



Universidad de Concepción
Facultad de Ciencias Ambientales
Ingeniería ambiental



ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE RIESGO EN SALUD POR LA PRESENCIA DE NITRATO EN APRs DE LAS REGIONES DE ÑUBLE Y BIOBÍO

Habilitación presentada para optar al título de

Ingeniero Ambiental

Miguel Alexis González Ravanal

Profesora Guía: Dra. Ana Baeza Freer

Profesora Co-guía: Dra. Patricia González Sánchez

Concepción, Chile

2021



**“ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE RIESGO EN SALUD POR LA PRESENCIA DE NITRATO
EN APRS DE LAS REGIONES DE ÑUBLE Y BIOBÍO.”**

Profesor Guía: Dra. Carolina Baeza Freer

**Profesor Co-Guía: Dra. Patricia González
Sánchez**

Profesor Comisión: Dr. Oscar Parra Barrientos

CONCEPTO: APROBADO CON DISTINCIÓN MAXIMA

Conceptos que se indica en el Título

- ✓ Aprobado por Unanimidad : (En Escala de 4,0 a 4,9)
- ✓ Aprobado con Distinción (En Escala de 5,0 a 5,6)
- ✓ Aprobado con Distinción Máxima (En Escala de 5,7 a 7,0)

Concepción, enero 2021

Agradecimientos

Quiero agradecer a todas las personas que contribuyeron en la realización del presente trabajo de tesis, en especial a mi familia, amigos y polola que estuvieron siempre con alguna palabra de aliento dándome ánimo para poder finalizar este proceso.

Agradecer también a mi profesora guía y co-guía por orientarme en este trabajo de tesis y en el proceso de formación universitaria.

Índice general

| | |
|---|----|
| Índice tablas | 2 |
| Índice figuras | 3 |
| Índice gráficos | 3 |
| Acrónimos..... | 5 |
| Resumen | 6 |
| 1. Antecedentes generales | 8 |
| 2. Napas subterráneas como fuente de abastecimiento de agua potable..... | 10 |
| 3. Contaminación de aguas subterráneas por nitrato | 12 |
| 4. Problemas de salud relacionados con los nitratos | 14 |
| 4.1 Efectos Agudos | 15 |
| 4.2 Efectos crónicos | 16 |
| 5.Evaluación de riesgos en salud | 20 |
| 5.1 Definición de Riesgo..... | 20 |
| 5.2 Definición de Peligro..... | 21 |
| 5.3 Evaluación de riesgos en salud asociado al nitrato..... | 21 |
| 5.4 Otros factores contribuyentes a una metahemoglobinemia | 22 |
| 6.Planteamiento del problema | 24 |
| 7.Pregunta de investigación..... | 24 |
| 8.Objetivos..... | 24 |
| 9.Metodología..... | 25 |
| 9.1 Descripción del área de estudio..... | 25 |
| 9.2 Descripción de la metodología..... | 27 |
| 9.2.1 Levantamiento de información de concentraciones de nitrato en el agua..... | 28 |
| 9.2.2 Recopilación de bases de datos para establecer factores de vulnerabilidad. | 28 |
| 9.2.2 Examinar los factores que generen un potencial riesgo a la salud..... | 31 |
| 10.Resultados | 34 |
| 10.1 Datos de concentraciones de nitrato | 34 |
| 10.1.1 Análisis de los datos disponibles de concentración de nitrato en agua de APRs en la Región del Ñuble y Biobío obtenidos en el: | 34 |
| a) Ministerio de Salud:..... | 34 |
| b) Dirección General de Agua: | 40 |
| 10.1.2 Análisis distribución espacial | 45 |

| | |
|---|----|
| 10.1.3 Variación Estacional según la información obtenida..... | 47 |
| 10.1.4 Análisis de la variación estacional según la información obtenida. | 50 |
| 10.2 Análisis de los usos de suelo en el área de estudio..... | 51 |
| 10.3 Análisis de la Hidrogeología en el área de estudio. | 56 |
| 10.5 Análisis de actividades industriales aportantes de nitrato en el área de estudio..... | 60 |
| 10.5 Análisis de las concentraciones de nitrato registradas en los APRs asociado a factores de riesgo. | 63 |
| 10.5.1 APR con concentraciones >30 mg/l..... | 63 |
| 10.5.2 APR con concentraciones 10-30 mg/l..... | 66 |
| 10.5.3 APR con concentraciones <10 mg/L..... | 68 |
| 10.6 Análisis de variables del modelo de evaluación de riesgos en salud de la EPA..... | 68 |
| 10.6.1 Estimación del riesgo..... | 70 |
| 11.Discusión..... | 70 |
| 12. Conclusión..... | 80 |
| 13.Referencias..... | 82 |

Índice tablas

| | |
|---|----|
| Tabla N°1. Diagnósticos de calidad de aguas subterráneas en Chile entre 2016-2019..... | 13 |
| Tabla N°2. Resumen de patologías asociadas al consumo de nitrato en agua potable. | 19 |
| Tabla N°3. Tabla de nitratos (mg/kg) en verduras. | 23 |
| Tabla N°4. Vulnerabilidad a contaminación por nitrato del agua de la fuente de captación de los APRs..... | 29 |
| Tabla N°5. Vulnerabilidad a contaminación por nitratos del agua según la geología de la geología del punto de captación del APR. | 31 |
| Tabla N°6. Parámetros aplicados para la evaluación de la exposición a la salud en el agua. | 32 |
| Tabla N°7. <i>Concentraciones de nitrato en APR de la región de Ñuble.</i> | 36 |
| Tabla N°8. Mediciones de nitrato en APR de la provincia de Concepción, Región del Biobío | 39 |
| Tabla N°9. Concentraciones de nitrato en agua de los APR de la región de Ñuble según información obtenida del DGA. | 41 |
| Tabla N°10 Concentraciones de nitrato en agua de los APR de la región del Biobío según información obtenida del DGA. | 43 |
| Tabla N°11. Industrias ganaderas de las regiones de Ñuble y Biobío. | 60 |

| | |
|---|----|
| Tabla N°12. Porcentaje de egresos de egresos hospitalarios por tumor maligno de los órganos digestivos..... | 76 |
| Tabla N°13. Egresos hospitalarios por afección a la glándula tiroides..... | 76 |
| Tabla N°14. Diferencias entre estudios de literatura y lo realizado en este estudio. | 78 |

Índice figuras

| | |
|--|----|
| Figura N°1. Mapa ubicación de APR's DOH en la región de Ñuble y Biobío | 27 |
| Figura N°2. Concentraciones de nitrato de los APR que se obtuvo información desde el MINSAL para las regiones de Ñuble y Biobío..... | 40 |
| Figura N°3. Distribución espacial de concentración de nitrato en agua de los APR Biobío según información obtenida del DGA..... | 45 |
| Figura N°4. Uso de suelo en las regiones de Ñuble y Biobío | 53 |
| Figura N°5. Mapa de vulnerabilidad hidrogeológica..... | 59 |
| Figura N°6. Mapa de localización de industrias ganaderas de las regiones de Ñuble y Biobío ingresadas al SEA..... | 62 |

Índice gráficos

| | |
|--|----|
| Gráfico N°1. Numero de análisis de calidad de agua por APR de las regiones de Ñuble en el periodo 2016 - 2019..... | 35 |
| Gráfico N°2. <i>Numero de análisis de calidad de agua por APR de la Regiones del Biobío en el periodo 2016 - 2019.....</i> | 35 |
| Gráfico N°3. Distribución gráfica de la concentración máxima de nitrato en los APR de la región de Ñuble que se disponía de información del MINSAL (2020) | 38 |
| Gráfico N°4. Rango de concentraciones de nitrato en APR de la región del Biobío..... | 39 |
| Gráfico N°5. Número de APR por rango de concentración de nitrato | 41 |
| Gráfico N°6. Rangos de concentración de nitrato en agua de los APR de la región de Ñuble según información obtenida del DGA..... | 43 |
| Gráfico N°7. Concentración de nitrato de los análisis realizados entre los meses de marzo y mayo en el periodo 2016 -2019, considerando la información obtenida desde el MINSAL..... | 47 |
| Gráfico N°8. Concentración de nitrato de los análisis realizados entre los meses de junio y agosto en el periodo 2016 -2019, considerando la información obtenida desde el MINSAL..... | 48 |

| | |
|--|----|
| Gráfico N°9. Concentración de nitrato de los análisis realizados entre los meses de septiembre y noviembre en el periodo 2016 -2019, considerando la información obtenida desde el MINSAL | 49 |
| Gráfico N°10. Concentración de nitrato de los análisis realizados entre los meses de diciembre y febrero en el periodo 2016 -2019, considerando la información obtenida desde el MINSAL | 50 |
| Gráfico N°11. Uso de suelo de las regiones de Ñuble y Biobío..... | 54 |
| Gráfico N°12. Uso de suelo en la región de Ñuble..... | 54 |
| Gráfico N°13. Uso de suelo región del Biobío | 55 |
| Gráfico N°14. Uso de suelo según ubicación geográfica de APR. | 55 |
| Gráfico N°15. Vulnerabilidad a contaminación por nitrato de las fuentes de agua en estos territorios considerando los usos de suelo según la ubicación de los APRs en la Región del Ñuble y Biobío. | 56 |
| Gráfico N°16. Nivel de vulnerabilidad hidrogeológica por APR. | 58 |
| Gráfico N°17. Tipo de manejo de purines/guano de industrias ganaderas identificadas en el presente estudio para el área de estudio. | 61 |

Acrónimos

APR: Agua Potable Rural

CONAF: Corporación Nacional Forestal

DIRPLAN: Dirección de Planeamiento

DGA: Dirección General de Aguas

DOH: Dirección de Obras Públicas

DEIS: Departamento de Estadística e Información de Salud

EPA: Environmental Protection Agency

IARC: International Agency for Research on Cancer

IC: Intervalo de Confianza

INIA: Instituto de Investigaciones Agropecuarias

MINSAL: Ministerio de salud

MINAGRI: Ministerio de Agricultura y Ganadería

OMS: Organización Mundial de la Salud

RR: Riesgo Relativo

SEREMI: Secretaría Regional Ministerial

SERNAGEOMIN: Servicio Nacional de Geología y Minería

SUBDERE: Subsecretaría de Desarrollo Regional

USEPA: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos

Resumen

El aumento de las concentraciones de nitrato en las fuentes de agua producto del exceso de aplicación de fertilizantes nitrogenados en la agricultura como principal fuente de contaminación, es un problema en diversas partes del mundo que está afectando a la salud de su población presentando como afecto agudo la metahemoglobinemia, una patología potencialmente mortal que afecta principalmente a niños menores de 6 meses, la cual dificulta el transporte de oxígeno. Además, existe evidencia en la literatura que la exposición al nitrato a largo plazo, en concentraciones muy inferiores a la normativa, podría estar relacionado con la incidencia de algunos tipos de cáncer.

El objetivo general de este estudio es analizar la información necesaria para determinar factores de riesgo de padecer metahemoglobinemia en localidades rurales de las regiones de Ñuble y Biobío.

Por ser un estudio preliminar y de carácter descriptivo exploratorio, la metodología consistió la recopilación de información del territorio en temas de concentración de nitrato en los sistemas de Agua Potable Rural (APR), factores de vulnerabilidad del territorio y examinar factores que generen un potencial riesgo a la salud, según el modelo de evaluación de riesgo a la salud para contaminantes no cancerígenos de la EPA.

Como principales resultados se identificó: la discontinuidad en la frecuencia de los análisis de nitrato, donde el 53% de los APR no tenía ninguna medición y 43% tenían en promedio menos de una medición anual en el periodo 2016-2019; Se identificó a la zona de la depresión intermedia una fuerte presencia de uso de suelo agrícola y localización de industrias de ganadería intensiva; Por último se identificó que la concentración de nitrato en el agua es el principal factor de riesgo de exposición de riesgo, donde a concentraciones 40% inferiores a la norma (20 mg/L) ya se expone a un riesgo significativo de padecer metahemoglobinemia a niños menores de un año

Las principales conclusiones llegadas en este estudio fueron: existe un desconocimiento del riesgo a la salud por nitrato en agua de las comunidades rurales abastecidas por un APR, lo cual proviene de importantes dificultades en la generación y gestión de información de calidad de agua en los APRs de la Región del Ñuble y Biobío, además de

una importante brecha con respecto a la frecuencia de análisis. También se concluyó que la zona de la depresión intermedia es donde se presentan las condiciones más favorables para el aumento del nitrato en fuentes de agua para consumo humano, debido a las múltiples presiones antrópicas y condiciones hidrogeológicas del territorio. Finalmente, indicar que este estudio logra visibilizar una realidad de brechas y carencias en la generación de información sobre la presencia de nitrato en las fuentes de agua de los APRs de la Región del Ñuble y Biobío, situación que es similar a todas las otras regiones del país.

1. Antecedentes generales

En las zonas urbanas el abastecimiento de agua potable, recolección y tratamiento de aguas servidas está a cargo de una empresa de servicios sanitarios, la cual ha logrado una cobertura de un 99,9%. Por otro lado, en zonas rurales, la realidad es distinta. Para suplir parte de las necesidades de abastecimiento de agua potable en los territorios rurales se implementan sistemas de Agua Potable Rural (APR) en localidades concentradas. Las localidades concentradas se definen con las siguientes características: presentar una población entre 150-3000 habitantes y una concentración como mínimo de 15 viviendas por kilómetro de red. Las áreas que no presentan estas características, es decir, localidades semi-concentradas o dispersas, históricamente han solucionado su abastecimiento de agua potable de manera informal a través de diversas fuentes como aguas superficiales (río, vertiente, estero o lago), subterráneas (pozos), camiones aljibe. (Celedón y Alegría, 2006). En el caso de las semiconcentradas, el año 2010 a partir del 2010 comienzan a participar del Programa APR del MOP (Fundación Amulén, 2019).

En Chile, el abastecimiento de agua potable en localidades rurales concentradas posee una cobertura del 100% y en localidades semiconcentradas el 41%, pero a nivel global de población rural, el 47% no cuenta con un abastecimiento formal de agua potable, esto varía en cada región. Según datos del Censo 2017, la antigua región del Biobío (actualmente región del Biobío y Ñuble) es la segunda región que posee más abastecimientos informales de agua con un 68%, es donde la principal fuente de agua son los pozos o norias. Dicho de otra forma, la cobertura de agua potable para la población rural para las regiones del Biobío y Ñuble alcanza el 32% (Fundación Amulén, 2019)

Las napas subterráneas constituyen una fuente de agua vital para las personas que viven en regiones áridas y semiáridas o alejadas de fuentes de aguas superficiales. En Chile el agua subterránea para consumo humano en zonas urbanas llega a ser un 40 % del total del volumen utilizado y en zonas rurales esta proporción aumenta hasta un 76% (Pizarro et al., 2000). Si se considera el valle central, desde la región metropolitana hasta la región

del Biobío, más del 83% del agua para consumo humano, proviene de fuentes subterránea. (Ministerio del interior y seguridad pública, 2015)

El abastecimiento de agua potable en las zonas rurales presenta importantes desafíos en términos de cantidad, calidad y continuidad. Específicamente en calidad uno de los problemas que afecta Chile central es el aumento de los niveles de concentración de nitrato. En los últimos años los niveles de nitrato que se han visto aumentados por las actividades agrícolas presentes en estas áreas, donde se suelen implementar fertilizantes nitrogenados, descargas de efluentes urbanos sin saneamiento, fertilización de campos de cultivo con estiércol y descargas de efluentes industriales, principalmente provenientes de industrias de ganadería intensiva.

La ingesta de agua con altas concentraciones de nitrato genera metahemoglobinemia o síndrome del bebe azul, que como lo indica su nombre, afecta principalmente a bebés menores de 6 meses donde se manifiesta con una coloración por la disminución de la capacidad celular del transporte de oxígeno. Además, existen diversos estudios en el mundo donde han identificado que, si bien el nitrato no es una sustancia cancerígena, la exposición de esta sustancia en concentraciones bajas, pero a largo períodos, aumenta el riesgo relativo de padecer diversos tipos de cáncer en condiciones de nitrosación endógena.

Para evaluar efectos directos o indirectos en salud humana por la exposición a una sustancia, se realizan las evaluaciones de riesgos en salud no cancerígena, las cuales se rigen por el cálculo de un cociente de peligro, el cual contempla la concentración de ingesta diaria y una concentración de referencia. Donde los valores inferiores al cociente de peligro significan que la exposición de la sustancia a la concentración evaluada constituye la probabilidad de que la población no presente efectos adversos, se cataloga como riesgo no significativo o riesgo aceptable. En la literatura existen diversos estudios que evalúan estos riesgos donde los resultados han encontrado que los lactantes menores a 6 meses son el grupo etario con mayor riesgo asociado al nitrato. Debido a estos efectos de salud por presencia de altas concentraciones de nitrato es importante estudiar y vigilar las zonas rurales con alta presión agrícola y que carecen de saneamiento de aguas. Sin embargo, este tema aún no es muy estudiado en Chile

central, al momento de este estudio solamente de identifico un estudio referido al tema del año 2006

Resguardar el recurso hídrico tanto en cantidad como calidad para disposición de consumo humano, asegurando una buena salud de la población, es un desafío importante, el cual se debe llevar a cabo por medio de políticas públicas y regulaciones que disminuyan la contaminación en fuentes de agua potable para así lograr el cumplimiento del ODS 3, Salud y bienestar; y el ODS 6, agua limpia y saneamiento.

2. Napas subterráneas como fuente de abastecimiento de agua potable

El agua subterránea es un componente esencial en el ciclo hidrológico, ya que se encarga del aporte de agua desde los acuíferos hacia los ríos cuando no existe precipitación. El aporte está regido por dos grandes variables que son el clima y la geología según la zona geográfica la cuales influyen en los niveles de precipitación e infiltración respectivamente. (Sahuquillo,2009)

El aprovechamiento de agua subterráneas se ha realizado desde la antigüedad, destacando el consumo humano y riego por medio de instalación de pozos y de bombas sumergidas en regiones áridas y semiáridas donde las aguas superficiales no son frecuentes. Por lo tanto, esto ha jugado un rol fundamental en lo que respecta al desarrollo de muchas ciudades en el mundo como México, Shangai, Pekín, Buenos Aires, Paris y Londres. (Sahuquillo,2009)

Las napas subterráneas son diversas en su composición química, esta variedad se debe principalmente a la interacción entre el flujo de agua subterránea y la geología del acuífero, la cual le otorga las propiedades fisicoquímicas las cuales no se mantienen constantes en el curso de agua, por lo que rigen factores de tiempo de residencia, distancia recorrida. Estos factores son clave ya que en el flujo subterráneo se producen procesos hidrogeoquímicos tales como intercambio iónico, disolución, precipitación, posibles mezclas de aguas, interacción con bacterias, reacciones de ácido-base y redox (Morán et al., 2013).

Ordoñez (2011) definió en la cartilla técnica referida a temas de Aguas subterráneas-Acuíferos de la Sociedad geográfica de Lima las napas subterráneas se pueden alimentar de cuatro formas. Por infiltración natural, infiltración de corrientes superficiales, por recarga proveniente de regadíos y alimentación artificial.

La infiltración natural se produce por la interacción entre la fuerza de gravedad y la fuerza de atracción molecular las cuales pueden interactuar en el mismo sentido o de forma opuesta. La magnitud de este tipo de infiltración es determinada por las precipitaciones y las condiciones físicas del terreno, como pendiente y porosidad.

La infiltración de corrientes superficiales puede ser de dos tipos, influente o efluente, el primer caso ocurre cuando el nivel de las aguas superficiales se encuentra encima de la superficie freática y el agua se infiltra desde la corriente superficial hacia la zona de saturación. En el segundo caso la corriente se encuentra por debajo del nivel freático y es alimentada por aguas subterráneas de los mantos de laderas.

La recarga proveniente de regadíos constituye una fracción del excedente de agua utilizada para regar, donde el agua se infiltra en las capas del subsuelo hasta llegar a los niveles freáticos.

La recarga artificial corresponde a la introducción forzada de agua a las napas subterráneas con el objetivo de aumentar disponibilidad y calidad del agua subterránea. (Ordoñez, 2011).

La contaminación es el proceso natural o artificial que altera las propiedades físicas, químicas y/o biológicas del agua produciendo resultados indeseables (Auge, 2006).

La contaminación de acuíferos siempre está sujeta a su vulnerabilidad. Por una parte, existe la vulnerabilidad intrínseca usado para definir la vulnerabilidad del agua subterránea frente a un contaminante procedente de actividades antrópicas, donde se consideran las características hidrogeológicas del territorio. Por otra parte, existe la vulnerabilidad específica, la cual se asocia a la vulnerabilidad de las napas freáticas a un contaminante en particular, donde se tiene en cuenta como se relaciona las propiedades del contaminante y los distintos componentes de su vulnerabilidad intrínseca (Morrel y Tuñón, 2001).

El proceso de contaminación se lleva a cabo por medio de la infiltración desde la superficie del suelo hasta las napas freáticas. Esto puede ser facilitado por características hidrogeológicas como: presentar bajo nivel freático, suelos con características litológicas de alta permeabilidad y zonas que presenten rocas consolidadas altamente fisuradas. (Foster et. al, 2003).

3. Contaminación de aguas subterráneas por nitrato

Según el sitio web de la EPA, la contaminación por nutrientes corresponde a uno de los problemas ambientales más recurrentes, costosos y complejos en Estados Unidos. El nitrato (NO_3^-), la forma más oxidada, estable y móvil de la materia nitrogenada en solución está presente tanto en curso de aguas superficiales como subterránea (Pérez y Pacheco, 2004). Además, es la forma de nitrógeno asimilada por las plantas para su crecimiento (en conjunto con el amonio), es decir, podemos encontrar nitrato en el suelo y alimentos (EPA,2012).

Según Collao (2008), el ser humano ha aumentado la disponibilidad de nitrógeno en el suelo por medio del cultivo de leguminosas, las cuales realizan fijación biológica y por la aplicación de fertilizantes y efluentes de aguas servidas. Parte del nitrógeno disponible en el suelo es usado por plantas en el proceso de asimilación. Otra parte es sometida al proceso de desnitrificación en la capa aeróbica del suelo. Finalmente, el nitrógeno en forma de nitrato que no es aprovechado o degradado, por medio de la lixiviación, es depositados en corrientes de agua subterránea. Las concentraciones de nitrato en aguas subterráneas con una baja o nula presión antrópica, suele ser inferior a los 10 mg/l (Collao, 2008).

La contaminación antrópica de las napas subterráneas con nitrato es producto de fuentes de contaminación como las descargas de efluentes domésticos e industriales, la aplicación de fertilizantes nitrogenados en cultivos agrícolas, la aplicación de estiércol como fertilizante en la agricultura y una mala disposición de materias fecales provenientes de actividades ganaderas las cuales se llevan a cabo en zonas rurales

(Foster et. al, 2003). La contaminación agraria, es la de mayor peso, importancia y gravedad, no solo por la cantidad de nitrato aportado, sino que, por ser una fuente de contaminación difusa, la cual dificulta su estudio en cuanto a la identificación de la fuente, control, corrección y seguimiento (Junta de Andalucía, 2006)

En Chile, la DGA realizó diversos diagnósticos de calidad de aguas subterráneas en pozos de APR entre 2016 y 2019 donde se consideraron fuentes de agua afectadas aquellas que superaban o podían alcanzar la concentración de nitrato de 50 mg/l teniendo como referencia de la Norma Chilena de agua potable, NCH 409/2005. Para estos estudios se consideraron que las concentraciones superiores a 30 mg/l, eran anómalas y posiblemente estaban vinculadas a actividades antrópicas. (Ver Tabla N°1)

Tabla N°1. Diagnósticos de calidad de aguas subterráneas en Chile entre 2016-2019.

| Región | N°de APR diagnosticado | APR con $30 > \text{NO}_3 > 50$ mg/l | | APR con $\text{NO}_3 > 50$ mg/l | |
|-------------------------------|------------------------|--------------------------------------|------------|---------------------------------|------------|
| | | N° | Porcentaje | N° | Porcentaje |
| Coquimbo | 119 | 7 | 5,9% | 1 | 0,80% |
| Valparaíso | 49 | 8 | 16,30% | 2 | 4,00% |
| Metropolitana | 104 | 11 | 10,60% | 14 | 13,50% |
| Libertador Bernardo O'higgins | 40 | 4 | 10% | 4 | 10% |
| Maule | 148 | 9 | 6,0% | 3 | 9,5% |
| Ñuble/Biobío | 105 | 0 | 0% | 2 | 1,9% |

Fuente: DGA 2016, 2017, 2018, 2019.

Según estudio realizado por Schmidt et al., en 2012, determinaron que en comunas precordilleranas de la región de Ñuble (San Carlos y Coihueco), en las zonas rurales, la agricultura es la principal actividad económica donde realizan prácticas de fertilización de suelos, lo que provoca concentraciones elevadas de nitrato en aguas subterráneas para consumo humano. Estas concentraciones fluctuaron entre los 11,3 mg/l y los 70,5 mg/l con un promedio igual a 23,9 mg/l. Estos valores fueron comparados con la concentración presente en el área urbana de Concepción, 3,6 mg/l de nitrato en agua superficial,

evidenciando la amplia diferencia entre la concentración de nitrato en áreas rurales con captación de aguas subterráneas versus un área urbana con captación de agua superficial. (Schmidt et al.,2012)

4. Problemas de salud relacionados con los nitratos

Los problemas relacionados con la salud de las personas se comenzaron a identificar a mediados del siglo pasado, donde el aumento de la concentración de nitrato en el agua para consumo humano comenzó a producir efectos agudos provocando metahemoglobinemia infantil. Debido a esto es que se establecieron límites de la concentración del nitrato en agua de consumo humano en base a esta afección, por un lado, la agencia de protección ambiental de Estados Unidos (EPA) en 1962 estableció que 45 mg/l sería el límite de concentración de nitrato en agua potable o 10 mg/l de N-nitrato, por otro lado, en 1971 la Organización Mundial de la Salud (OMS) determinó recomendar una concentración de 50 mg/l de nitrato en agua para consumo humano. Esta concentración recomendada por la OMS es el límite de concentración que utiliza Chile para el nitrato en la norma de agua potable. (OMS, 2008)

Actualmente la EPA no ha evaluado la carcinogenicidad del nitrato (ATSDR,2015), Sin embargo, existen múltiples estudios que evidencian un aumento del riesgo relativo para cáncer en la exposición prolongada (mínimo 4 años) al nitrato en agua en concentraciones muy inferiores a la concentración máxima establecida por la EPA y la recomendación de la OMS.

Por otro lado, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) determinó que no existe evidencia adecuada para la carcinogenicidad para el nitrato en alimentos ni agua potable, pero no se descarta la posibilidad de que bajo condiciones de nitrosación endógena el nitrato puede ser carcinogénico en seres humanos. Esto ocurre por la conversión endógena de nitrato a nitrito en el ambiente ácido del estómago generando derivados de nitrito los cuales pueden reaccionar con aminas y amidas secundarias para formar compuestos N-nitrosos (NOC), el cual es un grupo de compuestos genotóxico altamente cancerígenos. (ATSDR,2015; Gangoli et. al,1994).

4.1 Efectos Agudos

La metahemoglobinemia adquirida es el efecto agudo de la exposición al nitrato que se conoce desde hace mayor tiempo, los primeros casos se registraron en 1945 por Hunter y Comly (1945) por los altos niveles de nitrato que se encontraba en el agua para preparar fórmulas infantiles. Esta enfermedad, afecta principalmente a bebés menores de seis meses. El proceso por el cual se produce es por la ingesta de nitrato el cual es reducido por bacterias encontradas en la boca, convirtiéndose en nitrito el cual a su vez reacciona con la proteína encargada de transportar oxígeno en la sangre, hemoglobina, transformándola en metahemoglobina, la cual afecta la función de la proteína original. Cuando los niveles de metahemoglobina supera el 10% se habla de una afección potencialmente mortal (Geer,2005).

Los bebés menores de 6 meses constituyen el grupo más susceptible a padecer metahemoglobinemia debido diversas razones como que a esa edad aún persiste la hemoglobina fetal, una forma de hemoglobina que es más fácil de oxidar por nitritos, que la metahemoglobina adulta, y disminuye drásticamente luego de los 6 meses de edad del infante. Además, presentan un pH gástrico más bajo que favorece la actividad microbiana con capacidad de reducir nitratos a nitritos. Otro factor influyente en la susceptibilidad de infantes, es la presencia de inmadurez en el sistema enzimático encargado de reducir la metahemoglobina y, por último, el tipo de alimentación que involucra una mayor ingesta de agua que en adultos respecto a su peso corporal. (Martínez et al, 2013)

Respecto a los casos de metahemoglobinemia infantil, un informe de la OMS sobre salud y agua, identificó casos que se presentaron en diversos países, en Hungría se registraron 41 casos entre 1985 y 1996, en Rumania 2913 casos entre 1985-1996, y Albania 46 casos en 1996 (OMS,2002). Para Estados Unidos, Knobeloch et al., (2000) describieron que el periodo 1979-1999 se presentaron 6 casos muertes infantil provocadas por metahemoglobinemia donde solo una fue registrada en literatura.

Los niveles de metahemoglobinemia infantil están directamente relacionados con las concentraciones de nitrato en el agua descrito por Abu, Ghbn y Khoudary en 2007, donde compararon un área de mayor concentración de nitrato (195 mg/l, rango:18-440 mg/l) versus una de menor concentración (119 mg/l y rango:18-244 mg/l), determinando una

asociación directamente proporcional entre ambas variables (Abu,Ghbn,Khoudary, 2007).

4.2 Efectos crónicos

El nitrato es un inhibidor competitivo de la absorción de yoduro por la tiroides, es decir, frente a la presencia de nitrato en un organismo, existe una disminución de yoduro libre para ser absorbido por la glándula tiroidea. Esto provoca a su vez una disminución en la producción de las hormonas tiroideas triyodotironina (T3) y tiroxina (T4). Lo que resulta en una mayor producción de la hormona tiroestimulante (TSH). Esta última hormona es la responsable de controlar la producción de las hormonas tiroideas por medio de una retroalimentación negativa. La alteración de este ciclo puede llevar a una estimulación crónica de la tiroides por parte de la TSH y provocar cáncer de tiroides. (Kilfoy et al. 2010).

El cáncer de tiroides corresponde a la neoplasia maligna más común del sistema endocrino y el octavo tipo de cáncer más común entre las mujeres. El cual ha ido en aumento desde la década de 1970. (Kilfoy et al. 2010).

Ward et al.(2010), fueron los primeros en realizar un estudio de cohorte para evaluar el cáncer de tiroides en Iowa, Estados Unidos. Establecieron una relación positiva en la exposición prolongada de nitrato en agua de consumo humano y cáncer de tiroides donde resultó que las mujeres expuestas a concentraciones >5 mg/l de N-nitrato en un periodo superior a 5 años, presenta una probabilidad de 2,6 veces mayor de presentar cáncer de tiroides que las mujeres que nunca se expusieron a concentraciones superiores a los >5 mg/l de N-nitrato. Para un análisis más profundo se realizó una comparación entre cuartiles y se obtuvo que el primer cuartil de la concentración de nitrato (<17,5 mg/día) versus el cuartil superior (>41.1 mg/día) el riesgo relativo era de 2,9, con un IC de 95%, intervalo [1,0-8,1] y P = 0,046. (Ward et al.,2010)

Van Maanen et al.(1993), en base a un estudio realizado en Países Bajos estableció una relación entre la exposición crónica de nitrato en agua y el volumen tiroideo, por medio del análisis de las concentraciones de nitrato en agua potable y hábitos alimenticios que fueron monitoreados por medio de exámenes de sangre, orina, saliva, ecografías

tiroideas y palpación de la tiroides en un periodo de 5 meses. Donde se identificó que a concentraciones bajas y medias (0,02-17,5 mg/l de nitrato) se presentaba un volumen tiroideo que fluctuaba entre los 8,3 y 8,9 cm³, esto no presentaba una asociación positiva. Sin embargo, a concentraciones altas (>50 mg/l) en comparación con los otros grupos, si existía una relación positiva, donde el nivel de volumen tiroideo era de 11,1 ± 3 cm³. Además, se identificó una relación inversa entre el volumen tiroideo y los niveles de TSH. (Van Maanen et al.,1993)

Jones et al., en 2016 identificaron dentro de una población de 15.557 mujeres menopaúsicas en Iowa, USA, que las exposiciones prologada, en un tiempo mayor o igual a 4 años, a concentraciones de 5 mg/l de N-nitrato daban asociaciones estadísticas significativas resultando 170 casos favorables con cáncer de vejiga, lo que supone un aumento de probabilidad de 1,6 veces más a las mujeres que consumían agua en las condiciones anteriores, que las que su fuente de agua nunca excedió los 5 mg/l de N-nitrato.(Jones et al., 2016)

Por otro lado, en Países Bajos, en el año 2006 también se realizó un estudio de cohorte para hombre y mujeres donde no se obtuvo una asociación entre la exposición prolongada de nitrato con una concentración media del quintil superior de 2,4 mg/día de N-nitrato y el cáncer de vejiga. como resultado se obtuvo un RR=1,06 en un IC 95% e intervalo de confianza [0,81-1,31]. (Zeegers et al.,2006)

Schullehner et al. (2018) identificó en Dinamarca una relación entre los niveles de nitrato en agua potable y la incidencia del cáncer colorectal en un periodo de 34 años con ayuda de una base de datos que mantenía el registro de todas las muestras de calidad de agua por un laboratorio certificado. Finalmente obtuvieron como resultado asociaciones estadísticas positivas a valores muy inferiores a lo que establece la normativa respecto al nitrato. Para la población expuesta a concentraciones >3,87 mg/l se mostró un aumento significativo del riesgo para el cáncer colorectal y el cáncer rectal por separado. Mientras tanto para el cáncer de colon, esto se observó a concentraciones mayores o igual a 9,25 mg/l (Schullehner et al., 2018).

Espejo-Herrera et al. identificó en España en 2015 a través de un estudio de casos y controles que tampoco se estableció una relación de exposición-respuesta entre la

concentración del nitrato en el agua y el cáncer de vejiga para una concentración media de los pozos muestreado inferior a 2 mg/l de N-nitrato. (Espejo-Herrera et al., 2015)

Otro efecto que es importante considerar, es la patología del linfoma no Hodgkin, ya que en la literatura frecuentemente se cita a Ward et al. (1996), por establecer una relación entre la exposición a largo plazo de concentraciones elevadas de nitrato en agua puede contribuir al riesgo de padecer de linfoma no Hodgkin (Ward et al., 1996). Al igual que él, otros autores determinaron correlaciones positivas entre las dos variables (Law et al., 1999; Ward et al., 2006; Gulis et al., 2002). Por otro lado, existen diversos estudios que obtuvieron resultados distintos y no se logró establecer asociaciones positivas ni negativas (Rhoades et al., 2013; Kilfoy et al., 2010; Freedman et al., 2000; Cocco et al., 2003; Chang et al., 2010). En base a esto es que Yu et al. (2020) realizó un metaanálisis con el conjunto de estudios epidemiológicos donde se obtuvo finalmente que no existe un riesgo significativo entre el consumo de nitratos en agua potables o comida y padecer de linfoma no Hodgkin, pero si existe un riesgo significativo con el consumo nitrito en agua potable o en la comida presentándose un aumento de un 37% en el riesgo. (Yu et al., 2020).

En la Tabla N°2 se presenta un resumen de los efectos y posibles efectos que puede causar la ingesta de nitrato en agua potable.

Tabla N°2. Resumen de patologías asociadas al consumo de nitrato en agua potable.

| Efecto | Patología | Característica | Concentración | Límite OMS | Límite EPA | RR | Periodo de evaluación | Referencia |
|---------------|----------------------|---|----------------------|-------------------|-------------------|-----------|------------------------------|--------------------------|
| Agudo | Metahemoglobinemia | Afecta a bebés menores de 6 meses reduciendo la capacidad de transportar oxígeno en concentraciones de metahemoglobina >10% | >50 mg/l | 50 mg/l | 45 mg/l | - | - | Hunter y Comly, 1945 |
| | | | | | | | | |
| Crónico | Cáncer de tiroides | Existe correlación positiva | >22,1 mg/l | - | - | 2,6 | > 5 años | Ward et al., 2010 |
| | Cáncer de vejiga | Existe correlación positiva | >22,1 mg/l | - | - | 1,6 | ≥4 años | Jones et al., 2016 |
| | | No existe correlación positiva | < 10,6 mg/l | - | - | - | 10 años | Zeegers et al., 2006 |
| | Hipertrofia tiroidea | Volumen tiroideo de 11,1 ± 3 mg/l | >50 mg/l | - | - | - | 5 meses | Van Maanen et al., 1993 |
| | Cáncer colorectal | Existe relación positiva | >8,6 mg/l | - | - | - | 34 años | Schullehner et al., 2018 |

5. Evaluación de riesgos en salud

Existen diversas definiciones de evaluación de riesgos en salud humana, sin embargo, hay una definición común desde el consenso de Gotemburgo en 1999, ésta fue publicada por el comité permanente de salud ambiental de Australia (EnHealth) en 2001 en la guía de evaluación de impacto en salud, donde se señala que es un proceso sistemático para evaluar efectos directos o indirectos en la salud de individuos, grupos o comunidades que se encuentran bajo un peligro derivado de políticas, objetivos, planes, programas u ocupaciones (EnHealth, 2012)

La evaluación de riesgo en salud humana consiste en una evaluación aplicada con el objetivo de estimar el nivel de efectos en la salud de un grupo de personas que están expuestas a un contaminante ya sea cancerígeno o no cancerígeno por las diversas vías de exposición. (Qasemi et. al, 2018)

El proceso de la evaluación de riesgos inicia con la formulación del problema y es acompañado de cuatro etapas en las que consiste este proceso. La primera es la identificación del peligro, la cual radica en identificar el tipo y el carácter de los efectos sanitarios adversos. La segunda etapa, caracterización del peligro, es fundamentada en una descripción cuantitativa o cualitativa de las propiedades intrínsecas del agente con potencial de causar daño. El tercer paso es la evaluación de exposición la cual consiste en valorar la concentración o cantidad del agente que tiene contacto con la población que se evalúa. La última etapa, caracterización del riesgo, considera realizar las recomendaciones pertinentes para la toma de decisiones. (OMS,2017).

5.1 Definición de Riesgo

El concepto de riesgo radica en la probabilidad de ocurrencia de un peligro, de origen natural o antrópico donde se realiza una valoración por parte del hombre para cuantificar y/o caracterizar efectos nocivos en la salud de las personas. (Aneas, 2000)

La definición de riesgo siempre apunta a la probabilidad de ocurrencia de un evento, sin embargo, según la disciplina existen ciertas variaciones del concepto. En epidemiología equivale a la probabilidad de ocurrencia de una patología en una población objetivo.

Donde existe como requerimiento que se presenten tres elementos: la ocurrencia de casos de muerte- enfermedad, una población de referencia y un tiempo de referencia (Almeida, 2009).

5.2 Definición de Peligro

Según el glosario de términos en salud ambiental del Centro Panamericano de ecología humana y salud, el peligro se define como: *“La posibilidad de que un agente físico, químico o biológico cause efectos adversos en la salud, dependiendo de las condiciones en que este se produzca o se use”*, es decir, el peligro es la cualidad intrínseca del agente de causar daño (Echemendía, 2011).

5.3 Evaluación de riesgos en salud asociado al nitrato

Diversos autores han estudiado las concentraciones de nitrato en el agua potable y como es el riesgo a la salud de la población. Adimalla y Qian (2019) estudiaron en Nanganur, un grupo de aldeas al sur de India, la cual posee fuertes presiones en el uso del agua subterránea por el uso de consumo humano y riego, al igual que el resto del país. Los resultados arrojaron que, de los 61 pozos muestreados, las concentraciones de nitrato fluctuaron entre 25 y 198 mg/l, de los cuales el 61% de las muestras excedía el valor de recomendación impuestos por la OMS (50 mg/l). Para el cálculo del riesgo en la salud de las personas se utilizó el cociente de riesgo (HQ) aplicado a tres grupos etarios: adultos, niños y bebés, donde se identificó que todos los grupos presentaban riesgo ($HQ > 1$), pero los niños y bebés presentaban 1,15 y 1,75 veces más riesgo que los adultos. (Adimalla y Qian, 2019).

En Zhongning, China también se estudió la contaminación de fuentes de agua para consumo humano por nitrato y como supone un riesgo para la salud. Se analizaron 53 pozos los cuales eran utilizados como fuentes de agua de la población, donde las concentraciones de N-nitrato fluctuaron entre 2,66 y 103 mg/l, de estas, el 47% (30 muestras) de los pozos demostraba que no eran aptos para el consumo humano según el estándar de la OMS y 14 muestras tampoco lo eran según el estándar chino (20 mg/lde

N-nitrato). Para la evaluación de riesgos no cancerígena determino que el 72% (36 muestras) presentaban riesgos para los bebés. Por otro lado, la evaluación de mujeres y hombres adultos el 28 y 22% de las muestras presentaron un $HQ > 1$. (Chen J et al., 2017).

Respecto a las evaluaciones de riesgos asociadas al nitrato en la realidad chilena, solo existe un caso el cual fue descrito en 2006 por Arumi et al. en Parral, zona central del país, donde se muestrearon 94 pozos noria de los cuales el 14% de las muestras mostraron una superación de la Norma Chilena que es equivalente a la recomendación de la OMS para el nitrato en agua para consumo humano. Se presenta un aumento del riesgo principalmente en lactantes llegando a valores máximo de 3 en el coeficiente de riesgo y como promedio un valor de 0,69. (Arumi et al. 2006)

5.4 Otros factores contribuyentes a una metahemoglobinemia

Si bien las evaluaciones de riesgos realizadas se hicieron bajo el supuesto que la única ruta de exposición del nitrato es el agua potable, es importante no ignorar que el nitrato puede encontrarse en distintos productos de consumo habitual los que aumentarían el riesgo a la salud de las personas. Entre los alimentos que se destacan están algunas verduras como la espinaca, la lechuga, remolacha y acelga (Iñigo et al, 2011) además, de otras verduras presentes en la Tabla N°3. Los productos de embutidos y fiambrería también contienen nitrato como componente agregado para evitar la formación de microorganismos y toxinas, además mejoran el color y sabor de la carne. (EPA, 2015; Ventanas et al, 2004).

Tabla N°3. Tabla de nitratos (mg/kg) en verduras.

| Hortaliza | Nivel medio de nitratos (mg/kg) |
|------------------|--|
| Acelga | 1690 |
| Remolacha | 1379 |
| Lechuga | 1324 |
| Apio | 1103 |
| Espinaca* | 1066 |
| Calabaza | 894 |
| Lechuga iceberg | 875 |
| Nabo | 663 |
| Calabacín | 416 |
| Puerro | 345 |
| Judía verde | 323 |
| Zanahoria | 296 |
| Pepino | 185 |
| Patata | 168 |
| Cebolla | 164 |
| Pimiento | 108 |
| Tomate | 43 |
| Guisantes | 30 |

*Se presentaron datos combinados de espinaca fresca y congelada, debe tener en cuenta que las espinadas congeladas contienen menos nitratos

Fuente: Alexander et al, 2008

Los hábitos de la población también pueden contribuir a una mayor exposición del nitrato o contribuir a una metahemoglobinemia, este es el caso de las personas fumadoras de cigarrillos o tabaco, las cuales ingieren el nitrato contenido en el tabaco (Campaign for tobacco-free kids, 2014). Si bien, existe una baja probabilidad de inhalar el nitrato, los fumadores tienen más probabilidades sufrir enfermedades cardiovasculares y respiratorias que dificultan el transporte del oxígeno en la sangre. (Martín et al., 2004)

La presencia de enfermedades crónicas es otro factor a considerar, tanto por las características de las enfermedades, como es el caso de la anemia y las enfermedades pulmonares. Como también por el tratamiento que se recibe, donde los medicamentos administrados disminuyen la capacidad de transportar oxígeno en la sangre, esto ocurren en los siguientes casos: enfermedades coronarias tratadas con nitroglicerina,

enfermedades autoinmunes como la artritis reumatoide o el lupus eritematoso sistémico tratadas con cloroquina. (Labandeira; Johnson, 2005; Daza et al. 2016)

6.Planteamiento del problema

El aumento de las concentraciones nitrato en agua para consumo humano en zonas rurales es evidente, por lo que surge la necesidad de analizar la disponibilidad de información requerida para determinar los factores de riesgo de presentar efectos agudos en la población a partir de las fuentes de agua potable provenientes de aguas subterráneas y superficiales en las distintas localidades de las regiones de Ñuble y Biobío.

7.Pregunta de investigación

Considerando las múltiples presiones antrópicas y naturales sobre las aguas para consumo humano y las variables que afectan a la aparición de efectos agudos ¿Cuáles son los requerimientos de información necesarios para determinar los factores de riesgo en comunidades rurales de las regiones de Ñuble y Biobío?

8.Objetivos

Objetivo general.

Analizar la información necesaria para determinar factores de riesgo de padecer metahemoglobinemia de comunidades abastecidas por APR en el periodo 2016-2019 en localidades de las regiones de Ñuble y Biobío

Objetivos específicos.

- Realizar un levantamiento de información asociado a las concentraciones de nitrato en las regiones de Ñuble y Biobío.
- Establecer una base de datos con factores de vulnerabilidad en el territorio
- Examinar los factores que generan un potencial riesgo a la salud

9. Metodología

El presente estudio de tipo exploratorio y descriptivo se centró en torno a las comunidades rurales abastecidas por un APR en las regiones de Ñuble y Biobío.

Para la disminución de brechas de información e incertidumbre, el estudio se llevó a cabo bajo los siguientes supuestos:

- Las personas abastecidas por sistemas de APR, consumen únicamente agua de su APR a lo largo de su vida.
- La única fuente de exposición al nitrato, es por la ingesta de agua.

9.1 Descripción del área de estudio

La investigación se centrará en comités de APR pertenecientes a las regiones de Ñuble y Biobío. En estas regiones se encuentran 197 APR DOH, de los cuales 109 pertenecen a la región de Ñuble y 88 a la del Biobío, tal como se identifica en la Figura N°1 con la ubicación espacial de todos los APR.

Esta área fue seleccionada en base a que existen reportes de profesionales que evidencian un aumento del nitrato en las fuentes de agua para consumo humano donde no existe implementación de ningún sistema de abatimiento para el nitrato.

En estas dos regiones se presenta un área de transición entre un clima templado seco y templado lluvioso. Presenta variaciones de tanto de norte a sur, como de este a oeste. La franja costera, sectores altos y las laderas ubicadas al oeste de la cordillera de la costa presentan un clima templado húmedo. En la región de Ñuble las precipitaciones fluctúan entre los 800 mm y 1000 mm anuales de norte a sur. Mientras tanto en la región del Biobío las precipitaciones fluctúan entre los 1200 mm y 2000 mm anuales de norte a sur.

Hacia el interior, en la depresión intermedia, en la región de Ñuble las precipitaciones fluctúan entre los 1000 y 1500 mm anuales las cuales varían de occidente a oriente. En la región del Biobío se presentan en promedio 1330 mm anuales, presentando un aumento de precipitaciones hacia la cordillera de los Andes. En ambas regiones se presenta un periodo seco de 4 meses.

El sector más oriental de ambas regiones, en la cordillera de los Andes, se presentan un clima frío de altura sobre los 1500 m.s.n.m. donde las precipitaciones medias anuales se encuentran sobre los 2000 mm.

La geología en las zonas rurales varía de un lugar a otro. En ambas regiones, donde se encuentra la cordillera de la costa, está compuesta principalmente por roca intrusiva donde se puede encontrar Granitos, granodioritas, tonalitas y dioritas, de hornblenda y biotita. En el valle central en la región del Biobío se pueden encontrar secuencias volcánicas en la parte norte y en la parte sureste se encuentran depósitos sedimentarios al igual que en la depresión intermedia de la región de Ñuble. Con los que respecta a zonas precordilleranas, se encuentra una dominancia de rocas intrusivas y secuencias volcano-sedimentarias.

Muchas de las zonas rurales del área de estudio poseen bajos ingresos económicos, encontrándose en zonas de rezago. Adicional a esto, carecen de saneamiento de aguas servidas, es decir, presentan instalaciones de alcantarillado limitadas o nulas. Además, estas áreas presentan abundante presencia de predios agrícolas donde se suelen utilizar fertilizantes nitrogenados. Estos factores contribuyen a aumentar el riesgo de la contaminación del agua subterránea con nitrato. (González, 2020)

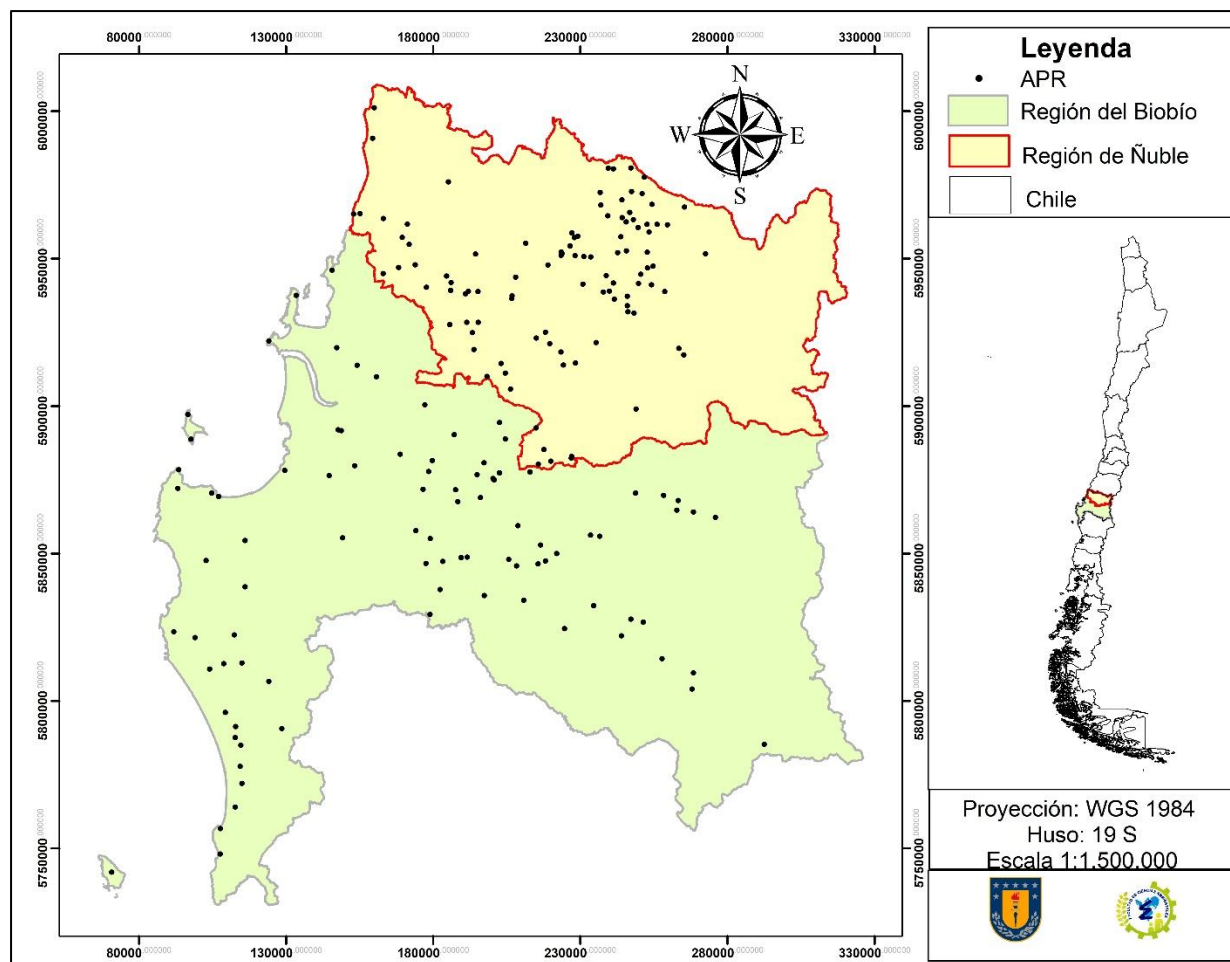


Figura N°1. Mapa ubicación de APR's DOH en la región de Ñuble y Biobío

Fuente: INE 2017 y DGA 2016.

9.2 Descripción de la metodología

Para la localización de los APR utilizó la base de datos de la DOH del año 2016 para ambas regiones. Esta fue complementada con información facilitada por la DIRPLAN para los APR que presentaron registros en las bases de datos del punto 9.2.1 que no contaban con su ubicación geográfica.

Para las comunidades que poseían 2 sistemas de APR, pero se desconocía la ubicación geográfica de uno de estos, como es el caso de los APR Cocharcas pozo 2 y Tres esquinas de Cachapoal 2, fueron cartografiados a 30 metros de su respectivo pozo 1, dentro de las mismas comunidades según los datos de la ubicación de viviendas rurales en datos del pre-censo 2016 elaborado por el INE. Esto con el objetivo, de no superponer

dos puntos con información de concentración de nitrato distintas, por lo que los factores de vulnerabilidad del punto 9.2.2 fueron los mismos en ambos pozos según su respectiva localidad.

9.2.1 Levantamiento de información de concentraciones de nitrato en el agua

Se utilizaron dos fuentes de información. Los informes de calidad de agua que registra el Ministerio de Salud (MINSAL) anualmente en cada APR y los registros de concentraciones de nitrato en el agua del informe “diagnóstico de calidad de aguas subterráneas en APR de las regiones de Ñuble y Biobío” elaborado por la dirección general de aguas (DGA, 2019).

Por medio de la Ley de Transparencia se solicitaron todos los informes de calidad de agua de los APR pertenecientes a las regiones de Ñuble y Biobío entre el periodo 2009-2019. Los informes que se consideraron fueron los que contenían mediciones de nitrato en el agua. Respecto a el N° de registros, estos fueron jerarquizados según la cantidad que poseía cada APR. Se consideró la mayor concentración de nitrato que poseía cada APR con su respectiva fecha de toma de muestra. Los resultados se presentaron teniendo en cuenta la variación espacial de las concentraciones de nitrato en el área de estudio y además, se presenta la variación estacional de las mayores concentraciones de nitrato de los APR.

Para los registros disponibles en el informe elaborado por la DGA, no se consideró la fecha de toma de muestra debido a que no era especificada en el informe. Debido a esto es que solo se expusieron los resultados de la distribución espacial de las concentraciones de nitrato el cual fue cartografiado utilizando el software ArcGIS y posteriormente fue comparado con los resultados obtenidos de los registros del MINSAL.

9.2.2 Recopilación de bases de datos para establecer factores de vulnerabilidad.

Se realizó una recopilación de bases de datos de factores de vulnerabilidad del territorio a la contaminación por nitrato de acuíferos relacionados a esos territorios, que incluyó el

uso de suelo, hidrogeología y presencia de industrias de ganadería intensiva. Estas fueron cartografiadas individualmente y posteriormente se realizó una descripción que incluyó todos los factores de vulnerabilidad en conjunto con las concentraciones de nitrato de los APR obtenidas en el punto 9.2.1. Adicional a esto, se incluyó información respecto al nivel del pozo, extraída del informe de calidad de aguas subterráneas en APR de las regiones de Ñuble y Biobío, la presencia de PTAS, la cual fue obtenida de la base de datos facilitada por el MOP, específicamente de la Dirección de Planeamiento (DIRPLAN) y la red hídrica del territorio.

Para el uso de suelo, se utilizó la base de datos de CONAF del año 2015. Con esto, se elaboró una cartografía de usos de suelo del área de estudio. Posteriormente se realizó un cruce de información entre el uso de suelo y la ubicación de los APR, con ayuda de la herramienta de intersección en el software ArcGIS. Luego, se realizó la clasificación de la vulnerabilidad respecto al uso de suelo en el que se encontraban los APR según el tipo de actividad que se llevará a cabo en ese suelo, asociado al aporte de nitrato que se realizará al territorio según lo encontrado en la literatura. (ver Tabla N°4).

Tabla N°4. Vulnerabilidad a contaminación por nitrato del agua de la fuente de captación de los APRs

| Vulnerabilidad | Uso de suelo |
|-----------------------|--|
| Baja | Praderas y matorrales |
| Media | Bosque (Plantaciones y bosque nativo) |
| Alta | Terreno agrícola, áreas urbanas e industriales |

Fuente: Aronsson et al.,2000; Nisbet et al., 2011.

Para la información relacionas a la geología, se utilizó el mapa de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos elaborado por el SERNAGEOMIN, específicamente por Iriarte y Aguirre (2004) a través del método SGFRA-BGR, el cual otorga una vulnerabilidad a un territorio por medio un método de puntaje acumulativo que considera los siguientes factores:

- S : Permeabilidad del suelo orgánico o agrícola, en superficie
- R : Litología de cada estrato en la zona no saturada.

E : Espesor en metros de cada estrato hasta la zona no saturada.

W : Tasa de percolación o recarga al acuífero.

El mapa original fue elaborado por Iriarte y Aguirre (2004) a una escala de 1: 1.250.000. La imagen utilizada fue modificada por Wall et al. (2006). El cual estuvo vigente entre 2006-2016 y actualmente no existe un mapa de vulnerabilidad de acuíferos actualizado (Molina, 2019)

El mapa de vulnerabilidad utilizado, de carácter regional, corresponde a una primera aproximación al valor de vulnerabilidad real, debido a que no incluye a detalle características hidrogeológicas. (DGA,2018)

Para identificar la vulnerabilidad que poseía cada APR, se georreferenció la imagen del mapa de vulnerabilidad modificado por Wall et al. (2006) en una proyección Universal Transversal de Mercator (UTM) huso 19 sur, en el sistema de referencia World Geodetic System 1984. Posteriormente se realizó un cruce de información entre la ubicación de cada APR y la categoría de vulnerabilidad a la cual estaba asociado según su ubicación geográfica, por medio del software ArcGIS con la herramienta de intersección.

Luego, se procedió a reclasificar (ver Tabla N°5) los valores señalados en el mapa, según lo presentando en el Estudio comparativo sobre la vulnerabilidad de los acuíferos a nivel nacional establecida por la DGA en relación a los mapas de vulnerabilidad de SERNAGEOMIN (Molina, 2019).

Tabla N°5. Vulnerabilidad a contaminación por nitratos del agua según la geología de la geología del punto de captación del APR.

| Término en mapa de vulnerabilidad de SERNAGEMIN | Vulnerabilidad APR |
|---|---------------------------|
| Baja en roca volcánica, moderada-baja en roca | Baja |
| Moderada a alta en roca volcánica, moderada en depósitos no consolidados, moderada en roca, moderada a alta en depósitos no consolidados, moderada a alta en roca volcánica | Media |
| Alta en depósitos no consolidados, muy alta en depósitos no consolidados | Alta |

Fuente: Molina, L 2019

Para la descripción de cada área se tomó como referencia los resultados obtenidos en el diagnóstico de calidad de aguas subterráneas en APR de las regiones de Ñuble y Biobío en conjunto con el nivel de vulnerabilidad asociado a la Tabla N°5.

Por último, se utilizó el sitio web del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) para identificar las industrias ganaderas presentes en el área de estudio las cuales fueron cartografiadas según la información proporcionada en sus respectivas DIA (Declaración de Impacto Ambiental). Además, se identificó el manejo y tratamiento de purines, riles y/o residuos orgánicos. Para el caso de las industrias, no se estableció un factor de vulnerabilidad, sino que se realizó un análisis posterior en cómo se relacionaba con los otros factores de vulnerabilidad y las concentraciones de nitrato en los APR.

Cabe mencionar que, en esta primera aproximación, no se consideraron los registros agropecuarios, ya que al momento de la investigación se estaban llevando a cabo nuevos levantamientos de información para actualizar el Censo Agropecuario.

9.2.2 Examinar los factores que generen un potencial riesgo a la salud

Para esto se utilizó el modelo de evaluación de riesgos en salud para efectos no cancerígenos de la EPA (EPA, 1991). Este modelo es ampliamente usado en el mundo y consiste en aplicar un cociente de peligro (HQ). Radica en calcular en una primera

instancia la ingesta diaria crónica (CDI) a un contaminante individual a través de la ingestión, por medio de distintos factores de exposición de riesgo, los que se presentan en la Tabla N°6, utilizada por múltiples estudios de la misma índole. (Ghaderpoor et al 2017; Qasemi et al. 2018). Con los valores de la Tabla N°6 y la concentración de nitrato de cada APR, se calcula el CDI con la ecuación 1.

Tabla N°6. Parámetros aplicados para la evaluación de la exposición a la salud en el agua.

| Factores de exposición de riesgo | Valores por grupo etario | | | Unidades |
|----------------------------------|--------------------------|------------------|------------------|----------|
| | Adultos(años>19) | Niños(6>años>12) | Infantes(años<1) | |
| C | | | | mg/l |
| DI | 2 | 1.5 | 0.8 | L/día |
| F | 365 | 365 | 365 | días/año |
| ED | 40 | 10 | 1 | años |
| BW | 70 | 20 | 10 | Kg |
| AT | 14600 | 3650 | 365 | días |

Fuente: Qasemi et al. 2018

$$CDI = \frac{C * DI * F * ED}{BW * AT}$$

Ecuación 1. Cálculo de ingesta diaria crónica. (EPA, 1991)

- C: contenido de nitrato en el agua (mg / L)
- DI: ingesta diaria de agua (L / día)
- F: la frecuencia de exposición (días / año)
- ED: duración de la exposición (años)
- BW: peso corporal (kg)
- AT: tiempo promedio para los no cancerígenos (días)

Posteriormente, se calcula el HQ con la ecuación 2, con el cociente entre el CDI y el RfD, que es la dosis de referencia definida en 1,6 mg/kg/día para nitrato según lo estipulado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA). Para lo HQ, significa que la población está expuesta a un riesgo significativo para la salud debido a la contaminación por nitrato. Mientras mayor sea el valor del HQ, mayor es la probabilidad

de causar un efecto no cancerígeno dañino en la salud, así como, por otro lado, mientras menor sea el HQ, menor es la probabilidad de causar un efecto no cancerígeno dañino en la salud.

$$HQ = \frac{CDI}{RfD}$$

Ecuación 2. Cálculo de cociente de peligro. (EPA, 1991)

Para este estudio, en una primera instancia, se realizó un análisis de los factores de exposición de riesgo de la Tabla N°6, donde se consideró como variables la concentración, ingesta diaria y peso corporal. La frecuencia, duración de exposición y tiempo para no cancerígeno, fueron considerados constantes por los supuestos del estudio y la naturaleza del nitrato.

En una segunda instancia, se realizó una estimación del riesgo de los APR, utilizando las mayores concentraciones de nitrato entre 2016-2019 medidas por el MINSAL. El resto de los valores de los factores de exposición, fueron los de la Tabla N°6 para cada grupo etario.

10.Resultados

10.1 Datos de concentraciones de nitrato

10.1.1 Análisis de los datos disponibles de concentración de nitrato en agua de APRs en la Región del Ñuble y Biobío obtenidos en el:

a) Ministerio de Salud:

De los informes de calidad de aguas entre 2009-2019 obtenidos del MINSAL, se identificó que desde el año 2016 se comenzó a incluir el análisis de nitrato en los APRs (con captación superficial y subterránea), en los cuales existía una importante disparidad en el número de análisis realizados por cada APR en el periodo 2016-2019. De la totalidad de los APRs en ambas regiones en estudio se recibió información de 197 APRs , de estos no consideran análisis de nitrato 105 APRs y solo 8 de los APRs tenían un análisis por año, es decir 4 mediciones en el periodo 2016-2019.

De los 108 APRs pertenecientes a la región de Ñuble, 26 no tenía ninguna medición de calidad de agua. De los restantes, 37 tenían una medición, 31 tenían 2 mediciones, 11 tenían 3 mediciones y finalmente, solo 3 APR tenían 4 mediciones en el periodo de tiempo señalado, es decir, una medición por año (ver Gráfico N°1).

Por otro lado, en la región del Biobío, desde el MINSAL, solo se obtuvieron los registros de mediciones de calidad de agua pertenecientes a la provincia de Concepción, de un total de 10 APR registrados en la provincia, 2 APR tenían 2 mediciones, 3 APR tenían 3 mediciones y 5 APR tenían una medición por año en el periodo de tiempo indicado. A esto, se le adicionaron los demás APR registrados de la región del Biobío los cuales se clasificaron como sin información. (ver Gráfico N°2).

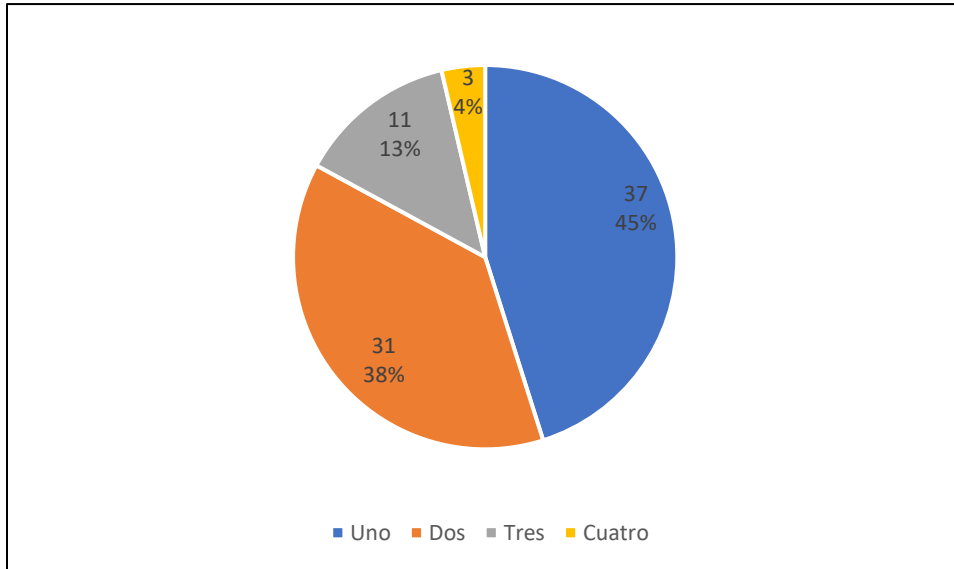


Gráfico N°1. Numero de análisis de calidad de agua por APR de las regiones de Ñuble en el periodo 2016 - 2019.

Fuente: MINSAL 2020.

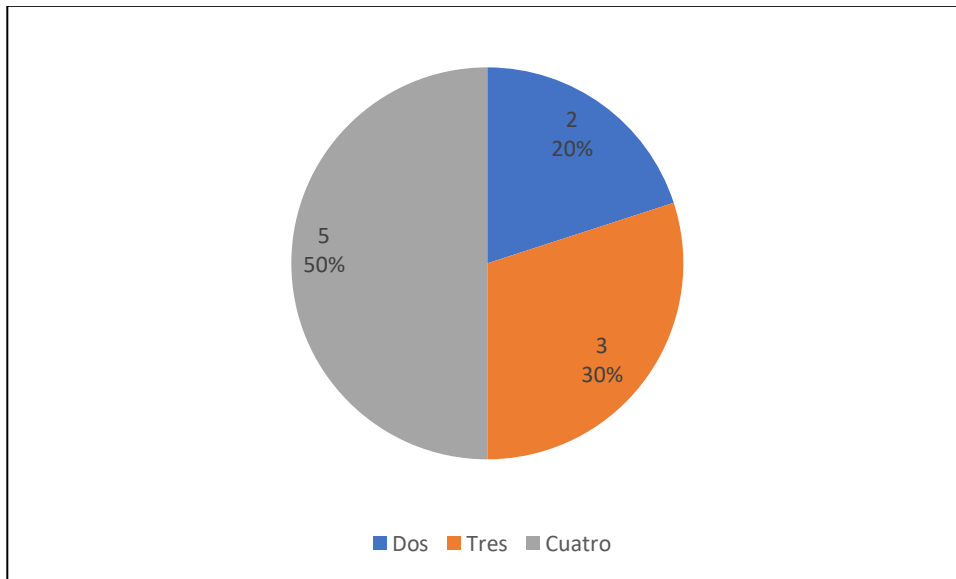


Gráfico N°2. Numero de análisis de calidad de agua por APR de la Regiones del Biobío en el periodo 2016 - 2019.

Fuente: MINSAL 2020.

Con la finalidad de visualizar la mayor concentración de nitrato de cada APR entre el año 2016 y 2019 para la región de Ñuble se confecciono la Tabla N°7.

Tabla N°7. Concentraciones de nitrato en APR de la región de Ñuble.

| Provincia | Comuna | APR | Nitrato (mg/l) | Fecha de toma de muestra |
|------------------|---------------|----------------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| Diguillín | Bulnes | Cantarrana | < 6,0 | 01-04-2019 |
| Itata | Coelemu | Magdalena | < 6,0 | 02-04-2019 |
| Itata | Coelemu | Meipo | < 6,0 | 02-04-2019 |
| Itata | Coelemu | Perales | < 6,0 | 22-05-2017 |
| Punilla | Coihueco | Bustamante - Niblinto | < 6,0 | 07-08-2019 |
| Punilla | Coihueco | Chillinhue | < 6,0 | 14-05-2019 |
| Punilla | Coihueco | El Embalse | < 6,0 | 06-07-2017 |
| Punilla | Coihueco | Minas Del Prado | < 6,0 | 18-07-2018 |
| Diguillín | El Carmen | Los Tres Sectores C.Davila | < 6,0 | 22-08-2019 |
| Punilla | Ñiquén | Chacay | < 6,0 | 21-03-2019 |
| Punilla | Ñiquén | Colvindo | < 6,0 | 14-08-2018 |
| Punilla | Ñiquén | Estación Ñiquén | < 6,0 | 21-11-2016 |
| Diguillín | Pinto | Ciruelito | < 6,0 | 07-11-2019 |
| Diguillín | Pinto | Recinto | < 6,0 | 09-09-2019 |
| Diguillín | Pemuco | General Cruz-San Pedro | < 6,0 | 09-07-2018 |
| Diguillín | Pinto | Los Lleuques | < 6,0 | 12-09-2019 |
| Diguillín | Quillón | El Casino | < 6,0 | 02-09-2019 |
| Diguillín | Quillón | Villa Tenesse | < 6,0 | 24-09-2018 |
| Itata | Ránquil | El Centro-Cementerio | < 6,0 | 05-11-2018 |
| Punilla | San Carlos | Santa Rosa De Ninquihue | < 6,0 | 21-11-2018 |
| Punilla | San Fabián | Paso Ancho | < 6,0 | 12-11-2018 |
| Punilla | San Fabián | San Fabián (San Fabián De Alico) | < 6,0 | 07-05-2019 |
| Punilla | San Fabián | Trabuncura | < 6,0 | 07-05-2019 |
| Diguillín | San Ignacio | San Miguel | < 6,0 | 07-11-2019 |
| Itata | Portezuelo | Orilla De Itata | < 6,0 | 27-06-2019 |
| Itata | Treguaco | Hernan Brañas | < 6,0 | 02-10-2018 |
| Diguillín | Yungay | Campanario | < 6,0 | 12-03-2019 |
| Diguillín | Yungay | Cholguán Norte-Pedregal | < 6,0 | 20-09-2016 |
| Diguillín | Yungay | Pangal Del Laja | < 6,0 | 27-09-2016 |
| Diguillín | Yungay | Ranchillo | < 6,0 | 12-03-2019 |
| Punilla | Coihueco | Miraflores | 6,1 | 12-07-2018 |
| Diguillín | San Ignacio | San Pedro | 6,2 | 16-10-2017 |
| Diguillín | Quillón | Chillancito De Quillón | 6,3 | 24-09-2018 |
| Diguillín | San Ignacio | Quiriquina | 6,4 | 16-10-2017 |
| Punilla | San Nicolás | San Nicolás | 6,9 | 13-07-2017 |
| Itata | Treguaco | Denecán | 7,2 | 27-06-2017 |
| Punilla | Coihueco | Rinconada De Cato | 7,3 | 06-07-2017 |
| Diguillín | Chillan | Huape | 7,5 | 08-08-2016 |
| Diguillín | Pemuco | Cartago | 7,5 | 15-10-2019 |
| Itata | Treguaco | Treguaco (Trehuaco) | 7,5 | 23-06-2016 |
| Itata | Ranquil | Ránquil-San Ignacio De Palomares | 7,8 | 13-11-2017 |
| Punilla | Coihueco | Tanilvoro | 8 | 18-07-2018 |

| Provincia | Comuna | APR | Nitrato (mg/l) | Fecha de toma de muestra |
|-----------|---------------|--------------------------------------|----------------|--------------------------|
| Itata | Ránquil | Paso Hondo | 8,5 | 01-08-2016 |
| Itata | Portezuelo | Portezuelo | 8,8 | 08-05-2017 |
| Punilla | Ñiquén | San Gregorio | 9 | 21-08-2018 |
| Punilla | San Carlos | Ribera De Nuble | 9 | 17-10-2016 |
| Diguillín | San Ignacio | Pueblo Seco | 9,1 | 30-01-2018 |
| Punilla | Ñiquén | San Jorge-San Roque | 9,5 | 07-08-2018 |
| Diguillín | Chillan | Quinchamáli | 9,6 | 08-08-2016 |
| Punilla | Ñiquén | Buli Caserío-Tiuquilemu | 10,4 | 28-09-2017 |
| Punilla | San Carlos | Buli | 10,4 | 28-09-2017 |
| Punilla | San Carlos | Ninquihue | 10,4 | 19-07-2016 |
| Punilla | San Carlos | Tres Esquinas De Cachapoal 1 | 10,8 | 25-10-2016 |
| Itata | Coelemu | Ranguelmo | 10,9 | 27-06-2017 |
| Itata | Cobquecura | Taucú | 11,8 | 10-05-2016 |
| Punilla | Coihueco | Copihual | 11,9 | 07-08-2019 |
| Punilla | Ñiquén | Zemita | 11,9 | 28-09-2017 |
| Diguillín | Pemuco | San Miguel Alto | 12,5 | 12-07-2018 |
| Diguillín | San Ignacio | Las Quilas | 12,7 | 07-11-2019 |
| Diguillín | Quillón | Liucura Bajo | 13,4 | 06-11-2017 |
| Punilla | Ñiquén | Los Maitenes-Virhuin | 13,8 | 28-09-2017 |
| Diguillín | Pemuco | Caserío Diguillín | 13,9 | 13-09-2016 |
| Diguillín | Chillan viejo | Rucapequén | 15,2 | 23-07-2018 |
| Diguillín | Pinto | El Rosal | 15,2 | 11-07-2016 |
| Punilla | San Carlos | El Torreón | 15,4 | 29-06-2017 |
| Itata | Coelemu | Vegas De Itata | 15,8 | 21-06-2016 |
| Punilla | San Carlos | Mutupín | 16,3 | 06-02-2018 |
| Diguillín | Bulnes | Tres Esquinas De Bulnes | 16,4 | 07-08-2017 |
| Diguillín | Chillan | Nuble Alto | 16,4 | 21-11-2018 |
| Itata | Cobquecura | Buchupureo | 16,5 | 30-10-2017 |
| Diguillín | Yungay | El Roble | 16,5 | 25-04-2017 |
| Itata | Ránquil | Nueva Aldea | 16,7 | 13-11-2017 |
| Punilla | Coihueco | Héroes De La Concepción- Roblería | 16,9 | 06-07-2017 |
| Punilla | Coihueco | Bajo Los Amigos | 17,2 | 14-07-2016 |
| Punilla | San Carlos | Muticura-Las Encinas | 17,2 | 01-02-2018 |
| Punilla | San Carlos | Villa Illinois | 18,4 | 25-10-2016 |
| Punilla | Coihueco | Chacayal De Cato | 23,5 | 14-07-2016 |
| Punilla | San Carlos | Cocharcas Pozo 1 | 23,7 | 12-10-2017 |
| Diguillín | Quillón | Puerto Coyanco | 25,6 | 16-10-2017 |
| Punilla | Coihueco | Las Mariposas | 31,3 | 27-04-2017 |
| Diguillín | Chillan | Quinguehua | 39,2 | 23-10-2019 |
| Itata | Cobquecura | San José | 40,1 | 11-10-2016 |
| Punilla | San Nicolás | Puente Nuble | 57,3 | 09-07-2019 |

Fuente: MINSAL, 2020.

En el Gráfico N°3 se organizó la información de la concentración de nitrato máximo para cada APR que se obtuvo información.

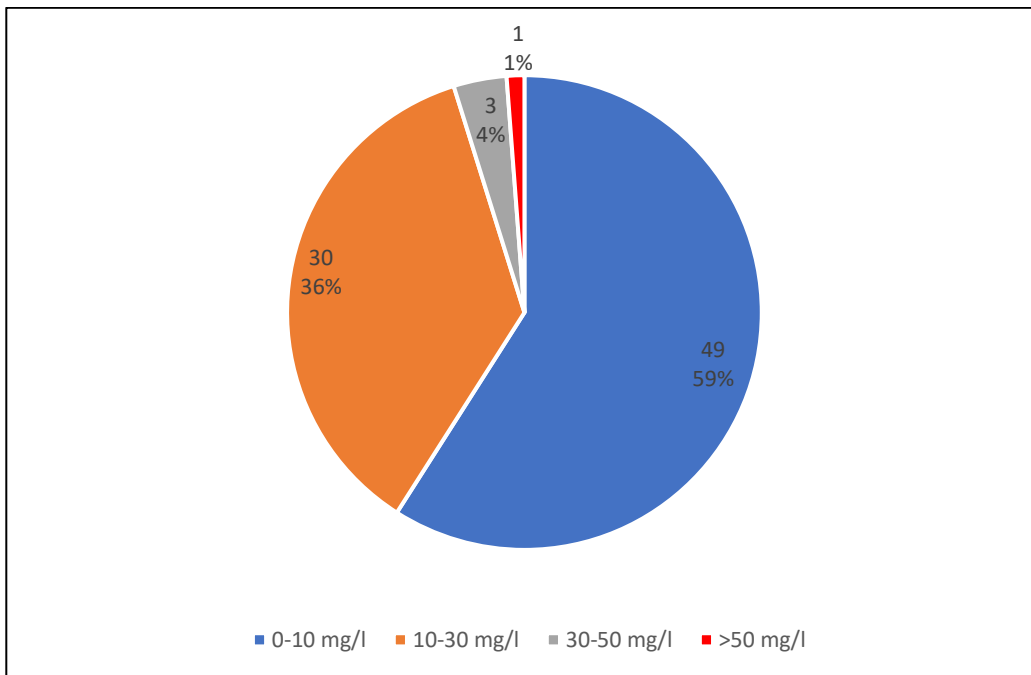


Gráfico N°3. Distribución gráfica de la concentración máxima de nitrato en los APR de la región de Ñuble que se disponía de información del MINSAL (2020)

Según los datos proporcionados por el Ministerio de Salud, solo un APR sobrepasó la normativa de 50 mg/l de nitrato en el agua potable. Puente Ñuble, perteneciente a la comuna de San Nicolás, registró 57,3 mg/l de nitrato en el agua, en invierno, a principios del mes de julio en el año 2019. Por otro lado, otros 3 APR también registraron concentraciones anómalas, mayor a 30 mg/l, según lo establecido por la DGA. San José, perteneciente a la comuna de Cobquecura, registró 40,1 mg/l de nitrato en el agua, en primavera, específicamente a mediados de octubre en el año 2016. Quinquihua, perteneciente a la comuna de Chillán, registró 39,2 mg/l de nitrato en el agua, en la segunda quincena de octubre del año 2019. Las mariposas, ubicado en la comuna de Coihueco, registró 31,3 mg/l de nitrato en el agua a finales de abril en el año 2017.

Para la región del Biobío, solo se obtuvieron a través de la ley de transparencia las mediciones de calidad de agua de los APR de la provincia de Concepción, según los

registros del MINSAL No s tiene claridad de la sistematización de los datos de las otras provincias de la región del Biobío: Arauco y Biobío.

A continuación, se presenta la Tabla N°8 con las máximas concentraciones de nitrato reportadas para los APRs de la región del Biobío.

Tabla N°8. Mediciones de nitrato en APR de la provincia de Concepción, Región del Biobío

| Provincia | Comuna | APR | Nitrato(mg/l) | Fecha |
|------------|-------------|-------------------------------------|---------------|------------|
| Concepción | Santa Juana | Huallerehue | <5 | 06.05.2019 |
| Concepción | Coronel | Puerto Sur Isla Santa María | <5 | 25.04.2019 |
| Concepción | Santa Juana | La Generala | <5 | 22.05.2017 |
| Concepción | Concepción | Chaimávida Soto | <6,0 | 04.04.2016 |
| Concepción | Coronel | Puerto Norte Isla Santa María | 6 | 26.03.2018 |
| Concepción | Concepcion | Peaje Chaimávida | 7 | 18.04.2016 |
| Concepción | Hualqui | Quilacoya | 7 | 04.09.2018 |
| Concepción | Hualqui | Unihue | 7 | 04.09.2018 |
| Concepción | Hualqui | Talcamávida | 17,5 | 16.05.2017 |
| Concepción | Florida | Copiulemu- Renacer | 21,70 | 18.04.2016 |

Fuente: MINSAL 2020.

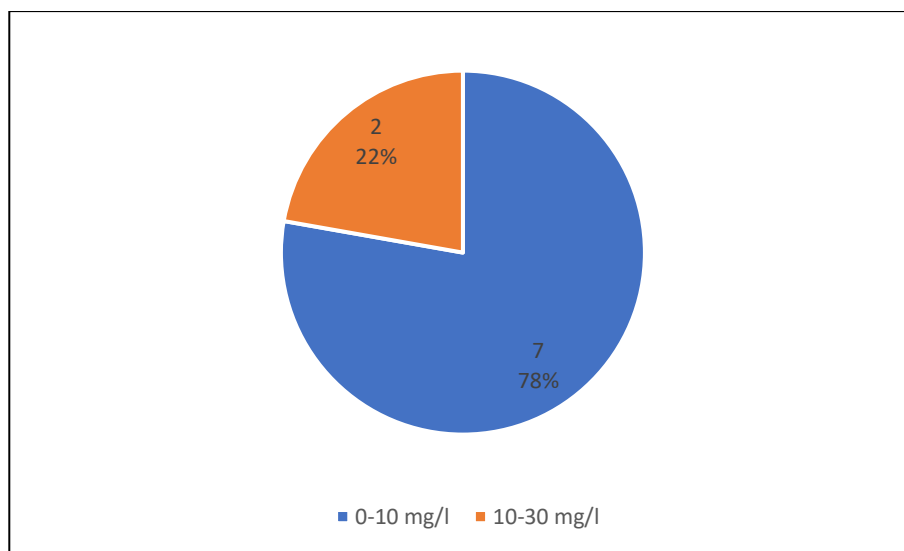


Gráfico N°4. Rango de concentraciones de nitrato en APR de la región del Biobío

Fuente: MINSAL 2020.

A continuación, en la Figura N°2 se presenta la representación de la distribución espacial de las concentraciones de nitrato en el agua de los APR que se obtuvo información en la región de Ñuble y Biobío según la base de datos del Ministerio de Salud.

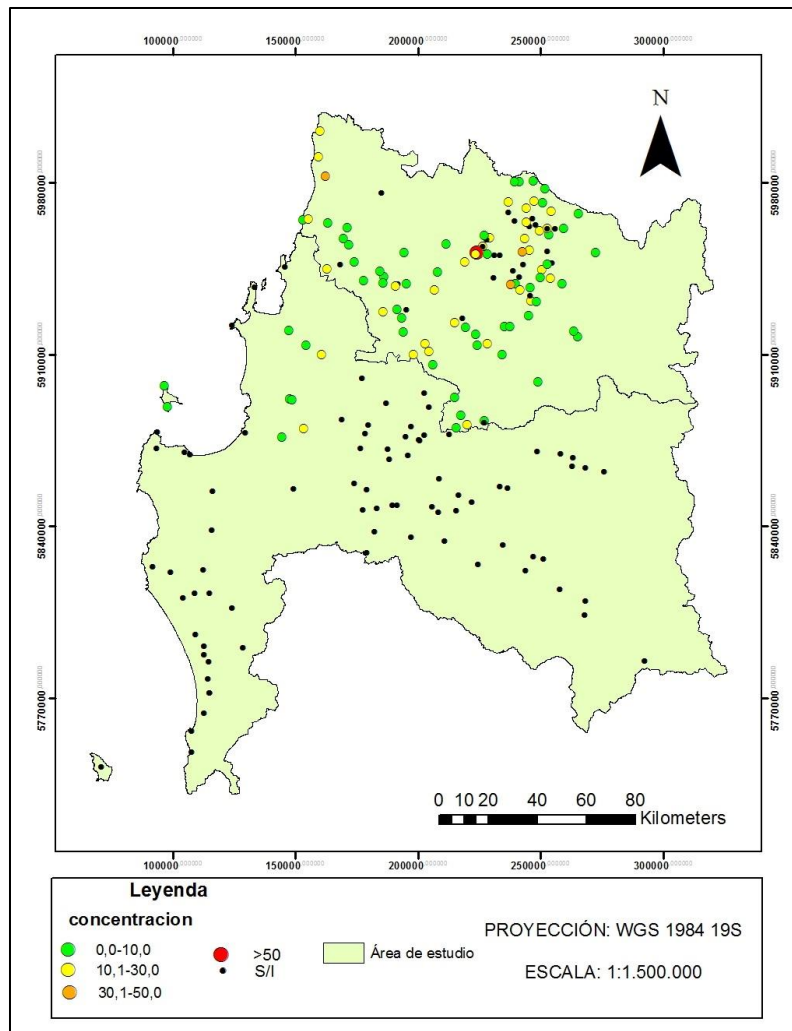


Figura N°2. Concentraciones de nitrato de los APR que se obtuvo información desde el MINSAL para las regiones de Ñuble y Biobío.

Fuente: MINSAL 2020

b) Dirección General de Agua:

En el informe elaborado por la DGA, denominado “Diagnóstico de calidad de aguas subterráneas en APR de la región de Ñuble y Biobío” (DGA, 2018), se recolectó

información que incluyó 103 APR con análisis de nitrato, los cuales se resumen por rango de concentración en el Gráfico N°5.

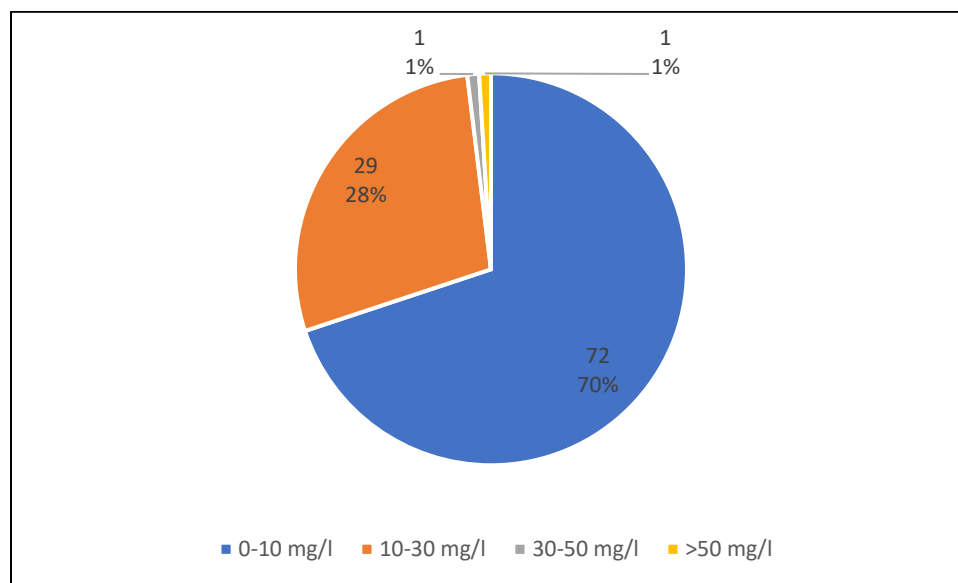


Gráfico N°5. Número de APR por rango de concentración de nitrato

Fuente: DGA 2018

En la región de Ñuble se hicieron mediciones de calidad de agua en 67 APR. A continuación, se presenta en la Tabla N°9, los análisis de nitrato en los APR de la región de Ñuble, las cuales fueron medidos entre agosto y noviembre del año 2018. Donde solo un APR sobrepasó la norma, Puente Ñuble, con 51,86 mg/l de nitrato en el agua. Además, otro APR se encontró con una concentración de nitrato particularmente anómala, muy cercana a la norma, con 49,8 mg/l de nitrato, al cual pertenece al APR Cocharcas pozo 1, ubicado en la comuna de San Carlos.

Tabla N°9. Concentraciones de nitrato en agua de los APR de la región de Ñuble según información obtenida del DGA.

| Provincia | Comuna | APR | Nitrato (mg/l) |
|-----------|----------|-------------------------|----------------|
| Diguillín | Quillón | Villa Tennesse | 0,09 |
| Diguillín | Yungay | Cholguán Norte-Pedregal | 0,11 |
| Diguillín | Pemuco | General Cruz-San Pedro | 0,45 |
| Punilla | Coihueco | El Embalse | 0,95 |
| Punilla | Coihueco | Bajo Los Amigos | 1,25 |
| Diguillín | Yungay | El Roble | 1,32 |
| Diguillín | Chillan | Confluencia | 1,34 |
| Diguillín | Bulnes | Coltón Quillay | 1,38 |

| Provincia | Comuna | APR | Nitrato (mg/l) |
|------------------|---------------|------------------------------------|-----------------------|
| Diguillín | Pemuco | Cartago | 1,4 |
| Diguillín | Chillan | El Emboque | 1,51 |
| Punilla | Coihueco | Culénar | 1,59 |
| Diguillín | San Ignacio | Las Quilas | 1,86 |
| Diguillín | Quillón | Chillancito De Quillón | 2 |
| Punilla | Ñiquén | Colvindo | 2,07 |
| Punilla | Coihueco | Miraflores | 2,26 |
| Diguillín | San Ignacio | Quiriquina | 2,32 |
| Diguillín | San Ignacio | San Miguel | 2,33 |
| Diguillín | Bulnes | Cantarrana | 2,91 |
| Diguillín | Chillan Viejo | Bellavista | 3,21 |
| Punilla | San Carlos | Ninquihue | 3,56 |
| Diguillín | Yungay | Campanario | 3,58 |
| Punilla | San Carlos | Gaona | 3,62 |
| Diguillín | Chillan | Capilla Cox | 3,64 |
| Punilla | Coihueco | Talquipén | 3,96 |
| Punilla | Coihueco | Tanilvoro | 4,65 |
| Itata | Ránquil | Paso Hondo | 4,88 |
| Punilla | Ñiquén | San Jorge-San Roque | 5,31 |
| Itata | Portezuelo | Portezuelo | 5,34 |
| Punilla | Coihueco | Rinconada De Cato | 5,43 |
| Punilla | Coihueco | Bustamante - Niblinto | 5,48 |
| Punilla | Ñiquén | Buli Caserío-Tiuquilemu | 5,67 |
| Punilla | San Nicolas | San Nicolás | 5,93 |
| Punilla | Ñiquén | Zemita | 6,38 |
| Punilla | Coihueco | Tres Esquinas De Cato | 6,6 |
| Punilla | San Carlos | Tres Esquinas De Cachapoal 2 | 7,72 |
| Punilla | San Carlos | Quilelto-Cuadrapangue-Monte Blanco | 8,13 |
| Punilla | San Carlos | Tres Esquinas De Cachapoal 1 | 8,39 |
| Diguillín | Pemuco | Caserío Diguillín | 8,45 |
| Itata | Ránquil | Nueva Aldea | 9,19 |
| Diguillín | Pemuco | San Miguel Alto | 9,27 |
| Diguillín | Bulnes | Tres Esquinas De Bulnes | 9,34 |
| Diguillín | Chillan Viejo | Rucapequén | 9,42 |
| Diguillín | Quillón | Liucura Bajo | 9,5 |
| Diguillín | Chillan | Quinquehua | 9,59 |
| Punilla | Coihueco | Héroes De La Concepción-Roblería | 10,16 |
| Punilla | San Carlos | El Sauce | 10,62 |
| Diguillín | Chillan | Huape | 10,93 |
| Punilla | San Carlos | Mutupín | 11,34 |
| Punilla | Coihueco | Chillinhue | 11,36 |
| Punilla | San Carlos | Cocharcas Pozo 2 | 11,85 |
| Punilla | San Carlos | El Torreón | 11,88 |
| Punilla | Ñiquén | Chacay | 12,13 |
| Punilla | San Carlos | Llahuimávida | 12,5 |
| Punilla | San Carlos | Ribera De Ñuble | 12,98 |
| Punilla | San Carlos | Muticura-Las Encinas | 13,17 |

| Provincia | Comuna | APR | Nitrato (mg/l) |
|-----------|-------------|-----------------------------------|----------------|
| Punilla | Coihueco | Chacayal De Cato | 14,26 |
| Diguillín | San Ignacio | Pueblo Seco | 15,31 |
| Diguillín | Pinto | Manuel Rodríguez-Sol De Diciembre | 16,1 |
| Punilla | Coihueco | Las Mariposas | 16,23 |
| Punilla | San Carlos | Agua Buena | 16,32 |
| Punilla | San Nicolas | Portal De La Luna | 17,54 |
| Diguillín | Quillón | Puerto Coyanco | 19,51 |
| Punilla | Coihueco | Copihual | 20,53 |
| Punilla | San Carlos | Las Arboledas | 27,24 |
| Punilla | Coihueco | Reloca-Santa Raquel | 27,53 |
| Punilla | San Carlos | Cocharcas Pozo 1 | 49,8 |
| Punilla | San Nicolas | Puente Nuble | 51,86 |

Fuente: Informe "Diagnostico de calidad de aguas subterráneas de APR de las regiones de Ñuble y Biobío" elaborado por DGA, 2018

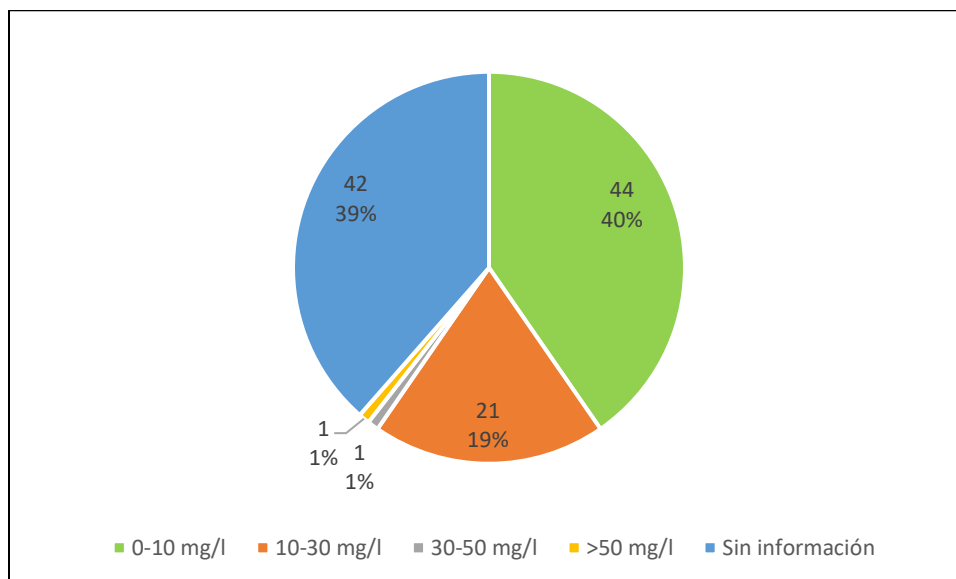


Gráfico N°6. Rangos de concentración de nitrato en agua de los APR de la región de Ñuble según información obtenida del DGA.

Fuente: DGA (2018).

Por otro lado, en la región del Biobío, la DGA realizó mediciones en 36 APR y no se hicieron análisis en 52 APR. De estos, ningún APR presentó concentraciones cercanas a la norma o categorizadas como anómalas.

Tabla N°10 Concentraciones de nitrato en agua de los APR de la región del Biobío según información obtenida del DGA.

| Provincia | Comuna | APR | Nitrato (mg/l) |
|------------------|---------------|-----------------------------------|-----------------------|
| Biobío | Cabrero | El Progreso | 0,28 |
| Arauco | Cañete | Huentelolén | 0,34 |
| Biobío | Los Ángeles | Rarínco-Natre Rarínco-Santa Clara | 0,37 |
| Biobío | Los Ángeles | Millantú | 0,39 |
| Biobío | Yumbel | Cambrales | 0,43 |
| Biobío | Yumbel | Obras De Río Claro | 0,6 |
| Biobío | Yumbel | La Aguada | 0,81 |
| Biobío | Santa Barbara | Los Junquillos | 1,29 |
| Biobío | Yumbel | Puente Tapihue-Misque | 1,29 |
| Biobío | Santa Barbara | El Huachi | 1,53 |
| Biobío | Antuco | Agua Y Sol (Antuco) | 1,7 |
| Biobío | Negrete | Rihue | 1,83 |
| Biobío | Tucapel | Polcura | 1,92 |
| Biobío | Los Ángeles | Los Troncos | 1,94 |
| Biobío | Yumbel | Río Claro | 1,94 |
| Biobío | Quilleco | Canteras-El Gualle | 2,03 |
| Biobío | Tucapel | Trupán | 2,09 |
| Biobío | Los Ángeles | El Peral | 2,14 |
| Biobío | Quilleco | Villa Mercedes | 2,22 |
| Biobío | Los Ángeles | El Álamo | 2,87 |
| Concepción | Santa Juana | La Generala | 4,55 |
| Biobío | Los Ángeles | Salto Del Laja | 4,74 |
| Biobío | Los Ángeles | Santa Fé | 4,93 |
| Biobío | Quilaco | Campamento | 5,26 |
| Biobío | Los Ángeles | Salto Del Laja Oriente | 5,65 |
| Biobío | Los Ángeles | La Montaña | 6,37 |
| Biobío | Yumbel | Cerro Parra | 9,19 |
| Biobío | Quilaco | Rucalhue | 9,51 |
| Arauco | Cañete | Llenquehue | 10,63 |
| Biobío | Los Ángeles | Chacayal Norte-Chacayal Sur | 11,49 |
| Biobío | Cabrero | Charrúa | 11,98 |
| Arauco | Cañete | Lloncao-Paicaví | 12,56 |
| Concepción | Florida | Copiulemu-Renacer | 17,35 |
| Arauco | Cañete | Collico | 17,92 |
| Biobío | Yumbel | Tomeco | 20,55 |
| Biobío | Negrete | Coihue | 25,09 |

Fuente: DGA (2018).

A continuación, en la Figura N°3 se encuentra la representación de la distribución espacial de las concentraciones de nitrato en el agua de los APR de la región de Ñuble y Biobío según el informe “diagnóstico de calidad de aguas subterráneas en APR de las regiones de Ñuble y Biobío” elaborado por la DGA (2018).

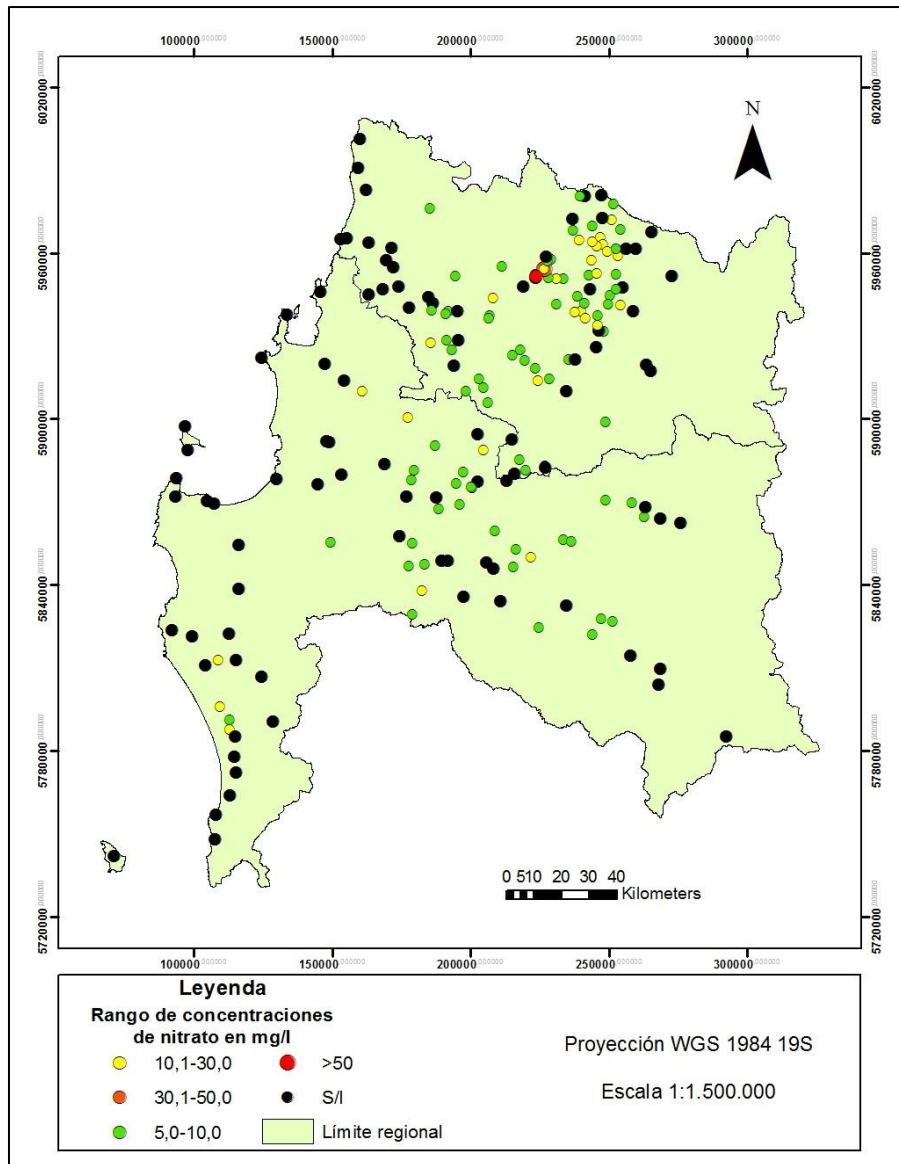


Figura N°3. Distribución espacial de concentración de nitrato en agua de los APR Biobío según información obtenida del DGA.

Fuente: DGA (2018).

10.1.2 Análisis distribución espacial

Para el caso del área de estudio, según los registros del MINSAL, existe una discontinuidad de las mediciones de calidad de agua en los APR, el 91,3 % de los APR que presentaban mediciones de nitrato entre 2016-2019, no cumple con el mínimo de una medición anual. Las mediciones de nitrato en el agua, en Chile, comenzaron a

ejecutarse desde el año 2016, no se encuentran sistematizadas en una base única y de conocimiento público, no existe un registro histórico de los análisis de nitrato en el tiempo, considerando que los APR con la mayor cantidad de mediciones, poseen un máximo de 4 registros. La combinación entre los estos factores anteriormente nombrados, dificulta vislumbrar la evolución de la concentración de nitrato en las fuentes de agua utilizadas por los APRs y por lo tanto es complejo evaluar el riesgo que significa la presencia de nitrato en el agua potable producida por los APR. Debe ser de gran preocupación esta brecha de información que imposibilita determinar si efectivamente existe un riesgo a la salud de las personas que está consumiendo agua potable a partir de estos APRs.

La mayor cantidad de APR se concentra en las provincias Biobío y Punilla, teniendo 55 y 52 APR respectivamente. Para el caso de la provincia del Biobío, para este estudio solo fue disponible las mediciones de calidad de agua realizadas por la DGA, donde el 54%(30 APR) poseen registro de medición de calidad de agua. La distribución de estos es que el 87 % de los datos (26 APR) se encuentran con concentraciones entre 0 y 10 mg/l y el 13% se encuentra con concentraciones entre 10 y 30 mg/l. Por otro lado, en la provincia de Punilla, en la base de datos del MINSAL, se encuentra el 68% de los datos (35 APR) con al menos un registro de la medición de nitrato, de los cuales solo 1 APR sobrepasó la norma, Puente Nuble, con 57,3 mg/L. Respecto a los datos disponibles en el informe de la DGA, los datos se distribuyeron de manera similar, repitiéndose el mismo APR con una concentración sobre la normativa, con 51,3 mg/L y otro APR con una concentración entre los 30-50 mg/L de nitrato, pero esta vez con una concentración muy cercana a la norma, 49,8 mg/l, este fue el APR Cocharcas pozo1.

Aunque no se obtuvo directamente a través de la consulta al MINSAL datos de la provincia del Biobío, la tesis de Ingeniería ambiental de Camila Almuna (2019) contenía informes de calidad de aguas realizados por el MINSAL del APR Tomeco (Almuna, 2019) Específicamente para este APR se observó concentraciones sobre los 40 mg/l en el año 2017

10.1.3 Variación Estacional según la información obtenida.

Respecto a la variación estacional, en la temporada de otoño es donde se presentan las menores concentraciones nitrato en los APR (ver Gráfico N°7) donde se identifica un promedio de 9,3 mg/L de nitrato en el agua. El 76,2% de los APR que poseen su mayor concentración de nitrato en otoño, registran una concentración inferior a 10 mg/L y 4 APR (19%) presentan una concentración entre 10 y 30 mg/l. Existe un APR, que si bien, presenta una concentración elevada por influencia antrópica (DGA,2019), no sobrepasa la norma. Este es el caso del APR Las mariposas, ubicado en la comuna de Coihueco, registrando 31,3 mg/l.

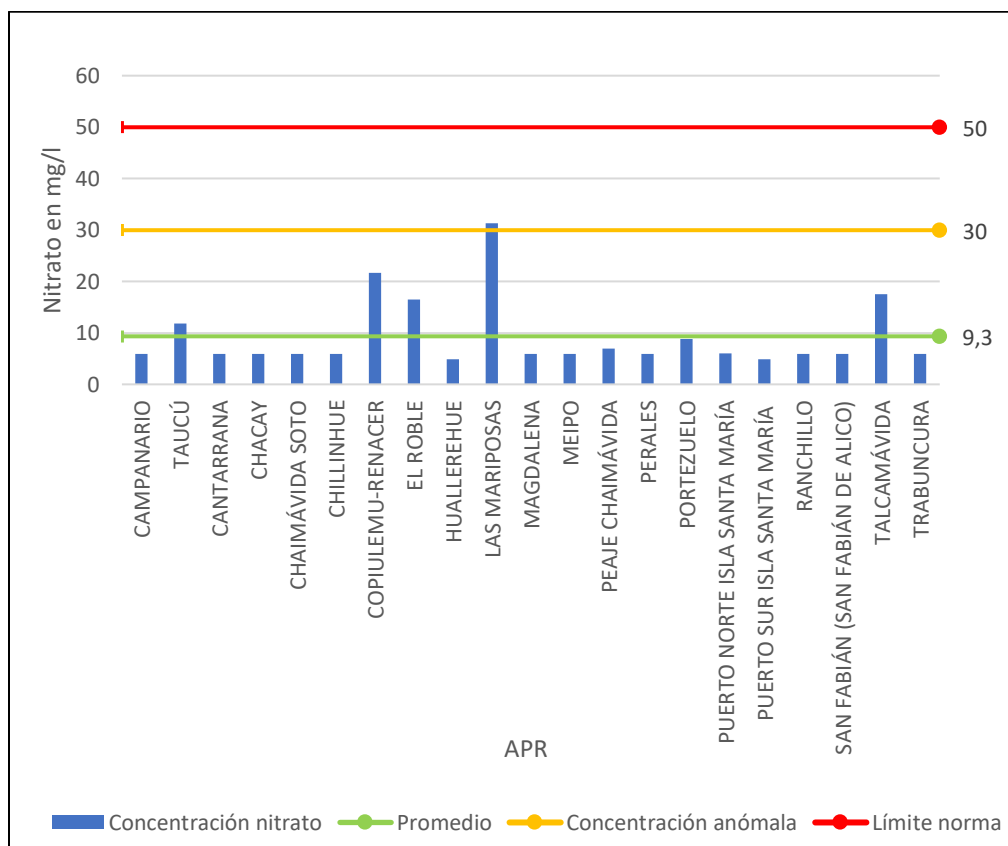


Gráfico N°7. Concentración de nitrato de los análisis realizados entre los meses de marzo y mayo en el periodo 2016 -2019, considerando la información obtenida desde el MINSAL

Fuente: MINSAL 2020.

En la temporada de invierno (Gráfico N°8), en promedio es donde se identificaron las mayores concentraciones de nitrato en el agua. Se ilustra el APR que presentaba una

concentración más elevada de nitrato, este es el caso del APR Puente Ñuble, donde se registraron 57,3 mg/l de nitrato en el agua, el cual se encuentra ubicado en la comuna de San Nicolás. En el resto de los datos, se identifica que 18 APR (58%) registran una concentración inferior a los 10 mg/l y 11 APR (35,5%) presentan concentraciones entre los 10 y 30 mg/l.

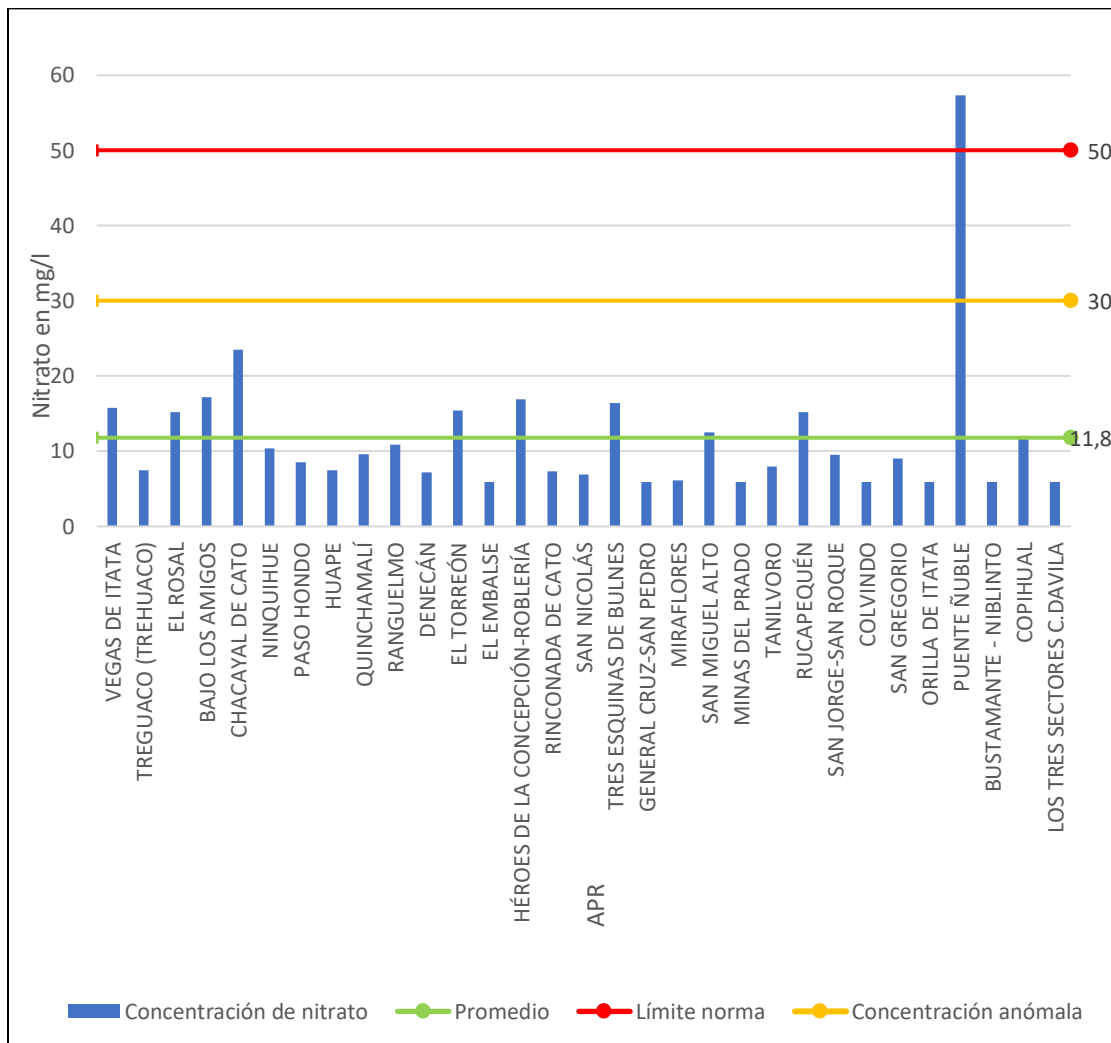


Gráfico N°8. Concentración de nitrato de los análisis realizados entre los meses de junio y agosto en el periodo 2016 -2019, considerando la información obtenida desde el MINSAL

Fuente: MINSAL 2020

En la temporada de primavera (ver Gráfico N°9), existe una similitud en el promedio de las concentraciones que se obtuvo en invierno. En esta temporada no se registró ningún APR que sobrepasara la norma, pero se identificaron 2 APR con concentraciones

anómalas bordeando los 40 mg/L. En el resto de los datos se identifica que 21 de los 37 APR (56,8%), registraron concentraciones de nitrato inferiores a los 10 mg/l y 11 APR (29,7%) registraron concentraciones de nitrato entre los 10 y 30 mg/l.

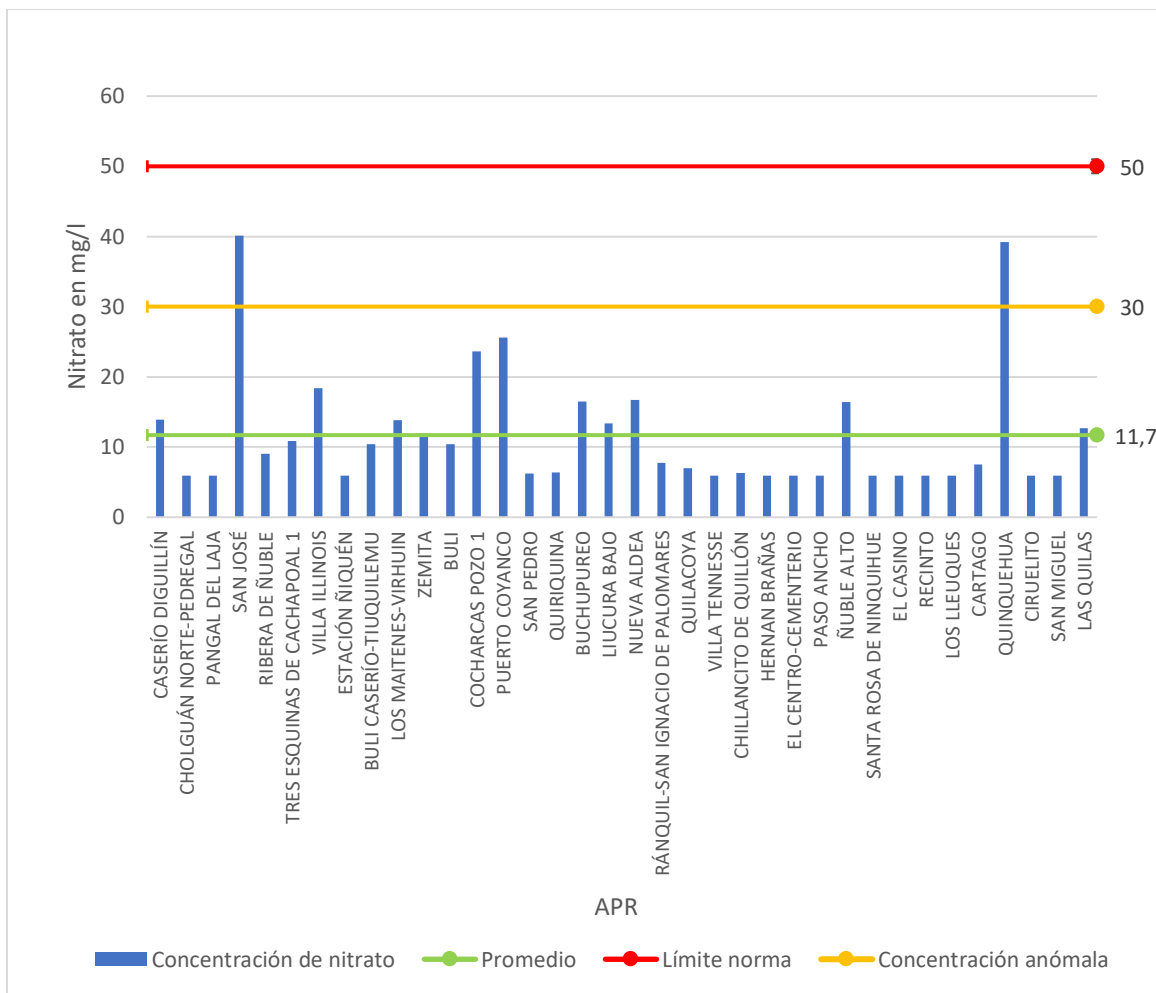


Gráfico N°9. Concentración de nitrato de los análisis realizados entre los meses de septiembre y noviembre en el periodo 2016 -2019, considerando la información obtenida desde el MINSAL

Fuente: MINSAL 2020.

En verano, se obtuvo el promedio de concentraciones más alto con 14,2 mg/l. Además, las mediciones registradas se encuentran muy alejadas en concentración del máximo permitido según la normativa. La concentración máxima registrada es de 17,2 mg/l en el APR Muticura- Las Encinas.

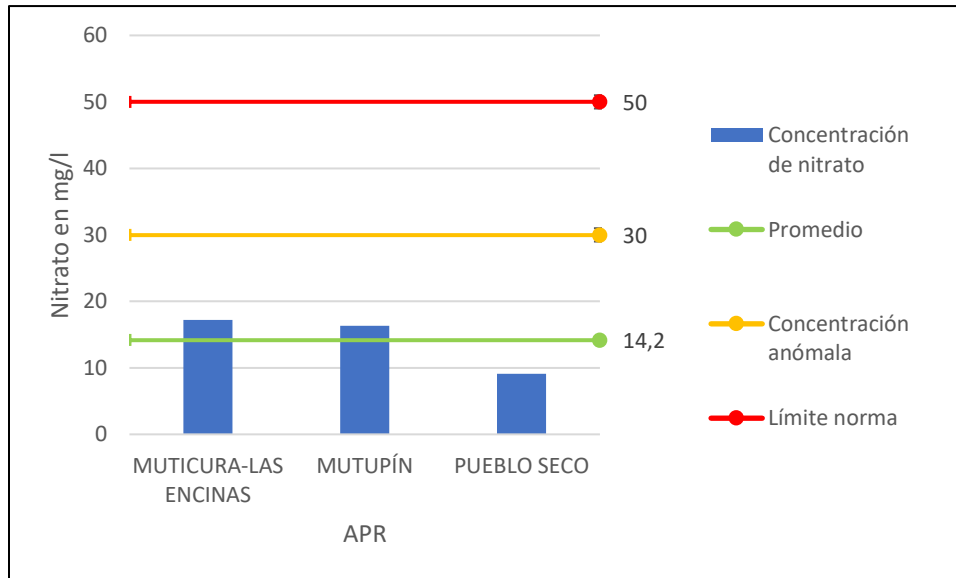


Gráfico N°10. Concentración de nitrato de los análisis realizados entre los meses de diciembre y febrero en el periodo 2016 -2019, considerando la información obtenida desde el MINSAL

Fuente: MINSAL 2020.

10.1.4 Análisis de la variación estacional según la información obtenida.

Al analizar la variación estacional, se identifica claramente un aumento de las concentraciones en invierno. Según la literatura, en invierno se manifiesta un aumento de las concentraciones de nitrato en el agua, debido a que en la temporada de otoño se suelen realizar prácticas de fertilización de cultivos para favorecer su crecimiento. Particularmente, el aumento se evidencia en invierno y permanece hasta primavera, debido al aumento del volumen de la precipitación que favorece las condiciones de lixiviación, como consecuencia, las concentraciones del nitrato aumentan en las napas subterráneas debido a que se facilitan las condiciones de transporte desde la superficie hacia las napas (Pacheco et al.,2003). Esto influye directamente a los APR, ya que el 68% de los APR del área de estudio poseen como fuente de abastecimiento de agua una napa subterránea.

Se identificó que, en primavera, si bien ningún APR sobrepasó la normativa, presentó el mayor promedio de concentraciones de nitrato en sus APR, así como también el mayor número de APRs que registró su mayor concentración en esta estación del año.

Considerando el 19% de los APR solo tenía registro de una medición de nitrato entre 2016-2019, está también fue considerada como su mayor concentración, por lo tanto, no es correcto considerar que es un dato representativo de lo que ocurre en la fuente de captación. Para los APR que registraron entre 2 y 4 mediciones entre 2016-2019 considerando como máximo una medición por año, tampoco es posible estimar la variación que tiene las concentraciones de nitrato en los distintos APR, considerando que la NCh 409/2 no señala que las mediciones anuales deben ser tomadas en una estación del año distinta a la muestra realizada en el año anterior.

10.2 Análisis de los usos de suelo en el área de estudio.

En ambas regiones se identifica que el principal uso de suelo está asociado a los bosques, en la región de Ñuble representan el 49,3 % de la superficie regional y en el Biobío un 64%. Dentro de la categoría de bosques se encuentran plantaciones forestales, bosque nativo y bosque mixto. En detalle, las plantaciones forestales son las que lideran el mayor uso de suelo en el área de estudio con 34% seguido del bosque nativo con 23% y finalmente el bosque mixto con 1,6%.

Respecto al uso de suelo asociado a terrenos agrícolas, ocupa la segunda posición de superficie de suelo en el área de estudio con 715461,29 ha (19,4%). En la región de Ñuble también es el segundo uso de suelo con mayor superficie en la región con 387974,2 Ha, 29,6 de la superficie regional. Por otro lado, en la región del Biobío, los suelos usados como terrenos agrícolas ocupan la tercera posición del uso de suelo con mayor superficie regional, con 327487,09 Ha, lo que representa el 13,78% de la superficie de la región.

La Figura N°4 ilustra los distintos usos de suelo presentes en las regiones Ñuble y Biobío y el Gráfico N°11 resume la proporción de cada una de las superficies de uso de suelo de la totalidad del área de estudio. Además, se realizaron los Gráfico N°12 y Gráfico N°13 con la finalidad de ilustrar la superficie de uso de suelo a nivel regional.

Si bien el principal uso de suelo en ambas regiones es de boques, este no constituye el principal aporte de nitrato hacia las fuentes de agua por la aplicación de fertilizantes debido a que Nisbet et al. (2011) demostró que el impacto que tienen las plantaciones forestales en la contaminación del agua por lixiviación nitrógeno es menor que en los terrenos agrícolas. Para el primer caso, se identifica que la pérdida de media de nitrógeno por lixiviación es entre 0 y 20 kg/ha/año comparado con los cultivos agrícolas donde las pérdidas van desde los 40 a 66 kg/ha/año dependiendo del tipo de cultivo. Aronsson et al. (2000) y Nisbet et al. (2011) señalan que ni aún en la etapa de crecimiento de las plantaciones forestales, que es donde se aplican fertilizantes con mayor frecuencia, existe una alta probabilidad de contaminar las napas subterráneas debido a los bajos valores de lixiviación de nitrógeno (0,221 mg NO₃/l).

Para el caso del uso de suelo de praderas, se suele llevar a cabo actividades productivas de ganadería extensiva, la cual, igual que las anteriores se producen aportes de nitrato al suelo, pero en este caso es por medio de deyecciones, con diversas cantidades de nitrato, dependiendo del tipo de actividad ganadera. A pesar de esto, no existe evidencia de que este tipo de actividad generen grandes aportes de nitrato a las napas subterráneas por sí sola, sino que también depende de las propiedades del suelo. (Fundación entretantos, 2018)

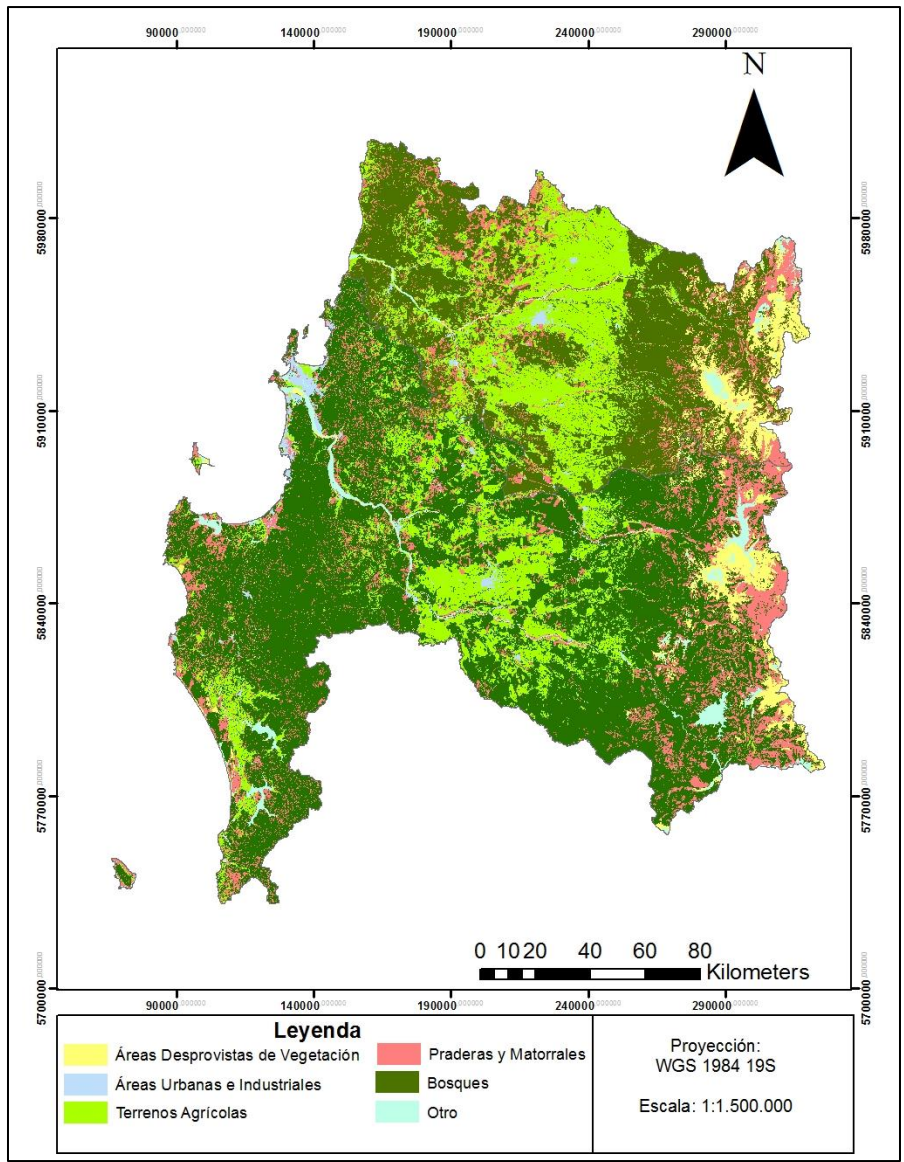


Figura N°4. Uso de suelo en las regiones de Ñuble y Biobío

Fuente: CONAF 2015.

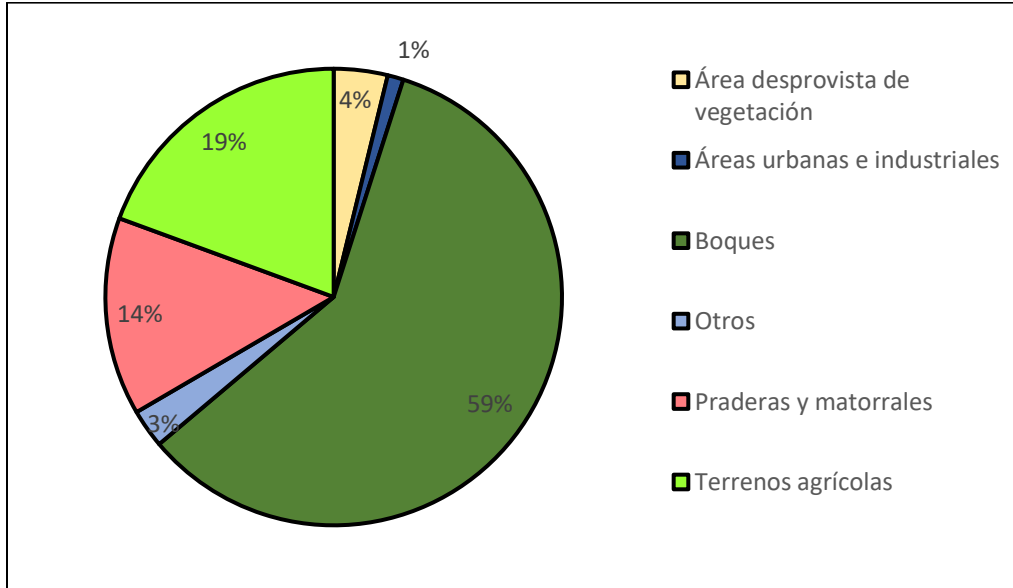


Gráfico N°11. Uso de suelo de las regiones de Ñuble y Biobío

Fuente: CONAF 2015.

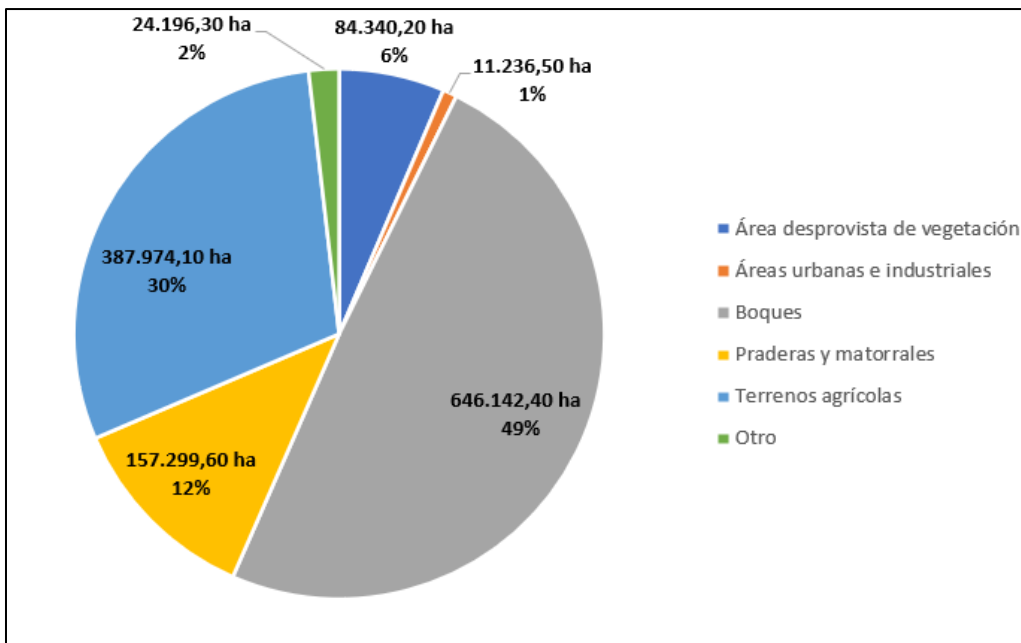


Gráfico N°12. Uso de suelo en la región de Ñuble

Fuente: CONAF 2015.

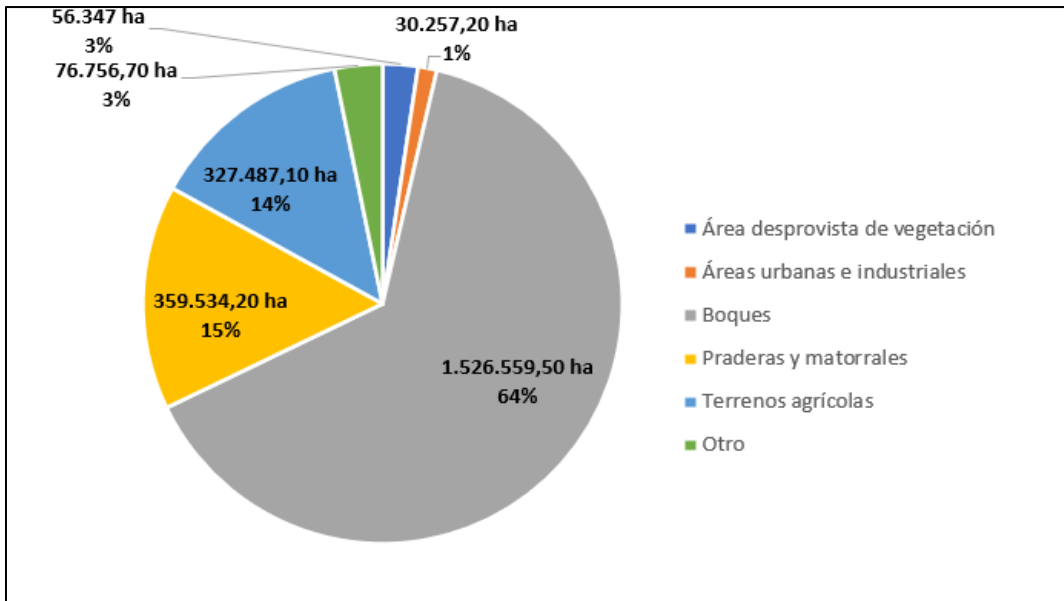


Gráfico N°13. Uso de suelo región del Biobío

Fuente: CONAF 2015

Al determinar el uso de suelo en el cual estaba cada APR se obtuvieron 4 categorías (Gráfico N°14) de las cuales fueron clasificadas según el aporte de nitrato que realizaban al territorio (ver Figura N°4). A partir de esta clasificación.

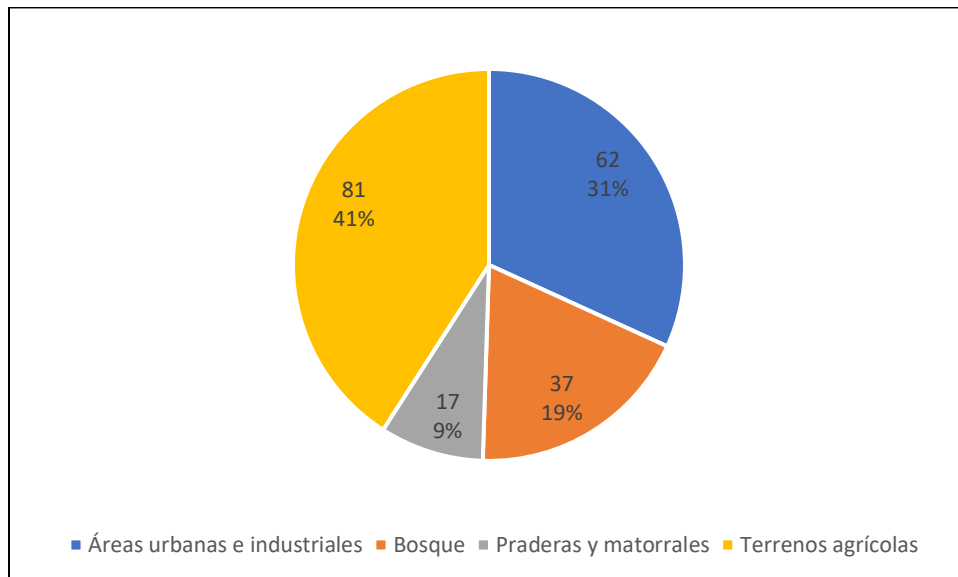


Gráfico N°14. Uso de suelo según ubicación geográfica de APR.

Fuente: Elaboración propia

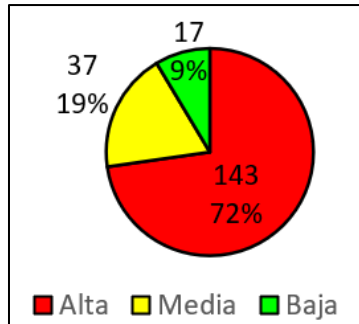


Gráfico N°15. Vulnerabilidad a contaminación por nitrato de las fuentes de agua en estos territorios considerando los usos de suelo según la ubicación de los APRs en la Región del Ñuble y Biobío.

Fuente: Elaboración propia

10.3 Análisis de la Hidrogeología en el área de estudio.

Según el mapa de vulnerabilidad obtenida de Wall et al. 2006, se presentan 8 medidas cualitativas en toda el área de estudio (ver Figura N°5) las cuales provienen de las definiciones de Foster et al. 2002):

- Extrema: vulnerable a gran parte de los contaminantes del agua, con impacto rápido en múltiples escenarios de contaminación.
- Alta: Vulnerable a muchos contaminantes (exceptuando aquellos de transformación rápida o fuertemente absorbidos)
- Moderada: Vulnerable a contaminantes que provienen principalmente de descargas continuos o lixiviados.
- Baja: Vulnerable a contaminante conservativos, en el largo plazo, cuando son de descarga continua.
- Nula: presentan capas confinantes, con ausencia de flujo vertical de agua subterránea.

Considerando la categorización de Foster y la información del mapa de Wall et al (2006) se logró definir tres categorías para el área de estudio (ver Gráfico N°16), donde 109, de los 197 APR (de los cuales se recibió información del MINSAL o se obtuvo del informe del DGA), estaban en zonas de depósitos no consolidados, con una vulnerabilidad alta presentes en la depresión intermedia, terrazas marinas y cajas de río, donde predominan

depósitos no consolidados de origen fluvial. Por un lado, en la depresión intermedia de la provincia del Biobío, se identifica una zona de vulnerabilidad alta asociada a depósitos no consolidados procedentes de depósitos de avalancha volcánica. Al oeste de la ciudad de Los Ángeles, en Nacimiento, muy cercano al límite entre la depresión intermedia y la cordillera de la costa, entre los ríos Laja y Biobío, se observa un área de vulnerabilidad alta por depósitos no consolidados, la cual se encuentra bajo el nombre de área 1 en la Figura N°5. Por otro lado, se observa en toda el área de estudio, zonas de alta vulnerabilidad a lo largo de los cauces y cuerpos de agua por depósitos fluviales. Hacia las desembocaduras de los ríos Biobío e Itata, se identifican depósitos no consolidados asociados a depósitos fluviales y aluviales.

Al sur de la región del Biobío, se observa una extensa área de alta vulnerabilidad, de depósitos no consolidados asociado a depósitos de arena en terrazas marinas, se observa gráficamente en la Figura N°5, bajo el nombre de área 2.

Respecto a las zonas de vulnerabilidad moderada, 71 de los 197 APR considerados se encuentran en esta categoría. En la provincia del Biobío, al este de la ciudad de Cabrero, entre los ríos Itata y Laja (identificada como área 3 en la Figura N°5), se reconocen zonas de vulnerabilidad moderada determinadas por depósitos no consolidados los cuales predominan aguas arriba, hacia la cordillera de los Andes, donde se presentan depósitos no consolidados de origen fluvial. Al oeste de la ciudad de Los Ángeles, se identifican zonas de vulnerabilidad moderada en roca, ubicados en los pies de monte de las quebradas de ríos tributarios precordilleranos.

Hacia el norte del río Ñuble, se identifican abundantes zonas de vulnerabilidad moderada en roca proveniente de afloramientos de los intrusivos presentes en la cordillera de la costa, los cuales presentan una moderada permeabilidad.

Entre las ciudades de Lebu, Los Álamos, Antigualla, Cañete y las cercanías del lago Lanalhue, se encuentran una gran zona de vulnerabilidad moderada en depósitos no consolidados constituidos por limolitas y areniscas. (identificada como área 4 en la Figura N°5)

Por último, 16 de los 197 APR, se encontraron zonas de baja vulnerabilidad, los cuales se ubican en la cordillera de la costa y cordillera de los Andes donde se presentan suelos con mayor impermeabilidad debido a que para el primer caso, la cordillera de la costa está constituido por suelos de roca y para la cordillera de los Andes, por roca volcánica.

Si bien, existen diferentes tipos de vulnerabilidad en el área de estudio, es importante considerar que un acuífero expuesto a un contaminante persistente en el tiempo y difícil de degradar, en el largo plazo igual sufrirá el proceso de contaminación (Wall et al., 2006). Para el caso de los acuíferos con baja vulnerabilidad que resulten ser contaminados, el proceso de remediación es aún más difícil por las características geológicas que presenta, recordando que los sitios de menor vulnerabilidad corresponden a sitios de roca o roca volcánica.

Debido a que las características con las cuales se calcula la vulnerabilidad de los acuíferos son dinámicas y condicionadas por factores climáticos, es que este tipo de mapa debe tener una vigencia de 10 años, por lo tanto, la Figura N°5 que fue el mapa disponible durante este estudio, la vulnerabilidad geológica es solo de carácter indicativo. Para la toma de decisiones es necesario realizar un estudio de suelo a nivel local. Otra razón por la cual esta cartografía solo debe ser de carácter indicativo es que, al ser un mapa de carácter regional y de escala muy pequeña, 1:1.250.000, tiende a omitir detalles en la litología y/o morfología.

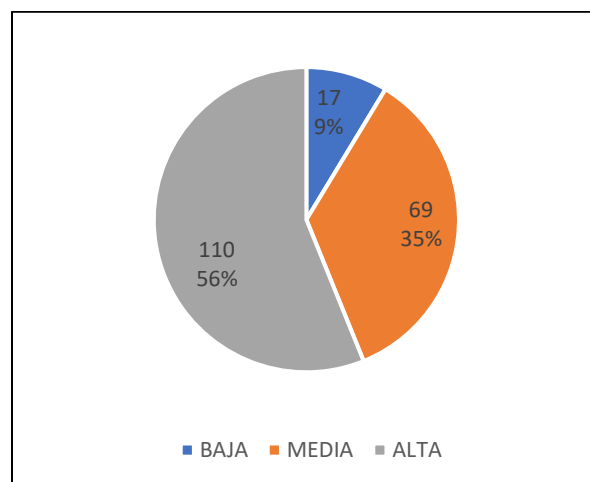


Gráfico N°16. Nivel de vulnerabilidad hidrogeológica por APR.

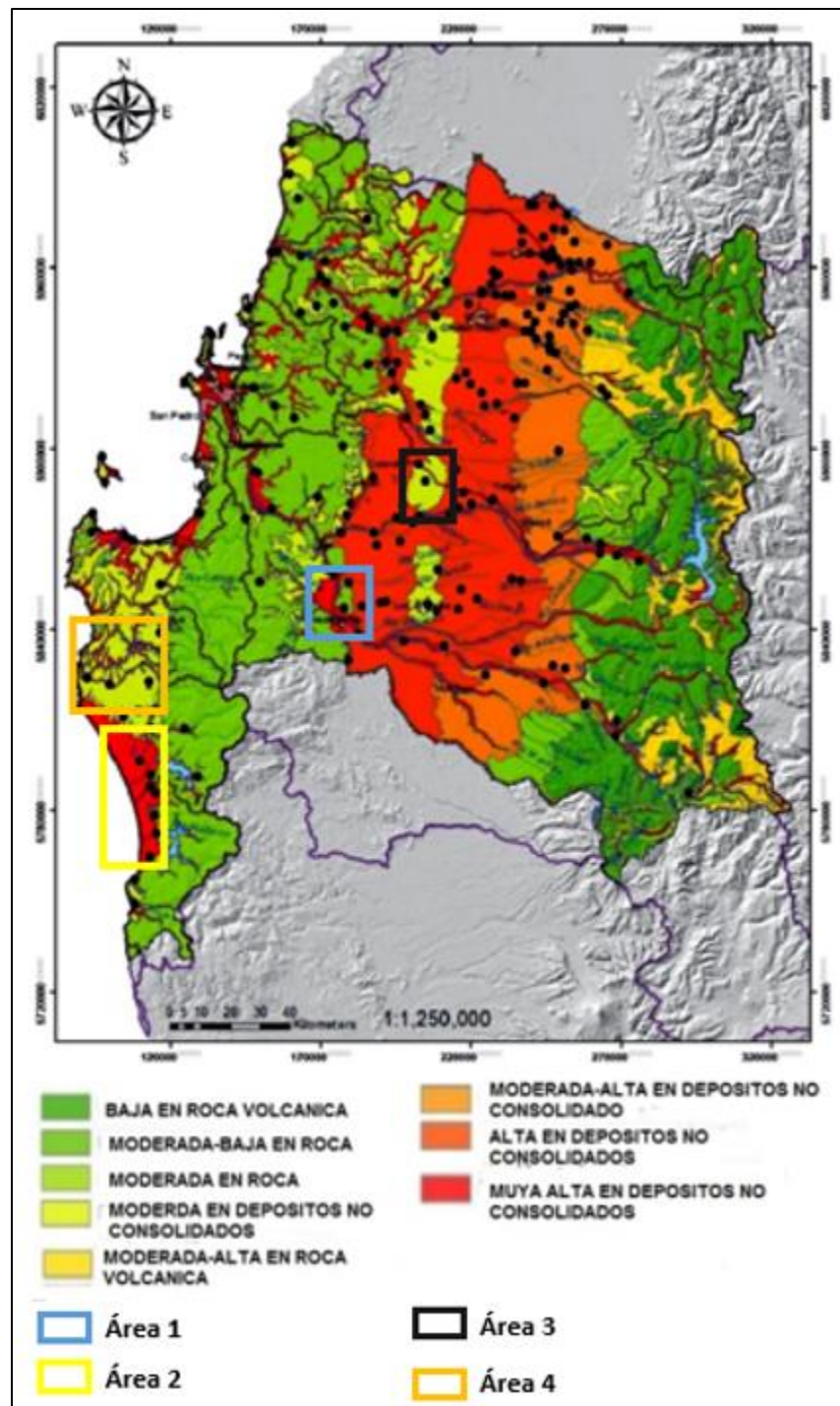


Figura N°5. Mapa de vulnerabilidad hidrogeológica

Fuente: Wall et al. 2006

10.5 Análisis de actividades industriales aportantes de nitrato en el área de estudio.

Se identifica que la actividad industrial que realiza un gran aporte de nitrato hacia los suelo, napas subterráneas y cursos de agua superficial es la ganadería intensiva, esto incluye al sector vacuno, porcino y avícola. La forma en que esta industria contamina es por medio de la generación de purines, los cuales son ricos en nitratos, fosforo, potasio, cobre, zinc además de la contaminación microbiana y son utilizados para la fertilización de suelo por medio del riego o aplicación de abono sólido. Este último, resulta menos contaminante que el líquido debido a que la fracción sólida o semisólida que puede generar un encostramiento superficial lo cual aumenta la impermeabilidad del suelo. (Navarrete,1990).

El aumento en las concentraciones de nitrato y presencia de estreptococos fecales son buenos indicadores de la contaminación generada por la industria ganadera.

En el área de estudio se identificaron 12 industrias ganaderas ver Tabla N°11. Seis de estas son pertenecientes a la región del Biobío y seis son pertenecientes a la región de Ñuble. Once de estas industrias, se encuentran ubicadas geográficamente en la depresión intermedia y una de ellas se encuentra en el límite entre la depresión intermedia y la cordillera de la costa. De ellas, siete (58,3%) son industrias dedicadas a trabajar en la industria porcina, cuatro industrias (33,33%) que están dedicadas a trabajar con vacunos y una industria (8,33%) se dedica a trabajar en el sector avícola. Todas se encuentran operando actualmente (año 2020) según lo dispuesto en sus Declaraciones de Impacto Ambiental.

Tabla N°11. Industrias ganaderas de las regiones de Ñuble y Biobío.

| Region | Comuna | Industria |
|---------------|---------------|---|
| Ñuble | Chillan Viejo | Ampliación Grupo Reproductor De Cerdos Y Sistema De Tratamiento, El Peumo I Y li |
| Biobio | Quilleco | Centro De Precría, Parto, Postparto Y Ternera Fundo Curiche, Agrícola Ancali Ltda |
| Ñuble | San Nicolás | Establecimiento De Un Centro De Multiplicacion Genetico De Cerdos Premium Para Producción De Lechones |
| Biobio | Tucapel | Establecimiento Plantel De Cerdos Monte Verde Bajo |
| Biobio | Yumbel | Innovación Integral De Lechería Y Quesería Lácteos Matthei |
| Biobio | Los Ángeles | Modificación Del Sistema De Compostaje Y Su Aplicación - Agrícola Mollendo S.A. |

| Region | Comuna | Industria |
|--------|---------------|---|
| Ñuble | Chillan Viejo | Nuevo Sitio Destete-Venta Y Sistema De Tratamiento, Sector Rucapequén |
| Ñuble | Ñiquén | Planta Avícola Ñiquén, Avícola El Peumo |
| Ñuble | Coihueco | Plantel De Engorda De Cerdos, Fundo San Guillermo |
| Biobio | Los Ángeles | Plantel De Engorda De Ganado De Agrícola Mollendo S.A. |
| Biobio | Los Ángeles | Plantel Lechero Agrícola Ancali Ltda |
| Ñuble | Ñiquen | Plantel Porcino Agrícola, Ganadera Y Comercial Rio Ñiquen Eirl |

Fuente: SEA 2020.

Para disminuir la contaminación generada por residuos animales es que se optan por diversas medidas de manejo tanto de residuos sólidos como líquidos. Estas fueron agrupadas y presentadas en el Gráfico N°17, donde las industrias que realizan descarga de riles a curso de agua en invierno, realizan un manejo adicional para residuos sólidos donde el manejo es retirado por terceros o en el caso de la planta Nuevo sitio destete-venta y sistema de tratamiento, sector Rucapequén, ubicado en la comuna de Chillán viejo, utiliza el guano de porcino como alimento animal.

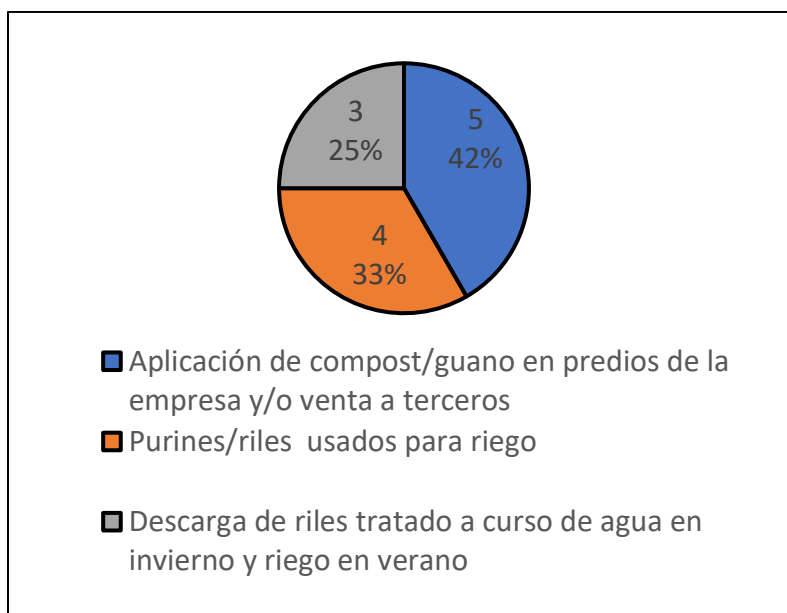


Gráfico N°17. Tipo de manejo de purines/guano de industrias ganaderas identificadas en el presente estudio para el área de estudio.

Fuente: Elaboración propia

A continuación, en la Figura N°6 se muestra la ubicación de las diversas industrias dedicadas a la ganadería ingresadas al SEA en el territorio de estudio en conjunto con las concentraciones de nitrato registrada por cada APR.

Cabe indicar, que para este estudio no se identificaron las actividades agropecuarias menores y/o familiares. El nuevo VIII Censo Agropecuario y Forestal que se llevará a cabo durante el año 2021 será un importante aporte para complementar un análisis de las características de lo realizado en este estudio.

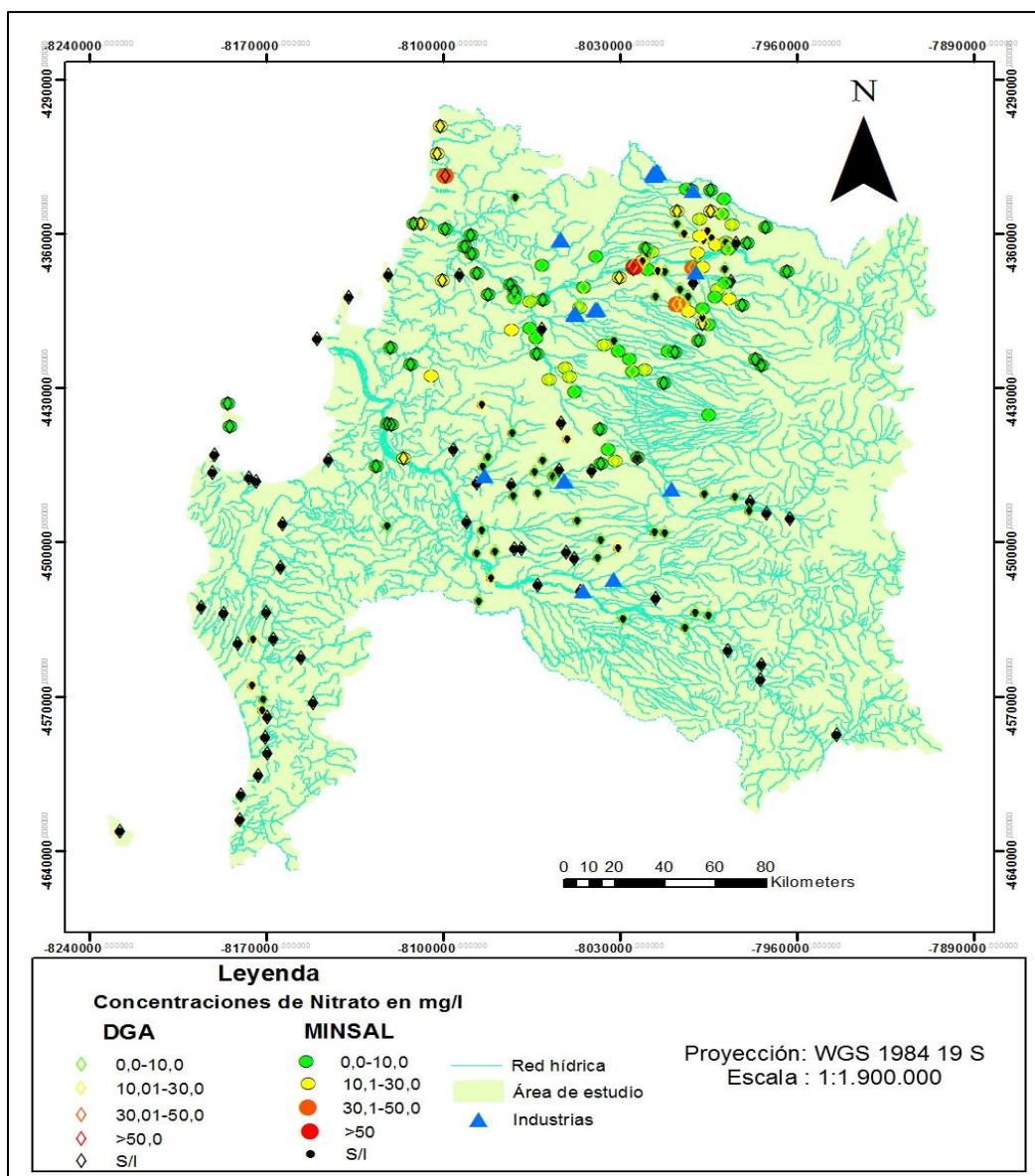


Figura N°6. Mapa de localización de industrias ganaderas de las regiones de Ñuble y Biobío ingresadas al SEA.

10.5 Análisis de las concentraciones de nitrato registradas en los APRs asociado a factores de riesgo.

10.5.1 APR con concentraciones >30 mg/l

Según los informes de calidad de aguas del MINSAL, todos los APR que registraron sus mayores concentraciones de nitrato entre los años 2016-2019 poseían captaciones de aguas subterráneas y pertenecían a la región de Ñuble. Estos fueron los APR Puente Ñuble, Las mariposas, Quinquhua, Cocharas pozo 1 y San José.

El APR Puente Ñuble, ubicado en la comuna de San Nicolás, posee un pozo de profundidad de 25 metros con el espesor de una zona no saturada en el suelo de 4,67 metros. Este fue el APR que registró las mayores concentraciones de todos, las cuales superaban los 50 mg/L tanto en la medición realizada por el MINSAL la primera quincena de septiembre del año 2019 como el registro del informe de la DGA, entre agosto y noviembre del 2018. En cuanto al sistema de tratamiento de aguas servidas, posee una Planta de tratamiento de aguas servidas (PTAS) de lodo activado.

Este APR se encuentra ubicado en una zona de alta vulnerabilidad geológica y en un uso de suelo categorizados como área urbana e industrial, donde las industrias más cercanas de se encuentran a 20 y 25 km aprox. Para el caso de la industria Agrícola y ganadera Chillán viejo, ubicada en la comuna homónima, dedicada al trabajo con porcinos que utiliza el guano procedente de sus actividades como alimento animal y los riles utilizados para riego. Se encuentra localizada a 20 km aproximadamente al sureste del APR Puente Ñuble. En la comuna de Coihueco, 20 km al Este del APR Puente Ñuble se encuentra otro Plantel de engorda de cerdos el cual realiza el siguiente manejo de residuos provenientes de los porcinos. El guano es retirado por terceros para posteriormente ser aplicado como abono en campos frutales. Por otra parte, los riles, provenientes de las actividades de lavado, son tratados y descargados al río catu en la temporada de otoño-invierno y en la época estival, son utilizados para riego de árboles frutales en predios propios y de sectores aledaños. Por último, a 25 Km aproximadamente el noroeste del APR, en la comuna de San Nicolás, se localiza un centro de multiplicación genéticos de

cerdos premium donde el manejo de residuos lo realizan por medios de camas calientes que periódicamente son retiradas y compostadas.

Para el APR Las Mariposas, ubicado en la comuna de Coihueco, posee un pozo con una profundidad de 62 metros y el espesor de la zona no saturada es de 5 metros. Este APR es el que obtuvo la menor concentración de los clasificados con nitrato > a 30 mg/l. La concentración de nitrato en el agua medidas por MINSAL a fines de abril en el año 2017 disminuyó en un 48% respecto a la medición realizada en el informe elaborado por la DGA (de 31,3 mg/l a 16,23 mg/l), donde existe diferencia en la época de toma de muestra. La muestra tomada por el MINSAL fue efectuada a mediados de otoño, mientras que la medición realizada por la DGA, no se especifica la fecha exacta, ya que fue tomada entre invierno y primavera.

En cuanto a la presencia de una PTAS, este APR carece de ella, por lo que las aguas servidas generadas en el sector, podrían impactar en la calidad del agua del mismo APR u otros APR del sector.

Las Mariposas, se encuentra ubicado en una zona categorizada con un uso de suelo de bosques con un nivel de vulnerabilidad media al igual que su vulnerabilidad hidrogeológica.

Respecto a las industrias aledañas al APR, se identifica 13 km al noreste, el plantel de engorda de cerdos en la misma comuna. Por otro lado, se encuentra a 25 km la industria Agrícola y ganadera Chillán viejo.

Para el APR Quinquehua, ubicado en la comuna de Chillán, posee un pozo de profundidad de 63 metros y el espesor de una zona no saturada de 3 metros. Presenta un drástico cambio en la concentración registrada entre el MINSAL, de 39,2 mg/L de nitrato, medido a mediados de primavera en el año 2019, en comparación con 9,6 mg/l medidos por la DGA el año anterior medidos entre agosto y noviembre. Esto representa una disminución de la medición de un 75,5%.

En cuanto a la existencia de una PTAS, carece de la presencia de esta, por lo que las aguas servidas generadas en el sector, podrían impactar en la calidad del agua del mismo APR u otros APR del sector.

La vulnerabilidad asociada a su uso de suelo es alta, por encontrarse en un sitio destinado para uso agrícola. Por otro lado, respecto a la vulnerabilidad hidrogeológica es media.

En cuanto a la presencia de actividades industriales en el territorio, se identifica a 1,6 km al sureste el plantel de engorda de porcinos de la comuna de Coihueco, el cual podría tener alguna relación con la concentración de nitrato registrada en el APR, debido a que la industria utiliza los purines para riego de árboles frutales propios y vecinos en la época de primavera-verano, lo cual coincide con la fecha de toma de muestra en el APR por parte del MINSAL, la cual fue en el mes de octubre. Por otro lado, existe la posibilidad de que la muestra realizada por la DGA, fue tomada en agosto-septiembre en temporada de invierno, donde los purines, previamente tratados, son vertidos en el río Cato, el cual se encuentra 3 km al sur del APR.

Para el APR Cocharcas pozo 1, ubicado a 4,6 km al noreste del APR Puente Ñuble. Posee un pozo de 40 metros de profundidad con el espesor de su zona no saturada de 8,5 metros. Según las mediciones del MINSAL, a mediados de octubre del año 2017 registro una concentración elevada, de 23,7 mg/l de nitrato. Por otro lado, según la medición de la DGA, esta concentración aumentó a más del doble, 49,8 mg/L, lo cual estuvo muy cercano a sobrepasar la normativa. Sin embargo, no es posible describir una posible razón del aumento de concentración, debido a que la muestra fue tomada en una estación del año similar por ambos, MINSAL y DGA

En cuanto a la presencia de una PTAS, el APR cuenta con este tipo de instalación, sin embargo, al no tener información respecto al tipo de tratamiento, no es posible descartar que dicha PTAS producto de su descarga, sea una fuente de nutrientes que pueda contribuir con el aporte de nitrato en la zona.

Respecto a su uso de suelo, categorizado como terrenos agrícolas, con una vulnerabilidad alta y una vulnerabilidad hidrogeológica de igual categoría.

Por último, el APR San José, ubicado en Cobquecura. No existe información disponible acerca de la profundidad de su pozo. En cuanto a las mediciones de nitrato, solo posee registro en los informes de calidad de aguas del MINSAL, con 40 mg/l de nitrato, medido a mediados de octubre de año 2016.

No se identifica la presencia de una PTAS en las instalaciones del APR, en caso de no contar con una solución sanitaria, las aguas servidas generadas en el sector podrían aportar nutrientes que aumenten la concentración de nitrato en el APR u otros APR aledaños.

Respecto a la vulnerabilidad según uso de suelo, es alta, por encontrarse en un área categorizada con un uso agrícola. Por otro lado, la vulnerabilidad hidrogeológica del APR San José, es baja, debido a que se encuentra en sitios de baja permeabilidad debido a su composición rocosa.

Respecto a la presencia de actividades industriales, se identifica que la más cercana es el Centro de multiplicación genético de cerdos de San Nicolás a 43 km al sureste el cual no debería tener influencia en las concentraciones de nitrato del APR debido a la distancia a la que se encuentra el plantel porcino.

10.5.2 APR con concentraciones 10-30 mg/l

Respecto a los APR que presentaron concentraciones entre los 10 y 30 mg/l de nitrato en el agua, se identificó que el 27% (53 APR) se encontraban bajo esta categoría. Los cuales se concentran espacialmente en la provincia de Punilla, con un 49% (26 APR). En cuanto a los APR que presentaban mediciones tanto del MINSAL como de la DGA, se identificó que las mediciones de ambos organismos se mantenían en el mismo rango o inferiores, excepto para el APR Cocharcas pozo 1 que desde el MINSAL se registró una concentración de 23,7 mg/L de nitrato versus 49,8 mg/L medidos por la DGA.

Al norte del área de estudio, en las comunas de Ñiquén y San Carlos, se identifica la presencia de múltiples APR cercanos entre sí que registran concentraciones de nitrato del mismo rango, debido a que comparten el mismo acuífero según el diagnóstico de calidad de aguas subterráneas de la región (DGA,2018).

En cuando a la presencia de PTAS, se identificó que 12 APR contaban con este tipo de instalación. El tratamiento de las aguas servidas por parte de las PTAS podrían contribuir

a una disminución parcial de los nutrientes presentes en las aguas servidas y de esta forma disminuir la carga de nitrato a la fuentes de agua.

En relación a la presencia de actividades industriales cercanas a los APR, se identificó en la comuna de Chillán viejo, el APR Rucapequén, el cual cuenta con 2 industrias cercanas, 2 km al suroeste se encuentra un plantel porcino que utiliza los purines como fertilizante en predios de la empresa y, por otro lado, 5 km al oeste del APR se encuentra otro plantel porcino el cual utiliza los riles provenientes del lavado para riego. Además, en la comuna de Coihueco, se encuentra el Apr Chacayal de Cato el cual también se encuentra a 2,8 km de un plantel porcino.

En relación a los niveles de vulnerabilidad según uso de suelo e hidrogeología de los APR con concentraciones de nitrato entre 10 y 30 mg/L se obtuvo que el 60% de los APR registraron susceptibilidad alta en ambas categorías, 4% registraron susceptibilidad media y el resto de los APR presentaron categorías diferidas.

Al sur del área de estudio, en los APRs cercanos al río Biobío, se identifican múltiples APR sin información en este estudio y otros con concentraciones inferiores a los 10 mg/L. Particularmente, se identifican 2 APR con concentraciones entre los 10-30 mg/L. Uno de ellos, el APR Coigüe, que posee una captación subterránea, ubicado en la comuna de Negrete, a un costado del río Biobío. Debido a la cercanía del río, existe la posibilidad que la captación sea de una napa freática somera la cual sea fuertemente influenciada por el río Biobío. El APR se encuentra en una zona de uso de suelo clasificada para terrenos agrícolas, por ende, la aplicación de fertilizantes podría estar afectando a la calidad de su agua, así como también la presencia de la ciudad de Negrete 6 km aguas arriba aproximadamente por la descarga de aguas servidas en el río Biobío. Por otro lado, a 37 km aproximadamente aguas arriba, se encuentra un plantel lechero, debido a la lejanía, no se consideró que tuviera una influencia relevante en la concentración de nitrato del APR Coigüe, por la capacidad de dilución que posee el río Biobío, sumado a que la distancia que existe entre el plantel y el APR donde se presentan diversos tributarios del río Biobío lo que incrementaría aún más su capacidad de dilución. El otro APR es Talcamávida, ubicado en la comuna de Hualqui, el cual igual posee una captación subterránea que debido a la cercanía del río, podría ser una napa freática somera donde

el río le proporcione propiedad físico-química similares a la napa. Respecto a las actividades antrópicas, no existe presencia de algún centro urbano cercano aguas arriba, pero existe actividad agrícola a su alrededor lo que podría estar afectando a las concentraciones de nitrato del APR.

10.5.3 APR con concentraciones <10 mg/L

Por último, 109 de 197 APR registraron concentraciones de nitrato inferiores a los 10 mg/L en al menos un registro de las mediciones de MINSAL o DGA. De estos, 39 APR presentaron registros desde ambos organismos, donde el 50% poseía mediciones de concentración de nitrato en el rango 10-30 mg/L desde el MINSAL contrastado con la medición desde la DGA con concentraciones inferiores a los 10 mg/L donde existía diferencia en la fecha de toma de muestra. A pesar de esta diferencia de mediciones, las concentraciones no alcanzaron valores anómalos según la DGA, a excepción del APR Quinquihua que registró 39,2 mg/L de nitrato en el agua desde el MINSAL versus 9,6 mg/L de nitrato registrados por la DGA.

Se identificó que el 23% de los APR con al menos una medición de nitrato inferior a los 10 mg/l poseía este tipo de instalación.

En relación a los niveles de vulnerabilidad, se obtuvo que el 42% de los APR se localizaban en zonas con vulnerabilidad alta tanto por su uso de suelo como por sus características hidrogeológicas. 5% registraron vulnerabilidad media en ambas categorías y solo 1 APR, Huallerehue, ubicado en Santa Juana, registró vulnerabilidad baja en ambas categorías. El resto de los APR presentaron categorías diferidas de vulnerabilidad entre el uso de suelo e hidrogeológica.

10.6 **Análisis de variables del modelo de evaluación de riesgos en salud de la EPA**

El siguiente análisis se realizó bajo el supuesto que las personas ingerían agua de una única fuente, la cual correspondía a su APR.

Considerando que las variables de ingesta diaria de agua, frecuencia de exposición, duración de la exposición, peso corporal y tiempos para compuesto no cancerígenos se mantienen constantes y solo se modifica la concentración de nitrato en el agua, se identifica a una concentración de nitrato de 20 mg/L en el agua que se mantenga constante en un año, es la concentración mínima para que comiencen a aparecer por lo menos un grupo etario, infantes menores de un año, con riesgos significativo de padecer metahemoglobinemia (HQ=1). En el caso de los niños entre 6 y 12 años, se requiere una concentración promedio de nitrato anual de 21,5 mg/L, un 7,5% más que la concentración de nitrato del grupo anterior, para presentar un riesgo significativo. Por lo tanto, a la concentración de 21,1 mg/L, infantes y niños estarían en un riesgo significativo de padecer metahemoglobinemia con valores de HQ de 1,1 y 1 respectivamente. En cuanto al último grupo etario, los adultos, mayores de 19 años, son los menos susceptibles a la diferencia de concentración de nitrato en el agua, ya que requerirían una concentración de nitrato de 56 mg/L en el agua para decir que se encuentran expuestos a un riesgo significativo en su salud. Lo que, en teoría, no debería ocurrir porque se estaría infringiendo el DS735 donde se estipula que la concentración máxima de nitrato en el agua para consumo humano debe ser de 50 mg/L. Esto difiere de la realidad, ya que las concentraciones de nitrato no se mantienen constantes a lo largo del año y podrían existir lugares con altas presiones antrópicas sobre sus fuentes de agua que registren en una temporada de año concentraciones iguales o superiores a las antes mencionadas, donde toda la población estaría en un riesgo significativo con valores de HQ para infantes, niños y adultos de 2,8; 2,6; y 1 respectivamente.

Respecto al consumo de agua, se identifica que, en los bebés lactante se presentan las mayores variaciones en cuanto al contenido de nitrato aportado. Para el caso de los bebes lactantes que son alimentados con leche en polvo disuelta con agua de pozo, presentan mayor riesgo de padecer metahemoglobinemia debido a que previamente el agua es hervida, donde se produce una concentración de los niveles de nitrato (De Fernícola, 1989). Por otro lado, existe evidencia de que los bebés lactantes que son alimentados con leche materna, presentan una protección al infante de padecer metahemoglobinemia, a pesar de que la madre ingiera cantidad grandes de nitrato. Esto

se debe a que los nitratos no aumentan significativamente en la leche materna. (European Food Safety Authority, 2008; Martínez et al,2013).

En cuanto al peso y su relación con el consumo de agua, se establece que los infantes son el grupo más susceptible debido a que la ingesta de líquidos es tres veces mayor que en adultos en relación a su peso corporal (De Fernícola, 1989).

10.6.1 Estimación del riesgo

De los 92 APR que presentaron registro de concentración de nitrato según el MINSAL, el 91% de estos presentaron una concentración inferior a los 18,4 mg/L por lo que ningún grupo etario estaría expuesto a un riesgo significativo de padecer metahemoglobinemia por ingerir agua de sus APR, donde los rangos de HQ de los distintos grupos etario son los siguientes: infantes (0,24-0,93), niños (0,23-0,87) y adultos (0,09-0,33).

Por otro lado, los APR Quinquhua, San José, Chacayal de Cato, Las Mariposas, Copiulemu-Renacer, Puerto Coyanco, Cocharcas pozo 1, Puente Ñuble, representan el 9% de los APR con concentraciones de nitrato superiores a los 21,5 mg/L donde comienzan a presentarse APR expuestos a un riesgo significativo de padecer de metahemoglobinemia ($HQ > 1$). Los rangos de HQ según los grupos etarios son los siguientes: infantes (1,09-2,87), niños (1,02-2,68), adultos (0,39-1,02). Donde los valores mínimos se registran en el APR Copiulemu-Renacer y los valores máximos en el APR Puente Ñuble, donde toda la población se encuentra en riesgo de padecer metahemoglobinemia (concentraciones sobre los 50 mg/l).

11.Discusión

La contaminación química en el agua suele pasar inadvertida hasta provocar consecuencias en la salud de la población en exposiciones prolongadas. Si bien, la gravedad de los efectos dependerá de la naturaleza de la sustancia, concentración y tiempo de exposición. El nitrato es la excepción cuando a altas concentraciones es capaz de presentar efectos agudos en la salud de la población (OMS, 2011). Debido a esto es de vital importancia contar como mínimo lo que estipula el marco legal vigente y las sugerencias de los organismos competentes que deben determinar la

frecuencia de monitoreo en función de las características de la fuente. . Específicamente la NCh409/2 (2004), Norma Muestreo del Agua Potable, indica que para determina parámetros de tipo II se requiere como mínimo el número anual de dos muestras para fuente superficial, una muestra para fuente subterránea y 2 muestras para fuentes mixtas (superficial y subterránea). Aunque los APRs no debe preocuparse de seguir a esta norma, si es importante considerarla como referencia. Al comparar con los resultados obtenidos entre 2016-2019, se identifica que el 91,3% de los APR no cumplen con lo estipulado en esta norma de agua potable. Esto dificulta la evaluación de la tendencia de las concentraciones de nitrato en el tiempo además de dejar en desconocimiento el riesgo a la salud de las comunidades que se abastecen de estos APR.

Si bien, La NCh 409/2 dictamina una frecuencia de muestras dependiendo de la fuente es necesario aumentar la frecuencia de mediciones para aguas subterráneas para conocer el comportamiento de las concentraciones nitrato a nivel estacional e identificar su variabilidad a lo largo del año. Según la literatura, las mayores concentraciones de nitrato en aguas subterráneas se manifiestan en invierno debido a que en la estación previa se realiza la fertilización de los cultivos y en la época invernal, debido al aumento de precipitación, se favorecen las condiciones de lixiviación para que los fertilizantes nitrogenados puedan ser transportados desde la superficie hasta las napas subterráneas (Pacheco et al, 2003). A pesar de esto, existe evidencia de estudios que presentan una tendencia inversa, registrando las mayores concentraciones de nitrato en aguas subterráneas en verano (Rodríguez et al., 2016), esto se debe principalmente a las características hidrogeológicas del territorio, donde se encuentran variables como el nivel piezométrico de la napa y la litología.

Para las aguas superficiales, existe la tendencia de un aumento de las concentraciones de nitrato en la época estival, por un proceso de concentración por disminución de caudal (Akindele et al., 2013; Awoyemi et al., 2014; Khound et al., 2012; Mustapha et al., 2012) aunque también existen estudios que presentan una relación inversa en sus concentraciones. (Raji et al, 2015) o incluso, que no existen diferencias significativas de la concentración de nitrato en aguas superficiales.

den este estudio, se evidenció que las mayores concentraciones de los APR estuvieron en invierno-primavera donde mayoritariamente los APR poseían captaciones subterráneas. Pero no fue posible determinar el comportamiento de las concentraciones de nitrato estacionalmente o evolución de esta en un periodo de tiempo más largo debido a la escasez de datos.

En cuanto al uso de suelo, se identifica que, en el área de estudio, el 41% de los APR se encuentra localizado en un área destinada para terreno agrícola. Donde la agricultura es una de las principales fuentes de contaminación de aguas por nitrato por la excesiva aplicación de fertilizantes nitrogenados donde se generan pérdidas de nitratos por lixiviación y por volatilización. Debido a esto, es que contar con cultivos agrícolas sostenible y eficientes es de vital importancia.

Para esto es necesario promover un modelo de agricultura sostenible, como la agricultura de conservación la cual promueve beneficios a nivel mundial, local y regional. Uno de estos beneficios es el mejoramiento de suelo, aumentando la infiltración, lo cual a su vez disminuye la escorrentía superficial, por ende, también disminuye la posibilidad de que curso de aguas superficiales sean contaminados con fertilizantes.

Según Verhulst et al. 2014 el manejo de los fertilizantes nitrogenados se basa en cuatro pilares: cantidad, tipo, momento de aplicación y método de aplicación. Para el primer pilar, la dosis de aplicación estará asociada al potencial de productividad del suelo y la existencia de cultivos previos en la misma área. Lo cual no solo tiene impacto en reducir la cantidad de los fertilizantes, sino que también en aumentar la productividad de cultivos por hacerlos menos susceptibles a plagas. Para elegir el tipo de fertilizante a utilizar, se debe evaluar tanto el contenido de nitrógeno en el suelo como condiciones de suelo de pH y humedad. Para posteriormente optar por fertilizantes nitrogenados de acción controlada con ayuda de un recubrimiento físico del suelo que permita la entrega de nutrientes según las condiciones de humedad y temperatura del suelo o con la aplicación de fertilizantes sólidos, poco solubles, de acción retardada debido a que requieren una transformación bioquímica para llegar a su forma más soluble (Andreu et al., 2006). Respecto al momento de aplicación, se señala que el mejor momento es en el periodo

de máxima demanda de nitrógeno del cultivo para evitar excedente. Por último, el método de aplicación asociado a la tecnificación del riego. (Verhulst et al., 2014).

Si bien, en el párrafo anterior se plantea aumentar la eficiencia del uso de fertilizantes nitrogenados. Desde el Instituto de investigaciones agropecuarias aborda la problemática desde una agricultura orgánica, donde la región de Ñuble es líder en esta temática. Para esto se propone incrementar la fertilidad del suelo a través de la incorporación de materia orgánica, sincronizar los cultivos de rotación, establecer cubiertas de suelo, incorporar leguminosas en rotación, eliminar quemas en el sistema productivo y realizar diagnóstico nutricional del suelo. (González, 2020)

Finalmente, se resume que todas estas consideraciones son en beneficios de conseguir que la mayor parte del nitrógeno en el suelo y el aportado, sea aprovechado por los cultivos y como consecuencia, se obtenga el beneficio de la disminución de la infiltración y escorrentía a fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano y así mantener un control en los niveles de nitrato en el agua, disminuyendo la susceptibilidad de la población de padecer metahemoglobinemia.

Respecto a las actividades de ganadería intensiva y su aporte de fertilizantes orgánicos provenientes de desechos animales, generan un gran aumento en la cantidad de nitrógeno aportado, sobre todo en los purines de cerdo por su alto contenido de nitrógeno. (INIA,2005). Para la industria, tratar los purines para cumplir la normativa ambiental significa un costo, el cual es compensado utilizando los mismos purines para riego en predios propios de la empresa o vendiéndolos a terceros (Andreu et al., 2006) lo que genera una estrecha relación entre la ganadería y la agricultura. Por otro lado, esto genera un problema en la regulación de las dosis de aplicación y la ubicación de los predios de donde se aplican (en el caso de las ventas), provocando un aumento en las fuentes de contaminación difusa de nitrato.

Determinar el alcance de las fuentes de contaminación difusa asociadas a la industria ganadera resulta complejo, debido a que no se cuenta con registros sobre la localización de los predios donde se aplican los fertilizantes orgánicos comercializados a terceros, como también se desconoce su forma de aplicación. Lo cual puede tener un impacto

directo en las concentraciones de nitrato en los cursos de agua que potencialmente sean fuentes de abastecimiento de agua de comunidades rurales, pudiendo afectar a su salud.

Las actividades productivas realizadas en el territorio juegan un rol fundamental en cómo afecta las concentraciones de nitrato en la salud de la población. Por un lado, pudiendo presentar efectos agudos con concentraciones que superen la normativa nacional o en concentraciones muy inferiores, pero en periodos de tiempo largos. Esto, sumado a las características que presenta la población respecto a enfermedades crónicas y patrones de alimentación.

En cuanto a la vulnerabilidad del territorio, si bien, se utilizó una cartografía regional vigente entre 2006-2016 por el método BGR. Existen diversos métodos para identificar la vulnerabilidad intrínseca en el territorio como: DRASTIC, GOD, SINTACS y EPIK. Los cuales utilizan variables como profundidad del nivel freático, litología, espesor de zona no saturada, tipo de suelo y recarga. Pero ninguno considera las características propias del contaminante como movilidad, solubilidad y persistencia. Para el caso del nitrato, esto provoca que algunas variables pierdan consistencia (Auge, 2004), por lo que es necesario complementar o implementar otro método para resguardar el agua subterránea de la contaminación por nitrato. Una alternativa a esto, es definir zonas vulnerables a la contaminación de nitrato, como lo ha realizado España las cuales son superficies del territorio cuya escorrentía o infiltración afecte o pueda afectar a cuerpos de agua tanto superficiales como subterráneos. Las medidas aplicadas a las zonas vulnerables a la contaminación por nitrato, están asociadas a llevar a cabo un código de buenas prácticas agrarias y ganaderas además de realizar monitoreo y seguimiento de la calidad de aguas en estos sitios. Por lo tanto, la identificación de zonas vulnerables a la contaminación de nitrato necesariamente debe estar acompañada de la implementación de medidas regulatorias (Consejería de agricultura y agua, s/f)

Respecto a la susceptibilidad de padecer metahemoglobinemia, si bien para el estudio solo se consideró en el análisis las variables del modelo de evaluación de riesgos en salud para contaminante no cancerígenos de la EPA, considerando como única fuente de exposición al nitrato el agua para consumo humano de sus APR, es necesario tomar en cuenta que existen personas más susceptibles por diversas patologías como anemia,

insuficiencia cardiaca, enfermedades pulmonares y obesidad mórbidas las cuales toleran una menor concentración de metahemoglobina en la sangre. Entre 3 y 15% de metahemoglobina en la sangre se pueden presentar síntomas leves que van desde la palidez grisácea en pacientes con piel clara o dificultades para respirar hasta concentraciones sobre el 70% donde se producen colapsos cardiovasculares o muerte. (Pérez et al., 2018)

De lo anterior, sumado a otros factores que aumentan las concentraciones de nitrato diario ingerido por medio de hábitos alimenticios basados en consumo de carnes, embutidos y vegetales ricos en nitrato, es que pueden presentarse personas con metahemoglobinemia expuestas a agua con concentraciones de nitrato muy inferiores a lo permitido por la norma. Así como también, presentar efectos crónicos en exposiciones inferiores a la norma, pero en periodo largos de tiempo. Se desprende la necesidad de establecer medidas más estrictas en el territorio para mantener las concentraciones de nitrato en las fuentes de agua lo más bajo posible, para resguardar su salud.

En cuanto a las patologías crónicas identificadas en la literatura que podrían estar relacionadas con la exposición a niveles de nitrato inferiores a la norma, pero en periodos largos de tiempo, se presentaban afecciones a la tiroides o cáncer a algunos órganos digestivo. Respecto al territorio, según la plataforma del DEIS (Departamento de estadística e información de salud), en sus egresos hospitalario entre los años 2016 y 2019 (datos disponibles en la plataforma), no existe una gran diferencia entre los valores de las comunas donde se encontraban los APR con mayores concentraciones de nitrato comparado con lo registrado a nivel regional y nacional en ambos tipos de egresos hospitalarios. (Ver Tabla N°12 y Tabla N°13) por lo no es posible plantear alguna relación entre las patologías presentadas y la concentración de nitrato en los APR que presentaron concentraciones de nitrato más elevadas. Teniendo en cuenta las distintas limitaciones en esta observación como tener insuficientes datos de concentración de nitrato en el agua, sólo datos generales del DEIS y que las patologías dependen de muchos factores para su desarrollo.

Tabla N°12. Porcentaje de egresos de egresos hospitalarios por tumor maligno de los órganos digestivos

| Comuna/región/país | Año 2016 | Año 2017 | Año 2018 | Año 2019 |
|---------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Coihueco | 0,84% | 1,46% | 1,70% | 1,56% |
| San Carlos | 0,81% | 1,05 | 1,34% | 1,37% |
| San Nicolás | 1,58% | 0,91% | 0,80% | 0,93% |
| Chillán | 1,28% | 1,45% | 1,22% | 1,41% |
| Cobquecura | 1,22% | 2,00% | 2,65% | 1,76% |
| Región Ñuble | 1,15% | 1,29% | 1,34% | 1,42% |
| Región Biobío | 1,09% | 1,14% | 1,19% | 1,20% |
| Nacional | 1,33% | 1,29% | 1,29% | 1,38% |

Fuente: DEIS 2020.

Tabla N°13. Egresos hospitalarios por afección a la glándula tiroides.

| Comuna/región/país | Año 2016 | Año 2017 | Año 2018 | Año 2019 |
|---------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Coihueco | 0,18% | 0,24% | 0,12% | 0% |
| San Carlos | 0,38% | 0,16% | 0,05% | 0,07% |
| San Nicolás | 0,12% | 0,52% | 0,23% | 0,11% |
| Chillán | 0,27% | 0,28% | 0,27% | 0,23% |
| Cobquecura | 0,20% | 0% | 0,29% | 0,75% |
| Región Ñuble | 0,22% | 0,22% | 0,20% | 0,22% |
| Región Biobío | 0,23% | 0,23% | 0,23% | 0,22% |
| Nacional | 0,24% | 0,23% | 0,22% | 0,20% |

Fuente: DEIS 2020.

La instalación de un sistema de remoción de nitrato en el agua en los APR que presentaron concentraciones más elevadas es necesario para resguardar la salud de la población. Según el estudio de soluciones sanitarias para el sector rural, se indicó que las tecnologías más apropiadas para la remoción de nitrato eran el proceso de membranas de osmosis y el intercambio iónico. Ambas son tecnologías relativamente nuevas que no se han implementado en el sector rural y poseen una eficiencia entre el 90 y 100%. Donde el intercambio iónico con resinas presenta ciertas ventajas sobre el sistema de membranas de osmosis inversa, que hacen un sistema más apropiado para instalarse en el sector rural como: requerir un operador con menor nivel técnico, consumir menos energía y requerir menos mantención debido al menor número de equipos que utiliza (SUBDERE, 2018).

Se reconoce que este estudio es de carácter preliminar que tiene como finalidad visibilizar la problemática del nitrato en los APRs del área de estudio y que existen varias brechas de información. En este que se utilizaron fuentes de información de diversos años las cuales no eran comparables debido a sus años de actualización y una cartografía de vulnerabilidad de contaminación de acuíferos de escala regional, que debido a una escala muy grande generó pérdidas de información en cuanto a los detalles litológico. Es necesario recordar que para la elaboración de este estudio se utilizó la mayor cantidad de información disponible la cual no necesariamente concuerda con las metodologías de estudios específicos registrados en la literatura. Donde se utilizaron diversos estudios epidemiológicos, evaluaciones de riesgos en salud asociados al nitrato y evaluaciones de vulnerabilidad de contaminación de aguas subterráneas. A continuación, en la Tabla N°14 se presentan las diferencias.

Tabla N°14. Diferencias entre estudios de literatura y lo realizado en este estudio.

| Característica | Literatura | Este estudio |
|--|--|---|
| Mediciones de nitrato en el agua | Se realizan muestras de agua específicamente para el estudio para el caso de las evaluaciones de riesgo en salud. | Se utilizaron datos registrados por la autoridad sanitaria en los análisis de calidad de aguas e información documentada por DGA |
| | Para estudios epidemiológicos suelen utilizar registros de las mediciones de calidad de agua realizadas por la autoridad sanitaria | |
| Data de mediciones | Para las evaluaciones de riesgos el periodo de estudio asociado a la toma de muestras es variables, pudiendo durar de un mes hasta años. | Se utilizó un periodo de 4 años (2016-2019) debido a que era toda la información existente referido al nitrato |
| | Para estudio epidemiológicos, también el periodo es variable, pero generalmente es mayor a 10 años | |
| Mapa de vulnerabilidad de contaminación de acuíferos | Se elaboran a partir de la aplicación de algún método como DRASTIC, GOD, BGR, SINTACS u otro según la disponibilidad de datos | Debido a la poca disponibilidad de datos, se utilizó el único mapa de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos del territorio el cual se encuentra desactualizado |

Fuente: Elaboración propia

A través de este estudio fue posible hacer un análisis de la información disponible para futuras investigaciones respecto a la presencia del nitrato en el territorio. Para disminuir algunas de estas brechas y así aportar a la protección de la salud de la población, es necesario tomar ciertas medidas y generar conocimiento en el área de estudio lo que se resume en las siguientes sugerencias:

-Actualizar la base de datos de APR por parte de la DGA, donde se incluyan georreferenciación de los puntos de captación de agua sumado a la georreferenciación

de los estanques ya existentes para facilitar en futuros estudios información respecto a la calidad del curso de agua y establecer relaciones más detalladas de la influencia de las actividades productivas del territorio en las fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano.

-Realizar un seguimiento a los APR que presentaron concentraciones de nitrato entre los 10-30 mg/L para evaluar la tendencia de las concentraciones en el tiempo, en las próximas mediciones. En caso de presentar una tendencia a aumentar a través de los años, evaluar la posibilidad de instalar un sistema de remoción de nitratos.

-Establecer un plan de acción para los APR que presenten concentraciones de nitrato anómalas según la DGA (>30 mg/L) que consista en la instalación de un sistema de remoción de nitrato según lo planteado por la SUBDERE. Donde se considere como prioridad los APR con concentraciones más altas.

-Establecer un sistema de vigilancia ambiental y sanitaria para los APR ubicado en la depresión intermedia de la región de Ñuble, debido a que existe una concentración en el número de APR en esta zona con concentraciones fuera de los rangos naturales además de considerar que se encuentran en un área con fuertes presiones antrópicas y alta vulnerabilidad hidrogeológica.

-Incorporar en un futuro estudio los tipos de cultivo agrícola del territorio e identificar como se relacionan con la cercanía a captaciones de fuentes de agua para consumo humano. Se espera que el VIII Censo Agropecuario y Forestal, 2021, aporte con data importante para continuar con investigaciones en esta temática.

- Para disminuir la contaminación agrícola y ganadera, el Ministerio de Agricultura debe fomentar una agricultura sostenible que considere métodos de mayor eficiencia respecto a la aplicación de fertilizantes en los cultivos. Respecto a la ganadería intensiva, se requiere un mayor control sobre el manejo de guano y purines en cuanto la época de aplicación y las dosis

-Actualizar el mapa de vulnerabilidad de contaminación de los acuíferos e incorporar mayor cantidad de información hidrogeológica por medio del mismo método BGR u otro método que considere un mayor detalle de la información, asociado al costo monetario

de generar la información con dicho método. En el caso de la existencia de un mapa de estas características actualizado, es relevante que esté disponible y de fácil acceso, ya que durante la ejecución de este estudio sólo se tuvo disponible el mapa de vulnerabilidad de Wall et al. (2006).

- Generar estudios en asociación con el MINSAL quienes tienen acceso a mayor detalle de los datos ingresados a las estadísticas de la plataforma del DEIS, cuidando la confidencialidad requerida de los ciudadanos de las localidades que se estudien.

12. Conclusión

Luego de realizar el presente estudio asociado a las diversas limitantes planteadas anteriormente, se concluyó lo siguiente:

- Existe una brecha importante en la recolección y sistematización de la información generada de los informes de calidad de agua por el MINSAL. Además, la frecuencia de datos obtenidas para el parámetro de nitrato no es útil para determinar variabilidad estacional ni tampoco para determinar la evolución de la concentración del nitrato durante los años, esto último para identificar tendencias y estar preparados ante un aumento sobre los 50 mg/l estándar requerido por la Organización Mundial de la Salud y la normativa chilena para servicios de agua destinados al consumo humano. Además, esta falta en la información se traduce en el desconocimiento del riesgo a la salud de la población al que está expuesta cada comunidad rural.

De la frecuencia de los análisis de nitrato, 53% de los APR no tenía ninguna medición y 43% tenían en promedio menos de una medición anual en el periodo 2016-2019.

- La zona de depresión intermedia, presenta las condiciones más favorables para generar aumento de las concentraciones de nitrato debido a las múltiples presiones antrópicas, como la concentración de industrias de ganadería intensiva, una fuerte actividad agrícola y diversas comunidades rurales sin saneamiento de aguas servidas. Lo anterior, sumado a las características hidrogeológicas del

territorio, donde se presentan mayoritariamente terrenos con depósitos no consolidados que favorecen la infiltración del nitrato.

- En cuanto a los factores de riesgo, se concluyó que la concentración de nitrato en el agua es el principal factor de riesgo a la salud de la población el cual afecta de distinta forma según la edad de la persona. Seguido de esto, se encuentra la relación entre los factores de volumen de ingesta de agua y peso corporal. Es importante resaltar que a concentraciones de nitrato agua 40% inferiores a al límite normativo, es decir, 20 mg/L, comienza a registrarse en el menor grupo etario, los infantes menores de un año, un riesgo significativo de padecer metahemoglobinemia.

13.Referencias

- Adimalla N. y Qian H. (2019). Groundwater quality evaluation using water quality index (WQI) for drinking purposes and human health risk (HHR) assessment in an agricultural region of Nanganur, south India. *Ecotoxicology and environmental safety*. 176, 153-161. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651319303276>
- Abu A, Ghbn N, Khoudary R. (2007). Relation of nitrate contamination of groundwater with methaemoglobin level among infants in Gaza. *East Mediterr. Health J.* 13, 994–1004. Recuperado de: <https://iris.who.int/handle/10665/117340>
- Akindele E, Adeniyi I, Indabawa I. (2013). Spatio-temporal assessment and water quality characteristics of Lake Tiga, Kano, Nigeria. *Environ earth sice.* 5, 67-77. Recuperado de: <https://www.airitilibrary.com/Publication/alDetailedMesh?docid=20410492-201302-201507200033-201507200033-67-77>.
- Alexander J, Benford D, Cravedi JP, Dogliotti E, Di Domenico A et al. (2008). Nitrate in vegetables. Opinión of the scientific panel on contaminants in the food chain on a request from the European Commission to perform a scientific risk assessment on nitrate in vegetables. 689:1-79.
- Almeida N, Castiel L, Ayres J. (2009). Riesgo: concepto básico de la epidemiología. *Revista Salud colectiva.* 5(3), 323-344. Recuperado de: <https://www.scielosp.org/pdf/scol/2009.v5n3/323-344/es>
- Almuna C.(2019). Peligros y eventos peligrosos para el sistema de saneamiento rural en un contexto de planes de seguridad del agua (PSA) y planes de seguridad de saneamiento (PSS) de un caso estudio. Tesis para optar a título o de ingeniero ambiental.
- Andreu j, Beltrán K, Delgado L, Espada J, Gil M, Gutiérrez M, Iguácel F, Isla R, Muñoz F, Orús F, Pérez M, Quílez D, Sin E, Yagüe M. (2006). Fertilización nitrogenada. Dirección general de desarrollo rural, gobierno de Aragón. Recuperado de: https://citarea.cita-aragon.es/citarea/bitstream/10532/868/1/10532-105_11.pdf
- Aneas S. (2000). Riesgos y peligros: una visión desde la geografía. *Revista electrónica de geografía y ciencias sociales.* Recuperado de: <http://www.ub.edu/geocrit/sn-60.htm>
- Aronsson P, Bergstrom L, Elowson S. (2000). Long term influence of intensively cultured short rotation willow coppice on nitrogen concentration in groundwater. *Journal of Environmental Management.* 58: 135 – 145.
- Arumi J, Núñez J, Salgado L, Clarent M. (2006). Evaluación de riesgo de contaminación con nitrato de pozos de suministro de agua potable rural en Chile. *Rev. Panam salud pública.* 20(6):385-92 Recuperado de: <https://scielosp.org/pdf/rpsp/2006.v20n6/385-392/es>
- ATSDR- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2015). Resumen de salud pública nitrato y nitrito. Recuperado de: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs204.pdf
- Auge M. (2004). Vulnerabilidad de acuíferos. *Latino-América de hidrogeología.* 4:85-103. Recuperado de: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/acuifero.pdf>
- Auge M. (2006). Agua Subterránea. Deterioro de Calidad y Reserva. Recuperado de: http://www.filo.uba.ar/contenidos/investigacion/institutos/geo_bkp/gaye/archivos_pdf/AguaSubterraneaDeteriorodeCalidadyReserva.pdf
- Awoyemi O, Achudume A, Okoya A. (2014). The physicochemical quality of groundwater in relation to surface water pollution in Majidun Area of Ikorodu, Lagos State, Nigeria. *American journal of water resources.* 2(5): 126-133. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Olushola_Awoyemi/publication/271768865_The_Physicochemical_Q

uality_of_Groundwater_in_Relation_to_Surface_Water_Pollution_in_Majidun_Area_of_Ikorodu_Lagos_State_Nigeria/links/54d143780cf25ba0f0410816.pdf

Campaign for tobacco-free kids (2014). Diseñado para la adicción. Recuperado de: https://www.tobaccofreekids.org/assets/global/pdfs/es/TFK_DesignedforAddiction_es.pdf

Celedón E, Alegría M. (2006). Historia del sector sanitario chileno. De la gestión estatal hasta el proceso de privatización (Documento del programa del Instituto de Investigación de las Naciones Unidas para el Desarrollo Social (UNRISD)). Naciones Unidas para el Desarrollo Social. Recuperado: [http://www.unrisd.org/80256B3C005BCCF9/\(httpAuxPages\)/BA5CD54835B2ABB4C12572AD004266AB/\\$file/Calvo-Celed%C3%B3n.pdf](http://www.unrisd.org/80256B3C005BCCF9/(httpAuxPages)/BA5CD54835B2ABB4C12572AD004266AB/$file/Calvo-Celed%C3%B3n.pdf)

Chang C, Tsai S, Wu T, Yang C. (2010). Nitrates in municipal drinking water and non-Hodgkin lymphoma: an ecological cancer case-control study in Taiwan. *J. Toxicol. Env. Health A* 73, 330–338. Recuperado de: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15287390903421243>

Chen J, Wu H, Qian H, Gao Y. (2017). Assessing nitrate and fluoride contaminants in drinking water and their health risk of rural residents living in a semiarid region of northwest China. *Exposure and health*. 9(3), 183-195. Recuperado de: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12403-016-0231-9>

Collao G. (2008). Contaminación de las Aguas Subterráneas por Nitratos provenientes de la utilización de purines de cerdo en la Agricultura. Memoria para optar a título de I. Civil. Recuperado de: http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/104870/collao_gb.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Consejería de agricultura y agua. (s/f). La contaminación de las aguas por nitratos procedentes de fuentes de origen agrario. Recuperado de: http://www.asajamurcia.com/sites/default/files/proyecto/4021-texto_completo_1_la_contaminacion_de_las_aguas_por_nitratos_procedentes_de_fuentes_de_origen_agrario.pdf

Daza A, Graña D, Goñi M, Vargas A, Ruiz G. (2016). Hidroxicloroquina en el tratamiento de las enfermedades autoinmunes sistémicas. *Revista médica de Chile*. 144:232-240

De Fernícola N.(1989). Metahemoglobinemia infantil causada por nitratos. *Sanit Panam* 106 (1).

DEIS (2020). Sitio web Departamento de Estadísticas e Información de Salud.

DGA (2016). Diagnóstico de calidad de aguas subterráneas de la región metropolitana-complementario diagnóstico plan maestro de recursos hídricos región metropolitana de Santiago. Recuperado de: <https://snia.mop.gob.cl/sad/CQA5649.pdf>

DGA (2016). Diagnóstico de calidad de aguas subterráneas de la región de Coquimbo. Recuperado de: https://snia.mop.gob.cl/sad/CQA-5582_informe_final.pdf

DGA (2017). Diagnóstico de calidad de aguas subterráneas de la región de Coquimbo. Recuperado de: <https://snia.mop.gob.cl/sad/SUB5714.pdf>

DGA (2018). Diagnóstico de calidad de aguas subterráneas de la región de Maule. Recuperado de: <https://snia.mop.gob.cl/sad/CQA5764.pdf>

DGA (2019). Diagnóstico de calidad de aguas subterráneas de la región de Ñuble y Biobío. Recuperado de: <https://snia.mop.gob.cl/sad/CQA5840.pdf>

Echemendía B. (2011). Definiciones acerca del riesgo y sus implicaciones. *Revista cubana Higiene y epidemiología*. 49(3),470-481. Recuperado de: <http://scielo.sld.cu/pdf/hie/v49n3/hie14311.pdf>

EnHealth (2012). Environmental health risk assessment: Guidelines for assessing human health risks from environmental hazards. Recuperado de: <https://www.eh.org.au/documents/item/916>

Espejo-Herrera N, Cantor K, Malats, N , Silverman D, Tardon A , García-Closas R, Serra, C, Kogevinas M, Villanueva C. (2015). Nitrate in drinking water and bladder cancer risk in Spain. *Reinar. Environmental research.* 137 , 299–307. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935114003983>

EPA. (1991). Risk Assessment Guidance for Superfund: Volume I -Human Health Evaluation Manual (Part B, Development of Risk-based Preliminary Remediation Goals). Recuperado de: <https://epa-prgs.ornl.gov/radionuclides/HHEMB.pdf>

EPA. (2012). Preguntas frecuentes sobre el nitrato y agua potable. Recuperado de: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-12/documents/lower-yakima-valley-groundwater-faq-spanish-october-2012.pdf>

EPA. (2015). Resumen de salud pública nitrato y nitrito. Recuperado de: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs204.pdf

European Food Safety Authority.(2008). Nitrate in vegetables-Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food chain. *EFSA J.* 689:1-79.

Foster S, Hirata R, Gomes, D, D'Elia M, Paris M. (2002). Groundwater Quality Protection: a guide for wáter utilities, municipal authorities, and environment agencies, The World Bank, Washington, D,C.

Foster S, Hirata R, Gomes D, D'Elia, Paris M. (2003). Protección de la calidad del agua subterránea. Guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales. Recuperado de: <http://documents.worldbank.org/curated/en/229001468205159997/pdf/25071PUB01Spanish10BOX0334116B01PUBLIC1.pdf>

Freedman D, Cantor K, Ward M, Helzlsouer K. (2000). A case-control study of nitrate in drinking water and non-Hodgkin's lymphoma in Minnesota. *Arch. Env. Health* 55, 326–329. Recuperado de: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00039890009604024>

Fundación Amulén. (2019). Pobres del agua, Radiografía del agua rural en Chile:Visualización de un problema oculto. Recuperado de: https://static1.squarespace.com/static/5afc52595ffd20cbdc764a27/t/5cf84bdaab32aa0001d08a08/1559776320566/Informe_Amulen.pdf

Fundación Entretantos. (2018). La ganadería extensiva, una actividad esencial para nuestra alimentación. Recuperado de: http://www.ganaderiaextensiva.org/wp-content/uploads/2018/12/CuadernoEntretantos4_Ganaderia_2018_red.pdf

Ghaderpoori M, Paydar M, Zarei A, Alidadi H, Najafpoor AA, Gohary AH, Shams M (2018) Health risk assessment of fluoride in water distribution network of Mashhad, Iran. *Hum Ecol Risk Assess* 1–12

Gangolli S, Brandt P, Feron V, Janzowsky C, Koeman J, Speijers G, Spiegelhalter B, Walker R, Wishnok J. (1994). Nitrate, nitrite and N-nitroso compounds. *European journal of pharmacology: environmental toxicology and pharmacology.* 292, 1-38. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0926691794900221>

GAP-recursos, Sanz L. (2008). Situación en Navarra de la contaminación de las aguas por nitratos y pesticidas. Recuperado de: http://www.crana.org/themed/crana/files/docs/197/082/situacion_navarra_nitratos_pesticidas.pdf

González U. (Ed.).(2020). Agricultura de la nueva Región de Ñuble: una caracterización sectorial". Libro INIA N°39, 378 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Chillán. Chile.

Greer F, Shannon M. (2005). American Academy of Pediatrics Committee on Nutrition and the Committee on Environmental Health. Infant methemoglobinemia: The role of dietary nitrate in food and water. *Pediatrics*. 116, 784–786.

Gulis G, Czompolyova Cerhan J.(2002).An ecologic study of nitrate in municipal drinking water and cancer incidence in Trnava District, Slovakia. *Env. Res.* 88, 182–187. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935102943318>

Hunter M, Comly M.(1945). Cyanosis in infants caused by nitrate in well wáter. *Jama*. 129(2):112-116

INIA. (2005) Generación de información local en aplicación de purines de cerdo al suelo como apoyo a la implementación de los Acuerdos de Producción Limpia. Informe final, Proyecto Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile.

Iñigo S, del Mar M. (2011). Contaminantes: Nitratos en productos y alimentos infantiles. Documentos técnicos de higiene y seguridad alimentaria N°8. Servicio madrileño de salud. Recuperado de : <http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM017074.pdf>

Iriarte S, Aguirre I. (2004). Vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos de la Región del Biobío, Servicio Nacional de Geología y Minería.

Johnson C, Bonrud P, Dosch T, Kilness A, Senger K, Busch D, Meyer M. (1987) . Resultado fatal de metahemoglobinemia en un lactante. *JAMA*. 257, 2796–2797

Johnson D. (2005). Metahemoglobinemia perioperatoria. *Can J Anaesth*. 52: 665-668

Jones R, Weyer P, DellaValle C, Inoue-Choi M, Anderson K, Cantor K, Krasner S, Robin K, Freeman L, Silverman D, Ward M. (2016). Nitrate from Drinking Water and Diet and Bladder Cancer Among Postmenopausal Women in Iowa. *Environmental health perspectives*. 124 (11), 1751-1758. Recuperado de: https://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=3&SID=5BKmCWTFnsagsEHfRCw&page=1&doc=1

Junta de Andalucía (2006). Programa de desarrollo rural de Andalucía 2007-2013. Recuperado de: https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/PDR_v7_.pdf.

Knobeloch L, Salna B, Hogan A, Postle J, Anderson H. (2000). Blue babies and nitrate-contaminated well water. *Environ. health perspect.* 108, 675–678.

Khound N, Phunkonb P, Bhattacharyya K.(2012). Physico-chemical studies on surface water quality in the Jia-Bharali River Basin, North Brahmaputra Plain, India. *Archives of applied science research*. 4 (2): 1169-1174. Recuperado de: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20123190961>

Kilfoy B, Zhang Y, Yikyung P, Holford T, Schatzkin, Hollenbeck, Ward M. (2010). Dietary nitrate and nitrite and the risk of thyroid cancer in the NIH-AARP Diet and Health Study. *International Journal of Cancer*. 129 (1), 160-172. Recuperado de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ijc.25650>

Kilfoy B, Ward M, Zheng T, Holford T, Boyle P, Zhao P, Dai M, Leaderer B, Zhang Y.(2010). Risk of non-Hodgkin lymphoma and nitrate and nitrite from the diet in Connecticut women. *Cancer Causes Control*. 21, 889–896. Recuperado de: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10552-010-9517-6>

Labandeira J. Hemoglobinemia. Servicio Navarro de Salud-Osasunbidea.

Law, G., Parslow, R., McKinney, P. & Cartwright, R. (1999). Non-Hodgkin's lymphoma and nitrate in drinking water: a study in Yorkshire, United Kingdom. *J. Epidemiol. Community Health* 53, 383–384. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1756892/>

Martín A, Rodríguez I, Ruíz C, Revert C, Hardison A. (2004). Efecto tóxico del tabaco. *Toxicología* 21: 64-71. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/919/91921302.pdf>

Martínez A, Sánchez-Valverde F, Gil F, Clerigué N, Aznal E, Etayo V.(2013). Methemoglobinemia induced by vegetable intake in infants in northern Spain. *J Pediatr Gastroenterol Nutr.* 56(5):573-7.

Mayz J. (2004). Fijación biológica de nitrógeno. *Revista científica UDO agrícola.* 4(1), 1-20. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2221548>

Ministerio del interior y seguridad pública. (2015). Política nacional para los recursos hídricos. Recuperado de: https://www.interior.gob.cl/media/2015/04/recursos_hidricos.pdf

MINSAL (2020). Análisis de calidad de aguas de APRs de las regiones Ñuble y Biobío solicitada por Ley de transparencia.

Molina L. (2019). Estudio comparativo sobre vulnerabilidad de los acuíferos a nivel nacional, establecida por la Dirección General de Aguas en relación a la señalada en los mapas de vulnerabilidad de SERNAGEOMIN. Informe de práctica profesional requerido por Ministerio de medio ambiente.

Morán J, Ramos J, López B, Carranco S, Santacruz G. (2013). Comportamiento hidrogeoquímico de flujos subterráneos en acuíferos cársticos fracturados, aplicando modelación inversa: caso Huasteca Potosina. *Boletín de la sociedad de la Sociedad Geológica mexicana.* 65(1), 71-82. Recuperado de: <https://pdfs.semanticscholar.org/157a/5d5f37420b942629267c624a302e105c3f98.pdf>

Morell I., Tuñón J. (2001). Vulnerabilidad de acuíferos costeros en el área Mediterránea, presentado en ponencias deltaller: Protección de acuíferos frente a la contaminación metodología, Toluca, México.

Mustapha A. Aris A. Ramli M. Juanhir H. (2012). Temporal aspects of surface water quality variation using robust statistical tools. *ScientificWorldJournal.* 294540. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3415074/>

Navarrete, P. (1990). Incidencia de las prácticas agrícolas en la calidad del agua. Fertilizantes. Ganadería. Tema 5ª del Área VII "Contaminación del agua". XXIII Curso Internacional de Hidrogeología Aplicada. ITGE-ETSIM. Madrid.

Nisbet, T., H. Thomas and N. Shah. (2011). Short Rotation Forestry: review of growth and environmental impacts. *Forest Research Monograph, 2, Forest Research, Surrey.* 212 p.

OMS - World Health Organization. (2002). *Water and Health in Europe*; World Health Organization: Geneva, Switzerland.

OMS- World Health Organization. (2008). *Guidelines for drinking-water quality: incorporating 1st and 2nd edd, vol.1, Recommendations.*

OMS - World Health Organization. (2011). *Guidelines for Drinking-Water Quality, Fourth Edition.* OMS, Ginebra, Suiza

OMS - World Health Organization. (2017). Herramienta de evaluación de riesgos para la salud humana: peligros químicos. Documento N°8 del proyecto de armonización del IPCS. Recuperado de: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/255613/9789243548074-spa.pdf;jsessionid=2DAD020206CDFD594C94A832F1450807?sequence=1>

Ordoñez J. (2011). Aguas subterráneas-Acuíferos. Cartilla Técnica. Recuperado de: https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/aguas_subterranas.pdf

Pacheco J, Prat R, Cabrera A. (2002). Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. *Sistema de información científica Redalyc*. 6(3), 73-81. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46760308>

Pacheco J, Cabrera A. (2003). Fuentes principales de nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas. *Ingeniería*. 7(2): 47-54.

Pérez R, Pacheco J. (2004). Vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación de nitratos en el estado de Yucatán. *Ingeniería* 8(1):33-42.

Pérez J, Martiñón R, Figueroa M. (2018). Metahemoglobinemia por fenazopiridina: reporte de un enfoque con enfoque diagnóstico. *Acta pediátrica México*; 39(6): 355-360.

Pizarro R, Salazar C, Bravo C, Caro J, Bravo P, Carrasco P.(2000). Recursos hídricos. En: Sunkel O, Brzovic F, Romaggi M. Informe País, Estado del Medio Ambiente en Chile—1999. Santiago de Chile: Universidad de Chile, Centro de Análisis de Políticas Públicas; 2000. Pp. 77–129.

Qasemi M, Afsharnia M, Mansoureh A, Farhang M, Bakhshizadeh A, Allahdadi M, Zarei A. (2018). Health risk assessment of nitrate exposure in groundwater of rural areas of Gonabad and Bajestan, Iran. *Environmental earth sciences*. 77-551. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7732-8>.

Raji M, Ibrahim Y, Tytler B, Ehinmidu J. (2015). Physicochemical characteristics of water samples collected from river Sokoto, Northwestern Nigeria. 5(3). Recuperado de: https://www.scirp.org/html/2-4700384_56903.htm

Rhoades M, Meza J, Beseler C, Shea P, Kahle A, Vose J, Eskridge K, Spalding R.(2013) Atrazine and nitrate in public drinking water supplies and non-hodgkin lymphoma in nebraska, USA. *Env. Health Insights* 7, 15–27. Recuperado de: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.4137/EHI.S10629>

Rodríguez S, De Asmundis C, Martínez G, (2016). Variaciones estacionales de las concentraciones de fosfatos y nitratos en distintas fuentes de aguas de pequeños productores hortícolas. *Agrotecnia*. 24: 30-34. Recuperado de: <https://revistas.unne.edu.ar/index.php/agr/article/view/1174>

Sahuquillo A.(2009). La importancia de las aguas subterráneas. *Revista de la Real academia de ciencias exactas, física y naturales*. 103(1), 97-114. Recuperado de: <http://www.rac.es/ficheros/doc/00923.pdf>

Schmidt P, Thomas, Sedaghat N, Sahba, Rosel P, Pablo, & Fierro T, Jorge. (2012). Nitrate and nitrite in water and saliva of rural population in the Andes foothills of the VIII Region. *Revista de otorrinolaringología y cirugía de cabeza y cuello*, 72(2), 119-124. Recuperado de: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-48162012000200003&script=sci_arttext&lng=en

Schullehner J, Hansen B, Thygesen M, Pedersen C, Sigsgaard T. (2018). Nitrate in drinking water and colorectal cancer risk: A nationwide population-based cohort study. *International journal of cancer*. 143 (1). 73-79

SEA (2020). Sitio web Servicio de Evaluación Ambiental.

SUBDERE (2018). Estudio de soluciones sanitarias para el sector rural. Recuperado de: http://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/documentos/estudio_de_soluciones_sanitarias_para_el_sector_rural_1.pdf

Van Maanen JM, van Dijk A, Mulder K, de Baets MH, Menheere PC, van der Heide D, Mertenés P, Kleinjans J.(1993) Consumption of drinking water with high nitrate levels causes hypertrophy of the thyroid. *Toxicology Letters*. 72 (1-3), 365-74. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0378427494900507>

Ventanas S, Martin D, Estévez M, Ruiz J. (2004). Nitratos, nitritos y nitrosaminas en productos cárnicos (I). Eurocarne. 14. 95-114. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/283510186_Nitratos_nitritos_y_nitrosaminas_en_productos_carnicos_I

Verhulst N, François I, Grahmann K, Cox Rachael, Govaerts B. (2014). Eficiencia del uso de nitrógeno y optimización de la fertilización nitrogenada en la agricultura de conservación. Centro internacional de mejoramiento de maíz y trigo.

Ward M, Mark SD, Cantor KP, Weisenburger DD, Correa-Villasenor A, Zahm SH (1996) Drinking water nitrate and the risk of non-Hodgkin's lymphoma. *Epidemiol* 7:465–471. Recuperado de : <https://www.jstor.org/stable/pdf/3702144.pdf?refreqid=excelsior%3Adaf484e2c4752dff2aa502d4b6a31fa0>

Ward M, Cerhan J, Colt J, Hartge P. (2006). Risk of non-Hodgkin lymphoma and nitrate and nitrite from drinking water and diet. *Epidemiology* 17, 375–382. Recuperado de: https://www.jstor.org/stable/20486238?seq=1#metadata_info_tab_contents

Ward M, Kilfoy B, Weyer P, Anderson K, Folsom A, Cerhan J. (2010). Nitrate intake and the risk of thyroid cancer and thyroid disease. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*, 21(3), 389–395. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2879161/>

Wall R, Espinoza C, Huerta S, (2006), Vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos y Sitios prioritarios para la conservación de la Biodiversidad: identificación de zonas críticas, Servicio Nacional de Geología y Minería.

Yu M, Li C, Hu C, Jin J, Qian S, Jin J. (2020). The relationship between consumption of nitrite or nitrate and risk of non-Hodgkin lymphoma. *Scientific Reports* .10, 551. Recuperado de : <https://www.nature.com/articles/s41598-020-57453-5#ref-CR22>

Zeegers M, Selen, R, Kleinjans, J, Goldbohm, R, van den Brandt P.(2006). Nitrate intake does not influence bladder cancer risk: the Netherlands cohort study. *Environ health perspect*, 114(10) ,1527-1531. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17035137>