de Hacienda. *Decreto con Fuerza de Ley N.º 340 sobre Concesiones Marítimas*. s.l., Chile: Biblioteca del Congreso Nacional/BCN, 05 de Abril de 1960. pág. 4.

- [9] **Baeza, E.** *Regulaciones sobre la Extracción de Áridos*. Comisión de Obras Pública, Transportes y Comunicaciones, Comisiones Legislativas de ambas Cámaras. s.l.: Biblioteca del Congreso Nacional, 2018. pág. 7, Asesoría Parlamentaria.
- [10] **Ministerio Secretaría General de la Presidencia.** Ley 19.300. Versión 13 de agosto del 2021 [ed.] Ministerio Secretaría General de la Presidencia. *Ley 19.300 Aprueba Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente*. s.l., Chile: Biblioteca del Congreso Nacional/BCN, 01 de Marzo de 1994. pág. 48.
- [11] **Ministerio del Interior.** Decreto con Fuerza de Ley 1. [ed.] Ministerio del Interior y Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo. *Decreto con Fuerza de Ley 1 Fija el Texto Refundido, Coordinado y sistematizado de la Ley N.º 18.695, Orgánica Consitucional de Municipalidades*. s.l., Chile: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile/BCN, 09 de Mayo de 2006. vol. Versión 07 de agosto del 2021, pág. 68.
- [12] **Diario de Concepción.** Legislar sobre la extracción de áridos en Chile. [ed.] Diario Concepción. *Diario Concepción*. Diario Concepción, 10 de Marzo de 2021.
- [13] **Geoinnova.** *Geoinnova/Imágenes Satelitales Gratuitas Principales Sitios WEB de Descarga*. [En línea] 02 de Febrero de 2021. [Citado el: 11 de Septiembre de 2021.] <https://geoinnova.org/blog-territorio/imagenes-satelitales-gruitas/>.
- [14] **Castro, J. y otros.** Cámara de Diputadas y Diputados. *Cámara de Diputadas y Diputados*. [En línea] 21 de Marzo de 2019. [Citado el: 11 de Septiembre de 2021.] https://www.camara.cl/legislacion/ProyectosDeLey/tramitacion.aspx?prmID=13031&prmB_OLETIN=12499-12.
- [15] **Garín, R. y otros.** Cámara de Diputadas y Diputados. *Cámara de Diputadas y Diputados*. [En línea] 03 de Julio de 2019. [Citado el: 11 de Septiembre de 2021.] https://www.camara.cl/legislacion/ProyectosDeLey/tramitacion.aspx?prmID=13293&prmB_OLETIN=12754-14.
- [16] **Calisto, M. y otros.** Cámara de Diputadas y Diputados. *Cámara de Diputadas y Diputados*. [En línea] 26 de Marzo de 2021. [Citado el: 11 de Septiembre de 2021.] https://www.camara.cl/legislacion/ProyectosDeLey/tramitacion.aspx?prmID=14707&prmB_OLETIN=14134-08.
- [17] **Herrera, V.** *Elementos de cartografía y teledetección para ambiente*: editorial universitaria U. de Santiago de Chile, 2005.
- [18] **Soria, M. y otros.** *Nociones sobre Teledetección*. [ed.] María Valentina Soria y María Angélica Matar de Saavis. San Juan: Universidad Nacional de San Juan, 2016.
- [19] **Equipo de Desarrollo del GRASS.** GRASS GIS. *grass.osgeo.org*. [En línea] GRASS GIS, 2022. [Citado el: 04 de Enero de 2022.] <https://grass.osgeo.org/>.
- [20] **SENTINEL-HUB.** Scripts Personalizados. *Scripts Personalizados*. [En línea] 2020. [Citado el: 17 de Enero de 2022.] <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/>.
- [21] **Comisión Nacional de Áridos.** *Industria del Árido en Chile — Sistematización de Antecedentes Técnicos y Ambientales*. s.l.: Corporación de Desarrollo Tecnológico — Gobierno de Chile, 2001. pág. 316. vol. 1.
- [22] **Karzenbaum, H. y otros.** *Introducción a la Teledetección Cuantitativa*. s.l.: Instituto de Astronomía y Física del Espacio. pág. 46.
- [23] **SEREMI Metropolitano de Vivienda y Urbanismo.** Peñaflo: Límite Extensión Urbana Zonificación y Viabilidad Urbana Metropolitana — Plan Regulador Metropolitano de Santiago. *Plan Regulador Metropolitano de Santiago — Secretaría Ministerial Metropolitana* — MinVu. Peñaflo, Chile: Gobierno de Chile, 2008.
- [24] **Explora Geología.** *Estudios sobre Áridos: geología, legislación, medio ambiente, normativa, explotación y tratamiento*. [ed.] Explora Geología. 1. s.l. : Explora Geología, 2010. pág. 106.
- [25] **CADE IDEPE Consultores Ingeniería.** *Cuenca del Río Maipo*. s.l.: Gobierno de Chile, 2004. pág. 201.
- [26] **Ministerio de Medio Ambiente.** *Plan Maestro Borde de Ríos, Mapocho y Maipo. Comunas: Peñaflo, El Monte, Talagante e Isla de Maipo*. Peñaflo, El Monte, Talagante e Isla de Maipo : Gobierno de Chile, 2021. pág. 177.
- [27] **Municipalidad de Peñaflo.** Decreto n.º 1257 — Oredenanza Local de Extracción de Áridos de la Comuna de Peñaflo. Peñaflo, Chile: Municipalidad de Peñaflo Secretaría General, 16 de Junio de 1995. pág. 13.
- [28] **Canada Remote Sensing Centre.** *Fundamental of Remote Sensing*. s.l. : Canada Remote Sensing Centre, 2011. pág. 258.

- [29] **Bravo, N.** *Teledetección Espacial, Landsat, Sentinel2, ASTER LIT y MODIS*. s.l.: Universidad Nacional Agraria de la Selva, 2017. pág. 105.
- [30] **QGIS**. [En línea] QGIS, 04 de Enero de 2022. [Citado el: 04 de Enero de 2022.] <https://www.qgis.org/es/site/>.
- [31] **Campusano, S. y otros.** *Análisis Breve del Humedal El Trapiche*. Santiago de Chile : DUOC, 2019. pág. 30.
- [32] **I. Municipalidad de Peñaflores — Dirección de Asesoría Jurídica.** Decreto n.º 496 — Ordenanza sobre Derechos Municipales por Permisos, Concesiones y Servicios Municipales. *Ordenanza sobre Derechos Municipales por Permisos, Concesiones y Servicios Municipales*. Peñaflores, Chile : Municipalidad de Peñaflores, 20 de Enero de 2012. pág. 14.
- [33] **Herrera, V.** *Introducción a la Percepción Remota*. Santiago de Chile : Universidad de Santiago de Chile, 1998. págs. 76.
- [34] **Hurtado, J. y otros.** *Generación de la Cartografía Temática Multitemporal para la Reserva Forestal Thomas Van Der Hammen a partir de Sensores Remotos y Sensores Próximos*. Bogotá : Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2015. pág. 186.
- [35] **Centro de Estudios Estratégicos y Aeroespaciales.** *Chile en el Espacio: de FASat-A al Sistema Nacional Satelital*. 06/2021, s.l.: CEEA, Fuerza Armada de Chile, Junio de 2021, Boletín Informativo y de Análisis, pág. 2.
- [36] **IDE Chile.** Ministerio de Bienes Nacionales IDE CHILE Infraestructura de Datos Geoespaciales. *IDE CHILE*. [En línea] 2022. [Citado el: 09 de Febrero de 2022.] <https://www.ide.cl/>.
- [37] **Sotomayor, L.** *Guía de Condiciones Medioambientales a Considerar para el Diseño de una Planta de Extracción y Procesamiento de Áridos*. Valdivia : Universidad Austral de Chile, 2009. pág. 123.