



Universidad de Concepción
Facultad de Arquitectura Urbanismo y Geografía
Departamento de Geografía

**“DIAGNÓSTICO DEL ESTADO DE LOS SUELOS EN LA COMUNA DE
HUALQUI, REGIÓN DEL BIOBÍO: CONSECUENCIAS DE LOS CAMBIOS
DE USO”**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓGRAFA

IVETTE MASSIEL ULLOA CANIU

Profesora Guía: Dra. Ianire Galilea Salvador

Concepción, julio de 2022



Agradecimientos:

Agradezco en primer lugar a Dios y a la Ñuke Mapu, por iluminarme y protegerme durante estos años de formación académica y de vida.

A mi madre Luz, a quien amo incondicionalmente, gracias por tu apoyo, dedicación, valoración y amor que me regalas cada día y sobre todo gracias por nunca minimizar mis sueños.

A mi sobrina Amparo, gracias por alegrarme mis días con tus bromas, chistes y jugarretas, eres la personita más increíble del mundo.

A mi hermano Chino, gracias por tu sabiduría, cada una de tus palabras y consejos me dio la seguridad que a veces perdía.

A mi padre Sergio, gracias por la confianza.

Este logro también es de ustedes.

A mi profesora Ianire, gracias por ser mi guía y exigirme siempre a dar lo mejor, por sus observaciones y valorar mis esfuerzos, pero, sobre todo, gracias por la paciencia y su buena onda.

Gracias a todos mis profesores, sé que me dieron una excelente formación para ser una gran geógrafa.

A mis amigos y compañeros de carrera, gracias por ayudarme, acompañarme y quererme en estos años que convivimos.

Gracias a todas las personitas que tuve el gusto de conocer en la FAUG, por sus palabras de apoyo y las sonrisas.

Chaltumay Kom Pu Che!

Elangechi domo may ta beyti weychakelu

¡Mujer hermosa es la que lucha!



ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN.....	8
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
3.	JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	10
4.	HIPÓTESIS O PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	10
5.	OBJETIVOS	11
5.1.	Objetivo General	11
5.2.	Objetivos Específicos	11
CAPÍTULO I.....		12
6.	MARCO CONCEPTUAL	12
6.1.	Ecosistema	12
6.2.	Suelo	12
6.2.1.	Funciones ecológicas del suelo	14
6.2.2.	Calidad del suelo	15
6.2.3.	Indicadores de calidad.....	15
6.3.	Uso de suelos	16
6.4.	Degradación de suelos	17
6.4.1.	Degradación por erosión hídrica	17
6.4.2.	Degradación por dinámica de vertientes	19
6.4.3.	Degradación antrópica	20
6.5.	Ordenamiento Territorial	21
6.6.	Erodibilidad	22
CAPÍTULO II.....		23
7.	CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	23
7.1.	Localización	23
7.2.	Litología	24
7.3.	Geomorfología	24



Diagnóstico del estado de los suelos en la comuna de Hualqui, región del Biobío: consecuencias de los cambios de uso

7.4.	Clima	25
7.5.	Suelos	25
7.6.	Hidrología.....	27
7.7.	Vegetación y usos de suelo	27
7.8.	Demografía.....	28
CAPÍTULO III.....		30
8.	METODOLOGÍA.....	30
8.1.	Estimación de la erodibilidad.....	30
8.2.	Cambios en los usos de suelo (2017-2022).....	32
8.3.	Caracterización del estado de las cubiertas vegetales (2013-2022)	33
8.4.	Clasificación de los suelos por niveles de erosión	36
CAPÍTULO IV		38
9.	RESULTADOS	38
9.1.	Estimación de la erodibilidad.....	38
9.2.	Cambios en los usos de suelo (2017-2022)	40
9.3.	Caracterización del estado de las cubiertas vegetales	45
9.4.	Clasificación de los suelos por niveles de erosión	48
10.	CONCLUSIONES.....	50
11.	DISCUSIÓN.....	51
12.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53
13.	ANEXOS.....	75
13.1.	Incendios forestales en la temporada 2016/2017	75
13.2.	Niveles de erosión en 2010	76



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: COMPOSICIÓN EN VOLUMEN DE LOS SUELOS	13
FIGURA 2: TIPOS DE EROSIÓN HÍDRICA EN LADERAS	19
FIGURA 3: UBICACIÓN DE LA COMUNA DE HUALQUI	23
FIGURA 4: SUELOS DE LA COMUNA SEGÚN FAO (2022)	26
FIGURA 5: PISOS VEGETACIONALES DE LA COMUNA	28
FIGURA 6: TRIÁNGULO DE CLASES TEXTURALES	31
FIGURA 7: LUGAR DE TOMA DE MUESTRA	32
FIGURAS 8 Y 9. USO DE SUELOS EN 2017 Y 2022	41
FIGURA 10: CAMBIOS DE USO DE SUELO ENTRE 2017 Y 2022	43
FIGURA 11: VEGETACIÓN SALUDABLE 2013 VS 2022	44
FIGURA 12: NDVI 2013/2022	46
FIGURA 13: COMPOSICIÓN MULTITEMPORAL NDVI 2013/2022	47
FIGURA 14: DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE EROSIÓN	49



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: DISTRIBUCIÓN DE POBLACIÓN POR RANGO ETARIO	29
TABLA 2: BANDAS DEL LANDSAT 8	34
TABLA 3. RELACIÓN ENTRE CLASE TEXTURAL Y VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN	38
TABLA 4. CLASES DE ESTRUCTURA Y VALOR	39
TABLA 5: CLASIFICACIÓN DE LA ERODIBILIDAD SEGÚN RIVERA Y GÓMEZ (2022), RECLASIFICADO PARA LOS SUELOS DE HUALQUI.....	40
TABLA 6: USOS DE SUELO ENTRE 2017 Y 2022.....	42
TABLA 7: CAMBIO DE USOS DE SUELO (GANANCIAS Y PÉRDIDAS EN HA)	43
TABLA 8: VALORES NDVI (2013/2022).....	45
TABLA 9: SUPERFICIE POR NIVELES DE EROSIÓN.....	50



Resumen

Los cambios en los usos de suelo han perturbado su dinámica y comportamiento natural a escala global, llegando a ser uno de los problemas ambientales más significativos, especialmente, porque el suelo es un recurso no renovable a escala humana y se encuentra muy vulnerable al cambio climático global y a las actividades antrópicas.

El suelo es un subsistema fundamental dentro de los ecosistemas terrestres. Es proveedor de recursos y servicios ambientales para el ser humano y, sin embargo, está sujeto a cambios físicos, químicos y biológicos que influyen en su funcionalidad, debido a las diferentes prácticas de manejo.

La presente Tesis tiene como finalidad estudiar los suelos de la comuna de Hualqui y diagnosticar su estado mediante la comparativa de imágenes satelitales (Landsat 8) desde el 15 de diciembre del 2013 hasta el 20 de abril del 2022; además de imágenes Sentinel-2 con cobertura CORINE Land Cover de los años 2017 y 2022.

El estudio concluyó que la comuna de Hualqui presenta alteraciones en sus suelos ya que parte de su vegetación ha desaparecido o presenta un estrés demostrado en los cálculos de los índices de NDVI e Infrarrojo. Además, se presenta la relación entre estas alteraciones con el cambio de uso de suelo que sufrió la comuna, evidenciada por la deficiente planificación territorial, pues desde el pasado PRC (1982) y su actualización (2017) pasaron 35 años, espacio de tiempo en el que ninguna institución reguló el crecimiento de la comuna.

Palabras clave: Comuna de Hualqui, diagnóstico de suelos, actividad antrópica, uso de suelos, cambio de usos de suelos.



1. Introducción

El territorio chileno posee más de 750.000 km² de superficie de suelo, de los cuales 375.000 km² se encuentran degradados (Universidad de Chile, 2017). En esta línea, la erosión se ha catalogado, junto con la desertificación, como uno de los problemas ambientales más importantes; siendo los suelos más afectados los del secano costero y secano interior.

A nivel nacional el 76% de los suelos están afectados por sequía, desertificación y diversos niveles de degradación (SudAustral Consulting SpA, 2016); mientras que la totalidad de los glaciares estudiados se encuentran en retroceso por el aumento de las temperaturas (DGA, 2011) y 110 acuíferos tienen una demanda comprometida superior a su recarga (Ministerio del Interior, 2015). Estos fenómenos, ligados a una deficiente planificación en el contexto del cambio climático, comprometen los recursos naturales indispensables para el ser humano como lo son el agua y el suelo, protagonista este último de nuestra investigación.

El suelo es uno de los recursos naturales más importantes ya que, de acuerdo con Crosara (2007), son sistemas naturales complejos y, de gran variabilidad debido a la acción de agentes climáticos, geológicos y bióticos que influyen en sus características y comportamiento. Además, los suelos cumplen con importantes funciones de las cuales se derivan servicios ambientales indispensables para el sostenimiento del ecosistema y de la vida humana. De ahí que su degradación se considere como el mayor problema mundial ambiental que amenaza la producción mundial de alimentos y una de las principales amenazas para el desarrollo sostenible de los terrenos agrícolas (Cotler *et al*, 2007).

Algunos autores consideran el cambio de uso de suelo como la primera causa de aceleración de la erosión, que se vuelve más compleja cuando se maneja en función de sus aptitudes y no conforme a sus limitaciones, lo que significa en la



práctica una pérdida progresiva del mismo (Castro, 2018). Por otra parte, el cambio de uso de suelo se ha convertido en un importante potenciador del cambio climático regional y global (Houghton *et al*, 1999) porque genera distintas transformaciones atmosféricas y ecológicas cuando el CO₂ retenido en el subsuelo se escapa hacia la atmósfera. Además, la eliminación de la cubierta vegetal genera que las condiciones de temperatura y humedad cambien, pues al caer la lluvia hay más escurrimientos de agua que arrastran el suelo con una serie de consecuencias (UNAM, 2017).

Los procesos de expansión urbana forman parte de la evolución de las ciudades. En este sentido los usos de suelos, el equilibrio del medio ambiente y la calidad de vida de las personas se ven alteradas. Desde el desarrollo de las grandes civilizaciones, el ser humano se ha asentado preferentemente en áreas fluviales y costeras debido a la gran disponibilidad de recursos naturales y, por lo tanto, del aprovechamiento económico que podía efectuarse en las mismas (Kühn *et al*, 2004).

En Chile existe gran diversidad de suelos debido a la amplia variedad de procesos genéticos que han intervenido en su origen (Santibáñez *et al*, 2000; citados en Abarzúa, 2017). Así Luzio (2010) plantea que es posible identificar ocho zonas edáficas en el país (zona desértica, zona árida y semiárida, zona mediterránea árida, zona mediterránea húmeda, zona húmeda, zona de Magallanes, zona Antártica y suelos de Isla de Pascua y Juan Fernández).

Esta investigación tiene como objetivo diagnosticar el estado de los suelos de la comuna de Hualqui (cuenca del río Biobío), perteneciente a la zona edáfica mediterránea húmeda (Luzio, 2010), que, para el año 2017, lideraba a las comunas con menos disponibilidad de terrenos, con 20 hectáreas (Diario Concepción, 2017).



2. Planteamiento del Problema

La República de Chile presenta una alta diversidad climática, vegetal y edáfica. En particular, la región del Biobío, donde se ubica la comuna de Hualqui, ha sufrido transformaciones y cambios debido a prácticas de manejo y uso de suelos escasamente planificadas. Es en este punto donde nuestra investigación es esencial, puesto que Hualqui carece desde hace 35 años de estudios que consideren las aptitudes del suelo para los diferentes usos que puedan albergar.

3. Justificación del problema

Los suelos proporcionan innumerables servicios ecosistémicos que pueden verse afectados por los cambios de uso que deterioran su calidad, siendo los suelos bajo cubierta boscosa los más perjudicados por la eliminación del sustrato arbóreo que deviene en consecuencias graves como la pérdida de materia orgánica y nutrientes, exposición a la erosión hídrica y eólica, reducción de la actividad microbiana y la afectación directa o indirecta de sus propiedades físicas y químicas (SEMARNAT, 2005). Por otra parte, los suelos de dedicación forestal no son los únicos afectados por los cambios de uso, ya que también las zonas agrícolas están sometidas a los procesos de urbanización con el establecimiento de nuevos asentamientos (González, 2013).

4. Hipótesis o pregunta de investigación

Los suelos de la comuna de Hualqui, ubicada en la cuenca del Biobío, han sufrido los efectos ambientales de las intervenciones antrópicas inadecuadas derivadas de una deficiente planificación territorial. Todo ello conlleva a su degradación, que deviene en un potencial incremento de amenaza para la población a padecer ciertos riesgos.



Diagnóstico del estado de los suelos en la comuna de Hualqui, región del Biobío: consecuencias de los cambios de uso

5. Objetivos

5.1. Objetivo General

- Relacionar la degradación de los suelos de la comuna con las actividades socioeconómicas que tienen lugar en la misma.

5.2. Objetivos Específicos

- Diagnosticar el estado de los suelos de la comuna de Hualqui
- Identificar los suelos degradados.
- Estimar la erodibilidad de los suelos.
- Clasificar los suelos degradados en niveles de acuerdo con su afectación.





6. Marco Conceptual

En este capítulo se exponen los conceptos en los que se respalda el presente estudio desde la perspectiva del manejo y conservación del suelo. Se realiza una revisión bibliográfica de la comuna de Hualqui como escala de trabajo utilizada, haciendo énfasis en el recurso suelo como sujeto de estudio, así como de los conceptos derivadas de una mala gestión de este.

6.1. Ecosistema

El término “ecosistema”, acuñado por Tansley (1935), se entiende como “el complejo de organismos junto con los factores físicos de su medio ambiente en un lugar determinado”, y es propuesto como una de las unidades básicas de la naturaleza. Este planteamiento resalta la idea de ecosistema como “unidad básica de la naturaleza”.

A partir de su composición inicial, el ecosistema ha sido ampliamente utilizado como marco de referencia para entender cómo funcionan los seres vivos y su medio ambiente, hasta llegar a ser propuesto como concepto de organización, marco y teoría central en la ecología, o como una estrategia para la gestión de los recursos, su conservación y uso de manera equitativa (Armenteras *et al*, 2016).

6.2. Suelo

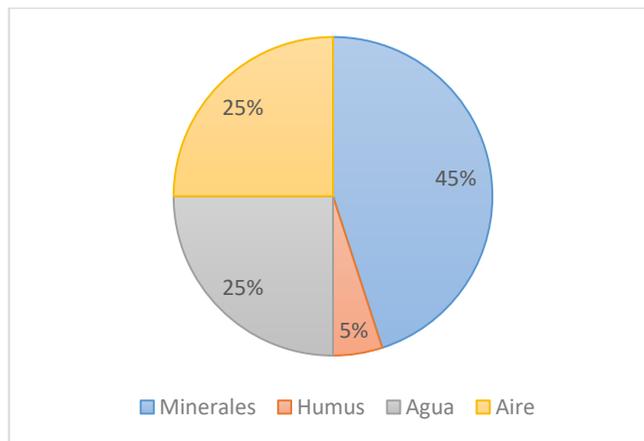
La palabra suelo deriva del vocablo latín *solum*, que significa “base o tierra en que se vive”. La Edafología, la ciencia abocada a su estudio, lo define como “ente natural, organizado e independiente, con unos constituyentes, propiedades y



génesis que son el resultado de la actuación de una serie de factores activos (clima, organismos, relieve y tiempo) sobre un material pasivo (la roca madre) (Muñoz, 2007). Otras definiciones, como la acuñada por la Soil Survey Staff (1994), describen al suelo como un cuerpo tridimensional continuo formado por cuatro componentes físicos importantes: los sólidos (orgánicos e inorgánicos), los líquidos, los gases y los elementos bióticos (Harold y Hocker, 1984), los cuales representan los canales de entrada y salida de materia y energía, donde la actividad humana ha intervenido para mejorar o reducir sus propiedades.

El suelo constituye un conjunto complejo de partículas producto de la descomposición de rocas y otros materiales; con elementos físicos, químicos y biológicos que componen el sustrato natural en el cual se desarrolla la vida en la superficie (Figura 1). Cualquier influencia sobre sus propiedades o características puede generar cambios en su productividad, afectando su conservación (Gobierno de Chile, 2008), ya que el suelo se considera un recurso natural no renovable (Silva y Correa, 2009), de difícil y larga recuperación. Asimismo, es uno de los ecosistemas más diversos y complejos de la naturaleza puesto que en ningún otro espacio existe tanta diversidad de vida (INIA, 2015).

Figura 1: Composición en volumen de los suelos



Fuente: Elaboración propia según datos de Cepeda (1991)



De acuerdo a Jenny (1994), los factores principales de la formación de un suelo son el clima, los organismos, la topografía, el material original y el tiempo; expresados en la ecuación:

$$= f (cl, o, r, p, t)$$

Donde f es el suelo, cl representa al clima, p al material original, o a los organismos, t el tiempo y r la topografía. Esta ecuación es la que actualmente se considera para la descripción de los suelos, ya que, conocer sus factores formadores permite entender cómo la alteración los afecta (González, 2013).

6.2.1. Funciones ecológicas del suelo

Los suelos desempeñan múltiples funciones ecológicas. En primer lugar, son fuente de materia prima mineral a partir de la meteorización de las rocas, al igual que son fuente de materia orgánica al funcionar como soporte de la flora y la fauna (Porta *et al*, 2014). En relación a su papel en la dinámica atmosférica, regulan el ciclo hidrológico al controlar las entradas, salidas y el almacenaje de agua; controlan el microclima al absorber parte de la radiación solar, interviene en la evaporación del agua retenida en su espacio poroso y fijan gases de efecto invernadero evitando que acaben en la atmósfera (Vergara *et al*, 2004; Porta *et al*, 2014). Por otra parte, por su cualidad de funcionar como filtro natural, atenúan los efectos de los contaminantes impidiendo que, en gran medida, penetren hacia las napas asegurando así la calidad del agua (Blum y Santelices, 1994). En último lugar, los suelos son el hábitat de gran cantidad de especies y el soporte físico de las actividades humanas.



6.2.2. Calidad del suelo

Calidad es el término que define la capacidad de una clase determinada de suelo para funcionar dentro de un ecosistema, asegurar la producción agrícola o forestal, mantener o aumentar la calidad ambiental, y promover la salud y el bienestar de los seres vivos (Astier *et al*, 2002; Porta *et al*, 2014).

En este sentido, la calidad de un suelo está determinada por los siguientes elementos: i) la estructura, que marca el umbral de manejo de un suelo, ii) el mantenimiento del pH (que influye en la disponibilidad de nutrientes), iii) la disponibilidad de fósforo, potasio y nitrógeno para las plantas, iv) la disponibilidad de materia orgánica para la potencialidad productiva y v) la diversidad de la edafofauna, señal de un suelo saludable.

Con las intervenciones inadecuadas los procesos de degradación natural se aceleran y el suelo pierde su calidad. De acuerdo a Castillo (2004), existen diversas actividades humanas que ponen en peligro la calidad de los suelos como son la contaminación por vertidos urbanos, agrícolas e industriales; pérdida de materia orgánica por sobreexplotación, erosión, reducción de la biodiversidad, salinización, sellado, compactación e inundaciones y deslizamientos de tierras.

6.2.3. Indicadores de calidad

Un indicador de calidad es una herramienta que permite conocer y verificar información de las propiedades, procesos y características de un recurso, con la intención de su posterior monitoreo, planificación y evaluación (Taylor, 2010). En consecuencia, los indicadores deben presentar los siguientes atributos: i) sensibilidad a los cambios bajo diferentes prácticas, ii) facilidad de evaluación e interpretación y iii) accesibilidad para los usuarios (Doran *et al*, 1994).

Los indicadores para la evaluación de la calidad del suelo deben integrar aspectos químicos, físicos y biológicos, para relacionar los datos que cada indicador



muestra. La finalidad es obtener un panorama completo acerca de lo que sucede en el suelo y la manera en que cada variable se interrelaciona y puede explicar a otros fenómenos relacionados con sus propiedades. De acuerdo a la metodología de la Natural Resources Conservation Service (NRCS), los indicadores de calidad de suelo se pueden clasificar en cuatro grupos: i) visuales, ii) físicos, iii) químicos y iv) biológicos (González, 2013).

6.3. Uso de suelos

Las diferentes formas en que se emplea un terreno y su cubierta vegetal se conocen como usos de suelo (SEMARNAT, 2010). Los tipos de suelo y su grado de explotación influyen en las variedades del paisaje y, al modificarse, ocasionan cambios en relación al hábitat, biodiversidad, bienes y servicios ambientales y la capacidad productiva de los ecosistemas (Núñez y Velasco, 2010).

6.3.1. Cambio de uso de suelo

El término cambio de uso de suelo hace referencia a la sustitución de ciertos usos de la tierra por otros bajo condiciones constituidas legalmente donde, de acuerdo al Gobierno Regional del Biobío (2000), se pueden identificar dos tipos de situaciones. La primera, cuando una zona con un uso consignado a través de un instrumento de planificación pasa a otro a través de la modificación del respectivo instrumento de planificación y; la segunda, cuando se sustituye un uso de suelo no urbano, por uno predominantemente urbano (ya sea residencial, equipamiento, industrial, etc.) fuera de los límites que permiten estos cambios.



6.4. Degradación de suelos

Degradación es el término que describe cómo las condiciones del suelo han cambiado a peor, pudiendo esta prevalecer durante un corto espacio de tiempo y el suelo recuperarse, o pudiendo prolongarse lo suficiente como para causar un cambio permanente. La degradación se manifiesta en aspectos físicos (erosión), químicos (déficit de nutrientes, acidez, salinidad, etc.) y biológicos (deficiencia de materia orgánica) (Gobierno de Chile, 2013).

Algunos procesos de degradación son de origen natural y forman parte del ciclo geológico, pero, a escala humana, la degradación se puede acelerar y hacer que un suelo pierda su utilidad más rápido que de manera natural. En este sentido la degradación antrópica está relacionada con el clima, relieve y las propiedades de los suelos; pero, sobre todo, con la deforestación, el establecimiento de sistemas agrarios inapropiados y el impacto que causan las políticas públicas (Espinosa *et al*, 2011).

Para Ibáñez Martí (s/f), el suelo no es un recurso renovable a escala humana, ya que este requiere de cientos o miles de años para regenerarse. En este sentido, se debe distinguir entre degradación y pérdida de suelo. La primera implica su deterioro y pérdida de calidad productiva, mientras que la segunda supone su desaparición.

6.4.1. Degradación por erosión hídrica

La degradación por erosión hídrica supone la pérdida de las partículas de suelo debido al impacto inicial de las gotas de lluvia y su posterior movilización por la escorrentía superficial. Para que la erosión hídrica ocurra, el suelo tiene que estar desprovisto de cubierta vegetal, o esta ser muy escasa y dispersa. De hecho, los factores que controlan la erosión hídrica son la intensidad y distribución de las precipitaciones, la cobertura vegetal, la topografía y las características físico-químicas del suelo.



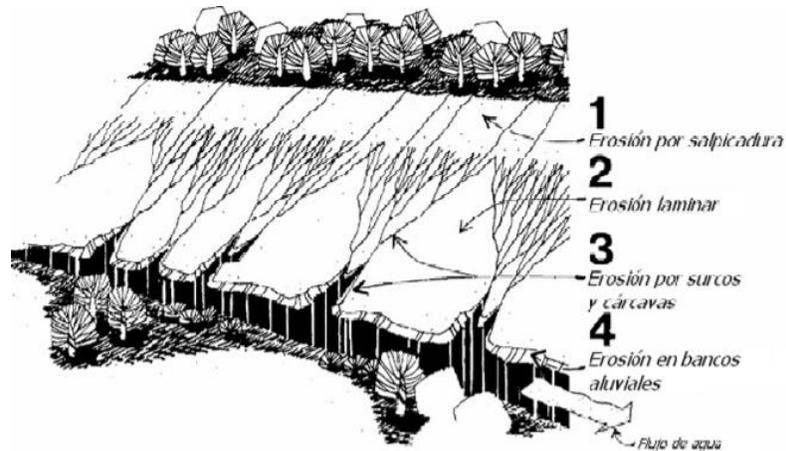
Los efectos interactivos de estos factores, en un tiempo determinado, influyen en el volumen y superficie de suelo erosionado. Así, mientras más larga e inclinada es la pendiente, el suelo se verá más afectado por la erosión, asimismo, cuanto mayor sea la capacidad de transporte por escorrentía bajo una intensa lluvia, resultará en una mayor tasa de pérdida de suelo.

El papel de la vegetación en la prevención de la erosión es ampliamente reconocido ya que la cobertura vegetal mejora su resistencia al aumentar su contenido de materia orgánica, estabilizar su estructura y promover la actividad de los organismos edáficos. No obstante, la efectividad de esta depende de las especies vegetales, su densidad, edad, patrones de follaje, etc (Camargo *et al*, 2017).

En relación a las precipitaciones, existen varias modalidades de erosión hídrica que ocurren en las laderas (Figura 2). En primer lugar, la erosión por salpicadura, donde las gotas de lluvia liberan en todas las direcciones las partículas sueltas en la superficie de un suelo. Si las precipitaciones persisten, el agua acumulada en superficie y las partículas movilizadas comienzan a discurrir como escorrentía superficial difusa, que implica la pérdida de una capa delgada, más o menos uniforme, de suelo. La escorrentía superficial difusa arrastra las partículas más finas (orgánicas e inorgánicas), provocando una disminución de la productividad del suelo (Institut d'Estudis Catalans, 2021). A continuación, y producto de pequeñas irregularidades en la pendiente, la escorrentía se concentra en algunos puntos hasta adquirir el volumen y la velocidad suficientes para profundizar en la superficie del suelo, desencadenando la erosión por regueros o surcos (Suárez, 1980; citado por Farfán, 2002). Estos surcos son pequeños canales, resultado de la remoción de aproximadamente 10 a 50 cm de suelo por acción de la escorrentía canalizada, que transportan el sedimento movilizado hacia canales o riberas (Cairns *et al*, 2001). En última instancia, es posible que la unión de varios surcos vecinos de lugar al desarrollo de profundas depresiones conocidas como cárcavas, formadas por una o varias cabeceras y rupturas de pendiente (Morgan, 1997).



Figura 2: Tipos de erosión hídrica en laderas



Fuente: Vega (2008), adaptado de USDA (2002)

6.4.2. Degradación por dinámica de vertientes

En las vertientes ocurren procesos de transporte especiales debido a la gravedad o al agua que satura el suelo. La gravedad proporciona la energía para el movimiento pendiente abajo del suelo. No obstante, este movimiento se ve favorecido por la acción del agua, por la naturaleza de los materiales, por la inclinación del sustrato y por la erosión antrópica.

Aquellos derivados de la acción de la gravedad son los movimientos en masa entendidos como el desplazamiento del terreno que constituye una ladera o un talud hacia el exterior del mismo y en sentido descendente. En estos movimientos todos los materiales son sometidos a la gravedad y tienen lugar cuando el esfuerzo cortante supera la resistencia al corte del suelo (Sánchez, 2015). Esto puede ocurrir al aumentar el esfuerzo cortante (sismos, variaciones morfológicas desfavorables, etc.) o al disminuir la resistencia al corte del suelo (saturación, meteorización, etc.).



Por su parte el agua produce los flujos que son la respuesta plástica o semiviscosa de suelos geotécnicos o macizos rocosos por desplazamientos relativos entre partículas en ausencia de esfuerzos, con un gradiente de velocidad generalmente decreciente en profundidad hasta desaparecer. Más frecuentemente afecta a suelos en condiciones muy superficiales y en relación con cambios en la presión de poros y en la consistencia de la fracción fina (Chacón, 2012).

6.4.3. Degradación antrópica

El suelo en estado natural se mantiene en equilibrio dinámico con su medio. Si bien existen perturbaciones naturales, ya sea rápidas o dilatadas en el tiempo, estas forman parte del ciclo geológico. Por otra parte, las actividades antrópicas aceleran esta degradación natural, perturbando el delicado balance entre el suelo y el medio ambiente, y ocasionando alteraciones drásticas en las propiedades y procesos del suelo (Espinosa *et al*, 2011). Entre las actividades que mayor perturbación ocasionan a la calidad de los suelos se encuentran la deforestación, las prácticas agrícolas inadecuadas y la contaminación.

La deforestación es la destrucción a gran escala de la superficie boscosa que es talada o quemada en el equivalente aproximado de la superficie de un campo de fútbol cada dos segundos (Salgado, 2014). Los motivos de esta tala indiscriminada son muchos, ya sea por el aprovechamiento agrícola, las operaciones madereras comerciales, o la expansión urbana hacia sectores rurales. La deforestación tiene muchos efectos negativos para el medio ambiente, siendo el impacto más dramático la pérdida del hábitat de millones de especies (Salgado, 2014). Igualmente se relaciona con la mayor recurrencia de flujos de detritos ya que la tala de bosque en meses de lluvia deja sin protección superficial al suelo, quedando sedimento suelto a merced de la escorrentía para desencadenar flujos rápidos (García, 2016).

Algunas prácticas agrícolas ejercen una presión desmedida sobre los suelos, sobre todo en aquellos no aptos para el cultivo debido a la presión demográfica y a



los esfuerzos por aumentar el rendimiento (Rojas e Ibarra, 2003). En este sentido, el laboreo en la dirección de la pendiente favorece el drenaje del agua a lo largo de los surcos de labor, con lo que el caudal y la velocidad de la escorrentía y, con ello, la energía del flujo tiende a aumentar ladera abajo, lo que conlleva la posibilidad de arranque y transporte de partículas de suelo (Bryan, 1987).

También la contaminación afecta las condiciones de vida de la población. En esta condición se encuentran, por ejemplo, los habitantes de zonas rurales de secano con suelos empobrecidos y erosionados, cuyas unidades económicas no pueden sostener a todos los miembros de la familia, y, en general los habitantes de los ecosistemas frágiles (Gobierno de Perú, 2014).

6.5. Ordenamiento Territorial

El ordenamiento territorial es la expresión espacial de las políticas económicas, sociales, culturales y ecológicas de la sociedad, que se llevan a cabo mediante determinaciones que orientan el accionar de los agentes privados y públicos sobre el uso del suelo. Es una política pública, destinada a orientar el proceso de producción social del espacio mediante la aplicación de medidas que tienen por finalidad la mejora de la calidad de vida de la población, a través de su integración social en el territorio y el uso y aprovechamiento ambientalmente sustentable y democrático de los recursos y culturales (Gobierno de Argentina, 2016).

Para Palacio *et al* (2004) el ordenamiento territorial se concibe como un proceso y una estrategia de planificación de carácter técnico-político, a través del cual se pretende configurar, en el corto, mediano y largo plazo, una organización del uso y ocupación del territorio, acorde con las potencialidades y limitaciones del mismo, las expectativas y aspiraciones de la población y los objetivos sectoriales de desarrollo (económicos, sociales, culturales y ecológicos). Se concreta en planes que expresan el modelo territorial a largo plazo que la sociedad percibe como deseable y las estrategias mediante las cuales se actuará sobre la realidad para evolucionar hacia dicho modelo.



En la Conferencia de las Naciones Unidas en Estocolmo (1972), el ordenamiento territorial se concebía como una estrategia integral, ya que comprendía la planificación y regulación de las actividades productivas, la conservación de los recursos naturales y la mejora la vida de la población. Considerada en su forma más comprehensiva, puede decirse que la estrategia de ordenamiento territorial es similar a la reciente noción de desarrollo regional sustentable, al integrar las dimensiones económica, social y ambiental (Wong, 2000).

6.6. Erodibilidad

La erodibilidad es la propiedad que refleja la facilidad con la que un suelo es desagregado por impacto de las gotas de lluvia, por la escorrentía superficial, o por ambos (Ramírez *et al*, 2009). Los factores que más influyen en su degradación son las características físico-químicas del suelo y la influencia de las actividades humanas (cambio de uso, manejo de los cultivos, deforestación, incendios, etc); si bien los diversos mecanismos de erosión operan al mismo tiempo y cada uno está relacionado con una propiedad específica del suelo (Pérez *et al*, 2019).

Otros autores como Ritter, (2012) y O'Geen *et al.*, (2006), citados en Abarzúa (2017); establecen que las propiedades más influyentes en la erodibilidad son la textura, estructura, contenido de materia orgánica y permeabilidad, ya que, suelos con tasas de infiltración elevadas, alto contenido de materia orgánica y mejor estructura, tienen mayor resistencia a la erosión (Abarzúa, 2017).

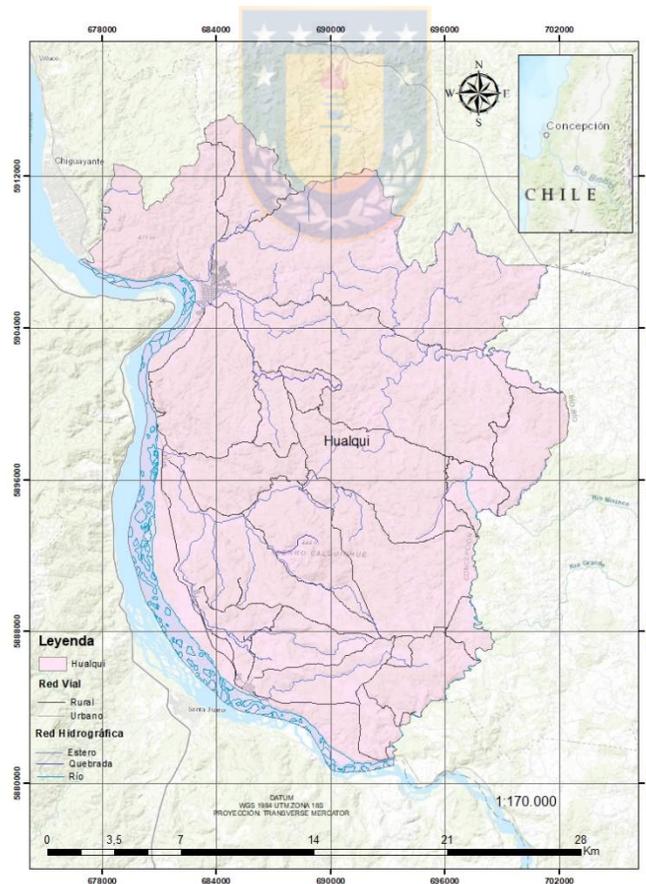


7. Caracterización del área de estudio

7.1. Localización

La comuna de Hualqui se emplaza en la provincia de Concepción, región del Biobío, en las coordenadas 36°57'36" Sur, 72°55'48" Oeste. Presenta una superficie de 531,50 km² y su población supera los 20.000 habitantes. Colinda al norte con las comunas de Florida, Concepción y Chiguayante; al este con Coronel, al sur con Santa Juana y al oeste con Yumbel (Figura 3).

Figura 3: Ubicación de la comuna de Hualqui



Fuente: Elaboración propia



Fue fundada el 24 de octubre de 1757 como Villa San Juan Bautista de Hualqui y forma parte del Gran Concepción, donde, si bien por superficie es la mayor comuna, también es la menos poblada, conservando características rurales. Es una ciudad dormitorio de Concepción gracias a la mejor vialidad urbana de Chiguayante y los servicios del Biotrén (Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, 2021).

7.2. Litología

La litología del área fue descrita por Gajardo (1981) quien reconoce la presencia de un basamento metamórfico del Paleozoico que corresponde a la denominada Serie Oriental (SE) compuesta por esquistos, filitas, gneis y metareniscas. Al norte del río Biobío predomina el Batolito de la Costa, compuesto por tonalitas y granodioritas, con sectores menos extensos de diorita cuarcífera y granito; el cual intruye a las rocas metamórficas de la Serie Oriental. Estas unidades preexistentes son cubiertas por los depósitos sedimentarios de los valles actuales que, en la comuna, corresponden a depósitos de terrazas fluviales del río Biobío.

7.3. Geomorfología

La comuna se emplaza la llanura del río Biobío, en el borde occidental de la Cordillera de la Costa. Esta última presenta alturas cercanas a los 650 m, caracterizados por un colinaje moderado que deja una expedita comunicación entre el llano central y la costa. De importancia es la Cordillera de Nahuelbuta, situada al norte, ya que alimenta cortos ríos en dirección al Pacífico, y contribuye en la alimentación de los afluentes más occidentales del Biobío. La desembocadura de este se encuentra sobre una planicie litoral fluvio-marina generada por los cambiantes lechos fluviales del cuaternario. La sedimentación



fluvial corresponde a arenas negras provenientes de la actividad volcánica del Antuco, que se depositan en las playas al norte del río por deriva litoral. Por otra parte, al sur del Biobío las arenas son blancas por alteración del granito costero (Gobierno de Chile, 2004).

7.4. Clima

El clima de la comuna es mediterráneo con lluvia invernal (Cfb), donde la temperatura media del mes más frío está entre -3°C y 18°C , mientras que los veranos son cálidos incluso superando los 22°C . No existe una estación seca como tal dado que precipita todos los meses (Kottek, *et al*, 2006).

Las precipitaciones bordean los 1428 milímetros, siendo febrero el mes más seco, con 19 milímetros, mientras que la caída media corresponde a 295 milímetros. Por otro lado, en el mes de junio las precipitaciones son mayores, cayendo en promedio 295 milímetros de agua. La media anual de precipitaciones es de 119 milímetros (Municipalidad de Hualqui, 2016).

7.5. Suelos

En los años 60 la Unión Internacional de Ciencias del Suelo (IUSS) recomienda la publicación de la cartografía edáfica a escala global. Un año después la FAO y UNESCO llegan a un acuerdo de realizar el proyecto. Este trabajo conjunto tomó más de 20 años y, hasta el momento, es la única visión global de los recursos del suelo (FAO, 2022). Según el Mapa Mundial de Suelos de la FAO/UNESCO, las unidades de suelos dominantes de la comuna de Hualqui se dividen en tres categorías: Cambisoles dísticos, Leptosoles y Andisoles vítricos (Figura 4).

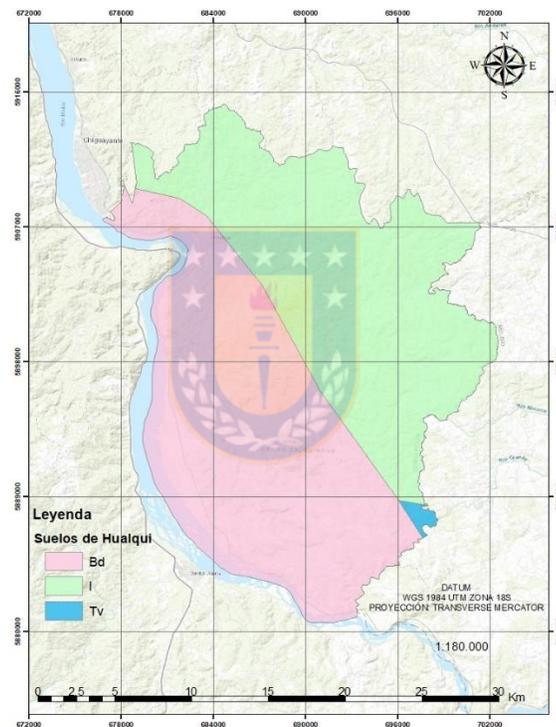
Los cambisoles dísticos se desarrollan sobre materiales de alteración procedentes de una amplia gama de rocas y depósitos no consolidados. Su perfil típico es del tipo ABC, donde el horizonte B se caracteriza por una débil a



Diagnóstico del estado de los suelos en la comuna de Hualqui, región del Biobío: consecuencias de los cambios de uso

moderada alteración del material original, por la ausencia de cantidades apreciables de arcilla, materia orgánica y compuestos de hierro y aluminio de origen aluvial. Permiten un amplio rango de posibles usos agrícolas donde sus principales limitaciones están asociadas a la topografía, bajo espesor, pedregosidad o bajo contenido en bases. En zonas de elevada pendiente su uso queda reducido a la silvicultura (Universidad de Sevilla, 2015).

Figura 4: Suelos de la comuna según FAO (2022)



Fuente: Elaboración propia según datos de la FAO/UNESCO (2022)

Los leptosoles son suelos extremadamente jóvenes y delgados (o muy pedregosos), por tanto, se presentan en vertientes abruptas o en pendientes que sufrieron una erosión muy severa de los suelos precedentes, generalmente, por actividad antrópica. Su perfil apenas presenta rasgos de horizonación, si bien cuenta con un más o menos somero horizonte A que subyace inmediatamente



sobre el material parental, notándose rasgos muy incipientes de la formación de un horizonte B (Ibáñez, 2010).

Los andosoles vítricos son suelos formados a partir de material volcánico. Cuando son jóvenes presentan colores oscuros, siendo altamente porosos, ligeros, permeables, de buena estructura y fáciles de trabajar. Puesto que son muy aptos para la agricultura, si las condiciones del relieve lo permiten, uno de sus usos principales es el cultivo. Morfológicamente presentan un perfil AC o ABC, siendo el horizonte A mucho más oscuro y húmedo que el resto. Su condición de vítrico informa de su abundante contenido en vidrio volcánico (Ibáñez y Manríquez, 2011).

7.6. Hidrología

El curso principal de la comuna es el río Biobío, del que son tributarios los esteros Quilacoya, Hualqui y río Gomero. La cuenca del estero Quilacoya abarca el 54% de la superficie comunal con una extensión de 273,2 km², mientras que la del estero Hualqui abarca el 25%, con una superficie de 123,4 km², siendo en sus terrazas donde se localiza la comuna de Hualqui (Municipalidad de Hualqui, 2016).

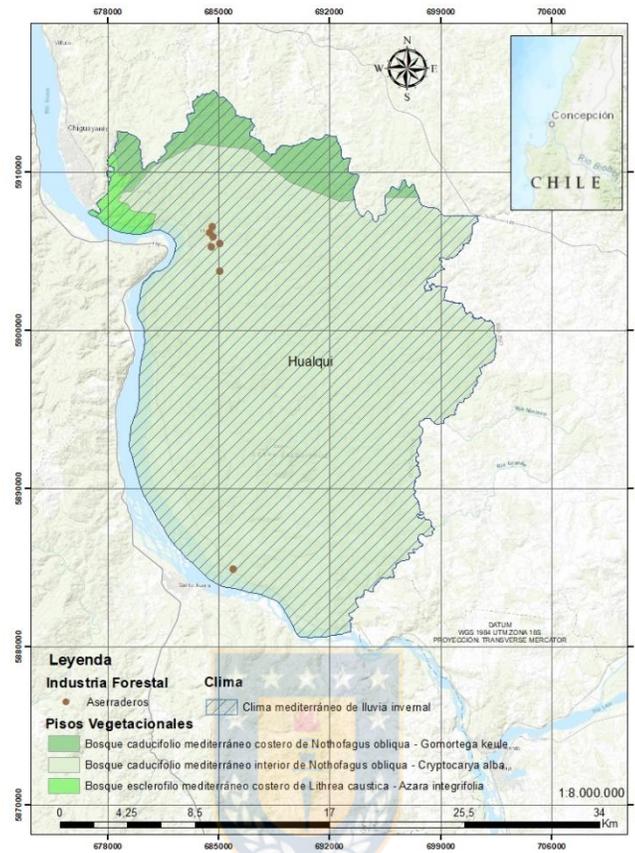
7.7. Vegetación y usos de suelo

La comuna presenta 516 unidades de plantación forestal, esto es 53.696,8 ha (Figura 5), de las cuales, el 52,9% corresponden a *eucalyptus globulus* (273 unidades), el 45,8% a *pinus radiata*, (236 unidades), el 0,9% a *eucalyptus nitens* (5 unidades), el 0,2% a *populus sp* (1 unidad), y el 0,2% a *acacia melanoxylon* (1 unidad). Por su parte, en la superficie de bosque nativo (2.590,1 ha), la asociación roble-raulí-coihue supone el 92,2% (2.390,1 ha), el 7,3% de forestal esclerófilo (190,1ha), el 0,46% de siempreverde con (8,8 ha) y 0,04% de araucaria (1,1 ha) (SIMEF, 2018).



Diagnóstico del estado de los suelos en la comuna de Hualqui, región del Biobío: consecuencias de los cambios de uso

Figura 5: Pisos vegetacionales de la comuna



Fuente: Elaboración propia

7.8. Demografía

Según el censo de población y vivienda de 2017 la comuna cuenta con 24.333 habitantes (Tabla 1), de los cuales 11.843 son hombres y 12.490 son mujeres (Biblioteca del Congreso Nacional, 2021); esperándose, según el INE, un aumento de la población femenina en un 8,35% aproximadamente (Biblioteca del Congreso Nacional, 2017).



Tabla 1: Distribución de población por rango etario

Rango etario (años)	Total de habitantes	Distribución por rango etario (%)
0 a 14	5.311	20,12
15 a 29	5.483	20,9
30 a 44	4.653	20,32
45 a 64	6.177	25,89
64 o más	2.709	12,77

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados del Censo 2017 (INE, 2021)

Respecto a la tasa de pobreza comunal, la encuesta de caracterización socioeconómica (CASEN) de 2015 indica que la comuna tiene un índice de pobreza del 22,15%. Las estimaciones de la tasa de pobreza por ingresos corresponden a un 12,91% (Ministerio de Educación, 2017).

Los rubros que concentraron el mayor número de trabajadores al año 2019 fueron la industria manufacturera; agricultura, silvicultura, ganadería y pesca; administración pública y defensa, planes de seguridad social de afiliación obligatoria; representando el 26%, 20% y 19% respectivamente del total de trabajadores (Biblioteca del Congreso Nacional, 2021).



8. Metodología

La propuesta metodológica consiste en una serie de etapas que ayudan a alcanzar los objetivos propuestos para el diagnóstico del estado de los suelos de la comuna de Hualqui. Su enfoque es de tipo mixto, cualitativo y cuantitativo, pues, combinar diferentes métodos de recolección de pruebas ayuda a minimizar los riesgos de obtener resultados erróneos.

8.1. Estimación de la erodibilidad

La erodibilidad es un proceso dinámico que varía por la interacción de factores físicos, químicos y mineralógicos del suelo (Wang *et al*, 2018). Para Ramírez *et al* (2009), la erodibilidad es una medida de la susceptibilidad del suelo al desprendimiento y transporte de sus partículas, la cual está influenciada por numerosas propiedades. Con la finalidad de estimar la erodibilidad de los suelos de la cuenca, el factor K del modelo RUSLE (Renard *et al*, 1996) resulta de gran utilidad, ya que solo se requiere de una salida a terreno para obtener muestras y procesar su clase textural, estructura, permeabilidad y volumen de materia orgánica. Su formulación algebraica es la siguiente:

$$K = (1 / 7,594) * [2,1 * 10^{-4} * (12 - OM) * M^{1,14} + 3,25 (s - 2) + 2,5 (p - 3)] / 100$$

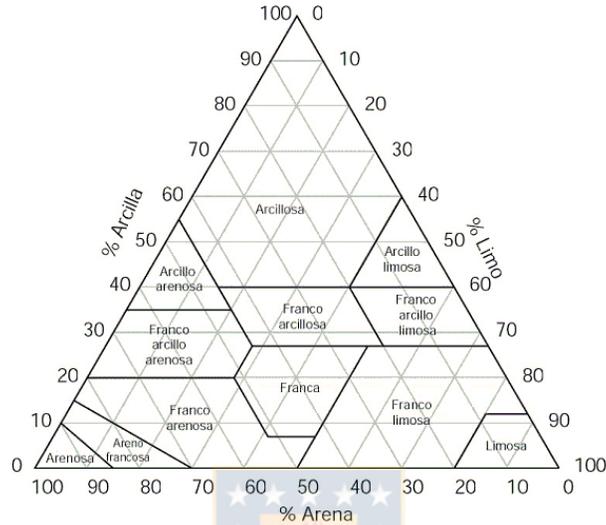
Donde OM es el % de materia orgánica, M es la proporción de limo y arena calculado en (% limo + arena fina) * (% limo + % arena), S es la estructura y P es la permeabilidad.

El % de materia orgánica se puede conocer por calcinación en horno de mufla, mientras que, para obtener la clase textural, que está estrechamente relacionada



con la permeabilidad, se requiere del tamizado de las muestras de suelo para cuantificar la proporción de partículas de arena, limo y arcilla.

Figura 6: Triángulo de clases texturales



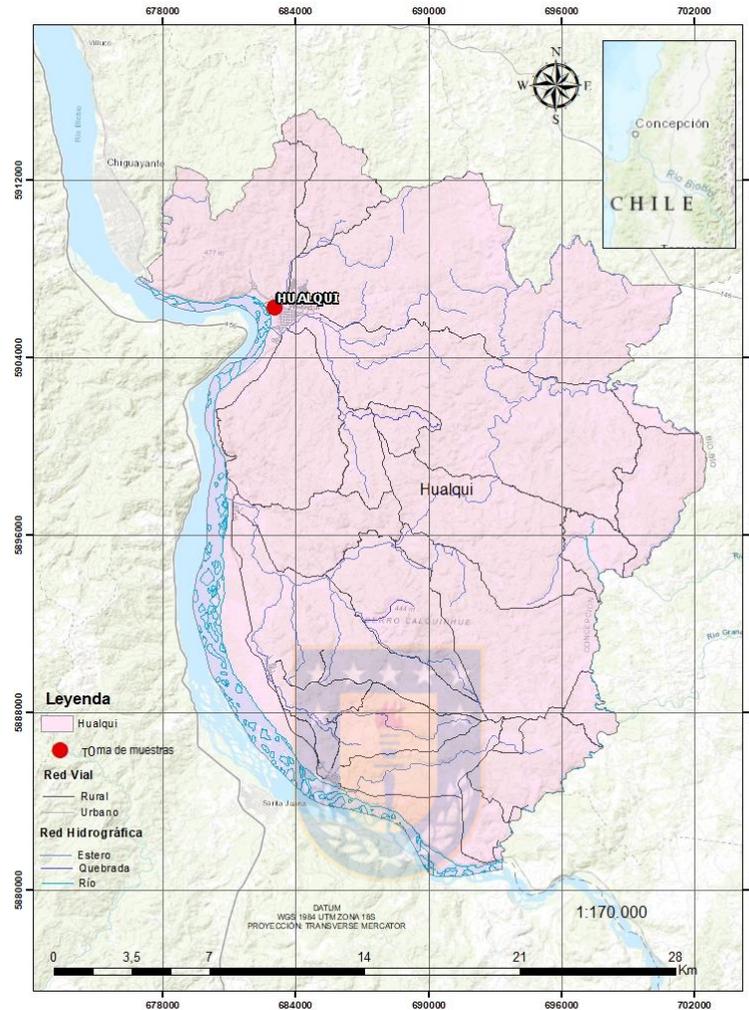
Fuente: USDA (1977)

La estructura se identifica y describe con facilidad con ayuda de una tabla Munsell donde se cotejan la forma y tamaño de los agregados, que son las unidades mayores que determina la unión de las partículas minerales y orgánicas. Lo mismo ocurre con la permeabilidad, que es la capacidad que tiene el suelo para ser traspasado por un fluido y se relaciona con la clase textural. El resultado final es el valor de erodibilidad del suelo estimado en $T\ ha\ h\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$.

Las muestras de suelo se tomaron en las cercanías del río Biobío, coordenadas $36^{\circ}97'18''\ S$, $72^{\circ}94'33''\ O$, círculo color rojo (figura n°7). Visualmente se apreciaba bastante vegetación de tipo leñosa, es decir, arbustos y matorrales, además de vegetación herbácea, o sea pastizales.



Figura 7: Lugar de toma de muestra



Fuente: Elaboración propia

8.2. Cambios en los usos de suelo (2017-2022)

El procedimiento más confiable para medir el grado de conversión ambiental antropogénica es el estudio de la dinámica espaciotemporal de la cubierta vegetal (Berry *et al*, 1996), o análisis del cambio de uso/coberturas del suelo (Turner y Meyer, 1994). Generalmente, los estudios sobre los procesos de cambios documentan las causas que provocan cambios de uso (Brimoh, 2006).



Sentinel-2 (S2) es un satélite de la Agencia Espacial Europea, que cuenta con 13 bandas, de las cuales 4 de ellas (en el azul, verde, rojo e infrarrojo cercano) tienen 10 m de resolución espacial, seis tienen 20 m de resolución que incluyen bandas en el red-edge y en el SWIR y las otras tres tienen 60 m para la corrección atmosférica y detección de nubes. Se lanza el 2015 y es de libre acceso para visualizar y procesar imágenes S2 (Delegido *et al*, 2016).

El instituto investigador de ciencias ambientales (ESRI) ha puesto a disposición imágenes de las coberturas de la tierra derivadas del satélite Sentinel-2 con una resolución de 10 m, cuya finalidad es realizar análisis bitemporales de coberturas. Estas imágenes están disponibles desde el año 2017 al 2022. Como nuestro estudio con imágenes Landsat 8 se basa en los años 2013 y 2022, en esta metodología escogeremos el año más antiguo (2017) para comparar con los usos de suelo actuales en la comuna.

Estas imágenes Sentinel-2 con cobertura CORINE Land Cover las procesamos en ArcGIS comparando los datos de uso de suelo del INE (2016) y CONAF (2015). Tienen 10 definiciones de clases para generar el mapa global: i) agua, ii) árboles, iii) pasto, iv) vegetación inundada, v) cultivos, vi) matorrales/arbustos, vii) área construida, viii) suelo desnudo, ix) nieve/hielo y x) nubes (Karra, 2021).

8.3. Caracterización del estado de las cubiertas vegetales (2013-2022)

Las imágenes satelitales representan una fuente de información de la cual es factible extraer datos espacialmente distribuidos a partir de análisis y procesamiento digital. Para el presente estudio procederemos con la delimitación de la superficie comunal, prevaleciendo el criterio de drenaje, para lo cual descargaremos imágenes satelitales Landsat 8 (obtenidas por el sensor OLI y TIRS), el cual consta de nueve bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros para las bandas de 1 a 7 y 9. El satélite Landsat 8 incorpora dos instrumentos de barrido: Operational Land Imager (OLI), y un sensor térmico



infrarrojo llamado Thermal Infrared Sensor (TIRS). Las bandas espectrales del sensor OLI, aunque similares al sensor Landsat 7 ETM +, proporcionan una mejora de los instrumentos de las misiones Landsat anteriores, debido a la incorporación de dos nuevas bandas espectrales (Ariza, 2013).

Las imágenes Landsat 8 constan de nueve bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros para las bandas de 1 a 7 y 9 (Tabla 2). Una banda nueva (1) (azul profundo) es útil para estudios costeros y aerosoles. La nueva banda (9) es útil para la detección de cirrus. La resolución para la banda 8 (pancromática) es de 15 metros. Dos bandas térmicas 10 y 11 son útiles para proporcionar temperaturas de la superficie y se toman a 100 metros de resolución. El tamaño aproximado de la escena es del 170 km de norte-sur por 183 kilómetros de este a oeste (106 km por 114 km) (Ariza, 2013).

Tabla 2: Bandas del Landsat 8

Sensor	N° Banda	Nombre Banda	Wavelength	Resolución (m)
OLI	1	Costera	0.43 – 0.45	30
OLI	2	Azul	0.45 – 0.51	30
OLI	3	Verde	0.53 – 0.59	30
OLI	4	Roja	0.64 – 0.67	30
OLI	5	Infrarrojo cercano (NIR)	0.85 – 0.88	30
OLI	6	Infrarrojo de onda corta 1 (SWIR 1)	1.57 – 1.65	30
OLI	7	Infrarrojo de onda corta 2 (SWIR 2)	2.11 – 2.29	30
OLI	8	Pan	0.50 – 0.68	15
OLI	9	Cirrus	1.36 – 1.38	30
TIRS	10	TIRS 1	10.6 – 11.19	100
TIRS	11	TIRS 2	11.50 – 12.51	100

Fuente: Elaboración propia con datos del U.S. Geological Survey (2022)



En esta primera etapa se buscarán reconocer las coberturas de suelo de la comuna para comparar los cambios y modificaciones que han experimentado desde 2013, además de la degradación que han sufrido los suelos. Para ello se aplica el NDVI o Índice de Vegetación Normalizada, representado por imágenes calculadas a partir de operaciones algebraicas entre distintas bandas espectrales que permiten determinar la superficie de vegetación, cantidad de producción de biomasa, estado de salud de las plantas, evolución y cambios en la vegetación, en base a mediciones de la radiación que emiten o reflejan (Romero, 2016). Como resultado se obtiene una imagen donde destacan los pixeles que están relacionados con la cobertura vegetal (Alonso, 2015).

Para nuestras imágenes satelitales Landsat 8 la fórmula de cálculo se realiza con la Banda 5 (NIR) y la Banda 4 (RED), quedando así:

$$NDVI = (B5 - B4) / (B5 + B4)$$

Los cálculos del NDVI siempre dan como resultado un número de -1 a +1. Los valores de este índice mayores a 0 representan diferentes estados de la vegetación. Cuanto más vigorosa es la vegetación, el valor tiende a 1. Solo a partir de índices superiores a 0.3 - 0.4, se puede referir a una vegetación activa (Romero, 2016). Los valores muy bajos del índice inferiores a 0.1 corresponden a áreas cubiertas de roca, arenosas o zonas con nevadas. Los índices de 0.2 a 0.3 corresponden a terrenos pobres, con arbustos o pastos naturales. Valores que superan estos niveles corresponden a praderas, cultivos y forestaciones. Los valores entre 0.6 a 0.8 indican bosques ubicados en zonas templadas y tropicales, los mismos que tienen una vegetación vigorosa y densa. Sin embargo, cuando las plantas no tienen hojas, el índice toma valores cercanos a 0. Esto significa que no hay vegetación y, cerca de 1 (0.8 - 0.9), indica la mayor densidad posible de hojas verdes (Agency European Space, 2013).



Este índice nos ayudará a diferenciar la vegetación de Hualqui de otros tipos de coberturas (artificial), detectar anomalías en el crecimiento y cotejar la evolución de la superficie vegetal desde 2013.

Las imágenes satelitales de Landsat 8 del 15 de diciembre de 2013 y 20 de abril de 2022 fueron obtenidas del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), junto con la EOS Landviewer y Global Mapper. De este último desarrollamos el Modelo Digital de Terreno (MDT) de la comuna, necesario para procesamientos en el software ArcGIS 10.4.1. También descargamos datos de la Infraestructura de Datos Espaciales (IDE), el Instituto Nacional de Estadística (INE), la Corporación Nacional Forestal (CONAF) y la FAO.

8.4. Clasificación de los suelos por niveles de erosión

Para identificar los diferentes niveles de erosión que sufren los suelos de la comuna de Hualqui se utilizan como mapa base diferentes imágenes satelitales superpuestas a otras capas de delimitación administrativa para una mejor y fácil localización de las superficies erosionadas. Su posterior clasificación se realiza mediante la metodología sugerida por el SAG (2011) que establece cinco niveles de afectación:

E1: De clase no aparente. Coincide con áreas de erosión laminar ocasional en sectores sin vegetación, remoción parcial del horizonte superficial, sin grietas ni desarrollo de escalones. Cubierta vegetal en más del 95% de la superficie.

E2: De clase ligera. Se refiere a los suelos que tienen pérdidas relativas del 25% del horizonte A, con cambios de color de la superficie, desarrollo diferenciado de plantas, pedregosidad superficial, algunos pedestales de erosión, incipiente depósito de materiales eólicos en la base de pendientes o depresiones, deslizamientos ocasionales evidenciados por incipientes escalones o peldaños y desarrollo de grietas. Cubierta vegetal en más del 70% de la superficie,.



E3: De clase moderada. Propia de suelos que tienen pérdidas relativas del 25% al 75% del horizonte A. Se acentúan las características señaladas para erosión ligera, flujo precanalizado, surcos y zanjas ocasionales, cambios de color superficial, exposición de horizontes subyacentes, pedestales y pavimento de erosión visibles en sectores con cubierta vegetal escasa. Superficie quebrada con desarrollo de peldaños por deslizamientos de suelo y grietas de varios centímetros de ancho y una profundidad varias veces superior a su ancho. Cubierta vegetal entre un 30 y 70% de la superficie.

E4: De clase severa. Se identifica con suelos que tienen pérdidas más o menos al 75% del horizonte superficial. En la mayoría de las áreas el material parental puede estar expuesto en la superficie, se presentan procesos activos de flujo precanalizado, surcos y cárcavas. Sólo en pequeñas áreas es posible identificar el horizonte superficial. La cubierta vegetal ocupa menos de 30% de la superficie y se encuentra normalmente, en forma de pedestales de erosión. Se puede evidenciar pavimento pedregoso y fragmentos líticos asociados a la erosión eólica. Los deslizamientos se evidencian claramente por el aspecto quebrado de la superficie, con desniveles de más de 20 cm y grietas de más de 10 cm de ancho con profundidades normalmente sobre los 80 cm.

E5: De clase muy severa. Corresponde a suelos que han perdido totalmente el horizonte superficial. Gran parte de la superficie presenta cárcavas profundas. Prácticamente no existe suelo, o sólo parches de este, sustrato rocoso continuo o roca meteorizada expuesta en más del 70% de la superficie, la superficie de los fragmentos líticos puede mostrar erosión eólica y existen pedestales de erosión en forma ocasional. Los deslizamientos son comunes, dejando expuesto el sustrato rocoso, el terreno se presenta escalonado con un intrincado diseño de grietas de diversa magnitud.



9. Resultados

En este capítulo se exponen los resultados obtenidos a través de la metodología previamente expuesta, desde el trabajo de campo y laboratorio, hasta el procesamiento de las imágenes satelitales para obtención de los índices de vegetación y cobertura, para realizar las comparaciones correspondientes.

9.1. Estimación de la erodibilidad

El procesamiento de las muestras de suelo en laboratorio determinó su pertenencia a la clase textural arenosa, esto es que son suelos formados mayoritariamente por partículas de tamaño arena, sobre todo por granos de cuarzo. Esta clase textural tiene un bajo volumen de poros, de manera que su permeabilidad es elevada (Tabla 3) y por ello su capacidad para almacenar agua y nutrientes es escasa, ya que estos se pierden por infiltración. De acuerdo a la metodología propuesta por *Renard et al* (2006) su valor de permeabilidad, corresponde a 1.

Tabla 3. Relación entre clase textural y velocidad de infiltración

Clase de permeabilidad	USDA (1983)
	Textura
1 (rápida y muy rápida)	Arenosa
2 (moderada a rápida)	Arenosa franca, franco arenosa
3 (moderada)	Franca, franco limosa, limosa
4 (lenta a moderada)	Franco arcillo arenosa, franco arcillosa
5 (lenta)	Franco arcillo limosa, arcillo arenosa
6 (muy lenta)	Arcillosa, arcillo limosa

Fuente: *Renard et al* (1996)



La estructura es granular gruesa, es decir, los agregados forman unidades pequeñas poliédricas regulares entre 5-10 mm de diámetro dispuestas alrededor de un punto con sus tres dimensiones de tamaños similares. Sus superficies son curvas y tienen poca o ninguna acomodación a la forma de los agregados vecinos (Moreno *et al*, 2007). Su valor asignado es de 3 (Tabla 4)

Tabla 4. Clases de estructura y valor

Clase de estructura	USDA (1983)
1	Granular y migajosa muy fina (< 1 mm)
2	Granular y migajosa fina (1 – 2 mm)
3	Granular y migajosa media (2 – 5 mm) y granular grosera (5 – 10 mm)
4	Granular y prismática muy grosera y columnar (> 10 mm)

Fuente: Renard *et al* (1996)

Por otra parte, los suelos de la comuna arrojaron un porcentaje bastante elevado en materia orgánica tras someter las muestras a oxidación con peróxido de hidrógeno, siendo el contenido del 10 %.

La ecuación de erodibilidad obtenida tras el cómputo de los valores anteriormente obtenidos arrojó un resultado de 0,017 (T ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹). De acuerdo a Rivera y Gómez (1991), los valores que entrega la ecuación de la erodibilidad pueden clasificarse en 8 códigos con rangos de 1 (sin afectación), 2 (muy bajo), 3 (bajo), 4 (moderado), 5 (alto), 6 (muy alto), 7 (severo) y 8 (extremadamente severo) (Tabla 5).



Tabla 5: Clasificación de la erodibilidad según Rivera y Gómez (2022), reclasificado para los suelos de Hualqui

Código	Erodabilidad (t.ha.h.MJ ⁻¹ . ha ⁻¹ .mm ⁻¹)	Calificación
1	Menor de 0,01	Natural
2	0,01 a 0,02	Muy bajo
3	0,02 a 0,04	Bajo
4	0,04 a 0,06	Moderado
5	0,06 a 0,08	Alto
6	0,08 a 0,10	Muy alto
7	0,10 a 0,15	Severo
8	Mayor de 0,15	Extremadamente severo

Fuente: Rivera y Gómez (1991)

La utilización de esta metodología para estimar la erodibilidad de los suelos de Hualqui tan solo entrega resultados con calificación de “muy bajo”. Esto significa que tienen baja susceptibilidad a la erosión por escorrentía y, por esta razón, se infiere que las pérdidas de suelo que se presentan en nuestra zona de estudio se deben a la influencia de otros factores como lo son la alta agresividad de las lluvias (erosividad), presencia de pendientes fuertes y de largas longitudes. Además de factores antrópicos como el uso inadecuado de los suelos, eliminación de coberturas vegetales y la falta o ausencia de prácticas de conservación de suelos (Ramírez *et al*, 2009).

9.2. Cambios en los usos de suelo (2017-2022)

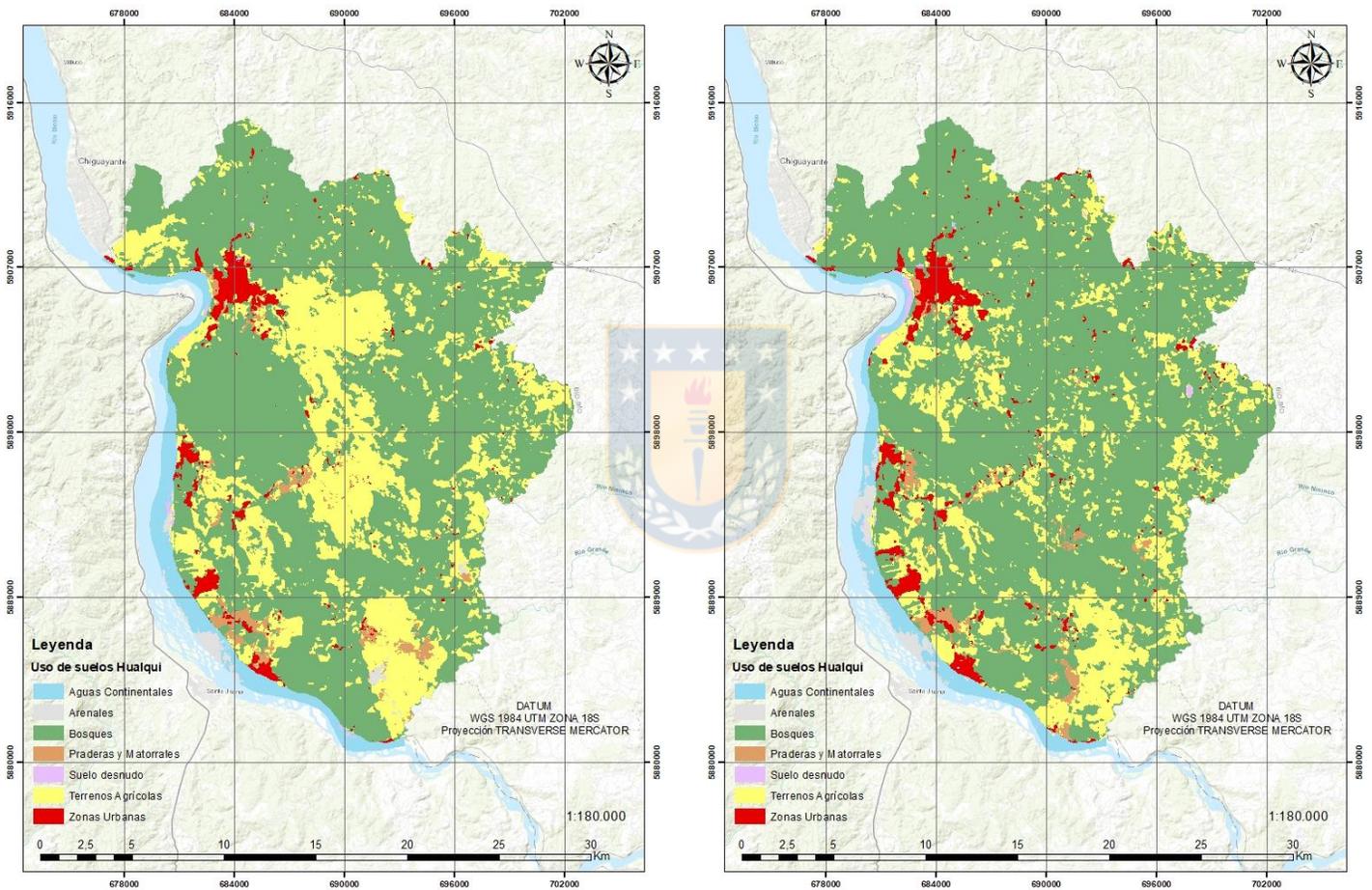
La información sobre los cambios de uso de suelo se obtuvo mediante la descarga de imágenes Sentinel-2 con CORINE Land Cover de los años 2017 y 2022. Como resultado tenemos dos cartografías, las Figuras 8 y 9. En la figura 8 apreciamos que los terrenos agrícolas y de praderas cuentan con una extensión mucho mayor a los de la Figura 9, donde parte del espacio agrícola se considera dentro de la



Diagnóstico del estado de los suelos en la comuna de Hualqui, región del Biobío: consecuencias de los cambios de uso

cobertura “bosques”. De acuerdo a la CONAF (2016) estos “bosques” corresponden a plantaciones de especies exóticas como el pino y eucalipto, uso fomentado por el subsidio del Estado gracias al Decreto de Ley 701 que apoya las plantaciones exóticas.

Figuras 8 y 9. Uso de suelos en 2017 y 2022



Fuente: Elaboración propia

De igual forma, las áreas urbanas se han expandido por la compra de terrenos asociados a un ambiente “rural” y tranquilo para vivir, considerando que la mayoría



de la población debe desplazarse a otras comunas para trabajar, específicamente a Concepción.

Otro cambio llamativo es la ganancia de superficie de la cobertura “arenales” (Tabla 6), probablemente porque CORINE asocia los suelos desnudos con arenales gracias a la información de CONAF (2016) o por la acumulación de arenas gracias a la extracción de áridos del río Biobío. Sin embargo, en Hualqui no existen canteras con autorización por parte de las autoridades y, por ello, el 8 de febrero de 2021 se hizo una denuncia a la Dirección General de Aguas (Resumen, 2021). Se evidencia también una disminución en la superficie de las aguas continentales, esto pudo originarse por cuestiones naturales o por rellenos para ocupar sus extensiones en otros usos, como las áreas urbanas, arenales, etc.

Tabla 6: Usos de suelo entre 2017 y 2022

Uso de suelo	2017 (Ha)	2022 (Ha)
Aguas continentales	2.381	2.040,244
Arenales	381,7891	545,7166
Bosques	33.924,14	37.622,36
Praderas y Matorrales	1.045,41	1.011,738
Suelo Desnudo	75,7607	154,4891
Terrenos Agrícolas	14.345,12	10.253,24
Zonas Urbanas	1.431,64	1957,08

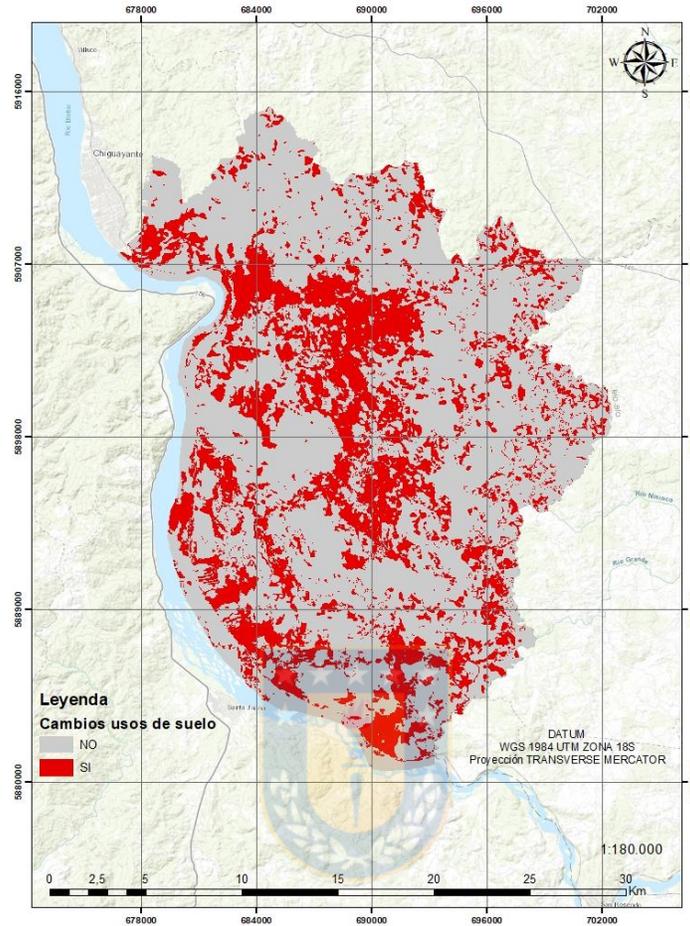
Fuente: Elaboración propia

Para evidenciar los cambios de mejor forma, se realiza una cartografía de cambios de uso de suelo con las opciones de “Si” en color rojo y “No” en color gris para los sectores que sufrieron alteraciones (Figura 10). Esto se logró uniendo las cartografías del año 2017 y 2022. Además, en la Tabla 7 se pueden apreciar los cambios de uso de suelo con sus respectivas pérdidas y ganancias en hectáreas.



Diagnóstico del estado de los suelos en la comuna de Hualqui, región del Biobío: consecuencias de los cambios de uso

Figura 10: Cambios de uso de suelo entre 2017 y 2022



Fuente: Elaboración propia

Tabla 7: Cambio de usos de suelo (ganancias y pérdidas en Ha)

Uso de suelo	Ganancia/Pérdida (2017 a 2022)	Área (Ha)
Aguas continentales	Pérdida	340,756
Arenales	Ganancia	163,9275
Bosques	Ganancia	3.698,22
Praderas y Matorrales	Pérdida	33,672
Suelo Desnudo	Ganancia	78,729
Terrenos Agrícolas	Pérdida	4.091,88
Zonas Urbanas	Ganancia	525,44

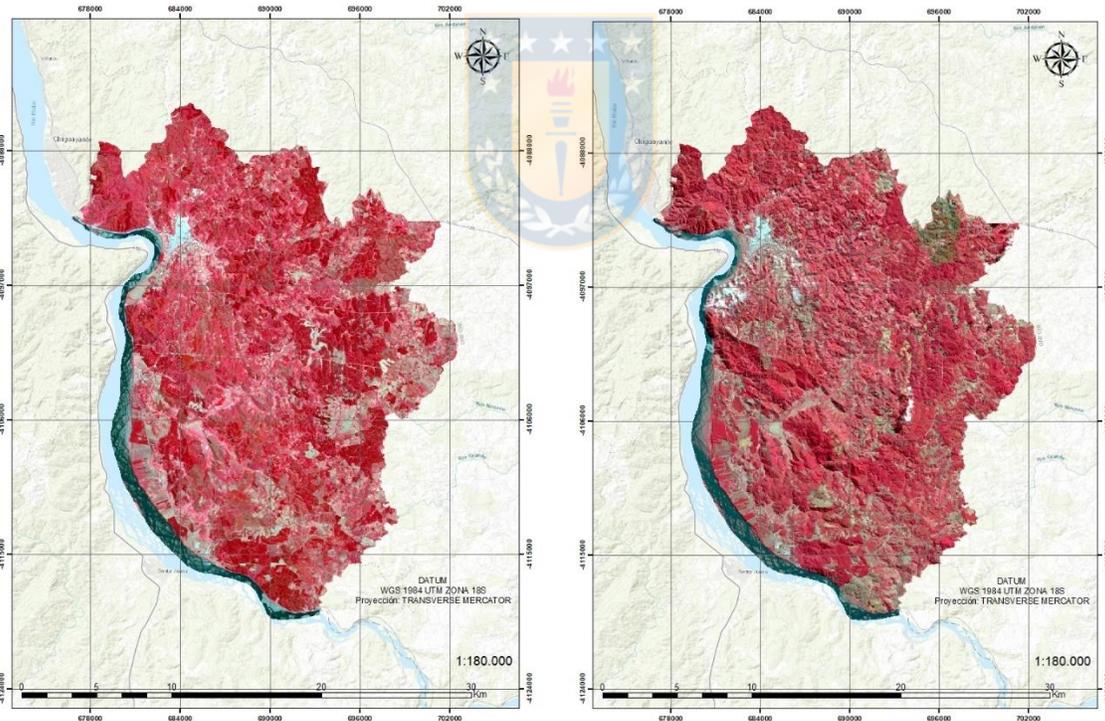
Fuente: Elaboración propia



Diagnóstico del estado de los suelos en la comuna de Hualqui, región del Biobío: consecuencias de los cambios de uso

Para validar los datos entregados con las cartografías anteriores, sobre la capa “bosques” se realizó una combinación de bandas 5/4/3 (Infrarrojo) en las imágenes Landsat 8 de 2013 y 2022. La razón es su buena sensibilidad a la vegetación que aparece representada en rojo debido a la alta reflectividad en el infrarrojo y la baja en el visible y representa de forma clara caminos y casas, y de color negro las masas de agua, mientras que el marrón se asocia a una vegetación arbustiva muy variable (MapGIS, 2022). Como se muestra en la Figura 11, las plantaciones forestales tienen un rojo menos vigoroso que otros sectores, considerándose así como vegetación menos saludable. En general los 9 años de diferencia entre estas imágenes evidencian un deterioro vegetal para la comuna.

Figura 11: Vegetación saludable 2013 vs 2022



Fuente: Elaboración propia



9.3. Caracterización del estado de las cubiertas vegetales

Mediante la estimación del NDVI se generan gran cantidad de datos que permiten realizar clasificaciones detalladas respecto a grupos de vegetación. Es así que la clasificación mediante valores de NDVI puede variar según las distintas clases de vegetación, ya que valores iguales en este índice puede tener un significado muy distinto (Fernández *et al*, 2013). De estos valores sólo los positivos corresponden a zonas de vegetación, sin embargo, el rango común para vegetación verde es de 0,2 a 0,8 (Escuer, 2007).

En el caso de la comuna se han reclasificado los valores según el estudio espacial multiespectral de Buitrón y Fernández (2012) para los años 2013 y 2022 (Tabla 8), de manera que podemos visualizar cuál es el estado de salud de la vegetación y su distribución. Estos valores se identifican con tres colores, siendo el verde intenso el que exprese las zonas de vegetación vigorosa, la vegetación con algún tipo de estrés se representa con un color verde claro y amarillo, mientras que aquella porción de territorio que no presente vegetación o esta se encuentre en un estado deplorable, se reconocerá con un color rojizo. Es necesario destacar que la línea roja que recorre el sector izquierdo de Hualqui en la cartografía es el río Biobío (Figura 12).

Tabla 8: Valores NDVI (2013/2022)

NDVI (2013)	VALOR	NDVI (2022)
0,64061 - 0,221691	Alto	0,508168 - 0,209186
0,221691 - -0,0905098	Medio	0,209186 - -0,061327
-0,0905098 - -0,149123	Bajo	-0,061327 - -0,0899119

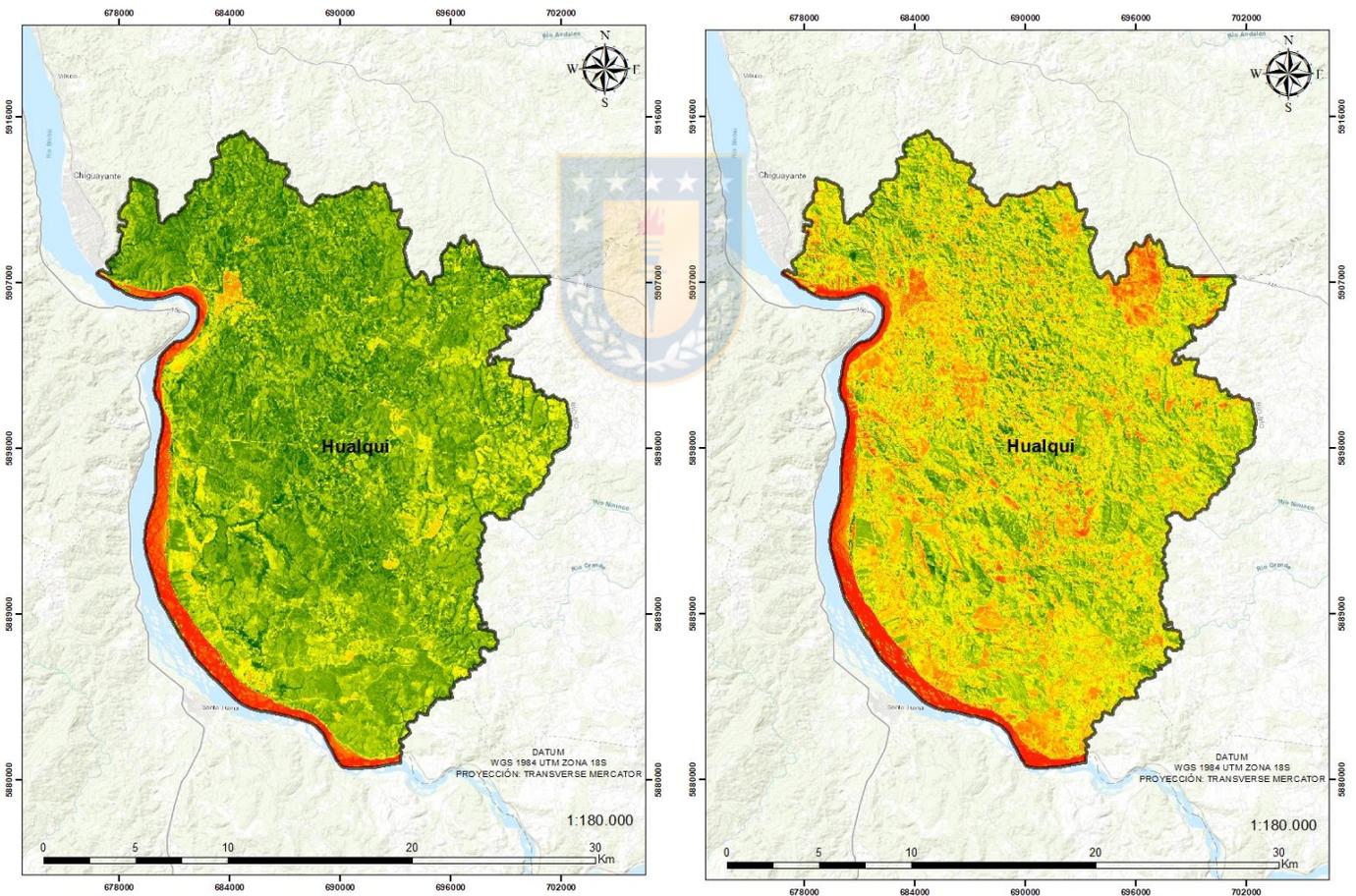
Fuente: Elaboración propia



Diagnóstico del estado de los suelos en la comuna de Hualqui, región del Biobío: consecuencias de los cambios de uso

Al comparar ambos años estudiados, la vegetación ha experimentado un cambio rotundo. Los lugares de color verde intenso han debilitado su tono o tornado amarillos y/o rojizos, perdiendo su vigor. Basta con comparar la Figura 12 con los valores del NDVI para diferenciar la forma en la que han disminuido los números de cada valor en sus mínimos y máximos, lo que responde a una clara disminución de la vegetación en buen estado de salud.

Figura 12: NDVI 2013/2022



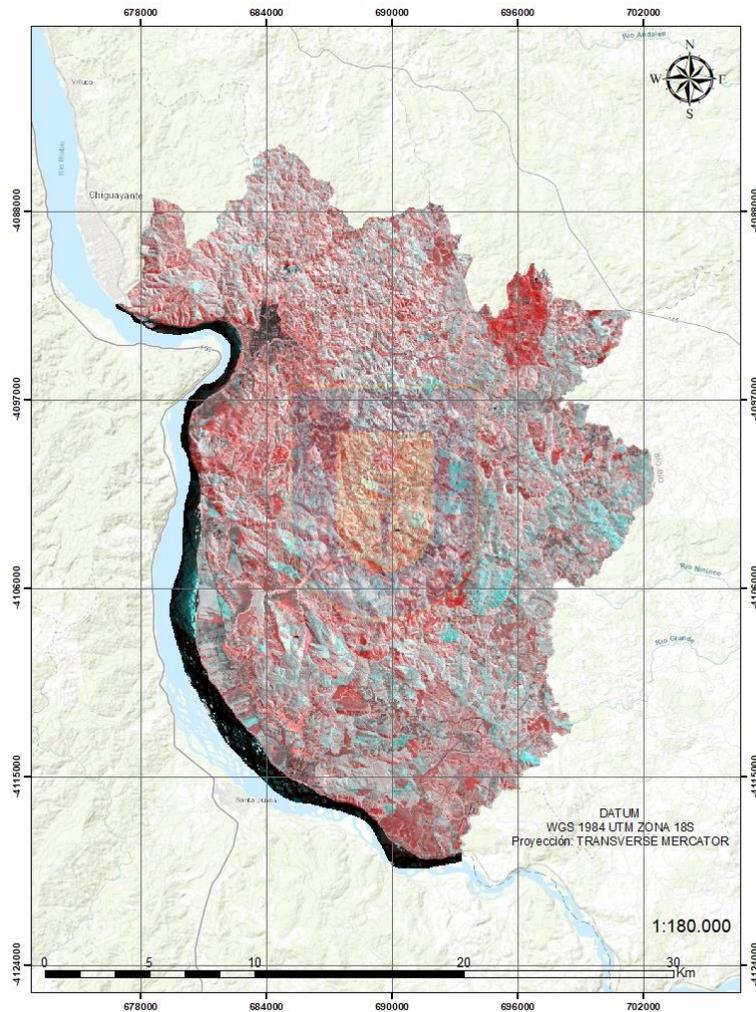
Fuente: Elaboración propia



Diagnóstico del estado de los suelos en la comuna de Hualqui, región del Biobío: consecuencias de los cambios de uso

Para una mejor visualización de los cambios se realizó una composición multitemporal del NDVI (Figura 13) con una diferencia de 9 años, es decir, procesando imágenes Landsat de 2013 y 2022.

Figura 13: Composición multitemporal NDVI 2013/2022



Fuente: Elaboración propia

La interpretación de esta cartografía se basa en su aspecto visual. La composición multitemporal tiene tres colores: i) rojizo: nos indica que en el transcurso del



tiempo (entre 2013 y 2022), en esa área particular existe una pérdida de cobertura; ii) celeste: indica que existe una ganancia o aumento de cobertura vegetal y iii) plata (o blanco): la cobertura no ha experimentado cambios. Estos datos han sido verificados apagando la composición en ArcGIS y superponiendo las imágenes originales para validar la información que ha resultado de la composición multitemporal de este índice en los períodos 2013-2022.

9.4. Clasificación de los suelos por niveles de erosión

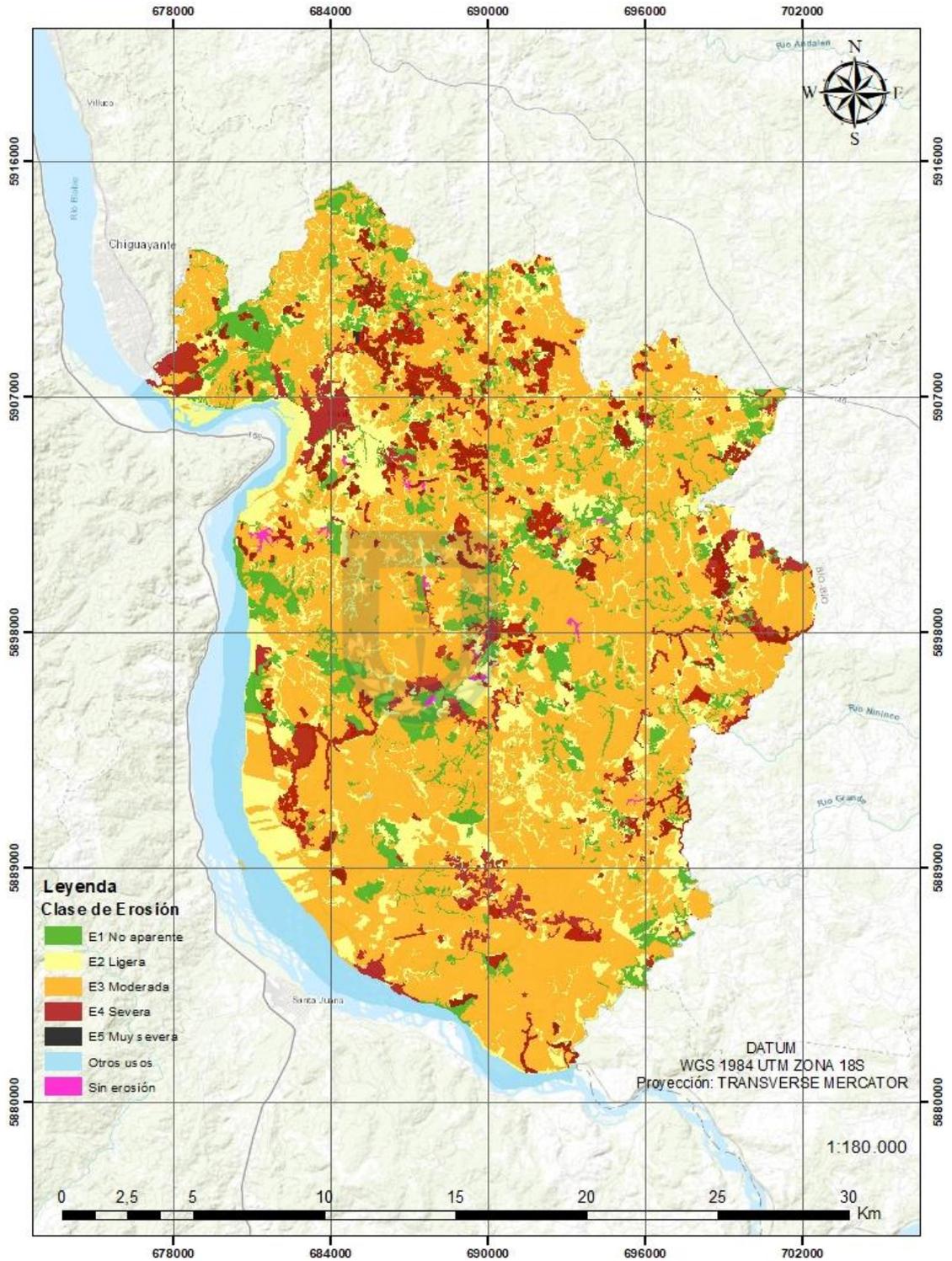
El resultado de la clasificación de la erosión actual de Hualqui se realizó gracias a la metodología sugerida por el SAG (2011), junto con la información de suelos obtenida de CONAF (2016) y la comparación visual de las coberturas de suelo proporcionadas por las imágenes satelitales Landsat 8 y Sentinel-2 de 2022.

Como se puede apreciar en la Figura 14 y en la Tabla 9, la clase de erosión más abundante en la comuna es la E3 (57,34 % del total) que corresponde a erosión moderada, es decir, donde los suelos tienen pérdidas relativas del 25% al 75% de su horizonte orgánico, donde la erosión ligera que existía años anteriores se ha acentuado (CIREN, 2010) (anexo 13.2). Esto es debido a los cambios detallados con anterioridad, sobre todo en aquellos suelos enfocados en 2017 a la agricultura y reconvertidos, en 2022 a superficie forestal. Por otra parte, la clase E5 o de erosión muy severa (2,11 %) corresponde a los suelos donde está emplazada la mina industrial de Hualqui; mientras que la clase A4, o 4 severa (6,06 %), se identifica con los terrenos que sufrieron urbanización o se dedican a plantaciones forestales, especialmente de pino. Estas últimas zonas llevan mucho más tiempo con este tipo de cobertura, por lo tanto, los suelos ya resintieron las prácticas forestales en el pasado (deforestación/reforestación).



Diagnóstico del estado de los suelos en la comuna de Hualqui, región del Biobío: consecuencias de los cambios de uso

Figura 14: Determinación de los niveles de erosión



Fuente: Elaboración propia



Tabla 9: Superficie por niveles de erosión

Clase	Superficie (Ha)	%
Sin erosión	122,48	0,23
Otros usos	2.884,65	5,43
E1	6.313,82	11,87
E2	9.690,91	18,23
E3	29.635,87	55,8
E4	3.342,87	6,27
E5	1.159,41	2,18

Fuente: Elaboración propia

10. Conclusiones

Los resultados de este estudio son consistentes con la hipótesis que señala que los suelos de la comuna de Hualqui han sufrido los efectos de los cambios de uso derivados de las intervenciones antrópicas y una deficiente planificación territorial. Esto se ve reflejado en el aumento de plantaciones, que deviene en la disminución de la vegetación sana debido a que las especies exóticas como el pino y eucalipto tienen mayor exigencia con el suelo. En este sentido, es la cobertura “bosques” la que más ha evolucionado por la expansión de las plantaciones forestales y la disminución del bosque nativo. Para el año 2022 la expansión de las plantaciones forestales es notoria en todas las cartografías, así como también la disminución de terrenos agrícolas y el incremento de las zonas urbanas en suelos anteriormente dedicados a bosque o praderas.

Los suelos de la comuna son de textura gruesa y forman agregados poco cohesivos, de manera que su permeabilidad es elevada. Por otra parte, presentan un elevado porcentaje de materia orgánica y, es por ello, que su susceptibilidad a la erosión es muy baja, de $0,017 \text{ T ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. No obstante, en la



cartografía por niveles de erosión se corrobora que más de la mitad de la superficie de la comuna sufre de erosión moderada, que se relaciona con la expansión de las plantaciones forestales.

En consecuencia, podemos afirmar que la degradación de los suelos de Hualqui no es por causas naturales, sino por las actividades humanas derivadas de una deficiente planificación territorial. Cabe recordar que la comuna careció durante 34 años de un Plan Regulador, periodo en el que se documentó un acelerado crecimiento urbanístico y forestal en detrimento de la calidad de los suelos.

Los Instrumentos de Planificación Territorial juegan un rol protagónico, pues de haberse regulado el uso de los suelos comunal, los agricultores no habrían orientado el uso agrícola de sus tierras al uso forestal, o la compra y venta de terrenos no estaría monopolizada por agentes inmobiliarios que dejan la comuna al límite de su capacidad y ponen en peligro a los habitantes por exponerlos al riesgo de incendio forestal cada verano (anexo 13.1). Se entiende que las políticas de ordenamiento territorial deben transformar la dinámica de uso de suelos actual en favor de la conservación del bosque nativo, limitando la expansión de la superficie urbana y de las plantaciones forestales. Igualmente, debieran implementarse medidas de restauración o conservación que desaceleren la degradación de los suelos o, al menos, promover su manejo sustentable.

11. Discusión

Utilizar una metodología de investigación mixta es ideal para este tipo de investigaciones. También es una responsabilidad visitar físicamente los territorios que investigamos, como lo fue en este caso para tomar muestras de suelo. Es necesario destacar que estudios de diagnóstico son realmente útiles para medir y estimar los impactos antrópicos en la naturaleza, sobre todo en la zona centro-sur de nuestro país, donde los suelos se ven afectados mayoritariamente por la expansión urbana y las plantaciones forestales.



Diagnóstico del estado de los suelos en la comuna de Hualqui, región del Biobío: consecuencias de los cambios de uso

Sin embargo, nuestra investigación se encontró con limitantes al momento de conseguir información actualizada de los suelos de la comuna. Si bien existen datos gratuitos distribuidos por CONAF, la IDE y el INE, ninguno de estos servía para realizar análisis multitemporales en relación con el estado del suelo. Por esta razón se procesaron imágenes satelitales. Reseñar también que las consultas dirigidas a la Municipalidad de la comuna de Hualqui para recabar información sobre la planificación territorial anterior a la actualización del Plan Regulador Comunal no fueron atendidas. Finalmente, el mayor obstáculo fue conseguir material relacionado con la erosión, pues esta no se encuentra disponible en las infraestructuras de datos espaciales ni en la CONAF. Sólo pueden obtenerse mediante el CIREN y por una cantidad considerable de dinero. Por esta razón, la investigación resultó con un mayor nivel de complejidad al tener que generar información que pudiese estar de forma libre en las plataformas.





12. Referencias Bibliográficas

Abarzúa, A. (2017). Evaluación de la Erodibilidad de algunos Suelos de Chile de Uso Actual Forestal mediante índices basados en Propiedades del Suelo de Fácil Medición. Departamento de Silvicultura y Conservación de la Naturaleza. Escuela de Ciencias Forestales. Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza. Universidad de Chile. Santiago, Chile. [obtenido de: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/151383/Evaluacion-de-la-erodabilidad-de-algunos-suelos-de-Chile.pdf?sequence=1&isAllowed=y>]

Agencia Europea de Medio Ambiente. (2015). El Suelo y el Cambio Climático. Artículo Señales. Unión Europea. [obtenido de: <https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2015/articulos/el-suelo-y-el-cambio-climatico>]

Agency European Space. (2013). Los índices de vegetación. [obtenido de: www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_Global.../SEMJH5TWT1H_2.html]

Alaniz, AJ, Carvajal, MA, Núñez Hidalgo, I; Vergara, PM. (2019). Chronicle of an Environmental Disaster. Aculeo Lake, the Collapse of the Largest Natural Freshwater Ecosystem in Central Chile. Environmental Conservation.

Alonso, D. (2015). ¿Qué es el NDVI y cómo formularlo?. [obtenido de: <http://mappinggis.com/2015/06/ndvi-que-es-y-como-calcularlo-con-saga-desde-qgis/>]

Anaya, O. (2012). Caracterización Morfométrica de la Cuenca Hidrográfica Chinchao, Provincia Huanuco, Región Huanuco. Departamento Académico de Ciencias Naturales. Facultad de Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo-María. Perú. [obtenido de: https://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/CARACTERIZACION%20MORFOMETRICA%20DE%20LA%20CUENCA%20HIDROGRAFICA%20CHINCHAO%20C%20DISTRITO%20DE%20CHINCHAO%20C%20PROVINCIA%20DE%20HUANUCO%20C.pdf]

Arauco. (2012). Forestal Arauco y su Manejo Forestal: El Proceso, sus Impactos y Medidas de Mitigación. [obtenido de: <https://www.arauco.cl/chile/wp-content/uploads/sites/14/2019/06/Manejo-Forestal-El-proceso-sus-impactos-y-medidas-de-mitigacio%CC%81n.pdf>]

Arias, H; Zamora, R; Bolaños, C. (2014). Metodología para la Corrección Atmosférica de Imágenes ASTER, RAPIDEYE, SPOT 2 y Landsat 8 con el Módulo FLAASH del Software ENVI. Centro Nacional de Alta Tecnología. Costa Rica. [obtenido de: <https://www.redalyc.org/pdf/4517/451744544002.pdf>]



Diagnóstico del estado de los suelos en la comuna de Hualqui, región del Biobío: consecuencias de los cambios de uso

Ariza, A. (2013). Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LCDM. Centro de Investigación y Desarrollo CIAF. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá. Colombia. [obtenido de:

https://www.researchgate.net/publication/313345998_Descripcion_y_correccion_de_productos_landsat_8_LDCM]

Armenteras, D; González, T; Vergara, L; Luque, F; Rodríguez, N; Bonilla, M. (2016). Revisión del Concepto de Ecosistema como “Unidad de la Naturaleza” 80 años después de su formulación. Ecosistemas vol.25, n°1, pp. 83-89. Asociación Española de Ecología Terrestre. Alicante, España. [obtenido de: <https://www.redalyc.org/pdf/540/54045357011.pdf>]

Arozarena, A. (s/f). Teledetección y sistemas de tratamiento digital de imágenes. [obtenido de: http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametria/topografia-cartografia-ygeodesia/contenidos/TEMA_11_FOTOGAMETRIA_Y_TELEDETECCION/Teledeteccion/microsoft-word-teledeteccion_y_sist_tratamiento_digital_imagenes.pdf]

Astier, M; Mass Moreno, M; Etchevers, J. (2002). Derivación de Indicadores de calidad de Suelos en el contexto de la Agricultura Sustentable. Agrociencia 36 (005).

Barragán, A. (2018). Cartografía Social: Lenguaje Creativo para la Investigación Cualitativa. Social Cartography: Creative Language for Qualitative Research. Universidad La Gran Colombia. Bogotá, Colombia. [obtenido de: <http://www.scielo.org.co/pdf/soec/n36/1657-6357-soec-36-00139.pdf>]

Bateman, A. (2007). Hidrología Básica y Aplicada. Grupo de Investigación en Transporte de Sedimentos (GITS). Universidad Politécnica de Cartagena, España. [obtenido de: <https://www.upct.es/~minaees/hidrologia.pdf>]

Benavides, V; Tarlé, T; Galbiatti, J. (2009). Caracterización y Clasificación de la Red Hidrográfica de la Cuenca del río Bobo, Departamento de Nariño- Colombia. Revista Ingeniería e Investigación vol29, n°3, pp. 97-101. Colombia. [obtenido de: <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v29n3/v29n3a16.pdf>]

Berry, M; R. O. Flamm; B. C. Hazen; R. L. Macintyre. (1996). The Land-Use Change and Analysis System (LU-CAS) for Evaluating Landscape Management Decisions. IEEE Computational Science & Engineering 3(1). Pp. 24-35

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN). (2018). Cambio de Uso de Suelo de la Ley General de Urbanismo y Construcción, Cambio de Destino ante el SII, y Desafectación de Terreno Forestal ante CONAF. Asesoría Técnica Parlamentaria. [obtenido de:



Diagnóstico del estado de los suelos en la comuna de Hualqui, región del Biobío: consecuencias de los cambios de uso

https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27057/2/Cambio_de_Uso_de_Suelo_ante_SII__1_.pdf

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN). (2022). Región del Biobío. Chile Nuestro País. Información Territorial. [obtenido de: <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region8>]

Biblioteca del Congreso Nacional. (2017). Decreto 1495. Promulga Actualización Plan Regulador Comunal de Hualqui. República de Chile. [obtenido de: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=1101335&f=2017-03-25>]

Biblioteca Del Congreso Nacional. (2021). Hualqui Reporte comunal. [obtenido de: https://www.bcn.cl/siit/reportescomunales/comunas_v.html?anno=2021&idcom=7110]

Blum, W; Santelices, A. (1994). A concept of sustainability and resilience based on soil functions, In DJ. Greenland and I. Szabolcs. Soil Resilience and Sustainable Land Use. England.

Borzi, G. (2018). Influencia de la Actividad Antrópica en la Geohidrología de la Cuenca del río Samborombón. [obtenido de: https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/79703/CONICET_Digital_Nro.2f559181-d3be-4076-b4db-8245212ea600_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y]

Braimoh, A. K. (2006). Random and systematic land-cover transitions in northern Ghana. Agriculture, Ecosystems and Environment.

Brizuela, A; Aguirre, C; Velasco, I. (2007) Aplicación de Métodos de Corrección Atmosférica de datos Landsat para análisis multitemporal. En Teledetección- Hacia un mejor entrenamiento de la dinámica global y regional. Memorias del Congreso de la Asociación Española de Teledetección (XII: 2007; Mar del Plata) Editorial; Martín, Argentina, 2007. ISBN: 978-987-543-126-3. [obtenido en <http://www.aet.org.es/congresos/xii/arg27.pdf>]

Bryan, B. (1987). Processes and Significance of Rill Development. Rill Erosion. Catena Supplement n°8. Pp. 1-16.

Buitrón, C; Fernández, J. (2012). Estudio Espacial Multitemporal de Variaciones en Superficie Observadas a través de Imágenes Satelitales Landsat en una Región del Parque Nacional Sajama Bolivia. Temática Bofedales. Diakonia. NDF. [obtenido de: https://www.weadapt.org/sites/weadapt.org/files/2017/november/estudio_espacial_multitemporal_de_variaciones_en_superficie.pdf]

Cairns, I; Handyside, B; Harris, M; Lambrechtsen, N. (2001). Soil Conservation Technical Handbook. Wellington, Nueva Zelanda. [obtenido de: <https://environment.govt.nz/publications/land/soil-conservation-handbook-jun01/soil-conservation-handbook-jun01.pdf>]



Diagnóstico del estado de los suelos en la comuna de Hualqui, región del Biobío: consecuencias de los cambios de uso

Calvache, M. (2009). Física de suelos. Universidad Central del Ecuador, Facultad de ciencias Agrícolas 123 p.

Camargo, C; Pacheco, C; López, R. (2017). Erosión Hídrica, Fundamentos, Evaluación y Representación Cartográfica: Una Revisión con Énfasis en el Uso de Sensores Remotos y Sistemas de Información Geográfica. Universidad de la Rioja. La Rioja, España. [obtenido de: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6687514.pdf>]

Carrasco, A; Sánchez, N; Tamagno, L. (2012). Modelo Agrícola e Impacto Socioambiental en la Argentina: Monocultivo y Agronegocios. Serie Monográfica. Sociedad y Ambiente: Reflexiones para una Nueva América Latina. Comité de Medio Ambiente. AUGM. Universidad Nacional de La Plata. Buenos Aires. Argentina. [obtenido de: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/24722/Documento_completo___pdf?sequence=3&isAllowed=y]

CASEN. (2015). Situación de la Pobreza en Chile. Subsecretaría de Evaluación Social. Ministerio de Desarrollo Social. Gobierno de Chile. [obtenido de: http://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/storage/docs/casen/2015/CASEN_2015_Situacion_Pobreza.pdf]

Castillo, V. (2004). La Estrategia temática para la Protección del Suelo: Un Instrumento para el Uso Sostenible de los Suelos en Europa. Ecosistemas revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente. 13 (001).

Castro, P. (2018). La Erosión en Chile: Una Mirada Histórica y Geográfica para entender el Proceso de la Expansión Forestal en las Comunas de Constitución, Empedrado y Chanco. Región del Maule. Departamento de Geografía. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad de Chile. Santiago, Chile. [obtenido de: <file:///C:/Users/caniu/Downloads/la-erosion-en-chile.pdf>]

Caviedes, J. (2017). Construyendo sobre Cenizas. ¿Son Utilizados los Incendios Forestales como una Herramienta Informal para la Expansión Urbana de Chile Central?. Instituto de Estudios Urbanos y Territoriales. Pontificia Universidad Católica de Chile. [obtenido de: <https://estudiosurbanos.uc.cl/wp-content/uploads/2018/01/TESIS-JCV.pdf>]

Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). (2010). Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile.

CEPAL. (2013). Guía Análisis y zonificación de Cuencas Hidrográficas para el Ordenamiento Territorial. Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo. Gobierno de Chile. [obtenido de: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36817/S2014205_es.pdf]

Cepeda, J. (1991). Química de Suelo. Primera Edición. Editorial Trillas. México.



Diagnóstico del estado de los suelos en la comuna de Hualqui, región del Biobío: consecuencias de los cambios de uso

Cermeño, I. (2018). Influencia de los Patrones de Laboreo sobre la Respuesta Erosiva durante Episodios Extremos de Erosión en Paisajes Agrícolas de Secano Mediterráneo. Departamento de Geodinámica. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid. Madrid. España. [obtenido de: <https://eprints.ucm.es/id/eprint/49299/1/T40239.pdf>]

Chacón, J. (2012). Movimientos de Ladera: Clasificación, Descripción y Evolución Espacial y Temporal. Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Medio Ambiente N°28. Pp. 73-89. ASAGAI. Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería. Buenos Aires. Argentina.

Ciancaglini, N. (s/f). Guía para la Determinación de Textura de Suelos por Método Organoléptico. INTA EEA. San Juan. [obtenido de: [http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20\(R-001\)-%20Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20textura%20de%20suelos%20por%20m%C3%A9todo%20organol%C3%A9ptico.pdf](http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20(R-001)-%20Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20textura%20de%20suelos%20por%20m%C3%A9todo%20organol%C3%A9ptico.pdf)]

CONAF. (2011). CONAF, por un Chile forestal sustentable. 21pp

CONAF. (2015). Sector Forestal Chileno. Desafíos y Visión 2015-2035. Documento Guía para la Formulación de la Política Forestal Chilena. Santiago de Chile. Ministerio de Agricultura. Gobierno de Chile. [obtenido de: https://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1469629686folletoguia.pdf]

CONAF. (2016). Catastro Vegetacional. Ministerio de Agricultura. [obtenido de: <https://www.conaf.cl/nuestros-bosques/bosques-en-chile/catastro-vegetacional/>]

CONAF. (2021). DL 701 y sus Reglamentos. Plantaciones Forestales. Nuestros Bosques. Ministerio de Agricultura. Gobierno de Chile. [obtenido de: <https://www.conaf.cl/nuestros-bosques/plantaciones-forestales/dl-701-y-sus-reglamentos/>]

Copons, R; Tallada, A. (2009). Movimientos de Ladera. Landslides. Enseñanzas de las Ciencias de la Tierra. N°17. Vol. 3. Pp. 284-294. [obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/254492112_Movimientos_de_ladera]

Corominas, J. (2004). Tipos de Roturas en Laderas y Taludes. ACADEMIA EDU. Universidad Politécnica de Cataluña. España. [obtenido de: https://www.academia.edu/12392886/TIPOS_DE_ROTURA_EN_LADERAS_Y_TALUDES]

Corrales, R; Ochoa, V. (2017). Teledetección y SIG, Herramientas de Gestión en la Adaptación al Cambio Climático, Cuenca Alta del Río Goascorán, Honduras. Revista Ciencias Espaciales, volumen 10, número 1, Primavera, pp. 177-197. Facultad de Ciencias Espaciales. [obtenido de: <https://www.lamjol.info/index.php/CE/article/view/5820/5532>]

Corredor, L; Cárdenas, E; Ordóñez, J. (2011). Aplicación de la Metodología CORINE Land Cover en la Determinación de los Cambios de Cobertura en el Parque Natural Los Flamencos. Ciencia e



Diagnóstico del estado de los suelos en la comuna de Hualqui, región del Biobío: consecuencias de los cambios de uso

Ingeniería Neogranadina. Vol.21, n°2. Pp. 153-167. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá. Colombia. [obtenido de: <https://www.redalyc.org/pdf/911/91123440008.pdf>]

Cotler, H; Sotelo, E; Domínguez, J; Zorrilla, M; Cortina, S; Quiñones, L. (2007). La Conservación de Suelos: Un Asunto de Interés Público. Gaceta Ecológica n°83, pp. 5-71. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Distrito Federal, México. [obtenido de: <https://www.redalyc.org/pdf/539/53908302.pdf>]

CROSARA, A. (2007). Génesis del suelo y características generales. [obtenido de: < <http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/Genesis%20del%20suelo%20y%20caracteristicas%20generales.pdf>>]

Delegido, J; Tenjo, C; Ruiz, A; Pereira, M; Pasqualotto, N; Gibaja, G; Verrelst, J; Peña, R; Urrego, E; Borrás, A; Sanchis, J; Pezzola, A; Mosquera, Z; Quinto, Z; Gómez, J; Moreno, J. (2016). Aplicaciones de Sentinel-2 a Estudios de Vegetación y Calidad de Aguas Continentales. Universidad de Valencia. Valencia. España. [obtenido de: https://www.researchgate.net/profile/Javier-Sanchis-Munoz/publication/311572126_Aplicaciones_de_Sentinel-2_a_estudios_de_vegetacion_y_calidad_de_aguas_continentales/links/5ae0ddfa458515c60f65f14c/Aplicaciones-de-Sentinel-2-a-estudios-de-vegetacion-y-calidad-de-aguas-continenciales.pdf]

DGA. (2011). Balance de Gestión Integral. Ministerio de Obras Públicas. Gobierno de Chile. [obtenido de: https://dga.mop.gob.cl/acercadeladga/informesgestion/Documents/BGI_2011_DGA.pdf]

Diario Concepción. (2017). Comunas del Gran Concepción Duplican su Tamaño en 20 años. [obtenido de: <https://www.diarioconcepcion.cl/ciudad/2017/03/20/comunas-del-gran-concepcion-duplican-su-tamano-en-20-anos.html>]

Díaz, G. (2012). El Cambio Climático. Ciencia y Sociedad. 37 (2). Pp. 227. [obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/320545082_El_cambio_climatico]

Díaz, J. (2015). Estudios de Índices de Vegetación a partir de Imágenes Aéreas tomadas desde UAS/RPAS y Aplicaciones de estos a la Agricultura de Precisión. Facultad de Geografía e Historia. Universidad Complutense de Madrid. [obtenido de: https://eprints.ucm.es/id/eprint/31423/1/TFM_Juan_Diaz_Cervignon.pdf]

Doran, J. W; T. B. Parkin. (1994). Defining and assessing soil quality. In: Defining and Assessing Soil Quality for Sustainable Environment. Doran, J. W., D. C. Coleman, D. C. Bezdicek, and B. A. Stewart (eds). Soil Science Society of America. Special Publication 35. Madison, Wisconsin, USA. Pp.



Diagnóstico del estado de los suelos en la comuna de Hualqui, región del Biobío: consecuencias de los cambios de uso

Duque, G. (s/f). Movimientos Masales. Capítulo 16. Manual de Geología para Ingenieros. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. [obtenido de: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3145/movimientosmasales.pdf?sequence=9&isAllowed=y>]

Echeverría, C; Coomes, D; Salas, J. (2006). Rapid deforestation and fragmentation of Chilean Temperate Forests. *Biological Conservation* 130. Vol 4. Pp. 481- 494. [obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/232259237_Rapid_deforestation_and_fragmentation_of_Chilean_Temperate_Forests]

Ecoronel. (2021). Actividad Forestal. Observatorio Ecológico de Coronel. [obtenido de: <https://www.ecoronel.cl/atlas-ambiental-de-coronel/medio-humano/aspectos-socioeconomicos/base-economica-productiva/actividad-forestal/>]

Ecosistemas. (2017). Cuencas Hidrográficas: Residencia de las Aguas. Revista Cuencas Hidrográficas. Fesan Impresores. República de Chile. [obtenido de: <http://www.ecosistemas.cl/wp-content/uploads/2017/06/Revista-CuencasHidrograficas.pdf>]

Escuer, J. (2007). Análisis multitemporal mediante el uso de imágenes del satélite Landsat. *Innovación y formación* Número 2. Otoño. [obtenido de: www.doredin.mec.es/documentos/01420093004785.pdf]

Espinosa, M; Andrade, E; Rivera, P; Romero, A. (2011). Degradación de Suelos por Actividades Antrópicas en el Norte de Tamaulipas, México. *Papeles de Geografía*, 53-54, pp. 77-88. Caso Experimental Río Bravo, México. Universidad de Tamaulipas, México. Universidad de Murcia, España. [obtenido de: <https://www.redalyc.org/pdf/407/40721572006.pdf>]

FAO/UNESCO. (2022). Mapa Mundial de Suelos de la FAO/UNESCO. Portal de Suelos de la FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [obtenido de: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/mapas-historicos-de-suelos-y-bases-de-datos/mapa-mundial-de-suelos-de-faounesco/es/>]

Farfán, R. (2002). Determinación del Índice de Erosividad Pluvial (R) de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo, para Dos Estaciones Pluviográficas de la VII Región del Maule. Tesis Ing. Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Talca. 123 pp. Talca, Chile.

Faustino, J; Jiménez, F. (2000). Manejo de Cuencas Hidrográficas. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Área de Cuencas y Sistemas Agroforestales. Turrialba. Costa Rica. [obtenido de: https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8431/Manejo_de_cuencas_hidrograficas.pdf?sequence=1&isAllowed=y]



Diagnóstico del estado de los suelos en la comuna de Hualqui, región del Biobío: consecuencias de los cambios de uso

Faustino, J; Jiménez, F; Velásquez, S; Alpizar, F; Prins, C. (2006). Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba. Costa Rica. [obtenido de: https://www.academia.edu/10270717/GESTI%C3%93N_INTEGRAL_DE_CUENCAS_HIDROGR%C3%81FICAS_CALI_COLOMBIA_17_AL_20_DE_OCTUBRE_DEL_2006_DOCUMENTO_DEL_CURSO_ELABORADO_POR]

Fernández, I; Herrero, E. (2013). El Satélite Landsat. Análisis visual de imágenes obtenidas del sensor ETM+ Satélite Landsat. Universidad de Valladolid.

Ferrer, M. (1988). Deslizamientos, Desprendimientos, Flujos y Avalanchas. Capítulo 3: Riesgos ligados a la Geodinámica Interna. Pp. 175-191. Riesgos Geológicos. [obtenido de: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=BhIDV88yvzWC&oi=fnd&pg=PA175&dq=deslizamiento+rotacional&ots=F-IKLhCVcs&sig=fLpyiwxDsCfbFOT5TEuQmMKkIHg#v=onepage&q=deslizamiento%20rotacional&f=false>]

Figueroa, R; Parra, O. (2020). La Cuenca Hidrográfica del Río Biobío. EULA-Chile, Centro de Ciencias Ambientales: Evolución y Perspectivas a 30 años de su Creación. Universidad de Concepción. Concepción, Chile. [obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/342588084_La_cuenca_hidrografica_del_rio_Biobio]

Francke, S. (2002). Control de erosión en terrenos degradados vía D.L 701 de fomento forestal. En: PEREZ, C. (Ed). Manejo de microcuencas y prácticas conservacionistas de suelo y agua. Chillán, Chile. pp. 55-82

Franco, O; Sánchez, R; Otero, J; Cocomá, M; Gómez, C. (2015). Protocolo para la Identificación y Evaluación de la Degradación de Suelos por Erosión. Bogotá. Colombia. [obtenido de: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023647/Protocolo-erosion.pdf>]

G y B. (2022). Corrección Radiométrica de Imágenes Satélites. SIG. [obtenido de: <http://www.gisandbeers.com/correccion-radiometrica-imagenes-satelite/#:~:text=Las%20funciones%20de%20correcci%C3%B3n%20radiom%C3%A9trica,filas%20y%20columnas%20de%20p%C3%ADxels.>]

Gajardo, A. (1981). Hoja Concepción-Chillán. Región del Biobío. Mapas Geológicos Preliminares de Chile N°4, escala 1:250.000. Instituto de Investigaciones Geológicas. 36 p. 1 mapa pleg.

García, M. (2016). La Deforestación: Una Práctica que Agota nuestra Biodiversidad. Producción más limpia. vol. 11, n°2, pp. 161-168. P+L. [obtenido de:



Diagnóstico del estado de los suelos en la comuna de Hualqui, región del Biobío: consecuencias de los cambios de uso

https://www.researchgate.net/publication/313447691_La_deforestacion_una_practica_que_agota_nuestra_biodiversidad#fullTextFileContent]

García, W. (2015). El Sistema Complejo de la Cuenca Hidrográfica. Universidad Nacional de Colombia. Colombia. [obtenido de: https://www.medellin.unal.edu.co/~poboyca/documentos/documentos1/documentos-Juan%20Diego/Plnaifi_Cuencas_Pregrado/Sistema%20CuencaHidrogr%E1fica.pdf]

Gisbert, J; Ibáñez, S; Moreno, H. (2007). La Textura de un Suelo. Producción Vegetal. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Valencia. España. [obtenido de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7775/Textura.pdf>]

Gobierno de Argentina. (2016). Guía de Planificación Territorial. Ministerio del Interior. Buenos Aires, Argentina. [obtenido de: https://www.mininterior.gov.ar/planificacion/pdf/AS_14659169801.pdf]

Gobierno de Chile. (1984). Mapa Hidrogeológico de Chile. Contribución del Comité Chileno para el Programa Hidrológico Internacional, al Mapa Hidrogeológico de América del Sur. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas. [obtenido de: <https://biblioteca.sernageomin.cl/opac/DataFiles/DGA054.pdf>]

Gobierno de Chile. (2004). Cuenca del Río Biobío. Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según Objetivos de Calidad. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas. [obtenido de: <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/BioBio.pdf>]

Gobierno de Chile. (2008). Guía Técnica de Buenas Prácticas. Recursos Naturales: Agua, Suelo, Aire y Biodiversidad. Subsecretaría de Agricultura. Comisión Nacional de Buenas Prácticas Agrícolas. Chile Potencia Alimentaria y Forestal. Chile. [obtenido de: https://www.conaf.cl/cms/editorweb/GEF-BM/Apendice-7_04-Guia_Buenas_Practicas_Recursos_Naturales.pdf]

Gobierno de Chile. (2013). Degradación de Suelos Agrícolas y el SIRSD-S. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. [obtenido de: <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2013/10/SueloAgricola201310.pdf>]

Gobierno de Chile. (2013). Degradación de Suelos Agrícolas y el SIRSD-S. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). Ministerio de Agricultura. [obtenido de: <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2013/10/SueloAgricola201310.pdf>]

Gobierno de Colombia. (2016). Política para la Gestión Sostenible del Suelo. Todos por un Nuevo País. Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá, Colombia. [obtenido de:



Diagnóstico del estado de los suelos en la comuna de Hualqui, región del Biobío: consecuencias de los cambios de uso

http://www.andi.com.co/Uploads/Pol%C3%ADtica_para_la_gesti%C3%B3n_sostenible_del_suelo_FINAL.pdf

Gobierno de España. (2022). Cuencas y Subcuencas Hidrográficas. Vicepresidencia Tercera del Gobierno. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. [obtenido de: <https://www.miteco.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargas/agua/cuencas-y-subcuencas.aspx>]

Gobierno de Perú. (2014). Sociedad y Ambiente. Estudio de Desempeño Ambiental. 2003-2013. ESDA. Ministerio de Medio Ambiente. [obtenido de: <https://www.minam.gob.pe/esda/4-2-1-efectos-de-la-contaminacion-y-la-degradacion-del-ambiente-que-fuercen-a-sectores-de-la-sociedad-a-modificar-sus-practicas-o-limiten-su-capacidad-de-insercion-y-desarrollo-social/>]

González, L. (2011). Gestión del Territorio. Un Método para la Intervención Territorial. [obtenido de: http://www.agren.cl/libro_digital/gestion_territorial/files/gestiondelterritorio-final_.pdf]

González, M. (1991). La Ecuación Universal de Perdidas de Suelo. Pasado, Presente y Futuro. Ecología N°5. Pp. 13-50. ICONA. Madrid. España. [obtenido de: https://www.miteco.gob.es/es/parques-nacionales-oapn/publicaciones/ecologia_05_02_tcm30-100846.pdf]

González, R. (2013). Evaluación de la Calidad del Suelo para diferentes usos y cubiertas vegetales en la ladera Este de Cerro Grande, comunidad Dexcani Alto, municipio de Jilotepec. Facultad de Planeación Urbana y Regional. Universidad Autónoma del Estado de México. [obtenido de: <https://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/58561>]

Grajales, A; Serrano, E; Hahn, C. (2013). Los Métodos y Procesos Multicriterio para la Evaluación. Revista Luna Azul, n°36, pp. 285-306. Universidad de Caldas. Manizales, Colombia. [obtenido de: <https://www.redalyc.org/pdf/3217/321728584014.pdf>]

Grupo SACSA. (2015). Propiedades de los Suelos Arenosos. Asesoría Agrícola. [obtenido de: <https://www.gruposacsa.com.mx/propiedades-de-los-suelos-arenosos/>]

Gurevitch, J; Scheiner, S; Fox, G. (2002). The Ecology of Plants. Sunderland: Sinauer Associates. Sunderland. Massachusetts. United States of America. [obtenido de: https://www.researchgate.net/profile/Samuel-Scheiner/publication/230844791_The_Ecology_of_Plants/links/00b7d52b9b0e0c0273000000/The-Ecology-of-Plants.pdf]

Harold, W.; Jr. Hocker. (1984). Introducción a la biología forestal. Primera edición en español. ACT Editor S.A. México. 446 pp.

Hidalgo, R. (2004). De los pequeños condominios a la ciudad vallada: las urbanizaciones cerradas y la nueva geografía social en Santiago de Chile (1990-2000). EURE-Revista



Diagnóstico del estado de los suelos en la comuna de Hualqui, región del Biobío: consecuencias de los cambios de uso

Latinoamericana de Estudios Urbanos Regionales. [obtenido de: <https://vlex.cl/vid/ciudad-cerradas-nueva-social-santiago-56650475>]

Houghton, R; Hackler, J; Lawrence, K. (1999). The U.S. Carbon Budget: . (201Contributions from Land Use Change. SCIENCE. Vol 285. Pp. 574-578. [obtenido de: https://www.researchgate.net/profile/Kira-Lawrence/publication/12882920_The_US_Carbon_Budget_Contributions_from_Land-Use_Change/links/00b49523c8a38b16a4000000/The-US-Carbon-Budget-Contributions-from-Land-Use-Change.pdf]

Ibáñez Martí, J. (s/f). El Suelo y su Degradación. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Fundación para el Conocimiento. Madrid, España. [obtenido de: https://www.unescoetxea.org/ext/manual_EDS/pdf/07_suelo_castellano.pdf]

Ibáñez, J. (2010). Leptosoles. Los Suelos y la Vida. Un Universo Invisible Bajo Nuestros Pies. Madrid. España. [obtenido de: <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2010/07/06/136490>]

Ibáñez, J; Manríquez, F. (2011). Los Andosoles (WRB 1998): Suelos Volcánicos. Los Suelos y la Vida. Un Universo Invisible Bajo Nuestros Pies. Madrid. España. [obtenido de: <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2011/11/23/140258>]

Ibáñez, S. (2010). La Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo. Producción Vegetal. Universitat Politècnica de Valencia. España. [obtenido de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16849/AD%20USLE.pdf?sequence=1#:~:text=La%20Ecuaci%C3%B3n%20Universal%20de%20P%C3%A9rdida,frente%20a%20la%20precipitaci%C3%B3n%20pluvial.>]

IDEAM (2021). Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes para la Cuantificación de la Deforestación en Colombia. Nivel Subnacional Escala Grues y Fina. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá. Colombia. [obtenido de: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022108/PARTE2.pdf>]

INE. (2017). CIUDADES, PUEBLOS Y ALDEAS CENSOS 1992-2017. [obtenido de: <https://inechile.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=7cc0790e45694869b821c0ea39d167ec>]

INE. (2019). Entre 2002 y 2017 las Áreas Urbanas del País Crecieron un tamaño Equivalente al Gran Santiago. Instituto Nacional de Estadísticas. Chile. [obtenido de: <https://www.ine.cl/prensa/2019/09/16/entre-2002-y-2017-las-%C3%A1reas-urbanas-del-pa%C3%ADs-crecieron-un-tama%C3%B1o-equivalente-al-gran-santiago>]

INIA. (2015). Semana de la Ciencia y Tecnología. Jornada de Puertas Abiertas. República de Uruguay. [obtenido de:



Diagnóstico del estado de los suelos en la comuna de Hualqui, región del Biobío: consecuencias de los cambios de uso

<http://inia.uy/Documentos/P%C3%BAblicos/INIA%20Tacuaremb%C3%B3/2015/EI%20Suelo%20%20de%20mayo.pdf>

INIA. (2019). El Suelo y su rol en el Cambio Climático. Ministerio de Agricultura. Gobierno de Chile. [obtenido de: <https://web.inia.cl/wp-content/uploads/2018/01/3.-E.-Vistoso.pdf>]

Institut d'Estudis Catalans. (2021). Procesos de Degradación y Control. Protección de Suelos Cataluña-Las Islas Baleares/Principado de Andorra. Barcelona, España. [obtenido de: <https://www.iec.cat/mapasols/Cas/erosio2.asp?Grup=A&Opcio=3>]

Insuasty, J. (2012). Dinámica de Flujo de Lodos. Revista UNIMAR n°60. Pp. 43-54. Universidad Mariana. San Juan de Pasto. Colombia. [obtenido de: <https://revistas.umariana.edu.co/index.php/unimar/article/view/238/208>]

Iturrieta, M. (2016). Análisis Exploratorio de la Relación entre el Régimen de Caudales y la Abundancia de Didymosphenia Geminata en Los Ríos de la Zona Centro Sur de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. [obtenido de: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/152780/Analisis-exploratorio-de-la-relacion-entre-el-regimen-de-caudales-y-la-abundancia-de-Didymosphenia-geminata-en-los-rios-de-la-zona-centro-sur-de-Chile.pdf?sequence=1&isAllowed=y>]

Jaque, E. (2008). Geomorfología de la cuenca del río Andalién, Chile. Revista Geográfica del Instituto Panamericano de Geografía e Historia, pp.97-116. [obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/261933509_Geomorfologia_de_la_cuenca_del_rio_Andalien_Chile]

Jaque, E. (2010). Diagnóstico de los Paisajes Mediterráneos Costeros. Cuenca del río Andalién, Chile. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, n°54, pp. 81-97. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía. Universidad de Concepción. Concepción, Chile. [obtenido de: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3605452/1.pdf>]

Jenny, H. (1941). Factors of Soil Formation. A system of quantitative pedology. McGraw-Hill. New York. [obtenido de: https://books.google.cl/books?hl=es&lr=&id=orjZZS3H-hAC&oi=fnd&pg=PP1&dq=factors+of+soil+formation+jenny&ots=fKiPe_bYkc&sig=peKUJGE2j77gHNvrfYB9Rj2Bvcl#v=onepage&q=factors%20of%20soil%20formation%20jenny&f=false]

JoVE. (2022). Determinación del contenido de Humedad en el Suelo. Universidad de Arizona. [obtenido de: <https://www.jove.com/es/v/10011/determination-of-moisture-content-in-soil?language=Spanish>]

Junta de Andalucía. (2020). Contaminación de Suelos a partir de Residuos Peligrosos. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. España. [obtenido de:



Diagnóstico del estado de los suelos en la comuna de Hualqui, región del Biobío: consecuencias de los cambios de uso

https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Estado_Y_Calidad_De_Los_Recursos_Naturales/Suelo/Contaminacion_pdf/Contaminacion.pdf

Karra, Kontgis. (2021) Uso global de la tierra/cobertura terrestre con Sentinel-2 y aprendizaje profundo. IGARSS 2021-2021 Simposio internacional de geociencia y teledetección del IEEE. IEEE, 2021 [obtenido de: <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=d6642f8a4f6d4685a24ae2dc0c73d4ac>] [descarga de imágenes Sentinel-2 con CORINE Land Cover: <https://www.arcgis.com/apps/instant/media/index.html?appid=fc92d38533d440078f17678ebc20e8e2>]

Keith, DA; Rodríguez, JP; Rodríguez-Clark, KM. (2013) Scientific Foundations for an IUCN. Red List of Ecosystems.

Kottek, M; J. Grieser; C. Beck; B. Rudolf; F. Rubel (2006), World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. Meteorologische Zeitschrift, vol. 15, no. 3. Pp 259-263.

Kruse, F.A. (2004). Comparison of ATREM, ACORN, and FLAASH atmospheric corrections using low-altitude AVIRIS data of Boulder, CO. [obtenido de: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.569.8864&rep=rep1&type=pdf>]

Kshetri, T. (2018). NDVI, NDBI & NDWI Calculation Using Landsat 7, 8. LinkedIn. [obtenido de: <https://www.linkedin.com/pulse/ndvi-ndbi-ndwi-calculation-using-landsat-7-8-tek-bahadur-kshetri/>]

Kühn, I; Brandl, R; Klotz, S. (2004). The Flora of German Cities is Naturally Species Rich. Evolutionary Ecology Research. vol 6. pp. 749-764. [obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/222096009_The_flora_of_German_cities_is_naturally_rich]

Lal, R. (2009). Soil Degradation as a Reason for Inadequate Human Nutrition. Food Security 1. Pp. 45-57. The Ohio State University. Estados Unidos. [obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/46537053_Soil_degradation_as_a_reason_for_inadequate_human_nutrition]

López, L; Rio, J; Savério, E; Trinca, D. (2015). Diccionario de Geografía Aplicada y Profesional: Terminología de Análisis, Planificación y Gestión del Territorio. Diccionario de Geografía Aplicada y Profesional. Universidad de León. [obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/324173572_Urbanizacion]

López, V; Balderas, M; Chávez, M; Pérez, J; Gutiérrez, J. (2014). Cambio de Uso de Suelo e Implicaciones Socioeconómicas en un área Mazahua del Altiplano Mexicano. CIENCIA ergo-sum. Vol. 22, 2. Pp. 136-144. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca. México.



Diagnóstico del estado de los suelos en la comuna de Hualqui, región del Biobío: consecuencias de los cambios de uso

Luzio, W. (2010). Suelos de Chile. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 364 p. [obtenido de: <https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/21767/Suelos-de-Chile.pdf?sequence=2&isAllowed=y>]

MAGBMA, FAO (2018). Estudios de las Causas de la Deforestación y Degradación Forestal en Guinea Ecuatorial, 2004-2014. Central African Forest Initiative (CAFI). Ministerio de Agricultura, Ganadería, Bosques y Medio Ambiente. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [obtenido de: <http://www.fao.org/3/CA0399ES/ca0399es.pdf>]

MapGIS. (2022). Combinación de Bandas en Imágenes de Satélite Landsat y Sentinel. Mapping GIS. [obtenido de: <https://mappinggis.com/2019/05/combinaciones-de-bandas-en-imagenes-de-satelite-landsat-y-sentinel/>]

Marquet, P; A. Lara; A. Altamirano, A. Alaniz; C. Álvarez; M. Castillo, M. Galleguillos; A. Grez; Á. Gutiérrez; J. Hoyos-Santillán; D. Manushevich, R. M. Garay; A. Miranda; E. Ostria; F. Peña-Cortéz, J; Pérez-Quezada, A. Sepúlveda; J. Simonetti; C. Smith. (2019). Cambio de uso del suelo en Chile: Oportunidades de mitigación ante la emergencia climática. Informe de la mesa Biodiversidad. Santiago: Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.

Martínez, A; Santos, F; Goy, J; Delgado, L. (2012). Los SIG y la Cartografía Ambiental: Evaluación Estratégica y de Impacto Ambiental. Universidad de Salamanca. Salamanca, España. [obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/299041224_Los_SIG_y_la_Cartografia_Ambiental_Evaluacion_Estrategica_y_de_Impacto_Ambiental/stats#fullTextFileContent]

Miller, G. (2007). Ciencia ambiental: Desarrollo sostenible, un enfoque integral. 8va edición, Editores Internacional Thomson, México.

Ministerio de Educación. (2017). Estimaciones de Tasa de Pobreza por ingresos por Comuna. Aplicación de Metodologías de Estimación para Áreas Pequeñas (SAE) [obtenido de: <https://www.comunidadescolar.cl/wpcontent/uploads/2019/10/I%CC%81NDICE-DEPOBREZA-POR-COMUNA-2017>]

Ministerio del Interior. (2015). Política Nacional para los Recursos Hídricos. Gobierno de Chile. [obtenido de: https://www.interior.gob.cl/media/2015/04/recursos_hidricos.pdf]

Ministerio del Medio Ambiente. (2022). Principales Proyecciones Climáticas para Chile. Proyecciones Climáticas. Cambio Climático. Gobierno de Chile. [obtenido de: <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/proyecciones->



Diagnóstico del estado de los suelos en la comuna de Hualqui, región del Biobío: consecuencias de los cambios de uso

climaticas/#:~:text=Al%202030%2C%20se%20proyectan%20disminuciones,de%20chile%20y%20zona%20centro.]

Moreno, H; Gisbert, J; Ibáñez, S. (2007). La Estructura de un Suelo. Producción Vegetal. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Valencia. España. [obtenido de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/8010/estructura.pdf>]

Morgan, R. (1997). Erosión y Conservación del Suelo. 343 pp. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. [obtenido de: https://books.google.cl/books?id=jcFqaFI-u1UC&printsec=frontcover&dq=morgan&source=gbs_summary_r&hl=es#PPP1,M1]

Municipalidad de Hualqui. (2016). Plan de Desarrollo Comunal. Comuna de Hualqui. Período 2016-2020. Gobierno de Chile. [obtenido de: <https://docplayer.es/92182837-Plan-de-desarrollo-comunal.html>]

Muñoz, O. (2007). El Suelo: Diagnóstico de la Situación del Recurso. Centro de Derecho Ambiental. Universidad de Chile.

Navarro, A; Carmona, J; Font, X. (1996). Contaminación de Suelos y Aguas Subterráneas por Vertidos Industriales. Acta Geológica Hispana. V.30. N°1-3. Pp. 49-62. Barcelona. España.

Núñez, A. (2015). Caracterización de la Problemática de las Aguas Residuales en Ixmiquilpan Hidalgo. División de Ciencias Sociales y Humanidades. Unidad Iztapalapa. Universidad Autónoma Metropolitana. México. [obtenido de: http://dcsh.izt.uam.mx/licenciaturas/geografia_humana/wp-content/uploads/2015/09/Tesina-Ana-Laura-Nu%C3%B1ez-2015.pdf]

Núñez, M; Velasco, M. (2010). Cambios en las Coberturas y Usos del Suelo en la Cuenca del Río Guadalfeo, España. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica. Geofocus. Departamento de Geografía. Universidad de Sevilla. Sevilla. España. [obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/309478622_Cambios_en_las_coberturas_y_usos_del_suelo_en_la_cuenca_del_rio_Guadalfeo]

Observatorio Santiago. (2022). Plan Regulador Comunal. Ilustre Municipalidad de Santiago. [obtenido de: <http://www.observatoriosantiago.cl/plan-regulador-historico/>]

Oficina Nacional de Emergencia (ONEMI). (2018). Plan para la Reducción del Riesgo de Desastres. Dirección Regional de ONEMI Biobío. [obtenido de: http://repositoriodigitalonemi.cl/web/bitstream/handle/2012/1873/P-PRRD-PO-ARD-04_VIII_21.11.2018.pdf?sequence=5]

Ordoñez, J. (2011). Cartilla Técnica: Aguas Subterráneas-Acuíferos. ¿Qué es una Cuenca Hidrológica?. Contribuyendo al Desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Sociedad Geográfica de Lima. Foro Peruano para el Agua. [obtenido de:



Diagnóstico del estado de los suelos en la comuna de Hualqui, región del Biobío: consecuencias de los cambios de uso

https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf

Osuna-Ceja, E; Figueroa, B; Oleschko, K; Flores, M; Martínez, M; González, F. (2006). Efecto de la Estructura del Suelo sobre el Desarrollo Radical del Maíz con dos Sistemas de Labranza. *AGROCIENCIA*.40. Pp. 27-38. Departamento de Edafología. Universidad Autónoma de México. México, D.F. [obtenido de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v40n1/1405-3195-agro-40-01-27.pdf>]

Pagot, M. (s/f). Metodologías Inductivas y Deductivas en Técnicas de Teledetección. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina. [obtenido de: <http://www.facultad.efn.uncor.edu/webs/departamentos/estruct/Igodoy/Metodologia/Documentos/Pagot.pdf>]

Palacio, J; Sánchez, M; Casado, J; Propin, E; Delgado J; Velásquez, A; Chias, L; Ortiz, M; González, J. (2004). Indicadores para la Caracterización y Ordenamiento del Territorio. Universidad Nacional Autónoma de México. [obtenido de: https://books.google.cl/books?hl=es&lr=&id=_kvT8mQKH_QC&oi=fnd&pg=PA9&dq=palacio+et+al+2004+ordenamiento+territorial&ots=OfTBImW3Kr&sig=rv1pQzFzHf1GIWNJwBH__oHRbo0#v=onepage&q=palacio%20et%20al%202004%20ordenamiento%20territorial&f=false]

Pascual, J. (2002). Cambios de Usos del Suelo y Régimen Hídrico en la Rambla de Poyo y el Barranc de Carraixet. Universitat de Valencia.

Paz Mora. (2015). Efectos del Cambio de Uso del Suelo en el Régimen de Caudal de la Cuenca del Río Vergara. Región del Biobío, Chile. Escuela de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Universidad de Concepción. Concepción. Chile.

Paz, A; Vásquez, V. (2004). Erosión y Escorrentía. Facultad de Ciencias. Universidad de La Coruña. La Coruña. España. [obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/314658817_EROSION_Y_ESCORRENTIA]

Pellegrini, A. (2019). Textura y Color del Suelo. Departamento de Ambiente y Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. [obtenido de: https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/42831/mod_resource/content/1/TEMA%203%20-%20TEXTURA%20Y%20COLOR.pdf]

Pérez, C; Muñoz, A. (s/f). Teledetección: Nociones y Aplicaciones. Universidad de Salamanca. Salamanca, España. [obtenido de: <https://books.google.cl/books?hl=es&lr=&id=SfrGxbO1DT0C&oi=fnd&pg=PA1&dq=metodologia+de+teledetecci%C3%B3n&ots=pFgiWv1mD->



Diagnóstico del estado de los suelos en la comuna de Hualqui, región del Biobío: consecuencias de los cambios de uso

&sig=SKVhsfG1iloS0GsuCOb1Gzg5Ggl#v=onepage&q=metodologia%20de%20teledetecci%C3%B3n&f=false]

Pérez, J; Rodríguez, F; López, A; Torres, J; Meraz, A; Díaz, A; Valdivia, O. (2019). Erodibilidad y Riesgo de Erosión de Suelos Negros del Centro de México: Estudio de un Phaozem. *Terra Latinoamericana* 37, pp. 391-400. México. [obtenido de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v37n4/2395-8030-tl-37-04-391.pdf>]

Porta, J; López-Acevedo, M; Poch, R. M. (2014). *Edafología: uso y protección de suelos*. Madrid: Mundi-Prensa S. A. de C. V.

Proyecto Multinacional Andino. (2007). *Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la Evaluación de Amenazas*. Geociencias para las Comunidades Andinas. [obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/320310478_Movimientos_en_Masa_en_la_Region_Andina_a_Una_Guia_para_la_Evaluacion_de_Amenazas]

Ramírez, F; Hincapié, E; Sadeghian, S. (2009). Erodibilidad de los Suelos de la Zona Central Cafetera del Departamento de Caldas. *Cenicafé* 60, vol. 1. Pp. 58-71. Colombia. [obtenido de: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/157/1/arc060%2801%2958-71.pdf>]

Renard K.G; Foster G.R.; Weesies G.A.; McCool D.K.; Yoder D.C. (1996). *Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Soil Loss Equation (RUSLE)*. Agricultural Handbook 703. US Government Printing Office. Washington DC. 384 p.

Resumen. (2021). Empresa que intervino orilla del Biobío funcionaría sin permisos en Periquillo, Hualqui. [obtenido de: <https://resumen.cl/articulos/empresa-intervino-orilla-biobio-funcionaria-sin-permisos-periquillo-hualqui>]

Rivera, P; Gómez, A. (1991). Erosividad de las lluvias en la zona cafetera central colombiana (Caldas, Quindío y Risaralda). *Cenicafé* 42(2): 37-52

Rodríguez, A. (2005). *La densidad de dosel forestal, como una nueva alternativa para la estratificación de los bosques en el Valle del Sacta*. Universidad Mayor de San Simón Escuela de Ciencias Forestales. Cochabamba-Bolivia.

Rojas, A. (2018). *Evaluación de los Efectos del Cambio de Uso de Suelo sobre las Tasas de Sedimentación en Laguna Grande de San Pedro de La Paz (Chile) durante los últimos 30 Años*. Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad de Concepción. [obtenido de: <http://repositorio.udec.cl/jspui/bitstream/11594/3386/4/TESIS%20EVALUACION%20DE%20LOS%20EFECTOS%20DEL%20CAMBIO%20DE%20USO%20DE%20SUELO.Image.Marked.pdf>]



Diagnóstico del estado de los suelos en la comuna de Hualqui, región del Biobío: consecuencias de los cambios de uso

Rojas, A; Ibarra, R. (2003). La Degradación del Suelo y sus Efectos sobre la Población. Población y Desarrollo. Pp. 4-9. [obtenido de: <https://revistascientificas.una.py/index.php/RE/article/view/913/915>]

Romero, C. (2016). Determinación con imágenes satelitales del índice de vegetación de diferencia normalizada del valle de Pampas-Tayacaja. Polo del Conocimiento. Revista científico-profesional. [obtenido de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7659358>]

Romero, H; Vásquez, A; Riveros, S. (2005). Sustentabilidad del desarrollo urbano del Gran Concepción: Efectos ambientales del crecimiento urbano 1975 – 2001. Ponencia XXVI Congreso Nacional y XVI Congreso Internacional de Geografía, Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.

Rucks, L; García, F; Kaplán, A; Ponce de León, J; Hill, M. (2004). Propiedades Físicas del Suelo un recurso natural prestador de servicios biológicos y ambientales. Universidad de la República, Facultad de agronomía, departamento de suelos y aguas. Montevideo, Uruguay. [obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/323906391_Propiedades_fisicas_de_los_suelos_un_recurso_natural_prestador_de_servicios_biologicos_y_ambientales]

SAG. (Servicio Agrícola y Ganadero). (2011). Pauta para Estudio de Suelos. Ministerio de Agricultura. Gobierno de Chile. [obtenido de: <https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/pauta-para-estudio-de-suelos--mod-2016.pdf>]

Salgado, R. (2014). Deforestación. La Ciencia en Pocas Palabras. n°14, pp. 31-32. Saber más. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México. [obtenido de: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4761345.pdf>]

Sánchez, A; García, R; Palma, A. (2003). La Cuenca Hidrográfica: unidad básica de planeación y manejo de recursos naturales. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Gobierno de México. México D.F. [obtenido de: http://centro.paot.org.mx/documentos/semarnat/cuenca_hidrografica.pdf]

Sánchez, M. (2015). Amenaza de Origen Natural Asociadas a la Dinámica de los Sistemas de Vertientes del Flanco Cordillerano Costero entre Punta Teatinos y Cuenca Aguas Saladas. Región de Coquimbo. Carrera de Geografía. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad de Chile. Santiago. Chile.

Schlatter, J; Gerding, V; Oñate, M. (1998). Características y Variabilidad de Sitios con Plantaciones Adultas de Pinus Radiata D. Don en Suelos Graníticos de las Regiones VIII y IX. Bosque vol. 19, n°1, pp. 37-59. Instituto de Silvicultura. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. [obtenido de: <http://revistas.uach.cl/pdf/bosque/v19n1/art06.pdf>]



Diagnóstico del estado de los suelos en la comuna de Hualqui, región del Biobío: consecuencias de los cambios de uso

SEMARNAT. (2005). NORMA Oficial Mexicana NOM-052, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. SEGUNDA SECCION PODER EJECUTIVO SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES.

SEMARNAT. (2010). Informe de la Situación Medio Ambiente México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. [obtenido de: http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/estadisticas_2000/informe_2000/02_Vegetacion/2.1_Vegetacion/index.shtml]

SEMARNAT. (2015). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. 2015. Compendio de Estadísticas Ambientales, Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. [obtenido de: https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf]

Sepúlveda, A; Saavedra, P; Esse, C. (2019). Análisis de Cambio de Cobertura y uso de suelos en una Subcuenca preandina chilena. Herramienta para la Sustentabilidad Productiva de un Territorio. Revista de Geografía Norte Grande. [obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/333691642_Analisis_de_cambio_de_cobertura_y_uso_de_suelo_en_una_subcuenca_preandina_chilena_Herramienta_para_la_sustentabilidad_productiva_de_un_territorio]

Silva, S; Correa, F. (2009). Análisis de la contaminación del suelo: Revisión de la normativa y posibilidades de la regulación económica. Semest. Econ. 12 (23). Pp.13 – 34.

SIMEF (2018). Informe Comunal. Comuna de Hualqui. INFOR. Ministerio de Agricultura. [obtenido de: <https://simef.minagri.gob.cl/bibliotecadigital/bitstream/handle/20.500.12978/124/R08206-INFORME%20COMUNAL%20HUALQUI.pdf?sequence=1&isAllowed=y>]

SINIA. (2017). Cambio Climático. Capítulo 15. Informe del Estado del Medio Ambiente. Ministerio del Medio Ambiente. Gobierno de Chile. [obtenido de: <https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/04/15-cambio-climatico.pdf>]

SINIA. (2018). Suelos. Ministerio del Medio Ambiente. Gobierno de Chile. [obtenido de: <https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/12/16-suelos-pdf.pdf>]

Stehr, A. (2018). El Sistema Ambiental de la Cuenca del río Biobío. Seminario: La Cuenca del río Biobío: Situación Ambiental Actual e Interrogantes respecto al proyecto de la Carretera Hídrica. Universidad de Concepción. Concepción, Chile. [obtenido de: http://www.fcaudec.cl/wp-content/uploads/2018/08/Stehr_Sist_Amb_Cuenca_Biobio.pdf]



Diagnóstico del estado de los suelos en la comuna de Hualqui, región del Biobío: consecuencias de los cambios de uso

SUBDERE. (2013). Guía Análisis y Zonificación de Cuencas Hidrográficas para el Ordenamiento Territorial. Gobierno de Chile. Santiago Chile. [obtenido de: http://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/documentos/guia_zonificacion_final_con_isbn.pdf]

Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo. (2021). Características Demográficas y Socioeconómicas Comuna de Hualqui. SitRural. [obtenido de: https://www.sitrural.cl/wp-content/uploads/2022/04/Hualqui_demografica.pdf]

Sud Austral Consulting SpA. (2016). PANCD-Chile. Situación actual y proyección 2016-2030. [obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/312139462_PANCD-Chile_Situacion_actual_y_proyeccion_2016-2030]

SUDAS (Statewide Urban Design and Specifications, USA). (2006). The Erosion and Sedimentation Process. In Iowa Statewide Urban Design Standards Manual. Iowa, Estados Unidos. [obtenido de: <http://www.iowasudas.org/design.cfm>]

Tansley, A.G. (1935). The Use and Abuse of Vegetational Concepts and Terms. Ecology 16 (3), pp. 284-307.

Tapia, M. (2021). Urbanismo y Crisis Ambiental. Reflexiones en torno al Modelo Actual de Urbanización ante la Crisis Ambiental. Crítica Urbana. Revista de Estudios Urbanos y Territoriales. IV, N°20. [obtenido de: <https://criticaurbana.com/wp-content/uploads/2021/09/Nu%CC%81mero-20.pdf>]

Taylor, M; Kim, D; Hill, R; Chapman, R. (2010). A review of Soil quality indicators and Five key Issues after 12 yr soil quality Monitoring in the Waikato Region. Soil Use and Management vol. 26. Pp. 212-224.

Turner, B.L; W.B. Meyer (1994). Global land use and landcover change: an overview. En: Meyer, W.B. y B.L. Turner II 1994. Changes in land use and land cover: a global perspective. Cambridge University.

U.S. Geological Survey. (2022). Earth Explorer, Landsat 8. United States [obtenido de: <https://earthexplorer.usgs.gov/>]

UE. (2015). El Suelo y el Cambio Climático. Agencia Europea de Medio Ambiente. [obtenido de: <https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2015/articulos/el-suelo-y-el-cambio-climatico>]

UNAM. (2017). Alterar el Suelo Contribuye al Cambio Climático. México. [obtenido de: <https://ciencia.unam.mx/leer/633/alterar-el-suelo-contribuye-al-cambio-climatico>]

Unger, W; Stewart, A; Parr, F; Singh, P. (1991). Crop Residue Management and Tillage Methods for Conserving Soil and Water in Semiarid Regions. Soil and Tillage Research. 20. Pp. 219-240.



Diagnóstico del estado de los suelos en la comuna de Hualqui, región del Biobío: consecuencias de los cambios de uso

Universidad de Chile. (2015). Advierten Graves Riesgos Ambientales por Expansión Forestal. Diario UChile. [obtenido de: <https://radio.uchile.cl/2015/02/21/advierten-graves-riesgos-ambientales-de-la-expansion-forestal-de-pinos-y-eucaliptos/>]

Universidad de Chile. (2017). La mitad de los suelos chilenos no son productivos por el fenómeno de la erosión. Fenómeno Mundial Amenaza Suelos Chilenos. [obtenido de: <https://www.uchile.cl/noticias/135586/la-mitad-de-los-suelos-chilenos-no-son-productivos-debido-a-la-erosion>]

Universidad de Chile. (2022). Determinación de la Humedad del Suelo. DGF. [obtenido de: http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/medio_mod1.4.htm]

Universidad de la República. (2004). Propiedades Físicas del Suelo. Departamento de Suelos y Aguas. Facultad de Agronomía. Montevideo. Uruguay. [obtenido de: <http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>]

Universidad de Sevilla. (2015). Cambisol Dístico. Suelos de Andalucía Occidental. Sevilla. España. [obtenido de: <http://institucional.us.es/suelos/index.php/p/cd>]

URBE. (2016). Actualización Plan Regulador Comunal de Hualqui. Región del Biobío. Seremi MINVU. [obtenido de: https://eae.mma.gob.cl/storage/documents/04_Anteproyecto_PRC_Hualqui_1.pdf.pdf]

Usman, S; Burt, P; Aminu, A; Noma, S; Hamisu, I; Lawal, U. (2013). Improvements in Geophysical Surface Soil Assessment and Classification using Modifying Jenny's Equation of Soil Forming Factors in the Sudan Savannah. IOSR. Journal of Applied Physics (IOSR-JAP). Vol. 2, Issue 6. Pp. 37-46. [obtenido de: https://www.academia.edu/6916314/Improvements_in_geophysical_surface_soil_assessment_and_classification_using_modifying_Jennys_equation_of_soil_forming_factors_in_the_Sudan_Savannah]

Valdovinos, C; Parra, O. (2006). La Cuenca del Río Biobío. Historia Natural de un Ecosistema de Uso Múltiple. Publicaciones Centro EULA. Centro de Ciencias Ambientales EULA. Universidad de Concepción. Concepción, Chile. [obtenido de: <http://www.eula.cl/images/stories/documentos/3.pdf>]

Valor, E; Caselles, V. (1996). Mapping Land Surface Emissivity from NDVI: Application to European, African and South American Areas. Remote Sensing of Environment 57. Pp. 167-184. [obtenido de: [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(96\)00039-9](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(96)00039-9)]

Vargas, G. (2000). Criterios para la Clasificación y Descripción de Movimientos en Masa. Boletín de Geología. Vol. 22. N°37. Pp. 39-67. Bogotá. Colombia. [obtenido de: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaboletindegologia/article/view/3965/4307>]



Diagnóstico del estado de los suelos en la comuna de Hualqui, región del Biobío: consecuencias de los cambios de uso

Vásquez, A; Romero, H; Fuentes, C; López, C; Sandoval, G. (2008). Evaluación y Simulación de los Efectos Ambientales del Crecimiento Urbano Observado y Propuesto en Santiago de Chile. Actas del Congreso Nacional de Desarrollo Rural. Santiago. Chile. [obtenido en: https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/118149/EVALUACION_Y_SIMULACION_DE_LOS_EFECTOS_AMBIENTALES_DEL_CRECIMIENTO_URBANO_OBSERVADO_Y_PROPUUESTO_EN_SANTIAGO_DE_CHILE.pdf?sequence=1&isAllowed=y]

Vega, L. (2008). Evaluación de la Erosión Hídrica Superficial por Parcelas Experimentales en Suelos Desnudos de la Región de Coquimbo. Escuela de Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Talca. Talca, Chile. [obtenido de: http://ctha.otalca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/tesis_de_grado/leonardo_vega.pdf]

Vergara, M; López-Escobar, L; Palma, J.L; Hickey-Vargas, R; Roeschmann, C. (2004). Late tertiary Volcanic episodes in the Area of the city of Santiago de Chile: new Geochronological and Geochemical data. Jour. South Am. Earth Sciences, Vol. 17, Nº 3. Pp. 227-238.

Vistoso, E. (2019). El Suelo y su Rol en el Cambio Climático. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. INIA. Ministerio de Agricultura. Gobierno de Chile. [obtenido de: <https://web.inia.cl/wp-content/uploads/2018/01/3.-E.-Vistoso.pdf>]

Vitousek, P; Mooney, H; Lubchenco, J; Melillo, J. (1997). Human Domination on Earth's Ecosystems. Science 277. pp. 494-499. [obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/251242826_Human_Domination_of_Earth's_Ecosystems]

Wang, H; G. Zhang; N. Li; B. Zhang; H. Yang. (2018). Soilerodibility influenced by natural restoration time of abandoned farmland on the Loess Plateau of China. Geoderma 325: 18-27. [obtenido de: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.03.037>]

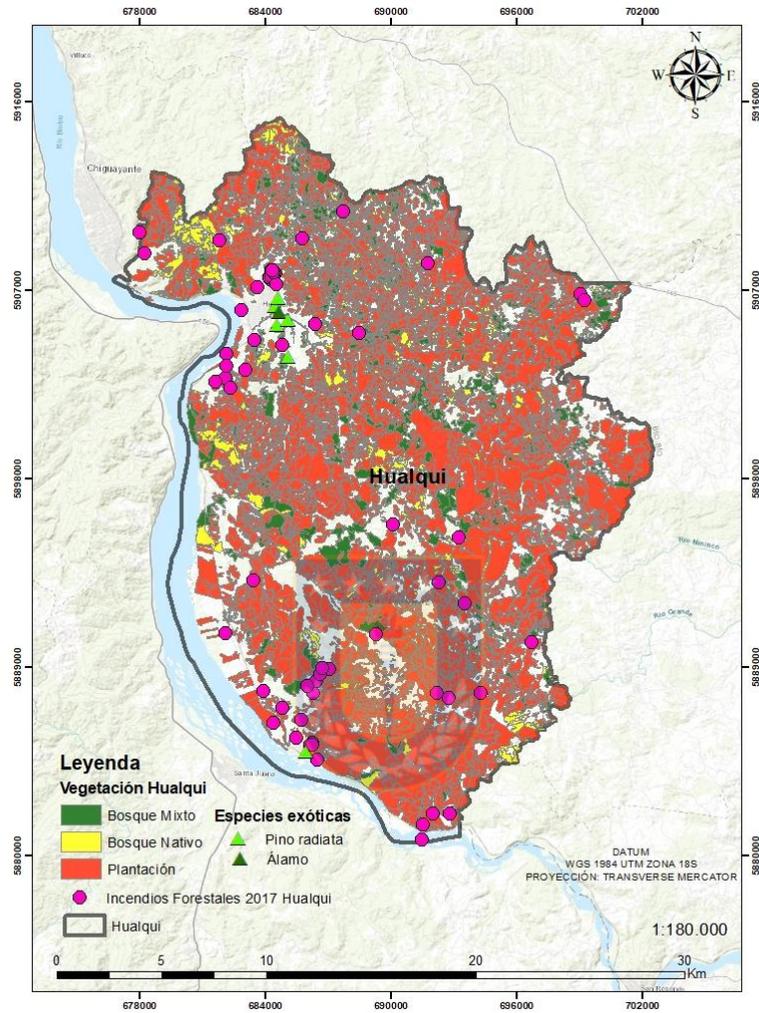
Wishmeier, W; Smith, D. (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Conservation Planning. Science and Education Administration. Department of Agriculture in Cooperation with Purdue Agricultural Experiment Station. United States. [obtenido de: <https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF>]

Wong. (2000). Ordenamiento Ecológico y Ordenamiento Territorial: Retos para la Gestión del Desarrollo Regional Sustentable en el Siglo XXI. Estudios Sociales 2009, vol. 17. Pp. 11-39. [obtenido de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-45572009000300002]



13. Anexos

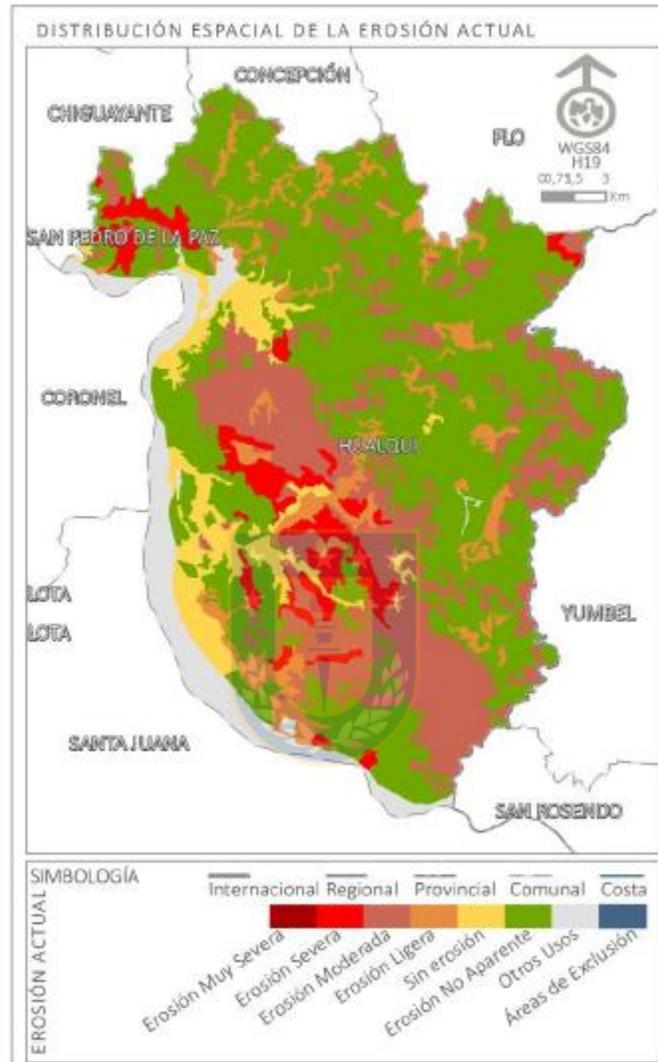
13.1. Incendios forestales en la temporada 2016/2017



Fuente: Elaboración propia



13.2. Niveles de erosión en 2010



Fuente: CIREN (2010)