



CRHIAM

CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS PARA LA AGRICULTURA Y LA MINERÍA

ANID/FONDAP/15130015

ANID/FONDAP/1523A0001

IMPACTOS DEL CAMBIO DE USO DE SUELO EN UNA CUENCA URBANA

Fernanda Álvarez Amado / Angela Contreras Gatica / Violeta Tolorza / Pamela Castillo Lagos
Camila Navarrete / Dilan Campos Quiroz / José Luis Arumí / Leopoldo Gutiérrez



Universidad de Concepción

Serie Comunicacional CRHIAM

SERIE COMUNICACIONAL CRHIAM

Versión impresa ISSN 0718-6460

Versión en línea ISSN 0719-3009

Directora:

Gladys Vidal Sáez

Comité editorial:

Sujey Hormazábal Méndez

María Belén Bascur Ruiz

Serie:

Impactos del cambio de uso de suelo en una cuenca urbana.
Fernanda Álvarez Amado, Angela Contreras Gatica, Violeta Tolorza,
Pamela Castillo Lagos, Camila Navarrete, Dilan Campos Quiroz,
José Luis Arumí y Leopoldo Gutiérrez.
Junio 2024.

Agradecimientos:

Centro de Recursos Hídricos
para la Agricultura y la Minería
(CRHIAM)

ANID/FONDAP/15130015

ANID/FONDAP/1523A0001

Victoria 1295, Barrio Universitario,
Concepción, Chile
Teléfono +56-41-2661570

www.crhiam.cl



Universidad de Concepción

IMPACTOS DEL CAMBIO DE USO DE SUELO EN UNA CUENCA URBANA

Fernanda Álvarez Amado / Angela Contreras Gatica / Violeta Tolorza / Pamela Castillo Lagos
Camila Navarrete / Dilan Campos Quiroz / José Luis Arumí / Leopoldo Gutiérrez



SERIE COMUNICACIONAL CRHIAM

PRESENTACIÓN

El Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería -Centro Fondap CRHIAM- está trabajando en el tema de "Seguridad Hídrica", entendida como la "capacidad de una población para resguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas de agua de calidad aceptable para el sustento, bienestar y desarrollo socioeconómico sostenibles; para asegurar la protección contra la contaminación transmitida por el agua y los desastres relacionados con ella, y para preservar los ecosistemas, en un clima de paz y estabilidad política" (ONU- Agua, 2013).

La "Serie Comunicacional CRHIAM" tiene como objetivo potenciar temas desde una mirada interdisciplinaria, con la finalidad de difundirlos a los tomadores de decisiones públicos, privados y a la comunidad general. Estos textos surgen como un espacio de colaboración colectiva entre diversos investigadores ligados al CRHIAM como un medio para informar y transmitir las evidencias de la investigación relacionada a la gestión del recurso hídrico.

Con palabras sencillas, esta serie busca ser un relato entendible por todos y todas, en el que se exponen los estudios, conocimientos y experiencias más recientes para aportar a la seguridad hídrica de los ecosistemas, comunidades y sectores productivos. Agradecemos el esfuerzo realizado por nuestras y nuestros investigadores, quienes han trabajado de forma mancomunada y han puesto al servicio de la comunidad sus investigaciones para aportar de forma activa en la búsqueda de soluciones para contribuir a la generación de una política hídrica acorde a las necesidades del país.

Dra. Gladys Vidal
Directora de CRHIAM

DATOS DE INVESTIGADORES



Fernanda Álvarez Amado

Geóloga, Universidad de Chile.
Doctora en Ciencias, mención Geología,
Universidad de Chile.
Profesora Asociada, Departamento Ciencias
de la Tierra, Universidad de Concepción.
Investigadora Adjunta CRHIAM.



Angela Contreras Gatica

Geóloga,
Universidad de Concepción.
Estudiante Doctorado en Ciencias Geológicas,
Universidad de Concepción.



Violeta Tolorza

Geóloga,
Universidad de Chile.
Doctora en Ciencias, mención Geología,
Universidad de Chile.
Investigadora Universidad de La Frontera.



Pamela Castillo Lagos

Geóloga,
Universidad de Concepción.
Doctora en Ciencias, mención Geología,
Universidad de Chile.
Profesora Adjunta, Carrera Geología,
Facultad de Ingeniería, Universidad Andrés Bello,
Sede Concepción.

DATOS DE INVESTIGADORES



Camila Navarrete
Geóloga,
Universidad de Concepción.



Dilan Campos Quiroz
Geólogo,
Universidad de Concepción.
Investigador en el Centro de Excelencia Internacional
del Sustainable Minerals Institute
SMI-ICE-Chile.



José Luis Arumí
Ingeniero Civil.
Doctor of Philosophy.
Major on Engineering.
Profesor Titular, Departamento de Recursos Hídricos,
Facultad de Ingeniería Agrícola,
Universidad de Concepción.
Investigador Principal CRHIAM



Leopoldo Gutiérrez
Ingeniero Civil Metalúrgico.
Doctor en Procesamiento de Minerales,
University of British Columbia.
Profesor Asociado del Departamento de Ingeniería
Metalúrgica, Universidad de Concepción.
Subdirector CRHIAM.

GLOSARIO:

- **Cuenca:** área geográfica drenada por un río y sus afluentes, se encuentra delimitada por la línea de cumbres, llamada divisoria de aguas.
- **Degradación de suelo:** pérdida de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, resultando en una disminución de la calidad y capacidad productiva de este. La degradación es causada por factores naturales y principalmente por la actividad humana.
- **Elementos traza:** elementos químicos que se encuentran presentes en la naturaleza en cantidades muy pequeñas (abundancia <0.1%).
- **Erosión:** desgaste gradual de la superficie terrestre debido a la acción de agentes naturales como el viento, el agua y la actividad humana. Se asocia al transporte del material que es previamente meteorizado.
- **Meteorización:** desintegración y/o descomposición de las rocas de la superficie terrestre *in situ* (o en el lugar), sin transporte. Ocurre por una interacción de agentes físicos, químicos y biológicos.
- **Sedimentos:** partículas sólidas, como arena, limo y arcilla, que se depositan en el fondo de cuerpos de agua, como ríos, lagos y océanos, debido a la acción del agua, el viento o la gravedad. Estos materiales pueden contener restos de plantas, animales y minerales, y su acumulación forma estratos o capas sedimentarias a lo largo del tiempo.
- **Subcuenca:** área más pequeña dentro de una cuenca principal, delimitada por sus propias características topográficas y patrones de drenaje.
- **Suelo:** capa superficial de la corteza terrestre biológicamente activa, sirve de base para la vida vegetal y animal, proporcionando nutrientes, oxígeno y agua.
- **Tierras raras (REE):** grupo de elementos que incluye al Escandio, Itrio y lantánidos. Corresponden a metales de transición, con concentraciones generalmente bajas.
- **Uso de suelo:** distribución y gestión de las áreas terrestres para diversos propósitos, como agricultura, urbanización, conservación y recreación.
- **Plantaciones forestales:** áreas en las que se han cultivado árboles de una misma especie o combinación de estas de manera planificada y sistemática, con el objetivo de producción de madera. Los árboles en estas plantaciones corresponden a especies de rápido crecimiento y casi en su totalidad, a especies introducidas.

RESUMEN

En Chile, la rápida reducción de bosques nativos está directamente vinculada con la expansión comercial de plantaciones forestales, generando cambios significativos en el uso de suelo en la zona centro-sur del país. Esto afecta la captación de agua potable, altera las propiedades de los suelos y aumenta la vulnerabilidad de los ecosistemas.

La cuenca de Nonguén, un claro ejemplo de esta situación es una importante fuente de agua potable para las comunas aledañas en la Región del Biobío y se caracteriza por su amplia biodiversidad de especies. Sin embargo, en los últimos años, ha sido impactada por actividades humanas que han alterado el uso del suelo, afectando significativamente sus propiedades y la configuración de la cuenca.

Esta Serie Comunicacional estudia el efecto de los distintos usos de suelo en el aporte de sedimentos en tres subcuencas de la cuenca de Nonguén, buscando entender cómo estos cambios afectan la composición del agua, analizando los procesos de erosión y meteorización. Lo anterior es de vital importancia, especialmente en lugares que dependen de estos ríos para abastecerse de agua potable.

Los resultados evidencian una clara relación entre los diferentes usos del suelo y los procesos de erosión y degradación en las subcuencas estudiadas, destacando la importancia de una gestión integral de los recursos naturales y de políticas públicas orientadas a la conservación y restauración de los ecosistemas acuáticos y terrestres. La preservación del Parque Nacional Nonguén es fundamental no solo para la protección de la flora y fauna nativa, sino también para la protección de la calidad del agua y la salud de los ecosistemas acuáticos en la cuenca.

INTRODUCCIÓN

En Chile, la rápida reducción de bosques nativos está directamente vinculada a la expansión comercial de plantaciones forestales, generando cambios significativos en el uso del suelo en la zona centro-sur del país. La sustitución de bosques nativos se remonta a mediados del siglo XIX, cuando en el secano interior se desarrolló una intensa actividad agrícola, cuya principal actividad fue el monocultivo y exportación de trigo, para lo cual se quemaron cientos de hectáreas de bosque nativo (Cortés y otros, 2022). Las malas prácticas de manejo agrícola durante un largo período de tiempo resultaron en suelos más erosionados y de baja productividad (Mellado, 1992). Ante esta situación, las plantaciones forestales surgieron como respuesta para emplearse en dichos suelos, con el fin de recuperarlos y obtener recursos a través de ellos, durante 1970-1980 aproximadamente 200.000 hectáreas de bosque nativo fueron reemplazadas por especies exóticas (Lara y Veblen, 1993).

El cambio de bosques nativos por plantaciones exóticas afecta la captación de agua potable, altera las propiedades de los suelos y aumenta la vulnerabilidad de ecosistemas y personas frente a desastres naturales.

El cambio de uso de suelo corresponde a las diferentes formas en que se emplea un terreno y su cubierta vegetal. Dependiendo de la escala en la que este se realice, puede tener consecuencias biofísicas o biogeoquímicas de magnitudes globales (Foley y otros, 2005) y locales. Por ejemplo, pueden existir variaciones en las captaciones de agua potable, afectando las propiedades de los suelos y las zonas aledañas a estos, incrementando la vulnerabilidad de ecosistemas y personas frente a desastres naturales. Los principales usos de suelo que alteran el estado natural de la cobertura de suelo corresponden a la expansión de áreas urbanizadas, actividades de agricultura, industrialización, reforestación con especies exóticas, entre otros.

En Chile central y centro-sur estas transformaciones se han asociado, inicialmente, a la expansión de la frontera agropecuaria y posteriormente al fuerte incentivo, por parte del Estado, a la forestación de especies exóticas (Niklitschek, 2007), lo que causó un acelerado proceso de desarrollo forestal, que en gran medida explica la actual configuración del paisaje en la región.

Según lo reportado por INFOR (2019), la última cifra disponible de superficie acumulada de plantaciones forestales son 2.289.525 hectáreas, de las cuales las plantaciones de *Pinus radiata* cubren un 56% y la mayor concentración se encuentra en la Región del Biobío (39% de la superficie), donde hay un predominio de esta especie. En la Cordillera de la Costa del centro-sur de Chile, las plantaciones se han multiplicado por casi diez en el periodo comprendido entre 1975 y 2007 (tasa promedio de 6,4%/año), lo que tiene implicaciones importantes para la biodiversidad y el paisaje (Nahuelhual y otros, 2012).

Por tanto, es crucial entender cómo los diversos usos del suelo se relacionan con procesos geológicos como la erosión y la meteorización, especialmente en la zona centro-sur, cuyos suelos cuentan con una larga historia de intervención y malas prácticas, que ha influido en su degradación a lo largo de los años. Además, es fundamental analizar las diferencias entre cuencas con coberturas de vegetación nativa y de plantaciones forestales, para registrar sus consecuencias y buscar medidas de mitigación, recuperación y protección de áreas específicas. En este sentido, los elementos traza surgen como una herramienta útil para analizar los cambios producidos en los suelos y en el aporte de sedimentos al agua, al ser sensibles a estos procesos geológicos y a efectos antrópicos.

En esta Serie Comunicacional se establece la relación entre la pérdida de bosque nativo y el aporte de sedimentos en tres subcuencas de la Cuenca de Nonguén, donde el factor diferenciador es el tipo de uso de suelo. Buscamos entender cómo estos cambios afectan la composición del agua, analizando los procesos de erosión y meteorización, lo que resulta de vital importancia, especialmente en lugares cercanos que dependen de estos ríos para abastecerse de agua potable.



¿QUÉ HACE ESPECIAL A LA CUENCA DE NONGUÉN EN EL BIOBÍO?

La cuenca de Nonguén se ubica en la Región del Biobío, zona centro-sur de Chile (Figura 1), se destaca como un valioso enclave bio-geográfico en la zona periurbana de Concepción. En este territorio, el bosque de transición está enmarcado en un clima templado cálido con lluvias invernales. Sus bosques están conformados por elementos esclerófilos, con especies características como *Cryptocarya alba* ("peumo"), *Lithrea caustica* ("litre") y *Persea lingue* ("lingue") que coexisten con especies de bosque valdiviano, como *Laurelia sempervirens* ("laurel"), *Weinmannia trichosperma* ("tepa"), entre otros (García, 2004), ofreciendo un ecosistema único que merece especial atención y protección.

La cuenca alberga el Parque Nacional Nonguén, una reserva de 3.036,9 hectáreas, situada en los 73°00'S y 36°52'W. Este parque es uno de los pocos, dentro del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado, ubicado entre áreas urbanas densamente pobladas (CONAF, 2019) y es un hábitat vital para una variedad de especies, incluyendo el pudú, zorro culpeo, monito del monte y la ranita de Darwin. Sin embargo, enfrenta constantes presiones debido a la actividad humana circundante.

El parque corresponde a una cuenca intramontana, con altos niveles de endemismo y riqueza de especies, con una creciente influencia de actividad humana. En su límite oriental tiene un sector con especies exóticas comerciales y pequeños fragmentos que se introducen hacia el bosque nativo (CONAF, 2019), lo que lo convierte en un buen candidato para registrar de manera adecuada los efectos del cambio de uso y cobertura de suelo, es decir la conversión de bosque nativo por plantaciones forestales, específicamente de *Pinus sp.*

Además de su rica biodiversidad, la cuenca de Nonguén es esencial para el suministro de agua potable a las comunidades vecinas. Situada en la cabecera del Estero Nonguén (Figura 1A), que alimenta el río Andalién, esta cuenca se erige como un componente crucial del ecosistema regional. La importancia de su posición geográfica se amplifica en el contexto de la región, destacándose como uno de los sistemas hidrográficos costeros de mayor relevancia en el Biobío.

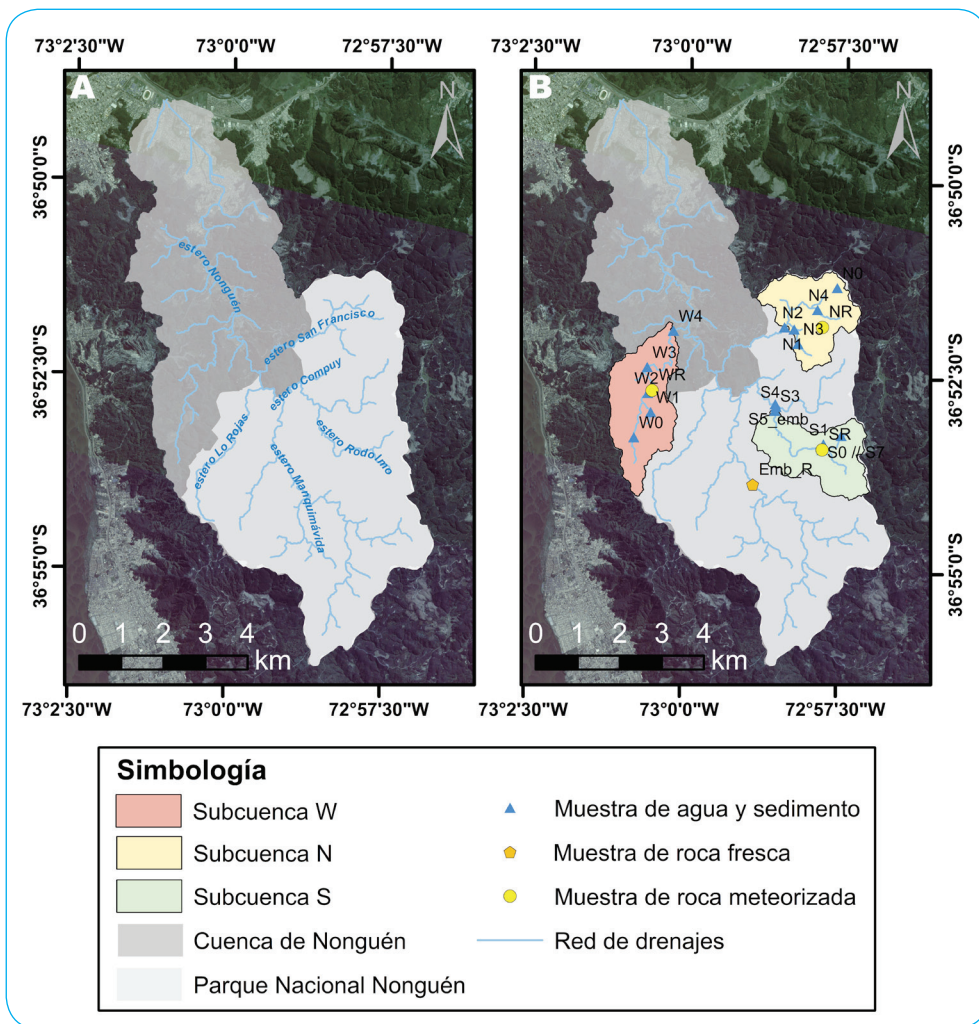


Figura 1.

Área de estudio: Cuenca de Nonguén. A: red de drenaje con los principales esteros; B: subcuencas y puntos de muestreo. Fuente: elaboración propia.

¿CÓMO SE ESTUDIA EL EFECTO DE DIVERSOS USOS DE SUELO EN LA CUENCA DE NONGUÉN?

Los procesos de meteorización y erosión están determinados por una serie de factores, cuya interacción influye en la susceptibilidad ante estos procesos. Un factor principal es el control del clima, que determina principalmente la presencia de agua, donde la temperatura en conjunto con la cantidad e intensidad de precipitaciones favorece la erosión mecánica, la disolución o meteorización de minerales y el posterior transporte de iones hacia los drenajes superficiales y aguas subterráneas.

Otro factor es la litología, en particular la textura y composición mineral de las rocas, esto debido a que los distintos minerales de las rocas tienen diferente resistencia a la meteorización. Esto provoca que los suelos puedan experimentar diversas tasas de erosión.

Además, aspectos topográficos o geomorfológicos como el ángulo o la dirección de las pendientes influye en el grado de meteorización y la erosión, específicamente en sectores más pronunciados se favorece el movimiento de agua sobre la superficie, acelerando los procesos de erosión física a diferencia de sectores más bajos, donde si bien la erosión no se ve acelerada, el agua tiende a acumularse favoreciendo la meteorización y disolución de minerales, entre otros procesos que ocurren en la formación del suelo.

La combinación de los distintos factores mencionados y los usos de suelo, determinan el grado de erosión y meteorización en un área dada. Con el fin de evaluar los efectos de diversos usos de suelos en la erosión y meteorización, se seleccionaron tres subcuencas contenidas dentro de la cuenca de Nonguén (Figura 1B), correspondientes a la subcuenca oeste (W), subcuenca norte (N) y subcuenca sur (S). Estas se escogieron en base a sus características geográficas y geológicas, de tal forma que tuvieran igual composición de rocas (litología), pendientes similares dentro de su extensión y un sistema de drenajes del mismo orden. Lo anterior con el fin de que dichas características no fuesen un factor de variabilidad durante el estudio de las subcuencas, permitiendo evaluar en detalle el factor de los diferentes usos de suelos y su rol en la tasa de los procesos antes mencionados (erosión y meteorización).

La principal característica distintiva entre subcuencas corresponde a los usos de suelo presentes en cada una (Figura 2), donde la subcuenca W es dominada por plantaciones forestales, la subcuenca S por bosque nativo, mientras que la N es una subcuenca mixta entre ambas coberturas (Figura 2A).

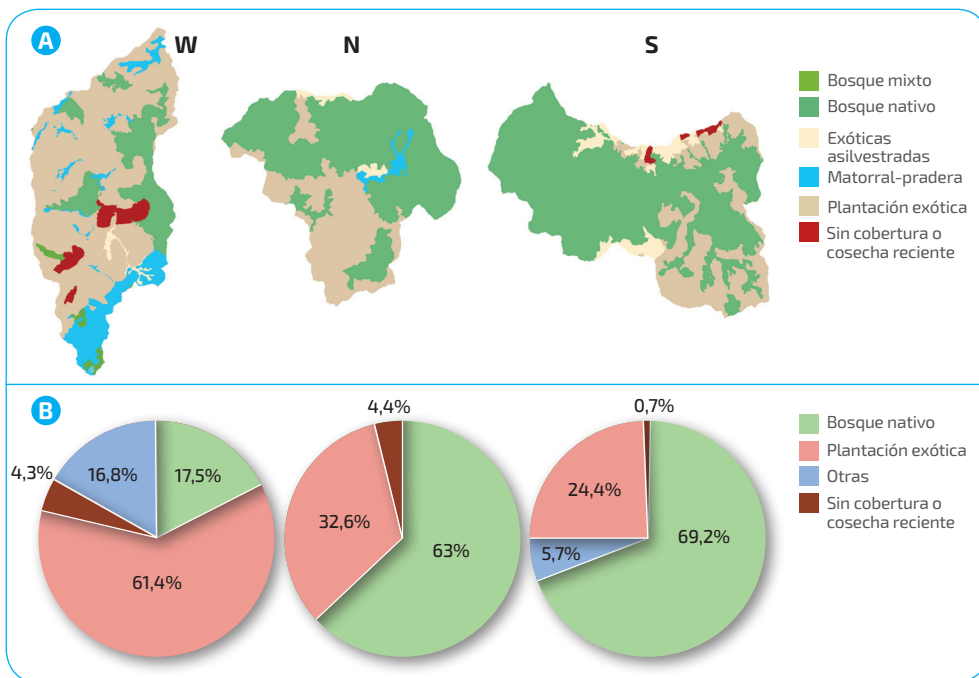


Figura 2.

A: usos de suelos en las subcuencas W, N y S; B: distribución de usos de suelos. Fuente: elaborado a partir de CONAF (2015) y Echeverría (2012).

En mayor detalle, en la Figura 2B se observan las proporciones de los diferentes usos de suelo en cada subcuenca, principalmente distinguiéndose las plantaciones forestales y bosques nativos.

METEORIZACIÓN Y EROSIÓN

La meteorización y la erosión son dos procesos geológicos que afectan la superficie terrestre (Figura 3). La meteorización corresponde al proceso por el cual las rocas se descomponen, ya sea en partículas finas o como componentes disueltos. Se distinguen dos tipos principales:

Meteorización física o mecánica: es el proceso natural en el cual las rocas se descomponen físicamente debido a cambios de temperatura, presión, y acción de agua o hielo. Este proceso no incluye cambios en la composición química de las rocas, sino su fragmentación en pedazos más pequeños.

Meteorización química: es el proceso natural en el cual las rocas se descomponen y alteran químicamente debido a la interacción con el medio natural y factores como el agua y elementos orgánicos. Este proceso implica cambios en la composición química de las rocas, disolviendo minerales y formando nuevos compuestos.

Por su parte, la erosión es el proceso natural posterior a la meteorización, en el cual existe la remoción y desprendimiento de partículas, el transporte de estas desde su lugar de origen y su posterior depositación en zonas de menor o baja pendiente.

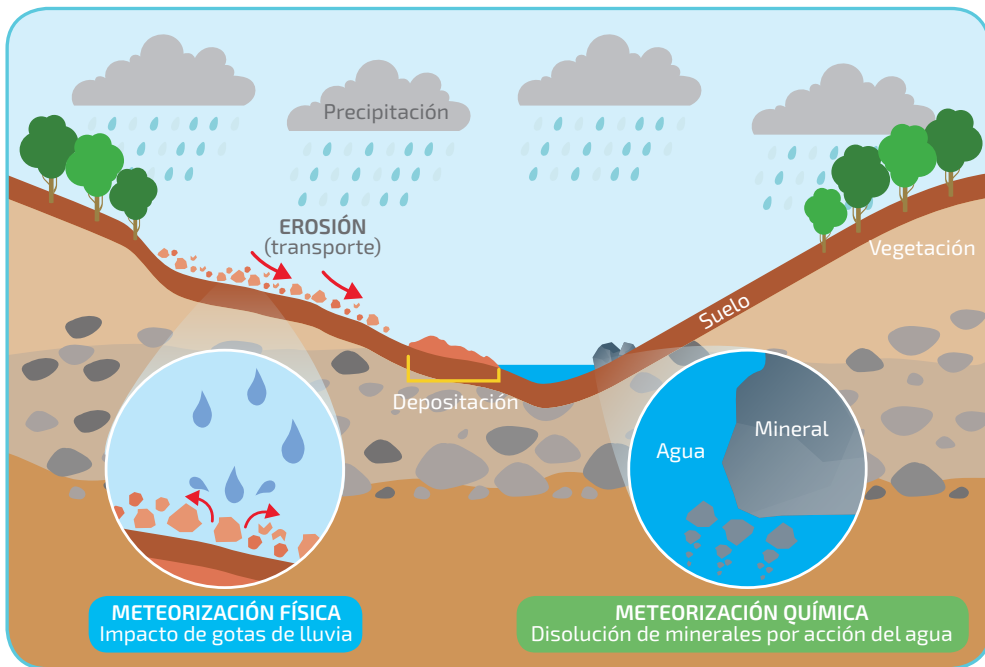


Figura 3.

Procesos de meteorización y erosión. Fuente: elaboración propia.

La erosión y meteorización están controladas por una variedad de factores, entre los que se distinguen aquellos de control climático (temperatura, precipitación, escorrentía, evapotranspiración potencial) y de control geológico, tales como relieve, pendiente, elevación y litología (Gaillardet y otros, 1999; Millot y otros, 2003). Otra clasificación considera dos categorías principales, agrupando los factores intrínsecos y extrínsecos. La primera categoría incluye a las propiedades del material parental (composición mineral, porosidad y fracturas), mientras que la segunda se refiere a aquellos factores ambientales.

¿CÓMO SE RELACIONAN LOS USOS DE SUELO Y LA GEOQUÍMICA DE LAS AGUAS Y SEDIMENTOS?

Los elementos traza, presentes en concentraciones muy bajas en el medio ambiente, desempeñan un papel vital en los procesos biogeoquímicos y pueden afectar tanto la salud humana como el medio ambiente. En relación con los usos del suelo y la geoquímica de las aguas y sedimentos, la concentración de estos elementos traza depende de su movilidad durante los procesos de transporte. Las relaciones de abundancia de estos elementos son particularmente sensibles a la erosión y meteorización, más que los elementos mayoritarios, y las actividades antrópicas pueden intensificar este efecto.

Los sedimentos en suspensión, una parte natural del agua, se originan principalmente en áreas erosionadas y son llevados por el flujo hacia los ríos. Estos sedimentos, en su mayoría provenientes de la erosión del suelo, están directamente influenciados por los diferentes tipos de suelo presentes en un área, así como por sus usos. Por lo tanto, los distintos tipos de suelo y su manejo influyen en la movilidad de los elementos traza en determinadas regiones, pudiendo afectar la calidad del agua y el transporte de nutrientes y contaminantes.

EROSIÓN Y DEGRADACIÓN DE SUELOS

Es importante distinguir entre la erosión natural (o geológica), que se produce bajo condiciones no perturbadas por la actividad humana, y la erosión acelerada. En un suelo en equilibrio, el espesor se mantiene relativamente constante, lo que implica que la erosión ocurre a tasas lentas. Sin embargo, la erosión acelerada ocurre a velocidad mucho mayor que la erosión natural, y esto se debe a perturbaciones en el ambiente causadas por acción de agentes antrópicos.

La degradación de suelos se refiere a la pérdida de algunas propiedades y funciones de este debido a la erosión acelerada y otros procesos relacionados con el uso y manejo del suelo, como la compactación y encostramiento (Banfield y otros, 2018). Esta degradación es una preocupación importante, ya que afecta la capacidad del suelo para sostener la vida vegetal y animal, así como para retener agua y nutrientes. Zhou (2002) indica que ciertos tipos de plantaciones tienen un rol limitado en la protección de los suelos ante la erosión y que tienden a acelerar la acción de este proceso.

Diversos factores, y la combinación de estos, hacen que los suelos sean más o menos susceptibles a la erosión (Figura 4), donde algunos están íntimamente relacionados entre sí. Un factor es la erosividad, correspondiente a la acción de las gotas de lluvia sobre el suelo, asociada a la energía cinética de estas y a su capacidad de generar escorrentía sobre la superficie. Las coberturas tienen como función proteger a los suelos de la erosividad, mitigando la erosión hídrica, disminuyendo el movimiento de la escorrentía y permitiendo que el exceso de agua pueda infiltrarse a través del suelo.

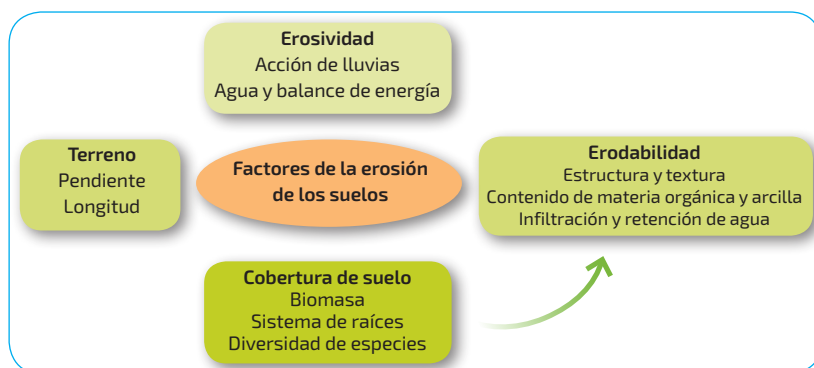


Figura 4.

Factores que afectan la erosión de suelos. Fuente: elaboración propia.

Otro agente primordial es la erodabilidad, asociada a la respuesta o susceptibilidad de un suelo a los agentes erosivos. La erodabilidad depende de las características mecánicas y químicas del suelo, tales como textura, contenido orgánico, estructura, etc. Dichas propiedades se relacionan y dependen del tipo de cobertura existente sobre la superficie del suelo, dependiendo del tipo existente, cantidad, y extensión de esta misma.

DIFERENCIAS ENTRE BOSQUES NATIVOS Y PLANTACIONES FORESTALES

Las plantaciones forestales en Chile abarcan un área total de 2,3 millones de hectáreas (INFOR, 2019), estas son de tipo exótico con especies como *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus*, con períodos de rotación y crecimiento de 22-24 y 10-12 años respectivamente (Iroumé y otros, 2005), representando un 75% y 17% de las hectáreas de plantaciones de árboles.

El reemplazo de la vegetación y bosques nativos por monocultivos forestales (tales como *Pinus radiata* y *Eucalyptus*) genera cambios en las propiedades físicas del suelo, principalmente por la reducción y alteración de la materia orgánica asociado a los cambios en la composición de la vegetación y su calidad (Soto y otros, 2019), lo que lleva a una mayor exposición ante la lluvia y subsecuente erosión, así como una menor resiliencia climática (Domen y otros, 2015). Esto como respuesta a un desequilibrio hidrológico debido al estado general de la compactación del suelo y una menor efectividad de la cobertura del suelo por parte de las plantaciones forestales (Aburto y otros, 2020). En particular, las actividades y manejo forestal impactan sobre los suelos y sus respuestas hidrológicas a lluvias intensas (Mohr y otros, 2013).

En comparación a las plantaciones forestales, los bosques nativos poseen densos sotobosques, que protegen a los suelos contra la erosión, resultando en tasas de erosión tres veces menores (Aburto y otros, 2021). Estos sotobosques contribuyen a la formación de una capa de mantillo (*litter layer*) más densa y gruesa. La capa de mantillo, compuesta por hojas caídas, ramas y otros materiales orgánicos, disipa la energía cinética causada por las gotas de lluvia, proporcionando una mayor protección cuando es más densa y gruesa. Además, el grosor de dicha capa se correlaciona con la capacidad de infiltración del suelo. En comparación con los bosques nativos, la capa de mantillo de plantaciones forestales en conjunto con las actividades asociadas a este tipo de plantación otorgan una menor capacidad de protección ante la acción de la lluvia (Banfield y otros, 2018).

No solo influye el tipo de vegetación y árboles asociados a las plantaciones forestales, sino que también las actividades desarrolladas sobre este tipo de cobertura, en específico, las actividades de mantenimiento forestal impactan tanto en la estructura del suelo como en cursos de agua cercanos.

En particular, los principales efectos hidrológicos según Iroumé y otros (2005) derivan de la deforestación de los suelos y la tala rasa a gran escala, las que se realizan al final de períodos cortos de crecimiento y rotación de árboles. La tala rasa produce perturbaciones mecánicas sobre el suelo, disminuyendo su macroporosidad, que en consecuencia disminuye a su vez la capacidad de infiltración del suelo por efecto de la compactación, acentuando los procesos erosivos y alterando además el nivel freático y disponibilidad de agua. Como consecuencia, además se tiene una mayor escorrentía sobre la superficie, la que produce la liberación y transporte de partículas finas de los suelos, disminuyendo la profundidad de estos y aumentando el contenido de partículas gruesas respecto a las partículas finas.

Un factor que contribuye a la erosión son las actividades productivas de las plantaciones forestales, la apertura de caminos, construcciones, mantenimiento y operación de diversas maquinarias actúan como una fuente de erosión sobre los suelos. La preparación de las áreas forestales, tanto para períodos de cosecha como de nuevas plantaciones deja al suelo desnudo y expuesto a la acción de lluvias incrementando así la movilización de sedimentos (Minella y otros, 2008). Actividades como la deforestación, las talas y los movimientos de suelos para crear nuevos caminos entre las plantaciones y dar forma a las laderas, así como el arrastre del suelo, producen erosión, especialmente durante los períodos de cosecha (Akay y otros, 2008).

RESULTADOS OBSERVADOS EN LA GEOQUÍMICA DE LAS AGUAS EN LA CUENCA DE NONGUÉN

Las concentraciones promedio obtenidas de los sedimentos en suspensión para cada subcuenca se pueden observar en la Figura 5. Se aprecia un incremento significativo en el contenido de la subcuenca W, que se compone mayoritariamente de plantaciones, en comparación con las subcuencas N y S. A pesar de las diferencias en su concentración, las tres subcuencas siguen un patrón similar en su distribución de elementos, donde se observan algunos elementos con altos contenidos para todas las subcuencas.

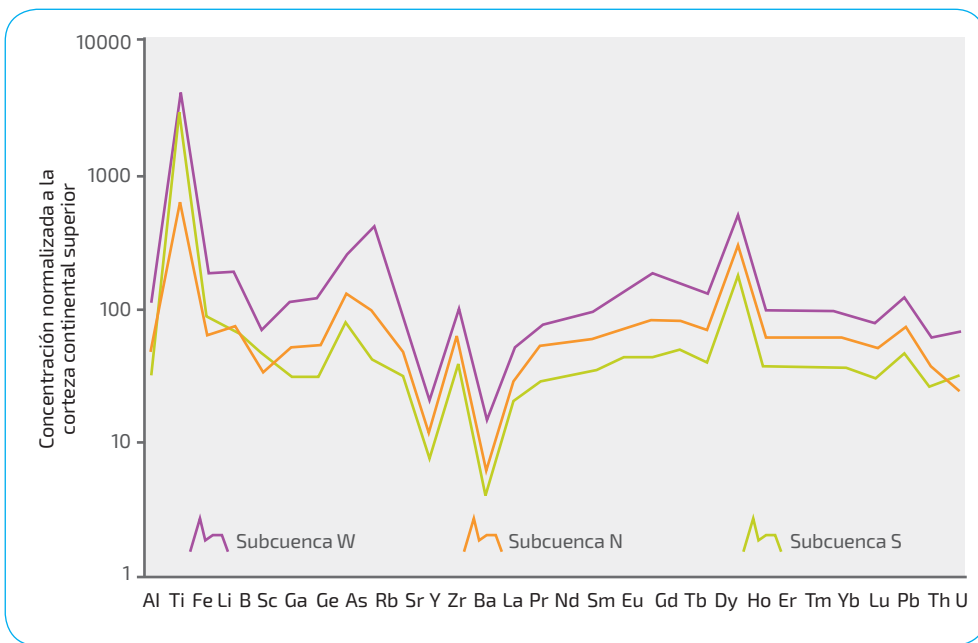


Figura 5.

Concentración de elementos traza en cada subcuenca. Fuente: elaboración propia.

Las tierras raras (REE por sus siglas en inglés), corresponden a 15 elementos químicos, desde el lantano (La) hasta el lutecio (Lu), con un comportamiento químico similar. Se caracterizan por ser elementos inmóviles y cuya redistribución depende de los minerales que las contienen (Laveuf y Cornu, 2009). Además, su fraccionamiento se ve afectado por parámetros ambientales, donde la entrada de aportes externos puede interferir con el comportamiento de las tierras raras bajo condiciones naturales, provocando cambios en su concentración.

Se pueden agrupar según su peso atómico en tierras raras ligeras (LREE, del La al Sm), tierras raras medianas (MREE, del Eu al Dy) y en tierras raras pesadas (HREE, del Ho al Lu). En la Figura 6 se presentan los diagramas de caja con los contenidos de REE para las tres subcuencas, comparando la distribución de LREE, MREE y HREE. Se observa que independiente del tipo de REE, en los sedimentos en suspensión los contenidos de REE's van aumentando según la tendencia de subcuencas S<N<W, es decir, desde la subcuenca

de bosque nativo, luego la mixta y finalmente la de plantaciones forestales. Esto permite inferir que la movilización de REE está siendo influenciada por procesos dentro de las subcuencas, tales como la erosión.

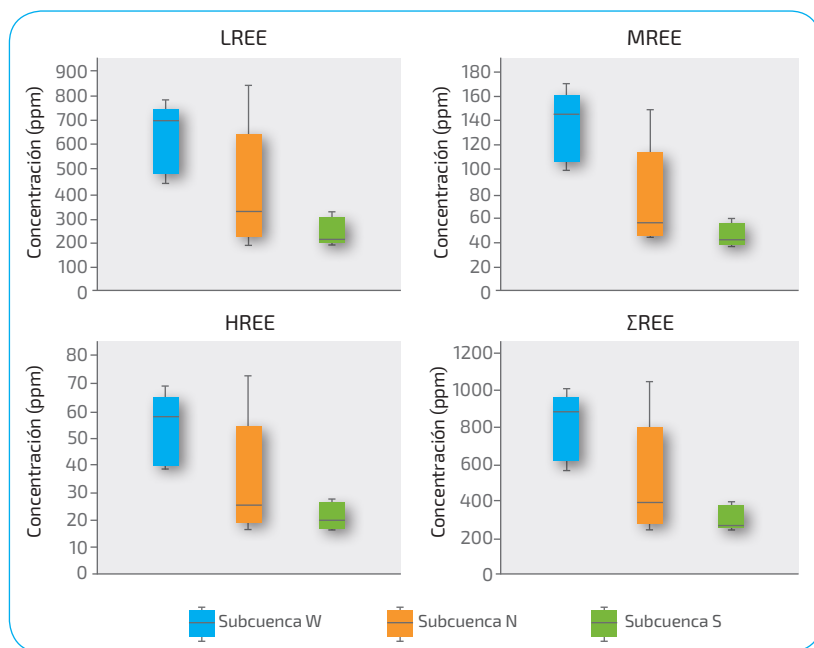


Figura 6.

Concentración de tierras raras en cada subcuenca. Fuente: elaboración propia.

Considerando que las subcuencas se encuentran bajo características topográficas, climáticas y geológicas similares, sin diferencias significativas entre ellas, el aporte de sedimentos no estaría influenciado por las características mencionadas. En base a lo anterior, las distintas coberturas y usos de suelos sería el principal factor que afecta la erosión, donde las plantaciones forestales favorecen un mayor aporte de sedimentos y en consecuencia una mayor concentración de elementos traza.

Se infiere, que el aumento en la proporción de plantación forestal versus bosque nativo dentro de cada subcuenca, determina una mayor influencia en el transporte de sedimentos desde los suelos a los cursos de agua adyacentes. Además, junto con la mayor proporción de plantaciones forestales, la subcuenca W presenta evidencias de una mayor cosecha reciente de ár-

boles, por lo que el aporte de sedimentos estaría también asociado a las actividades de deforestación, que como se mencionó anteriormente modifican la estructura y propiedades del suelo junto con su movilización.

Finalmente, se destaca que no se observan diferencias significativas en la movilidad de los elementos estudiados. Por lo tanto, no existe una mayor diferencia en el comportamiento de las REE ante procesos como la meteorización química, que implica la disolución química y formación de nuevos minerales. El aumento progresivo y de manera general desde la subcuenca S a la subcuenca W, indica que el proceso dominante que está ocurriendo y movilizándolo los sedimentos corresponde a la meteorización física, seguida por transporte, depositación en el drenaje y suspensión de los sedimentos.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos revelan una clara relación entre los diferentes usos del suelo y los procesos de erosión y degradación en las cuencas estudiadas. Se observa que las actividades de manejo forestal, especialmente las plantaciones exóticas, contribuyen significativamente al transporte de sedimentos y a una mayor concentración de elementos traza en los cuerpos de agua. La comparación entre las subcuencas sugiere que la proporción de plantaciones forestales versus bosque nativo influye de manera directa en la cantidad de sedimentos transportados y en la concentración de elementos traza en el agua. Esto resalta la importancia de considerar los distintos usos del suelo en la planificación y gestión de recursos hídricos y ambientales.

La presencia de áreas recientemente deforestadas en la subcuenca PF indica la necesidad de regular y monitorear las actividades de deforestación para mitigar sus impactos negativos en la calidad del suelo y del agua. Las políticas públicas deberían promover prácticas de manejo forestal sostenible y medidas de conservación de cuencas para proteger los ecosistemas acuáticos y garantizar el suministro y calidad de agua.

Además, es importante destacar que la cuenca de Nonguén alberga el Parque Nacional Nonguén, un área protegida de gran importancia para la conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. En este contexto, es crucial implementar medidas de manejo y conservación adecuadas en esta área, que incluyan la regulación de actividades humanas y la promoción de prácticas sostenibles. La preservación del Parque Nacional Nonguén, no solo contribuye a la protección de la flora y fauna nativa, sino que también desempeña un papel clave en la protección de la calidad del agua y la salud de los ecosistemas acuáticos en la cuenca.

A partir de esta Serie Comunicacional se resalta la necesidad de una gestión integral de los recursos naturales y de la adopción de políticas públicas orientadas a la conservación y restauración de los ecosistemas acuáticos y terrestres.

REFERENCIAS

- Aburto, F., Cartes, E., Mardones, O., & Rubilar, R. 2021. Hillslope soil erosion and mobility in pine plantations and native deciduous forest in the coastal range of south-Central Chile. *Land Degradation & Development*, 32(1), 453-466.
- Akay, A. E., Erdas, O., Reis, M., & Yuksel, A. 2008. Estimating sediment yield from a forest road network by using a sediment prediction model and GIS techniques. *Building and Environment*, 43(5), 687-695.
- Banfield, C. C., Braun, A. C., Barra, R., Castillo, A., & Vogt, J. 2018. Erosion proxies in an exotic tree plantation question the appropriate land use in Central Chile. *Catena*, 161, 77-84.
- CONAF. 2015. Catastro y Actualización de los Recursos Vegetacionales y Uso de la Tierra de la Región del Biobío (VIII).
- CONAF. 2019. Plan de Manejo, Reserva Nacional Nonguén.
- Cortés, L., Hernández, H. J., & Silva, P. 2022. Historic land cover change assessment of Chilean mediterranean coast: did forest plantations really caused fragmentation? *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 3, 383-388.
- Echeverría, C. 2012. Restauración ecológica en la Reserva Nacional Nonguén.
- Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., ... & Snyder, P. K. 2005. Global consequences of land use. *Science*, 309(5734), 570-574.
- García, N. 2004. Estudio Florístico del Fundo Nonguén, Provincia de Concepción, Octava Región. Universidad de Chile. Versión inédita.
- Gaillardet, J., Dupré, B., & Allègre, C. J. 1999. Geochemistry of large river suspended sediments: silicate weathering or recycling tracer? *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63(23-24), 4037-4051.
- INFOR (Instituto Forestal, CL). 2019. Anuario Forestal 2019. Boletín Estadístico 168. Centro de Información Forestal, sede Metropolitana, Santiago, Chile. 232 pp.

- Iroumé, A., Huber, A., & Schulz, K. 2005. Summer flows in experimental catchments with different forest covers, Chile. *Journal of Hydrology*, 300(1-4), 300-313.
- Lara, A., & Veblen, T. T. 1993. Forest plantations in Chile: a successful model. *Afforestation: policies, planning and progress*, 118-139.
- Laveuf, C., & Cornu, S. 2009. A review on the potentiality of rare earth elements to trace pedogenetic processes. *Geoderma*, 154(1-2), 1-12.
- Niklitschek, M. E. 2007. Trade liberalization and land use changes: explaining the expansion of afforested land in Chile. *Forest science*, 53(3), 385-394.
- Mellado Z., Mario. 1992. Manual producción de trigo en el secano interior séptima y octava región. Chillan: Serie Quilamapu. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/38048>
- Millot, R., Érôme Gaillardet, J., Dupré, B., & Allègre, C. J. 2003. Northern latitude chemical weathering rates: clues from the Mackenzie River Basin, Canada. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 67(7), 1305-1329.
- Minella, J. P., Walling, D. E., & Merten, G. H. 2008. Combining sediment source tracing techniques with traditional monitoring to assess the impact of improved land management on catchment sediment yields. *Journal of Hydrology*, 348(3-4), 546-563.
- Mohr, C. H., Coppus, R., Iroumé, A., Huber, A., & Bronstert, A. 2013. Runoff generation and soil erosion processes after clear cutting. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 118(2), 814-831.
- Nahuelhual, L., Carmona, A., Lara, A., Echeverría, C., & González, M. 2012. Land-cover change to forest plantations: Proximate causes and implications for the landscape in south central Chile. *Landscape and Urban Planning*, 107, 12-20.
- Zhou, G., Wei, X., & Yan, J. 2002. Impacts of eucalyptus (*Eucalyptus exserta*) plantation on sediment yield in Guangdong Province, Southern China—a kinetic energy approach. *Catena*, 49(3), 231-251.



CRHIAM

CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS PARA LA AGRICULTURA Y LA MINERÍA

ANID/FONDAP/15130015

ANID/FONDAP/1523A0001

IMPACTOS DEL CAMBIO DE USO DE SUELO EN UNA CUENCA URBANA



Universidad de Concepción



UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA



Universidad del Desarrollo
Universidad de Excelencia



Serie Comunicacional CRHIAM