



UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

**Evaluación de la presencia de nitratos y fosfatos en aguas
cercanas a faenas agropecuarias en el sector el Arbolillo, San Javier**

MEMORIA DE TÍTULO

VALENTINA PAZ ROMÁN MÉNDEZ

TALCA, CHILE

2021

CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su unidad de procesos técnicos certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



Talca, 2021

APROBACIÓN:

Ricardo Cabeza.

Profesor Guía: Ricardo A. Cabeza, Ing. Agr. PhD.

Aníbal Concha M.

Profesor Informante: Aníbal Concha Meyer, Ing. en Alimentos PhD.

Fecha: 11 de enero, 2021

AGRADECIMIENTOS

Quiero comenzar por agradecer a mi familia por haberme inculcado la necesidad de estudiar, el gusto por aprender y por haberme enseñado la perseverancia.

A mi madrina Jimena Monreal por haberme inspirado a estudiar esta carrera y haberme mostrado lo maravillosa que es la naturaleza y la agricultura orgánica.

A mis amigos; Ester González, Joaquín Hinojosa, Patricio Vengas y Stepahanie Montecinos, y a mi pareja: Felipe Flores, por apoyarme en este proyecto de infinitas maneras y por siempre estar presentes cuando los necesité.

A mi profesor Guía Ricardo Cabeza por apoyarme con el tema, ayudarme en todo lo que necesité y entregarme todos sus conocimientos con la mejor disposición.

A Ramón Amigo por acompañarme en los largos procesos de análisis y entregarme su ayuda en lo que necesitara.

Agradecer a los vecinos de San Agustín del Arbolillo, por abrirme las puertas de sus casas y hacer grato el proceso de muestreo.

A mis compañeros de Universidad por hacer de estos cinco años más gratos para mi y siempre apoyarme.

A la vida por cursar esta carrera, que me permitió adquirir los conocimientos para promulgar la conciencia ambiental, la soberanía alimentaria y la reivindicación de la biodiversidad.

RESUMEN

La producción porcina en Chile es intensiva, generando purines, cuya eliminación es un problema sanitario. Debido a la alta cantidad de nutrientes, los purines son un problema ambiental por el riesgo de contaminación de aguas con nitratos y fosfatos, que en altas concentraciones son capaces de generar problemas a la salud y al ecosistema. Los purines son utilizados ampliamente como abonos, pero un exceso en la fertilización nitrogenada y fosfatada puede provocar lixiviación y lavado de estos elementos, generando que lleguen a los cauces y cursos de agua cercanos.

El presente estudio se realizó en el sector San Agustín del Arbolillo, comuna de San Javier, zona con plantales porcinos estabulados y presencia de malos olores y vectores.

La memoria tiene como objetivo evaluar los niveles de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y pH en suelos agrícolas del sector el Arbolillo y relacionarlos con la concentración de nitratos, nitritos y fosfatos en cursos y pozos de agua. La Norma Chilena para aguas permite una concentración máxima en cauces de 50 mg/L de nitratos, 3 mg/L de nitrito y 10 mg/L de fosfato.

Los resultados indican que, en promedio, los cauces de agua tienen 2,02 mg/L de nitratos, 0,003 mg/L de nitritos y 0,29 mg/L de fosfatos. Estas concentraciones se encuentran por bajo la Norma Chilena para aguas, por lo tanto, esto sugiere que no existe evidencia para conectar las prácticas agrícolas relacionadas a la producción porcina, con aumentos en los niveles de nitratos, nitritos y fosfatos en cursos y pozos de agua en el sector San Agustín del Arbolillo, San Javier.

ABSTRACT

Swine production in Chile is an intensive activity with a significant number of animals per land. The high amounts of slurry produced by this industry has become a sanitary problem. The chemical composition of the pig slurry could bring health issues to the surrounding population and ecological imbalance, due to the high levels of nitrogen and phosphorus that it contains. Pig slurry is used widely like fertilizer, but an excess of nitrogen and phosphorus fertilization could cause leaching of these elements to the natural watercourses.

San Agustin del Arbolillo is an area in San Javier which is known for its pig farms and the neighbors of this area have been reporting presence of bad odors and vectors since the initial phase of the project.

The aim of this work is to determine the presence of nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K) and pH levels in agricultural soils in the Arbolillo area and to relate them with the concentration of nitrates, nitrites and phosphate on courses of water and water wells. The Chilean standard for waters allows the maximum concentration in watercourses of 50 mg/L of nitrates, 3 mg/L of nitrite and 10 mg/L of phosphate.

The results indicated an average of 2.02 mg/L nitrates, 0.003 mg/L nitrites and 0.29 mg/L phosphates in the watercourses. These concentrations are below the Chilean standard for water contaminants, therefore, this suggests that there is no evidence to link the agricultural practices, related to the swine production, with increased levels of nitrates, nitrites and phosphates in waters in the area of San Agustin del Arbolillo, San Javier.

ÍNDICE

APROBACIÓN:	4
Agradecimientos y dedicatoria	5
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
1. INTRODUCCIÓN	12
Hipótesis	13
Objetivo general	13
Objetivos específicos	14
2. REVISIÓN DE LITERATURA	15
2. 1 Plantel porcino 10 mil madres de Coexca S.A	15
2. 1. 1 Tratamiento de residuos líquidos del plantel	16
2. 2 Mercado porcino en Chile	17
2. 3 Crianza de Cerdos	17
2. 3. 1 Alimentación de cerdos en confinamiento	17
2. 3. 2 Residuos asociados a la crianza	18
2. 3. 2. 1 Contaminación de suelos y agua por purines	19
2. 3. 3 Efectos de la contaminación por purines	20
2.4 Iones nitrato, nitrito y fosfato	21
2. 5 Agua como recurso indispensable	21
2. 6 Normativa Chilena	22
2. 7 Carga sobre el sistema	24
2.7.1 Capacidad de absorción y retención de N y P, de suelos.	24
2. 8 Casos Similares de interés	24

2. 9 Oportunidades y desafíos	25
3. MATERIALES Y MÉTODOS	26
3. 1 Lugar de estudio	26
3. 2 Muestreo	27
3. 2. 1. Muestra de suelo	28
3. 2. 2. Muestra de agua	28
3. 3 Determinación de Nitrógeno y Fósforo en el suelo.	29
3. 4 Determinación de nutrientes en aguas de norias cercanas y ríos.	30
3. 5. Diseño experimental y análisis estadístico	31
4. RESULTADOS	33
4.1 Análisis de agua	33
4.2 Análisis de suelo	43
4.3 Discusión	45
5. CONCLUSIONES	48
BIBLIOGRAFÍA CITADA	49

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Tratamiento de purines del plantel porcino 10 mil madres de San Agustín del Arbolillo	16
Figura 2. Esquema flujo proteína en dieta del porcino	18
Figura 3. Mapa general plantel Coexca San Agustín del arbolillo	26
Figura 4. Imagen satelital de los puntos muestreados en el análisis de agua y suelo	28
Figura 5. Mapa de muestreo sectorizado defino por zona	29

Figura 6. Kits de detección de pH, presencia de nitrógeno, potasio y fósforo.	30
Figura 7. En A) Indicador de nitritos y nitratos. En B) Checker indicador de fosfatos	31
Figura 8. Gráfico muestra de agua en función de la concentración de los analitos nitrato (rojo), nitrito (azul) y fosfato (rosa)	35
Figura 9. Gráfico de barras del número de muestras en función con la concentración de los analitos en cuestión.	44

ÍNDICE CUADROS

Cuadro 1. Límites máximos permitidos en Chile de residuos líquidos sobre Aguas continentales de origen fluvial	23
Cuadro 2. Muestras de agua con su ubicación geográfica exacta y sus respectivos parámetros analíticos	33
Cuadro 3. Muestras de agua de la zona A con sus respectivos parámetros analíticos	36
Cuadro 4. Muestras de agua de la zona B con sus respectivos parámetros analíticos.	37
Cuadro 5. Muestras de agua de la zona C con sus respectivos parámetros analíticos	37
Cuadro 6. Muestras de agua de la zona D con sus respectivos parámetros analíticos	38

Cuadro 7. Muestras de agua de la zona E con sus respectivos parámetros analíticos.	39
Cuadro 8. Muestras de agua de la zona F con sus respectivos parámetros analíticos.	39
Cuadro 9. Muestras de agua de la zona G con sus respectivos parámetros analíticos.	40
Cuadro 10. Muestras de agua de la zona H con sus respectivos parámetros analíticos.	41
Cuadro 11. Muestras de agua de la zona I con sus respectivos parámetros analíticos.	41
Cuadro 12. Muestras de agua de la zona J con sus respectivos parámetros analíticos.	41
Cuadro 13. Resultados muestras de suelo, análisis pH, nitrógeno, fósforo y potasio.	43

1. INTRODUCCIÓN

La producción porcina en Chile es una industria altamente intensiva que ha aumentado su tamaño considerablemente en búsqueda de los mejores estándares para orientar sus proyecciones hacia la exportación (Acuña et al., 2019).

Se ha concentrado la crianza y engorda de cerdos, principalmente, en dos modalidades de explotación: 1) crianza convencional estabulada confinada y, 2) crianza estabulada abierta. En ambas se concentra una gran cantidad de animales en un espacio definido y se generan desechos, purines, guano y residuos de camas calientes (INIA, 2005). La eliminación de estos desechos se ha convertido en un problema sanitario, dado el aumento sostenido de los volúmenes de producción (Quiroz & Varnero, 2015).

En Chile, la normativa no es clara con respecto al tratamiento de los purines, sin embargo, existen políticas enmarcadas en acuerdos de producción limpia (APL) que contempla la implementación de purines para la fertilización de suelos, gracias a su alto contenido de nitrato y otras macromoléculas de interés (Plaza et al., 2007). No obstante, la falta de planificación y la escasez de análisis ecotoxicológicos se presentan como factores determinantes en el riesgo del uso de purines como fertilizantes. La acumulación y aplicación de purines de cerdo pueden afectar y crear una serie de riesgos relacionados, entre otros, con la contaminación del suelo y el agua con elementos biogénicos, metales pesados, patógenos y productos farmacéuticos (Marszałek et al., 2019). Además, la aplicación de purines puede resultar en la lixiviación de nitratos y aumento de la salinidad del suelo, poniendo en riesgo los recursos hídricos (Diez et al., 2001). Por otro lado, la aplicación de purines desestabiliza la microbiota nativa del suelo y aporta con microorganismos como bacterias, hongos, virus y parásitos. De las bacterias, predominan las *Enterobacteriaceae spp.*, género *Streptococcus*, sin embargo, el género más patogénico identificado dentro de los residuos porcinos corresponde al género *Salmonella*. Además, de los virus presentes en los purines, se encuentran circovirus y parvovirus, y parásitos como *Ascaris* y *Trichuris* (Marszałek et al., 2019).

Dentro de los potenciales componentes contaminantes del agua y suelos, por efecto de la aplicación de purines o riego con los residuos líquidos provenientes de su tratamiento, están los compuestos nitrogenados y fosfatados, los cuales son capaces de lixiviar y acumularse en los cursos de agua, permitiendo el desequilibrio en las concentraciones de oxígeno en el agua, lo

cual promueve la eutrofización (Quiroz & Varnero, 2015). Por otro lado, las sales como el sodio presente en los purines son capaces de disminuir la permeabilidad del suelo (Peralta et al., 2005).

Los purines pueden también contener antibióticos y otros productos farmacéuticos (Campagnolo *et al.*, 2002) que modifican la resistencia del microbioma presente en el suelo, poniendo en riesgo la salud del ecosistema (Zhu et al., 2019).

La oficina de estudios y políticas agrarias (ODEPA) plantea que la región del Maule tiene una participación del 3% en la distribución de cerdos del país (Acuña et al., 2019).

La agrícola Coexca S.A. es una de las empresas participantes en la crianza y engorda de cerdos en la región del Maule, con su proyecto “Plantel porcino 10 mil madres de San Agustín del Arbolillo”, siendo este uno de los proyectos de mayor envergadura del país, segmentado en 284 pabellones de crianza convencional.

Como se mencionó anteriormente, la crianza de cerdos y la producción de desechos puede llegar a ser problemático y/o peligroso para el ecosistema, es por eso, que se considera de suma importancia estudiar los posibles efectos de la actividad intensiva de la crianza de cerdos, especialmente la aplicación de purines como fertilizantes y el regadío con residuos líquidos en los predios cercanos a la actividad. Con la finalidad de dilucidar cuáles han sido los efectos de la actividad del plantel porcino en San Agustín del Arbolillo, se propuso en este trabajo pesquisar analitos como nitratos y fosfatos en suelos y aguas cercanas a la instalación.

A continuación, se plantea la hipótesis y objetivos del presente estudio:

1.1 Hipótesis

Los niveles de nutrientes en los suelos cercanos a faenas agropecuarias intensas incrementan la concentración de nitratos, nitritos y fosfatos en cursos y pozos de agua.

1.2 Objetivo general

Evaluar los niveles de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y pH en suelos agrícolas del sector el Arbolillo y relacionarlos con la concentración de nitratos, nitritos y fosfatos en cursos y pozos de agua.

1.2.1 Objetivos específicos

1. Medir semi-cuantitativamente la concentración de N, P, K y pH de suelos agrícolas del sector el Arbolillo, San Javier.
2. Medir la concentración de nitratos, nitritos y fosfatos en aguas de los ríos Purapel y Perquilauquén y en pozos de aguas de propietarios del sector.
3. Relacionar los niveles de nutrientes en los suelos con la concentración de nitratos, nitritos y fosfatos de las aguas.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2. 1 Plantel porcino 10 mil madres de Coexca S.A.

Coexca S.A. es una empresa de gran envergadura que se dedica a la producción, procesamiento y comercialización de carne de cerdo. Sus productos se comercializan en el mercado nacional, siendo la segunda empresa más grande productora de carne de cerdo en Chile. Internacionalmente, sus productos se exportan a Japón, China, Hong Kong, Corea, Rusia, Canadá, Sudáfrica, Perú, Argentina, México, Colombia, Cuba y la Comunidad Europea, entre otros. La empresa, en conjunto a ASPROCER, AASA, Agrosuper y Maxagro, pertenecen a la junta directiva de Chilepork (Coexca, 2009).

En el registro del SEA, existen 7 proyectos a nombre de Coexca S.A., los cuales en su conjunto representan 35.260 millones de dólares de monto de inversión, sin embargo, en este trabajo se abordará el caso particular del plantel porcino “San Agustín del Arbolillo” que se dedica a la producción y crianza de cerdo.

En el año 2008, se presenta el “proyecto plantel porcino 10 mil madres de San Agustín del Arbolillo”, el cual fue aprobado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) de la Región del Maule, bajo la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) 165/2008, a pesar de ello, la inauguración de la planta y el inicio de su funcionamiento data del año 2015. Durante el tiempo transcurrido entre la aprobación del proyecto e inicio de funciones, el predio se mantuvo inalterado, sin embargo, en sus alrededores se instalaron comunidades y predios agrícolas, los cuales no fueron considerados dentro del impacto del proyecto al iniciar sus actividades.

En el proyecto presentado en el año 2008 se detalla que el terreno colinda con el río Purapel y que los pozos más cercanos al predio se encuentran a gran distancia de la zona. Además, el documento establece que el acuífero más cercano se encuentra probablemente a una profundidad superior a los 180 m. Por otra parte, en el documento se decreta el tratamiento de efluentes, también conocidos como residuos líquidos industriales (RILes). Sin embargo, la gran envergadura de este proyecto y el tratamiento de RILes mediante piscinas anaeróbicas, siembra la duda con respecto a la posible presencia de contaminantes y/o alteraciones en la composición de agua y suelos de la región en la cual se emplaza este proyecto. Una mala utilización de estas

lagunas anaeróbicas puede provocar lixiviaciones a napas subterráneas, generar emisiones de gases contaminantes a la atmósfera y producir malos olores (Vicari, 2012).

2. 1. 1 Tratamiento de residuos líquidos del plantel

El tratamiento de los RILes consiste primeramente en la separación de las fracciones líquida y sólida, mediante un separador de malla inclinada y un sedimentador. La fracción sólida se utiliza como fertilizante en una plantación de pinos perteneciente a la planta. Luego, los riles son dispuestos en lagunas anaeróbicas para su tratamiento. Durante la temporada de verano, la fracción líquida se usa para regadío de la plantación de pinos y durante la temporada de invierno, se acopia en un embalse de aguas lluvias (Fig. 1). Las líneas y flechas naranjas representan el proceso de los sólidos y las azules de los líquidos.

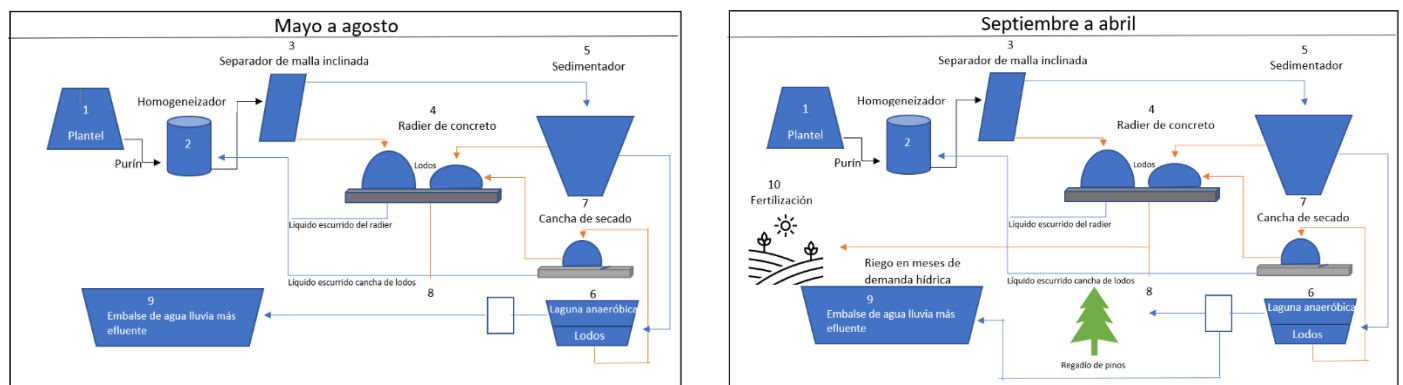


Figura 1| Tratamiento de purines del plantel porcino 10 mil madres de San Agustín del Arbolillo.

Adaptado (Consultores EMG, 2008, p. 89).

En el año 2017 se propone una modificación a la RCA 165/2008 para incorporar el tratamiento de una parte de los purines del plantel mediante un biodigestor, esta modificación fue aprobada en el año 2019 generando la RCA 225/2019, la cual asegura que contribuirá a una mejora tecnológica y ambiental en comparación al tratamiento mediante lagunas anaeróbicas anteriormente mencionado, con relación a la reducción de olores y consumo de agua (Consultores DAES, 2019).

2. 2 Mercado porcino en Chile

Con relación a la producción de carne en Chile, la de cerdo ocupa el segundo lugar, llegando a las 584 mil toneladas anuales, de las cuales se exporta alrededor del 40 % (ODEPA, 2020b). Los principales destinos de carne porcina chilena son: Japón, Corea del Sur, Rusia y China. En Chile, la ubicación de los criaderos de cerdos se encuentra principalmente en la región de O'Higgins, seguida por las regiones de Valparaíso y Metropolitana (Acuña et al., 2019).

En el año 2018, el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) estimó que la población de cerdos es de 2.608.205 cabezas (SAG, 2019). La industria porcina ha tenido un gran desarrollo en las últimas décadas, esta comenzó solventando la demanda nacional, pero últimamente se dedica a exportar casi la mitad de la producción. El 93% de los productores son parte de ASPROCER y algunos de ellos concentran hasta el 90% de la producción, con un sistema de integración vertical, mientras que el resto de la producción está en manos de pequeños productores (Corrales & Villegas, 2016).

En el contexto de la pandemia del 2020 las importaciones de carnes han descendido, mientras que las exportaciones han aumentado en un 18,2%, específicamente para la carne de cerdo, siendo China el principal país importador de carnes chilenas (ODEPA, 2020a).

2. 3. Crianza de cerdos

2. 3. 1 Alimentación de cerdos en confinamiento

La dieta básica de los porcinos en confinamiento debe ser una buena mezcla de energía y proteínas (FAO, 2000). La alimentación de los cerdos en la planta de Coexca S. A., San José del Arbolillo, y según el proyecto presentado al servicio de impacto ambiental, se compone de: maíz, harinilla de trigo, harina de pescado y afrecho de soya (Consultores EMG, 2008).

En relación con los costos de producción, el alimento es el componente más caro. Cada cerda reproductora consume anualmente 1.200 kg de alimento. Desde el destete y hasta su faenamiento, los cerdos viven aproximadamente 25 semanas y estos consumen alrededor de 285 kg de alimento (Consultores EMG, 2008).

El alimento debe ser formulado por un profesional especialista en nutrición en cerdos, quien se encargue de entregar el alimento equilibrado para mantener un buen estado de salud y evitar contaminación de insumos, materias primas y alimentos (SAG, 2019).

Según el Manual de Buenas Prácticas sobre Bienestar Animal en Sistemas de Producción Industrial de Cerdos, escrito por el Servicio Agrícola Ganadero (SAG), los cerdos deben tomar agua con libertad cuando ellos lo deseen, a través de bebederos mantenidos, funcionales y bien diseñados para evitar cualquier posible contaminación y daño de los cerdos. El agua debe ser fresca, de calidad y en la cantidad que requieran los animales. Es importante analizar químicamente el agua al menos una vez al semestre, para evitar contaminaciones o problemas en los cerdos. Se debe utilizar como referencia la Norma Chilena de Calidad de Agua N°409. Los bebederos y comederos son de gran importancia para el concepto de bienestar animal y deben ser revisados todos los días para evitar problemas sanitarios (SAG, 2019).

2. 3. 2 Residuos asociados a la crianza

Uno de los principales residuos que se generan en la producción de carne de cerdo corresponden a los purines (Kadurumba et al., 2019), también conocidos como excretas de cerdo, cuya composición varía en función de diferentes parámetros, dentro de ellos el tipo y edad de los animales, alimentación y mantenimiento, calidad del alimento y el método de almacenamiento de los mismos (Marszałek et al., 2014), Sin embargo, los principales compuestos inorgánicos que podemos encontrar en los purines corresponden a N, P y K (Hilliard, 1978). En general, el P y N se encuentran como nitratos (NO_3^-) y fosfatos (PO_4^-).

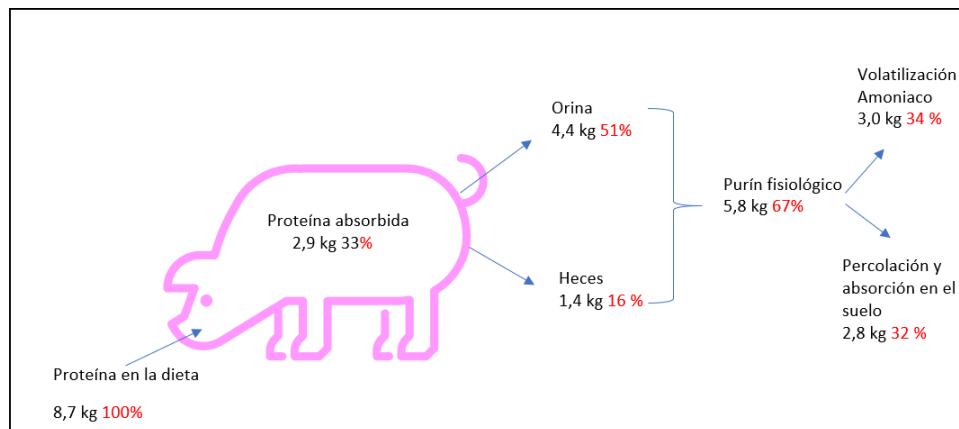


Figura 2 | Esquema flujo proteína en dieta del porcino (Martinez Almela, 2007).

La Figura 2 indica que sólo el 33% de la proteína consumida por el animal es utilizada para la deposición de tejidos, el resto es eliminada, la hidrólisis de las proteínas generan elevadas cargas de formas solubles de N, P y K (Martinez Almela, 2007).

2. 3. 2. 1 Contaminación de suelos y agua por purines

En tiempos pasados, el manejo de efluentes no era un mayor problema, ya que se producían en menores cantidades y eran fácilmente asimilables por el medio natural. Sin embargo, esta situación cambia debido a la producción intensiva con objetivos económicos y que generan consecuencias ambientales (Flores Moraga, 2012). Si los desechos producidos por la actividad agropecuaria no son manejados en forma eficiente, en un mediano a corto tiempo se empezarán a percibir los impactos negativos generados en el ambiente, desencadenando conflictos de intereses relacionados a la calidad ambiental entre pobladores y productores agrícolas (Salazar, 2005).

El estiércol es una de las principales fuentes de contaminación de N y P (Mallin & Cahoon, 2003). El N y el P son elementos de gran abundancia en la naturaleza terrestre y acuática, ayudando al crecimiento de algas y plantas, pero cuando estos elementos son muy abundantes pueden generar contaminación en el aire, agua y suelo. Por otra parte, el purín es la mezcla de fecas, orina, restos de alimentos o agua en distintas cantidades, y son reconocidos por su alto poder fertilizante. A diferencia del estiércol puro, este tiene menos cantidad de materia seca y su composición química es variable, depende de la alimentación, limpieza e instalaciones. Su composición es básicamente: N, P_2O_5 , K_2O , Mg^{+2} y CaO en cantidades variables y puede contener trazas de: Fe^{+2} , Mn^{+2} , B^{+3} , Cu^{+2} , Zn^{+2} , Pb^{+2} , Hg^{+2} , As^{+3} , Se^{-2} y Cd^{+2} (Casassas, 2004). Los purines son ampliamente utilizados como fertilizantes, sin embargo, la mala utilización de estos puede provocar contaminación a nivel de suelo y aguas, ya que estaría otorgando un exceso de minerales (Martínez González, 2019).

Cuando los suelos son fertilizados con cantidades excesivas de purines, puede también resultar en la acumulación de metales pesados integrándose a los procesos biológicos de los microorganismos que habitan los suelos, además de acumular sales (Casassas, 2004). La aplicación en exceso puede resultar en la lixiviación de NO_3^- , lo cual se favorece debido a su alta solubilidad (Casassas, 2004).

Aunque el N y sus distintas formas inorgánicas están presentes en la naturaleza, son las actividades industriales humanas las que han alterado su ciclo natural, provocando un aumento en la contaminación por especies de N (Camargo & Alonso, 2007). El exceso de N es una amenaza para la salud pública, su presencia en el aire y el agua han sido asociados con enfermedades respiratorias, cardíacas y varios cánceres. Además de ser responsable en infantes de trastornos como la metahemoglobinemia o bebé azul, debido al consumo de aguas

contaminadas con nitratos (Townsend et al. 2003). La metahemoglobinemia es una patología que tiene que ver con la oxidación de la hemoglobina por nitritos, de este modo no es capaz de intercambiar O_2 y se anula su función (Ortiz, 2008).

En términos ecológicos, el exceso de N puede propiciar la alteración de la dinámica de diferentes enfermedades transmitidas por fitopatógenos, como el virus del Nilo Occidental, malaria y cólera, es decir, promueve una alteración en un amplio rango de cambios ambientales desfavorables (Vitousek et al. 1997).

El P también está presente en los excrementos. Si el P que es aplicado con los purines al suelo llega a las aguas puede provocar eutrofización, desencadenando la rápida reproducción de algas en las aguas, reduciendo el O_2 e impidiendo la vida de algunos animales marinos (Lougheed, 2011). El P afecta la calidad de las aguas, aumentando procesos de descomposición al agotarse el O_2 , tornando las aguas oscuras y provocando malos olores. El consumo de aguas contaminadas con nutrientes puede provocar problemas a la salud de las personas y otros múltiples efectos indeseables que pueden afectar a animales, a entornos naturales y al ser humano (Sewervac Ibérica, 2018).

2. 3. 3 Efectos de la contaminación por purines

La aplicación de purines es una práctica común en los sistemas agrícolas tradicionales, estos aportan materia orgánica, favoreciendo la actividad biológica, resistencia a la erosión, aireación del suelo, la fijación de carbono, etc. Sin embargo, si estos no se aplican de forma adecuada pueden generar problemas, provocando contaminación de tipo químico o biológico (Pons et al., 2016).

La aplicación de purines en el suelo favorece el desbalance ecológico, debido al exceso de contaminantes que puede aportar (metales pesados, nitritos y nitratos, fosfatos, entre los más importantes). El exceso de estos compuestos puede llegar a inhibir el crecimiento de los cultivos o ser perjudiciales en caso de ingesta a través de los alimentos, como hortalizas o por la ingesta de agua contaminada (Barboza, 2009).

El suelo es muy importante en estos casos ya que es capaz de actuar como un filtro, protegiendo así el paso de estos contaminantes a las napas freáticas o a los vegetales. Sin embargo, debido a las características químicas de algunos compuestos, por ejemplo, su carga eléctrica, algunos de ellos pueden ser fácilmente solubilizados y lixiviados (FAO, 2018).

2.4 Iones nitrato, nitrito y fosfato

Nitratos y nitritos son compuestos solubles derivados del N y están unidos con moléculas de oxígeno. El nitrito se encuentra raramente en las aguas subterráneas, ya que se convierte fácilmente en nitrato. El nitrato es muy importante para el crecimiento de las plantas y se suele utilizar como fertilizante. Pero también estos suelen acumularse en grandes concentraciones en cursos de aguas a causa de la actividad industrial, ganadera, agrícola y urbana (Bolaños et al. 2017). Los nitratos son imperceptibles para las personas ya que no confieren sabor ni olor y la principal fuente de contaminación de acuíferos es por el empleo excesivo de fertilizantes nitrogenados y uso de abonos procedentes de la actividad ganadera (Agencia de protección de la salud y la seguridad alimentaria & Junta de Castilla y León, 2014).

El P, después del N, es el nutriente que más frecuentemente limita la producción de los cultivos. Es considerado también como un elemento esencial para las plantas y es absorbido por las plantas en forma de fosfato (Syers et al., 2008). El ion fosfato (PO_4^-) está formado a partir del P inorgánico que existe como mineral. También puede existir en solución como partículas, como fragmentos sueltos o en los cuerpos de organismos acuáticos. El agua de lluvia puede contener distintas cantidades de fosfatos que se filtran de los suelos agrícolas a los cursos de agua cercanos (Bolaños et al., 2017).

2. 5 Agua como recurso indispensable

Según la declaración de impacto ambiental de Coexca S.A., el agua utilizada para la bebida de animales, evacuación de fecas y lavado de pabellones es potable, es agua obtenida de pozos profundos, la cual es almacenada y enviada a los pabellones. El consumo diario de agua por los porcinos es de aproximadamente 2.500 m^3 . En relación con el proceso, se estipula que el agua utilizada será igual al volumen de fecas por animal diariamente generada (Consultores EMG, 2008).

La contaminación de pozos profundos es común en zonas rurales, se estipula que las aguas subterráneas son menos vulnerables a la contaminación que las superficiales, ya que el suelo funciona como un filtro natural, y por esta razón, estos no son monitoreados (Valenzuela et al., 2009).

La contaminación más frecuente de este tipo es a causa de materia fecal procedente del ganado y excretas humanas, ya que el mayor número de coliformes y estreptococos fecales se encuentran en las excretas, esto depende de diversos factores ambientales, como la pendiente del suelo, las condiciones climáticas del lugar y las prácticas agrícolas (Valenzuela et al., 2009).

Una investigación sobre la contaminación fecal de aguas subterráneas en una pequeña cuenca rural de Chile Central logró evidenciar que en todas las muestras existían patógenos que excedían las regulaciones chilenas de calidad de aguas subterráneas. La aparición de coliformes y estreptococos fecales proporcionan evidencia suficiente de contaminación fecal y se comprobó que vienen directamente del estiércol que ingresa a las aguas subterráneas (Fernández & Álvarez, 2010).

2. 6 Normativa Chilena

La Constitución Política, en su artículo 19 N° 8, estipula el derecho a “vivir en un medio ambiente libre de contaminación” y que “es deber del Estado velar para que este derecho no sea afectado y tutelar la protección de la naturaleza. La ley podrá establecer restricciones específicas al ejercicio de determinados derechos o libertades para proteger al medio ambiente” (Art. 19, n°8, CPR).

Las normativas Chilenas asociadas a la regulación de recursos como el agua y suelo dependen del análisis que se requiere y de cuáles serán sus usos y procedencias, en caso de no existir normas a nivel nacional, se pueden utilizar normas internacionales como se especifica en el DS 40 Reglamento del SEIA, establecido en su artículo 11: “Las normas de calidad ambiental y de emisión que se utilizarán como referencia para los efectos de evaluar si se genera o presenta el riesgo indicado en la letra a) y los efectos adversos señalados en la letra b), ambas del artículo 11 de la Ley, serán aquellas vigentes en los siguientes Estados: República Federal de Alemania, República Argentina, Australia, República Federativa del Brasil, Canadá, Reino de España, Estados Unidos Mexicanos, Estados Unidos de América, Nueva Zelandia, Reino de los Países Bajos, República Italiana, Japón, Reino de Suecia y Confederación Suiza. Para la utilización de las normas de referencia, se priorizará aquel Estado que posea similitud en sus componentes ambientales, con la situación nacional y/o local, lo que será justificado razonablemente por el proponente” (D.S. N° 40, 2013).

En Chile podemos encontrar el Decreto 90:” Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales“ (D.S N°90, 2000).

También existe el código de aguas este establece los límites de varios tipos de contaminantes, sin embargo, lo que es importante recalcar para el presente estudio son los mostrados en el Cuadro 1 (Art.409, Código de Aguas).

Cuadro 1. Límites máximos permitidos en Chile de residuos líquidos sobre Aguas continentales de origen fluvial (Biblioteca del Congreso Nacional, n.d.).

AGUAS FLUVIALES Y POTABLE	
Elemento o sustancia	Límite máximo permitido (mg/L)
Nitrato (NO_3^-)	50
Fósforo (P)	10
Nitrito (NO_2^-)	3

También existe una limitación según la capacidad de dilución del río, sin embargo, según el informe hidrológico de Coexca S. A., se determinó que el Río Purapel no presenta un caudal suficiente de dilución, por lo que debe someterse a los límites mencionados en el Cuadro 1.

2. 7 Carga sobre el sistema

2. 7. 1 Capacidad de retención de N y P de los suelos

Los suelos de la zona analizados por Coexca S. A. en su DIA son principalmente de la serie Villaseca (VIC), que se caracterizan por su poca profundidad y por la presencia de toba volcánica, en este lugar poseen una textura franco-arcillosa y con pendiente de 1 a 3%. También se declara existencia de suelos de la serie Melozal (MEL) con la misma textura y pendiente, entre otros (Consultores EMG, 2008).

Coexca S. A. realizó un estudio que permite conocer la capacidad de infiltración de los suelos en los cuales se emplaza el plantel. En este estudio se concluye que los tipos de suelo: Serie Villaseca (0,984 cm/h) y Ninhue (1,231 cm/h), poseen una baja permeabilidad, a diferencia de suelos como Pocilla (4,492 cm/h) y Melozal (5,550 cm/h) que presentan una alta capacidad de infiltración. Esto podría ser una causal de contaminación de napas subterráneas (Consultores EMG, 2008).

2. 8 Casos similares de interés

Es importante para esta investigación, incluir experiencias similares de otros estudios en el mundo y especialmente en Chile, donde se han dado casos parecidos de importancia ambiental o que incitan el despertar de la conciencia ambiental. En un estudio realizado en la cuenca del río Magdalena, Colombia, se evaluó la concentración de nitratos, nitritos y fosfatos durante los años 2018 y 2019. El estudio muestra que, en época de lluvias, la concentración de nitritos fue bastante más alta que los límites máximos permitidos en Colombia y que estos aumentaron considerablemente entre un año y otro. Durante las épocas de menor pluviometría, las concentraciones de los nutrientes fueron más bajas. Sin embargo, este estudio logró dilucidar que existía contaminación no puntual en el Río Magdalena, principalmente, debido a la actividad agrícola del sector (Cartagena & Vargas, 2020).

Otro caso interesante está relacionado con La Junta de Castilla y León de España, quienes el 30 de junio de 2020 publicaron un decreto que declara 24 zonas vulnerables, integradas por 387 municipios. Esta declaración se debe a la contaminación de aguas por nitratos procedentes de fuentes de origen agrícola y ganadero (Junta de Castilla y León, 2020).

En nuestro país también se han realizado estudios sobre el riesgo asociado a la contaminación por nitratos en aguas subterráneas utilizadas para agua de consumo. Por ejemplo, en la zona de Parral, se muestrearon 94 pozos noria, de los cuales el 14% presentó concentraciones de nitrato

mayores a los permitidos por la ley chilena. No se encontró correlación espacial y la contaminación por nitratos se asoció a la crianza de animales cercanos a la zona (Arumi et al. 2006).

En base a los resultados obtenidos en Parral, se realizó otro estudio en la localidad de Ninhue, Región de Ñuble, muestreando 92 pozos o norias de agricultores de la zona, en los cuales se midió la concentración de nitratos, coliformes fecales y metales pesados. La concentración promedio de nitratos fue de 6,7 mg/L (un 1,1 % de los valores se encontraba fuera de la norma chilena). También se encontró casi un 80% de pozos con coliformes fecales en concentraciones bajas, sin embargo, la normativa expresa que para este tipo de microorganismos no debe haber presencia dentro del agua para consumo humano (Claret et al., 2005).

2. 9 Oportunidades y desafíos

Para las empresas del rubro porcino en Chile, es importante mantener un delicado control sobre los contaminantes que se generan en sus procesos. Una relación justa con su medio y de preocupación por él, ya que cualquier actividad productiva tendrá beneficios y asimismo responsabilidades. Por lo cual, surge como gran oportunidad, tanto para la empresa y las comunidades aledañas, la medición y monitoreo de la posible contaminación de aguas y suelos del sector.

Históricamente se ha presentado como desafío la comunicación entre las ciencias aplicadas y el beneficio de las personas, por lo cual la intención de este trabajo es aportar con información, que se ponga a disposición de cualquier persona o institución que la requiera. Además, tiene como objetivo permitir el avance en el cuidado de las relaciones ecosistémicas mediante el conocimiento de la realidad ambiental.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3. 1 Lugar de estudio

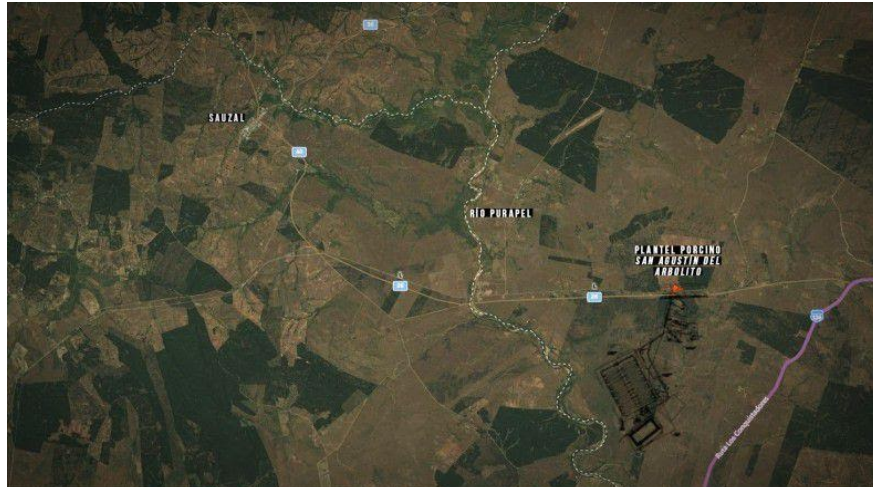


Figura 3. Mapa general plantel Coexca San Agustín del Arbolillo. Extraído de DIA de Coexca. S. A.

El lugar de estudio se sitúa alrededor de la Plantación de pinos fertilizada con purines de la agrícola Coexca San jose del Arbolillo, ubicado en la Localidad de San Agustín, perteneciente a la Comuna de San Javier, Región del Maule. Hacia el oeste de la planta pasa el Río Purapel y existen en los alrededores residencias particulares y predios agrícolas.

Los terrenos son de secano y presentan lomajes suaves, los suelos son de origen lacustre y coluviales, la vegetación mayoritaria es de espinales. La zona posee gran cantidad de plantaciones forestales. Presenta un clima templado Mesotermal Inferior Estenotérmico Mediterráneo Semiárido y Presenta vientos predominantemente del oeste; durante el invierno dominan los vientos del norte y noroeste, con una velocidad de hasta 24 nudos por hora (Consultores EMG, 2008).

3. 2 Muestreo

La zona de muestreo se seleccionó considerando la pendiente que se genera desde la ubicación de la zona de aplicación de purines. La idea central es evaluar los analitos de interés que puedan ser acumulados por arrastre o lixiviación. Para esto, se tomaron muestras de agua y de suelo, detalladas en la Figura 4, con la intención de poder determinar una relación entre ellos. La pendiente que posee el terreno y el formato de disposición final de las aguas residuales de la planta, nos permiten suponer que es altamente posible la infiltración de los nutrientes en el suelo o su arrastre superficial, de esta manera, el depósito final sería la cuenca del Río Purapel o las napas subterráneas aledañas. A su vez, el río Purapel desemboca en el Río Perquilauquén.

Las muestras fueron tomadas durante dos días, viernes 13 de noviembre y miércoles 9 de diciembre del 2020.

Las muestras de suelo (Fig. 4 color marrón, muestras de suelo) son representativas de la zona más intervenida en el riego con desechos líquidos. Estas fueron tomadas aledañas a la plantación de pinos donde se realiza fertilización con aguas residuales del tratamiento de los purines de cerdos.

Las muestras de agua (Fig. 4 en azul, muestras de agua) se tomaron en los ríos mencionados anteriormente y en pozos o norias de vecinos cercanos a la planta. En el caso de los pozos, se tomaron muestras en sectores en los cuales no debería existir efecto de las prácticas agrícolas en el sector, por estar pendiente arriba. Por otra parte, hay muestras en sectores que eventualmente pueden ser afectados, ya sea por escorrentía o lixiviación, debido a su posición topográfica y cercanía al lugar donde se realizan prácticas de fertilización con purines. En los cauces de agua, se tomaron muestras aguas arriba en relación con el sector de fertilización con purines, por lo tanto, se asume que no están contaminadas. También se procedió a muestrear en un sector intermedio, entre la desembocadura del río Perquilauquén y aguas arriba en el río Purapel.

Se realizó una organización (Figura 5) de las muestras generando una separación de zonas geográficas para análisis de muestreo de agua, de esta forma poder buscar una relación entre los puntos más cercanos de agua según su distribución espacial.

El objetivo es analizar la presencia y cantidad de nitratos, nitritos y fosfatos en agua y como estos tienen relación con la cantidad de N y P de los suelos muestreados, para después ser comparados con la Norma Chilena para aguas.

3. 2. 1. Muestra de suelo

Se tomaron 20 muestras de suelos para la determinación de la concentración de N, P y K. Las muestras de suelo se tomaron en los primeros 10 cm de suelo mediante el uso de pala. Se tomaron sub-muestras las que fueron mezcladas para obtener una muestra compuesta en cada punto. Las muestras fueron almacenadas en bolsas plásticas y trasladadas al laboratorio para su análisis. Al tomar las muestras se utilizó una aplicación GPS del smartphone, para conocer las coordenadas del lugar de muestreo.

3. 2. 2. Muestra de agua

Se tomaron 45 muestras de agua para la determinación de nitratos, nitritos y fosfatos del Río Purapel, Perquilauquen y en norias o pozos particulares alrededor de la planta. Se utilizó una aplicación GPS, para anotar las coordenadas del lugar donde se tomó la muestra.

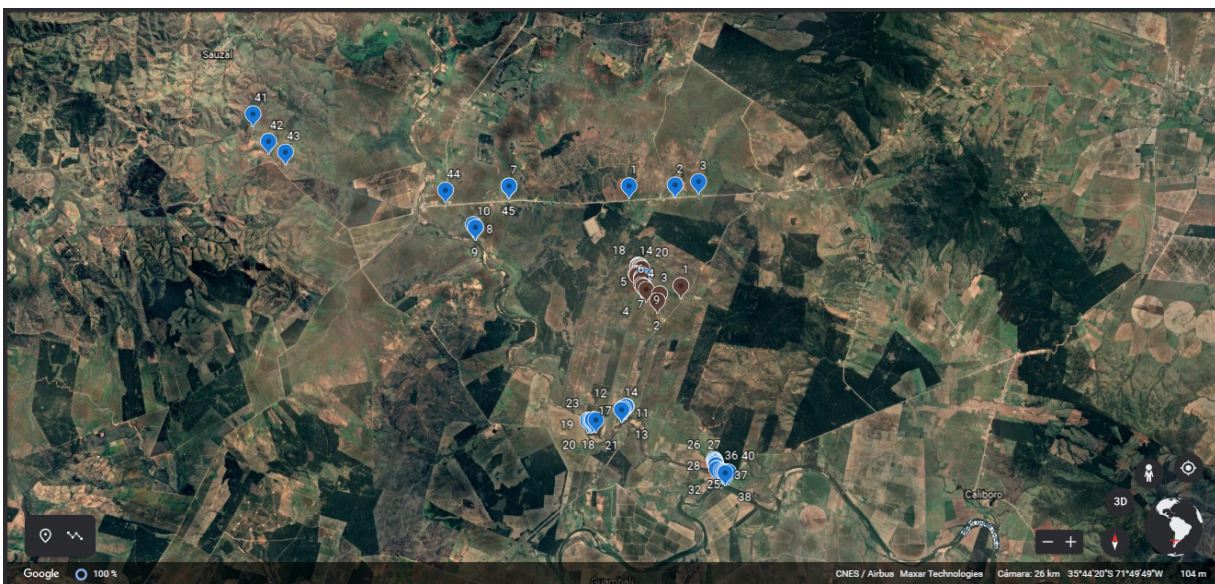


Figura 4. Imagen satelital de los puntos muestreados en el análisis de agua y suelo.

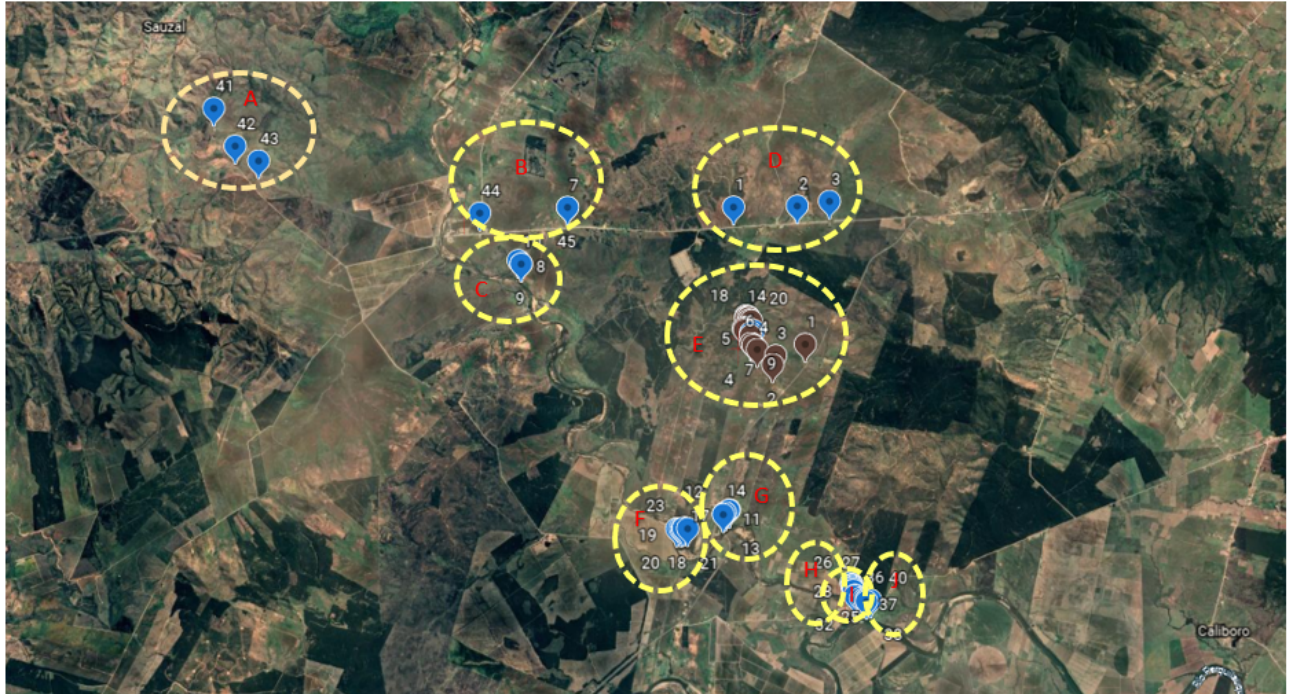


Figura 5. Mapa de muestreo sectorizado definido por zonas.

3. 3 Determinación de N y P en el suelo.

Se tomaron 20 muestras de suelo para su análisis. Para mayor representatividad, se hicieron muestras compuestas, donde se utilizaron varias sub-muestras de una zona en un radio determinado para mezclarlas finalmente. Una vez colectadas las sub-muestras, estas se mezclaron en un recipiente limpio tomando 1 kg de suelo, el cual fue depositado en bolsas plásticas para su traslado al laboratorio. Para el análisis de las muestras se utilizó un Kit para determinación química NPK de la empresa HANNA Instruments.

La determinación de NPK en las muestras se realizó siguiendo los protocolos del kit de análisis de suelos proporcionado por la empresa Hanna. Primero se depositaron 2,5 mL del reactivo para determinación de pH y seis porciones de suelo con un dosificador de tamaño estándar. La mezcla fue agitada por un minuto y luego se determinó el pH mediante comparación con tabla de referencia (Figura 6).

En un segundo tubo de ensayo se depositaron 7,5 mL del reactivo para determinación de NPK y se incorporaron medidas de suelo. Posteriormente se dejó reaccionar por 5 minutos.

A partir de esta solución se procedió a la determinación de:

N: Se extrajo 2,5 mL del tubo de ensayo, se agregó reactivo para determinación de N, se agitó durante 30 segundos y se comparó con tabla de colores de referencia.

P: Se extrajo 2,5 mL del tubo de ensayo, se agregó reactivo para determinación de P, se agitó durante 30 segundos y se comparó con tabla de colores de referencia.

K: Se extrajo 0,5 mL del tubo de ensayo, se agregaron los reactivos para reacción de K, se agitó durante 30 segundos y se determinó la turbidez de la muestra mediante comparación con tabla de referencia.



Figura 6. Kits de detección de pH, presencia de N, P y K.

3. 4 Determinación de nutrientes en aguas de norias cercanas y aguas del Río Purapel.

Se utilizaron frascos limpios de polietileno con capacidad para 15 mL. El recipiente se lavó con la misma agua a muestrear, para ambientar el recipiente. La muestra de agua de pozo se tomó después de algunas horas de su puesta en marcha. Las muestras tomadas en el Río Purapel fueron colectadas en aguas en movimiento y no en zonas estancadas. Se tomó la muestra entre 5-15 cm por debajo de la superficie. Los recipientes fueron cerrados herméticamente y protegidos de la luz y el calor, para evitar el intercambio de gases, o reacciones químicas y disminuir el metabolismo de los organismos presentes en las muestras. Finalmente, la muestra se enfrió

inmediatamente y se mantuvo a una temperatura de 2-5 °C en un cooler. Las muestras se enviaron al laboratorio y fueron ingresadas 48 h después del muestreo.

Para el análisis de nitritos y nitratos se utilizó un kit de detección *Sensafe*. Para la determinación de nitritos y nitratos se sumergió una tirita, con dos indicadores (uno para nitrato y uno para nitrito, respectivamente), en la muestra de agua por 2 s hasta desarrollo de color durante 1 min. Finalmente, se comparó el color desarrollado en ambos indicadores con los colores de referencia. Los valores obtenidos fueron expresados en mg/L.

Para la detección de fosfato se utilizó un Checker (fotómetro de bolsillo) marca Hanna Instruments (Figura 7). Así, se depositó una alícuota de agua en una cubeta, se adicionó el reactivo para desarrollo de color, se dejó reaccionar durante 5 min y se procedió a la lectura con el analizador de bolsillo. Los valores obtenidos se expresaron en mg/L.

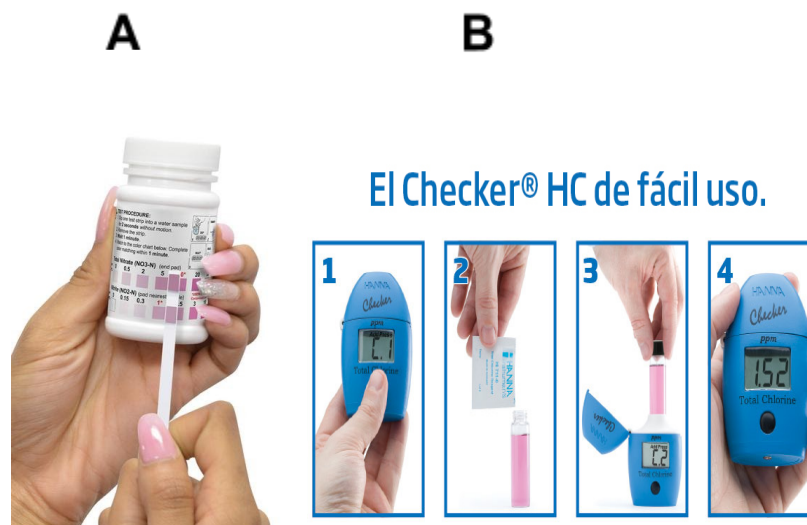


Figura 7. En A) Indicador de nitritos y nitratos. En B) Checker indicador de fosfatos.

3. 5. Diseño experimental y análisis estadístico

La toma de muestras se realizó de forma radial a la planta, tomando como punto central, las naves del plantel porcino. Se utilizó una aplicación para celular de GPS, llamada “my GPS coordinates”, para mapear el lugar de la toma de muestras. Los análisis de determinación de N y P en suelos y aguas fueron relacionados con la cercanía a la planta. Por otra parte, los niveles de nutrientes en aguas fueron comparados con los límites máximos permitidos según la Norma Chilena para Aguas (Art. 409, Código de aguas). Los valores obtenidos fueron evaluados

mediante descriptores simples de estadística: promedios, valores máximos y mínimos. Los gráficos fueron hechos con el Software GraphPad Prism® v8.0, San diego, Estados Unidos.

4. RESULTADOS

4. 1 Análisis de agua

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el análisis de agua para nitratos, nitritos, fosfatos y pH. La mayor cantidad de muestras fueron tomadas en el sector con más pendiente, considerando la mayor altura desde la plantación de pinos ubicada en el recinto de la agrícola Coexca S.A.

Cuadro 2. Muestras de agua con su ubicación geográfica exacta y sus respectivos parámetros analíticos.

N	Fuente	Coordenadas	Nitratos (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Fosfato (mg/L)	pH
1	Pozo	35° 45 '17,35" S - 72° 00' 15,45" O	10	n.d	1,3	8
2	Pozo	35° 45' 16,64" S - 71° 59' 26,64" O	>50	0,15	0,5	7
3	Pozo	35° 45' 13,74" S - 71° 59' 01,98 " O	0,5	n.d	0,3	s.d
4	Canal	35° 46 ' 43,40 "S - 71° 59' 59,76 "O	n.d	n.d	0,2	s.d
5	Canal	35° 46 ' 35,58 "S -72° 00' 02,26" O	n.d	n.d	0	s.d
6	Canal	35° 46' 34,46" S - 71° 59' 59,76" O	n.d	n.d	0	s.d
7	Pozo	35° 45' 17,60" S - 72° 02' 22,56" O	10	n.d	0,1	s.d
8	Río Purapel	35° 45' 50,53" S - 72° 03' 00,51" O	n.d	n.d	0,1	s.d
9	Río Purapel	35° 45' 52,76" S - 72° 02' 58,23" O	n.d	n.d	0,3	s.d
10	Río Purapel	35° 45' 52,76" S - 72° 02' 58,23" O	0,5	n.d	1,5	s.d
11	Río Purapel	35° 48' 27,97" S - 72° 00' 22,43" O	n.d	n.d	0	s.d
12	Río Purapel	35° 48' 28,61" S - 72° 00' 23,28" O	0,5	n.d	1,1	s.d
13	Río Purapel	35° 48' 28,91" S - 72° 00' 23,32" O	0,5	n.d	0	s.d
14	Río Purapel	35° 48' 27,91" S - 72° 00' 21,71" O	0,5	n.d	0	s.d
15	Río Purapel	35° 48' 27,91" S - 72° 00' 21,71" O	n.d	n.d	0,5	s.d
16	Río Purapel	35° 48' 26,24" S - 72° 00' 18,90" O	n.d	n.d	0	s.d
17	Río Purapel	35° 48' 25,96" S - 72° 00' 18,48" O	n.d	n.d	0,2	s.d
18	Río Purapel	35° 48' 36" S - 72° 00' 58" O	0,5	n.d	0,6	s.d
19	Río Purapel	35° 48' 37" S - 72° 00' 59" O	n.d	n.d	0,1	s.d
20	Río Purapel	35° 48' 37" S - 72° 00' 56" O	n.d	n.d	0,2	s.d
21	Río Purapel	35° 48' 37" S - 72° 00' 55" O	n.d	n.d	n.d	s.d

22	Río Purapel	35° 48' 36" S - 72° 00' 53" O	0,5	n.d	n.d	s.d
23	Río Purapel	35° 48' 36" S - 72° 00' 52" O	n.d	n.d	0,1	s.d
24	Río Purapel	35° 48' 36" S - 72° 00' 50" O	n.d	n.d	n.d	s.d
25	La Junta	35° 49' 11,45"S - 71° 58' 45,17" O	n.d	n.d	0,5	s.d
26	La Junta	35° 49' 12,64" S - 71° 58' 44,36" O	n.d	n.d	0,8	s.d
27	La Junta	35° 49' 12,82" S - 71° 58' 44,56" O	n.d	n.d	n.d	s.d
28	La Junta	35° 49' 13,06" S - 71° 58' 44,48" O	n.d	n.d	n.d	s.d
29	La Junta	35° 49' 13,82" S - 71° 58' 43,77" O	n.d	n.d	n.d	s.d
30	La Junta	35° 49' 14,56" S - 71° 58' 44,05" O	n.d	n.d	n.d	s.d
31	La Junta	35° 49' 15,80" S - 71° 58' 43,75" O	n.d	n.d	n.d	s.d
32	La Junta	35° 49' 16,04" S - 71° 58' 43,42" O	n.d	n.d	0,1	s.d
33	Desemboque	35° 49' 19,40" S - 71° 58' 41,81" O	n.d	n.d	0,5	s.d
34	Río Purapel	35° 49' 19,22" S - 71° 58' 42,11" O	n.d	n.d	n.d	s.d
35	Río Purapel	35° 49' 19,60" S - 71° 58' 42,50" O	n.d	n.d	0,1	s.d
36	Río Perquilauquen	35° 49' 24,23" S - 71° 58' 38,42" O	n.d	n.d	0,1	s.d
37	Río Perquilauquen	35° 49' 21,85" S - 71° 58' 35,46" O	n.d	n.d	0,3	s.d
38	Río Perquilauquen	35° 49' 21,85" S - 71° 58' 35,46" O	n.d	n.d	0,4	s.d
39	Río Perquilauquen	35° 49' 21,85" S - 71° 58' 35,36" O	n.d	n.d	1,6	s.d
40	Río Perquilauquen	35° 49' 21,84" S - 71° 58' 35,45" O	n.d	n.d	n.d	s.d
41	Pozo profundo	35° 44' 15,87" S - 72° 06' 53,12" O	n.d	n.d	s.d	7
42	Noria	35° 44' 39,32" S - 72° 06' 36,89" O	0,5	n.d	s.d	8
43	Noria	35° 44' 48,49" S - 72° 06' 19,10" O	5	n.d	s.d	7
44	Noria	35° 45' 21,03" S - 72° 03' 29,92" O	2	n.d	s.d	7
45	Pozo profundo	35° 45' 17,53" S - 72° 02' 22,56" O	10	n.d	s.d	7
	PROMEDIO		2,0	0,003	0,29	s.d

(n.d. = no detectado por la metodología usada (Valor 0 o muy cercano a 0) ; s.d.= sin determinar)

En el Cuadro 2 se muestran las concentraciones obtenidas en muestras de agua para nitratos en aguas subterráneas y cauces. Las concentraciones de nitrato son generalmente bajas.

Del mismo modo, las concentraciones para nitritos fueron bajas en todas las muestras de agua. También se observa que la concentración de fosfatos es más variable, aunque siempre en rangos de concentración bajos. El promedio de todos los valores para nitrato es de 2,0 mg/L, para nitrito 0,003 mg/L y para fosfatos 0,29 mg/L. Es importante señalar, que ninguno de estos promedios se encuentra sobre el límite permitido según la Norma Chilena, por lo que indicaría, que en general, no existe contaminación por nutrientes. Un caso excepcional es un pozo que registró valores por sobre la Norma Chilena para nitratos, excediendo la concentración para nitratos por sobre los 50 mg/L. La muestra fue obtenida en un pozo perteneciente a un vecino del sector.

Se presentan además los resultados de los analitos analizados en función de su concentración.

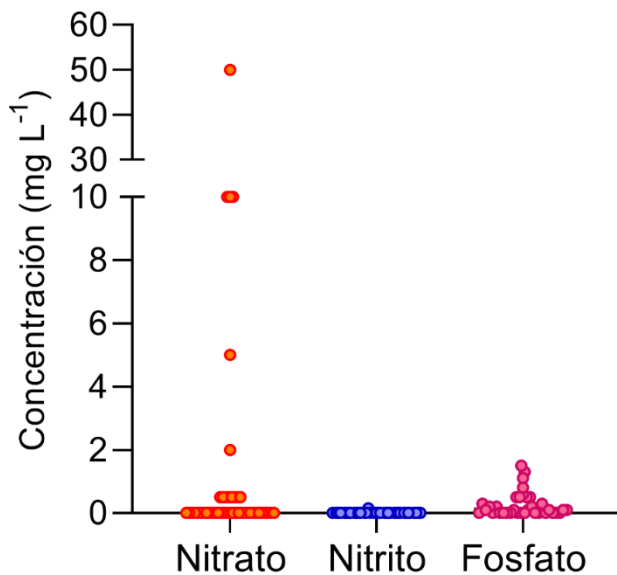


Figura 8. Concentración de los analitos nitrato (rojo), nitrito (azul) y fosfato (rosa) en aguas de pozos y cauces de agua en las cercanías del lugar de manejo de purines provenientes de un plantel porcino.

La Figura 8 muestra la dispersión de los datos para la concentración de nitratos, nitritos y fosfatos en aguas. En la figura queda de manifiesto que tanto la concentración de nitritos y fosfatos es baja. Por otra parte, la concentración de nitratos es baja en la mayoría de los casos, y sólo algunos puntos muestran una concentración entre dos y diez mg/L. Como se mencionó anteriormente, sólo una muestra registró concentraciones por sobre los 50 mg/L. Los valores para nitritos se encuentran desde 0 hasta >50 mg/L, valores para nitrito entre 0 a 0,15 mg/L y los de fosfato desde 0 a 1,6 mg/L.

A continuación, se presentan los datos de muestras de agua ordenados por zona. Como se había mencionado anteriormente, es importante destacar que la plantación de pinos fertilizada con purines se encuentra a 135 m.s.n.m.

La **zona A** representa tres puntos de muestreo, todos de aguas subterráneas de privados del sector el Sauzal, San Javier, estos puntos se encuentran aguas arriba de la zona de aplicación de purines. Por lo tanto, son puntos que pueden servir para comparar con aguas de cauces de más abajo en la posición topográfica. Los tres puntos se encuentran en promedio a 170 m.s.n.m.

Cuadro 3. Muestras de agua de la zona A con sus respectivos parámetros analíticos.

ZONA A			
N	Nitratos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	pH
41	n.d	n.d	7,0
42	0,5	n.d	8,0
43	5	n.d	7,0
Promedio	1,83	n.d	7,33
Desviación estándar	2,75	n.d	0,47

El cuadro 3 muestra los valores para nitratos, nitritos y pH de la zona A. En el caso del nitrato, las concentraciones van desde muy bajo, hasta 5 mg/L, con un promedio de 1,83 mg/L y una desviación estándar de 2,8 mg/L . En el caso de los nitritos, estos no fueron detectados en estas muestras con la metodología usada. El pH de las muestras está entre 7,0 y 8,0, lo cual es normal en aguas de pozo. No se observan concentraciones que representen un riesgo por contaminación de nutrientes.

La zona B se encuentra representada por el muestreo de aguas subterráneas del sector el Arbolillo, San Javier. Estos puntos de muestreo se encuentran en el mismo camino donde se ubica el plantel porcino, pero aguas arriba de este. Los tres puntos se encuentran en promedio a 151 m.s.n.m.

Cuadro 4. Muestras de aguas de la zona B con sus respectivos parámetros analíticos.

ZONA B				
N	Nitratos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Fosfato (mg/L)	pH
7	10	n.d	0,1	s.d.
44	2	n.d	n.d	7
45	10	n.d	n.d	7
Promedio	7,333	n.d	0,1	7
Desviación estándar	4,624	n.d	0,06	

La zona B posee concentraciones de nitratos más altas que la zona A, con concentraciones máximas de 10 mg/L, y mínimas de 2 mg/L, con un promedio total de 7,3 (DS de 4,61). No se registró la presencia de nitritos en las muestras colectadas en esta zona. Para fosfato, una única muestra tuvo una concentración de 0,1 mg/L. A diferencia de la Zona A aquí se encuentran valores más altos para nitratos, ausencia de nitritos y no existen valores que indiquen contaminación.

Cuadro 5. Muestras de agua de la zona C con sus respectivos parámetros analíticos.

ZONA C			
N	Nitratos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Fosfatos(mg/L)
8	n.d	n.d	0,1
9	n.d	n.d	0,3
10	0,5	n.d	1,5
Promedio	0,17	n.d	0,633
Desviación estándar	0,29	n.d	0,76

La zona C representa tres muestras de agua en el río Purapel, a la altura del sector el Arbolillo y aguas arriba del plantel porcino, pero ubicado en el mismo camino. Fueron tomadas en el

terreno de un privado, vecino al plantel porcino. Los puntos se encuentran en promedio a 120 m.s.n.m.

En el cuadro se muestran las concentraciones para nitratos, en dos de ellos no se registró la presencia de nitratos y sólo en una la concentración fue de 0,5 mg/L. No se registró la presencia de nitritos en estas muestras. En el caso de los fosfatos, la concentración registrada fue de 0,1 a 1,5 mg/L. En esta zona se encuentran las concentraciones más altas de fosfatos con respecto a las otras zonas ubicadas en el Río Purapel. Las concentraciones en este sector se encuentran dentro de la normativa.

La zona D está representada por tres puntos de muestreo de aguas subterráneas de vecinos cerca de la entrada al plantel porcino, ubicándose casi a la misma altura de esta. Los puntos se encuentran en promedio a 141,3 m.s.n.m.

Cuadro 6. Muestras de agua de la zona D con sus respectivos parámetros analíticos.

ZONA D				
N	Nitratos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	pH
1	10	n.d	1,3	8
2	>50	0,15	0,5	7
3	0,5	n.d	0,3	s.d
Promedio	20,2	0,05	0,7	s.d
Desviación estándar	26,3	0,09	0,53	s.d

En el cuadro 6 se muestran las concentraciones para nitrato, nitritos y fosfatos de la zona D. Uno de los puntos registró una concentración de 50 mg/L para nitratos, esta muestra fue tomada en un pozo profundo y se encuentra fuera de la norma permitida. Los otros puntos cercanos registran una concentración de 0,5 mg/L y 10 mg/L, respectivamente. Para nitritos, el pozo con alta concentración de nitratos también registró presencia de nitrito. En el caso de fosfatos, la concentración va de 0,3 mg/L a 1,3 mg/L. Esta zona entrega valores más altos en todos los parámetros analizados que las zonas anteriores.

La zona E está representada por canales y cursos de aguas libres que se encontraban en el sector de muestreo de suelo (Figura 4), justo detrás de la plantación de pinos de la planta de

Coexca S. A. y aguas abajo de esta. Este es un punto representativo para el estudio. Los tres puntos muestreados se encuentran en promedio a 132 m.s.n.m.

Cuadro 7. Muestras de agua de la zona E con sus respectivos parámetros analíticos.

ZONA E			
N	Nitratos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)
4	n.d	n.d	0,2
5	n.d	n.d	n.d
6	n.d	n.d	n.d
Promedio	n.d	n.d	0,07
Desviación estándar	n.d	n.d	0,12

La zona E se encuentra totalmente fuera de contaminación por nutrientes ya que todos los valores de nitratos y nitritos se encuentran en valores 0 o muy cercanos a este. Para fosfatos, un único punto presenta una concentración de 0,2 mg/L. Podemos observar que aquí encontramos valores más bajos que las zonas muestreadas en aguas subterráneas.

La **zona F** está representada por 7 puntos de muestras de agua provenientes de un sector del río Purapel. Este río es uno de los límites de la planta por lo que es un punto representativo de muestreo para el estudio. Los siete puntos se encuentran en promedio a 115 m.s.n.m.

Cuadro 8. Muestras de agua de la zona F con sus respectivos parámetros analíticos.

ZONA F	Nitratos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)
18	0,5	n.d	0,6
19	n.d	n.d	0,1
20	n.d	n.d	0,2
21	n.d	n.d	n.d
22	0,5	n.d	n.d
23	n.d	n.d	0,1
24	n.d	n.d	n.d
Promedio	0,14	n.d	0,14
Desviación estándar	0,24	n.d	0,22

El cuadro 8 representa las concentraciones para nitrato, nitrito y fosfato de la zona F. El cuadro indica concentraciones cercanas a 0 para nitratos y sin registro de la concentración de nitritos en las muestras. En tanto que, para fosfatos, la concentración se encuentra en un rango de 0 a 0,6 mg/L. Todos los puntos evaluados indican que no hay contaminación.

La zona G presenta un área de 6 puntos provenientes de muestras de agua de otra porción del Río Purapel, más abajo que la zona F. Los 6 puntos se encuentran en promedio a 115 m.s.n.m.

Cuadro 9. Muestras de agua de la zona G con sus respectivos parámetros analíticos.

ZONA G	Nitratos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)
11	0,5	n.d	1,5
12	n.d	n.d	n.d
13	0,5	n.d	1,1
14	0,5	n.d	n.d
15	0,5	n.d	n.d
16	n.d	n.d	0,5
17	n.d	n.d	n.d
Promedio	0,29	n.d	0,44
Desviación estándar	0,27	n.d	0,62

Para nitratos las concentraciones no fueron mayores que 0,5 mg/L. En el caso de nitritos todos los valores se encuentran en concentraciones tan bajas que no son detectables para la metodología utilizada y para fosfatos la concentración más alta fue de 1,5 mg/L. Esta parte del Río Purapel tiene las concentraciones de nitrato más altas en comparación a las otras zonas muestreadas en el Río Purapel, sin embargo, todos los puntos se encuentran dentro de lo permitido por la Norma Chilena para aguas.

La zona H está representada por 8 puntos de muestras de agua del río Purapel justo antes de desembocar en el río Perquilauquén y mucho más alejado de la planta que las zonas anteriores. Los 8 puntos se encuentran en promedio a 110 m s. n. m.

Cuadro 10. Muestras de agua de la zona H con sus respectivos parámetros analíticos.

ZONA H			
N	Nitratos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)
25	n.d	n.d	0,5
26	n.d	n.d	0,8
27	n.d	n.d	n.d
28	n.d	n.d	n.d
29	n.d	n.d	n.d
30	n.d	n.d	n.d
31	n.d	n.d	n.d
32	n.d	n.d	0,1
Promedio	n.d	n.d	0,18
Desviación estándar	n.d	n.d	0,31

Para esta porción del río Purapel encontramos todos los puntos sin registro de nitratos y nitritos. En el caso de fosfatos, hay dos puntos de muestreo que registran bajas concentraciones. Aquí encontramos las concentraciones totales más bajas con respecto a todas las zonas. Todos los puntos se encuentran dentro de la norma y no presentan riesgos de contaminación

Cuadro 11| Muestras de agua de la zona I con sus respectivos parámetros analíticos.

ZONA I			
N	Nitratos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)
33	n.d	n.d	0,5
34	n.d	n.d	n.d
35	n.d	n.d	0,1
Promedio	n.d	n.d	0,2
Desviación estándar	n.d	n.d	0,26

La zona I (Cuadro 11) se encuentra representada por tres puntos de muestra del Río Perquilauquén justo antes de desemboque el río Purapel, en el sector La junta. Este muestreo

se realizó con el fin de compararlos con el río Purapel y la fracción posterior a la desembocadura. Los tres puntos se encuentran en promedio a 108 m s. n. m.

Para la Zona I encontramos nuevamente valores muy cercanos a 0, no se registró la presencia de nitratos y nitritos, para fosfatos encontramos concentraciones muy bajas, entre 0 a 0,5 mg/L. Todos los valores se encuentran muy bajos en relación con las otras zonas y dentro del marco legal de contaminación por estos nutrientes.

La zona J está representada por 5 muestras tomadas del Río Perquilauquén después de que el Río Purapel desemboque en él. Los 5 puntos se encuentran en promedio a 111 m s. n. m.

Cuadro 12. Muestras de agua de la zona J con sus respectivos parámetros analíticos.

ZONA J			
N	Nitratos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)
36	n.d	n.d	0,1
37	n.d	n.d	0,3
38	n.d	n.d	0,4
39	n.d	n.d	1,6
40	n.d	n.d	n.d
Promedio	n.d	n.d	0,48
Desviación estándar	n.d	n.d	0,65

Los resultados al igual que en la zona anterior muestran que no existe concentración de nitratos y nitritos, pero esta vez encontramos valores más altos de fosfatos con un promedio total de 0,48 mg/L y un valor máximo de 1,6 mg/L. Los valores se encuentran ligeramente más dispersos que en las zonas anteriores de los ríos, este es el valor más alto de concentración de fosfatos entre aguas superficiales.

4. 2 Análisis de suelo

Cuadro 13 | Resultados muestras de suelo, análisis pH, N, P y K.

N°	Coordenadas	pH	N	P	K
1	35° 46' 42,75" S - 71° 59' 20,54" O	5	Trazas	Trazas	Trazas
2	35° 46' 55,49" S - 71° 59' 45,43" O	5	Trazas	Trazas	Bajo
3	35° 46' 49,80" S - 71° 59' 43,16" O	5	Trazas	Trazas	Bajo
4	35° 46' 46,01" S - 71° 59' 57,24" O	5	Bajo	Trazas	Medio
5	35° 46' 43,36" S - 72° 00' 00,56" O	6	Trazas	Trazas	Bajo
6	35° 46' 42,09" S - 72° 00' 02,03" O	5	Bajo	Trazas	> Alto
7	35° 46' 37,34" S - 72° 00' 02,40" O	6	Trazas	Trazas	> Alto
8	35° 46' 33,77" S - 72° 00' 02,21" O	6	Bajo	Trazas	Bajo
9	35° 46' 33,44" S - 72° 00' 03,60" O	4	Trazas	Trazas	Bajo
10	35° 46' 32,10" S - 72° 00' 05,38" O	5	Bajo	Trazas	Bajo
11	35° 46' 32,36" S - 72° 00' 06,30" O	4	Trazas	Trazas	Bajo
12	35° 46' 32,89" S - 72° 00' 07,90" O	6	Medio	Trazas	> Alto
13	35° 46' 33,91" S - 72° 00' 07,32" O	4	Trazas	Trazas	Medio
14	35° 46' 26,57" S - 72° 00' 05,98" O	4	Trazas	Trazas	Medio
15	35° 46' 25,70" S - 72° 00' 05,65" O	5	Trazas	Trazas	Trazas
16	35° 46' 24,98" S - 72° 00' 05,84" O	6	Trazas	Trazas	Trazas
17	35° 46' 25,67" S - 72° 00' 03,89" O	5	Trazas	Trazas	Trazas
18	35° 46' 26,24" S - 72° 00' 03,85" O	5	Trazas	Trazas	> Alto
19	35° 46' 27,68" S - 72° 00' 03,44" O	5	Trazas	Trazas	Bajo
20	35° 46' 28,08" S - 72° 00' 01,87" O	5	Trazas	Trazas	Medio

En el cuadro 13 se muestran las 20 muestras de suelo tomadas en un cercano a la zona de fertilización con purines. El análisis realizado es semi-cuantitativo y los valores registrados se encuentran en el rango de trazas para los parámetros estudiados (N y P). En el caso del K, los rangos son más dispersos y altos, aunque no indican contaminación. Se observa que los valores registrados para NPK en suelos podrían estar relacionados con las muestras de agua, ya que las bajas concentraciones de N y P se ven reflejadas en las bajas concentraciones de nitratos, nitritos y fosfatos encontradas en las muestras de agua, aguas abajo de la plantación de Pinos.

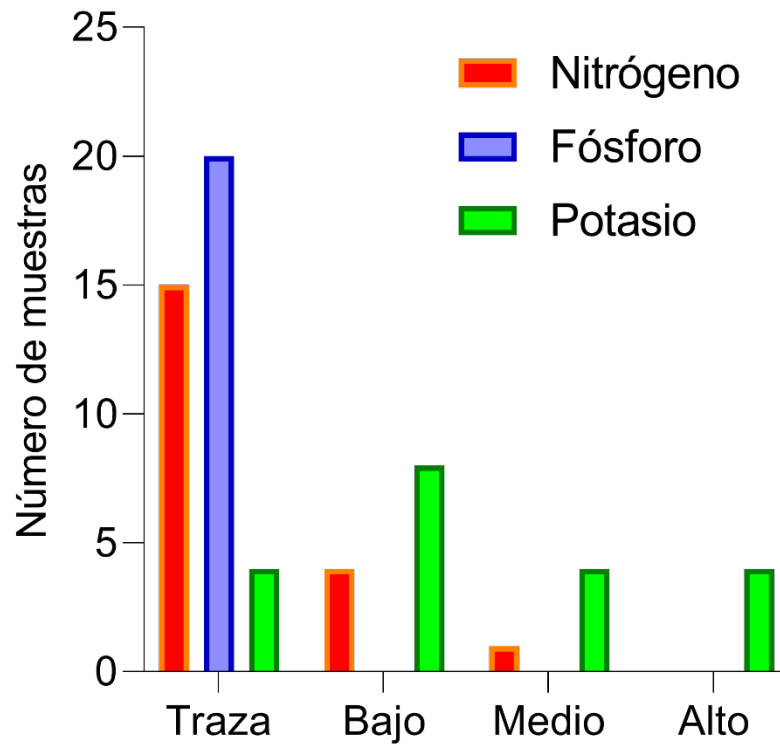


Figura 9. Número de muestras de suelos en los diferentes rangos de concentración para NPK.

Para una mayor comprensión de los resultados de suelo, se puede observar la figura 9, la cual representa los valores para N, P y K. En esta figura queda de manifiesto que los valores para NPK se encuentran principalmente en el rango de trazas. Tanto N y P tienen una alta cantidad de muestras en concentraciones trazas, para K hay una mayor variabilidad de los datos, encontrando la mayor cantidad de los datos en el rango de concentración, bajo. Las concentraciones de NPK en suelos indican que no hay exceso de nutrientes lo cual tiene correspondencia con la baja concentración de nitritos, nitratos y fosfatos presentes en los ríos.

5. DISCUSIÓN

Si los efluentes generados por la actividad ganadera no se manejan de forma eficiente, en un tiempo determinado se comenzarán a percibir impactos negativos de tipo ambiental que generarán conflictos entre los pobladores y las grandes industrias (Salazar, 2005). Este podría ser el caso de Coexca S.A. que tiene innumerables denuncias de ilegalidades y demandas ante los tribunales, existiendo aproximadamente 180 denuncias en la Seremi de Salud por malos olores, aparición de vectores como moscas y roedores, que provocan problemas de salud a las personas. Existe también un recurso de protección realizada por el Instituto de Derechos Humanos (INDH, 2019) y 29 vecinos de los sectores aledaños a la planta porcina en contra del Ministerio de Salud, la Superintendencia del Medio Ambiente y la Agrícola Coexca S.A., en donde se indica que los episodios de contaminación por fuertes olores son recurrentes y afectan la integridad personal, física y química de las personas que habitan la zona. Además del mal funcionamiento del biodigestor, faltan instalaciones para el correcto manejo de los efluentes y malas prácticas, como dejar purines expuestos a la intemperie (INDH, 2019).

Coexca S.A. afirma en su DIA (Consultores EMG, 2008) que produce aproximadamente 3.338.306 L de purines al día, lo cual es un volumen muy grande para que sea utilizado como fertilizante en pequeñas superficies de cultivo. Una aplicación excesiva de purines puede resultar en lixiviaciones y pérdidas de nutrientes que están contenidos en ellos (Collao Barrios, 2008).

Al analizar los resultados de este estudio, no hay evidencia de una acumulación de nutrientes en los suelos o en las aguas muestreadas que haya sido generado por el arrastre o por lixiviación de nutrientes. Lo anterior implica que no existe contaminación por nutrientes en los lugares estudiados durante la fecha de muestreo (noviembre y diciembre de 2020). A su vez, sólo se encontró un punto de muestreo en aguas fuera del límite permitido, sin embargo, no se puede atribuir como causal directa la actividad del plantel porcino, ya que también se puede deber al manejo agrícola de los privados u otra fuente de contaminación. Además de esto, todas las muestras de suelo y agua tienen bajas concentraciones de nitratos y fosfatos, siendo el promedio total de la concentración de nitratos en cursos de agua de 2,02 mg/L para nitratos, de 0,003 mg/L para nitritos y de 0,29 mg/L para fosfatos, concentraciones bajas que se encuentran dentro de la Norma Chilena para aguas. En los suelos ocurre una situación similar, la medición semi-cuantitativa de la concentración de NPK en suelos indica que las muestras poseen concentraciones de N y P mayoritariamente en el rango de trazas.

Para aguas subterráneas, como norias o pozos profundos se obtuvo concentraciones bajas para nitratos, nitritos y fosfatos. Mientras que las concentraciones en los cauces de agua fueron aún más bajas. Sin embargo, las concentraciones más altas de todos los nutrientes se encuentran en aguas subterráneas, específicamente en la Zona D de muestreo, aunque no sobrepasan el límite considerado como contaminación. Estos puntos se encuentran aguas arriba de la planta, por lo que no se puede atribuir responsabilidad a la empresa por la presencia de estos nutrientes, ya que puede ser causa de otros manejos, como la actividad agrícola de la zona. Aplicaciones de fertilizantes inorgánicos también pueden resultar en contaminación de aguas (Corradini et al., 2015).

Con respecto a los ríos, las áreas más cercanas a la planta como la Zona F y la Zona G mostraron bajas concentraciones de nitratos, pero más altas que las de las Zona H, I y J, las cuales no registraron la presencia de nitratos y se encuentran más alejadas de la planta. Sin embargo, como se mencionó anteriormente las concentraciones son muy bajas y no son un riesgo de contaminación.

Es indudable el cuestionamiento y la preocupación con respecto al paradero final de los desechos líquidos aplicados al suelo. Dentro de la literatura se evidencia que el requerimiento nutricional de *Pinus radiata*, especie usada como agente controlador de desechos en este caso, no es alto. La fertilización de los pinos depende de muchos factores como: tipo de suelo, historia del terreno, control de la vegetación acompañante, edad de la plantación, población (árboles/ha), etc. Pero en general, se recomienda fertilizar con entre 110 a 220 kg N, 65 a 130 kg de P₂O₅ y con entre 100 y 130 kg de K₂O/ha, cada 2 a 3 años o en ciertas etapas de crecimiento (Dickens et al., 2004). Por lo cual es válido suponer que el exceso de nutrientes aplicados (provenientes de los purines), sean lavados, ya que la aportación de estos nutrientes aplicados en los purines puede exceder la cantidad antes señalada. Sin embargo, la ausencia de contaminantes en las aguas y suelos en las cercanías del predio hace suponer que la empresa está haciendo bien el manejo de efluentes y que los pinos son capaces de aprovechar estos nutrientes para hacer sus procesos biológicos.

Luego de cotejar con otros estudios similares (Cartagena & Vargas, 2020), las pérdidas de nutrientes pueden tener relación con el clima, existiendo mayor arrastre de nutrientes en épocas de lluvia. Por lo tanto, estudios complementarios en esta zona, pero en otras épocas del año, serían beneficiosos para realizar un monitoreo y controlar posibles pérdidas de nutrientes. También sería necesario aumentar la zona de muestreo para comparar más puntos, además de complementar las mediciones con análisis de parámetros biológicos como: coliformes fecales o la demanda biológica de oxígeno (DBO). No obstante, este estudio permite sentar las bases para

el análisis de los principales analitos contaminantes de agua y suelo (Bolaños et al. 2017), en la zona de estudio y generar información para una base de datos que esté disponible para la comparación y análisis de la evolución de la concentración de los nutrientes a través del tiempo.

6. CONCLUSIONES

- No existe evidencia científica de que las concentraciones de nutrientes en el suelo en las cercanías de Coexca S. A. incrementan la concentración de nitratos, nitritos y fosfatos en cursos y pozos de agua en el sector el Arbolillo, San Javier.
- No existe evidencia de la relación geográfica entre los nutrientes y la empresa Coexca S. A.
- Los niveles más altos de nitrato se encuentran en pozos profundos, donde solo uno de ellos estaba fuera de los límites de contaminación con nitratos.
- Los ríos Purapel y Perquilauquén poseen bajas concentraciones de nitratos, nitritos y fosfatos en las zonas muestreadas.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Acuña, D. y Pizarro, M. J. (2019). La industria porcina en Chile: oportunidades y desafíos para su sustentabilidad. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 14 p.

Agencia de protección de la salud y la seguridad alimentaria & Junta de Castilla y León. (2014). Los nitratos y los nitritos y el agua de consumo. El agua potable. España.

Arumi, J., Nuñez, J., Salgado, L. y Claret, M. (2006). Evaluación del riesgo de contaminación con nitrato de pozos de suministro de agua potable rural en Chile. Revista Panamericana de Salud Pública. 20 (6): 385-392.

Barboza, J. (2009). Dimensionamiento de un sistema de tratamiento de nitrógeno total y fosfatos para el efluente de una granja porcina ubicada en Guápiles. Tesis de Licenciatura. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San José, Costa Rica. 190 p.

Bolaños, D., Cordero, G. y Segura, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). Revista Tecnología En Marcha, 30(4): 15–27.

Camargo, J. y Alonso, A. (2007). Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climático. Ecosistemas, 16 (2): 98–110.

Campagnolo, E. R., Johnson, K. R., Karpati, A., Rubin, C. S., Kolpin, D. W., Meyer, M. T., Esteban, J. E., Currier, R. W., Smith, K., Thu, K. M. & McGeehin, M. (2002). Antimicrobial residues in animal waste and water resources proximal to large-scale swine and poultry feeding operations. The Science of the Total Environment, 299 (1-3): 89–95.

Cartagena, L. y Vargas, D. (2020). Estudio del riesgo por fosfatos, nitratos y nitritos en el agua del río Magdalena para abastecimiento de girardot-ricaurte. Tesis de Pregrado. Universidad Piloto de Colombia. Cudinamarca, Colombia. 99 p.

Casassas, J. (2004). Aplicación agrícola de los purines, riesgos de contaminación y caracterización química. Comunidad Profesional Porcina. 3 p.

Claret, M., Perez, C., Urrutia, R. y Palacios, M. (2005). Contaminación en agua de pozo destinada a consumo humano. Estudio en Ninhue, Octava Región. Revista Tierra Adentro, 60: 17-19.

Coexca, S. A. (2009). FILIALES SUBSIDIALES. COEXCA.

Collao, G. (2008). Contaminación de las aguas subterráneas por nitratos provenientes de la utilización de purines de cerdo en la agricultura. Tesis de pregrado. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 163 p.

Constitución Política de la República de Chile (1980). Editorial Jurídica de Chile (1993). Art. 19, N° 8.

Consultores DAES (2019). Proyecto “optimización del sistema de manejo de purines del primer grupo de 24 pabellones del plantel porcino de 10 mil madres, San Agustín del Arbolito”. Servicio de Evaluación Ambiental. 182 p.

Consultores EMG (2008). Declaración de impacto ambiental proyecto “plantel porcino de 10 mil madres San Agustín del Arbolito”. Servicio de Evaluación Ambiental. 49 p.

Corradini, F., Nájera, F., Casanova, M., Tapia, Y., Singh, R. & Salazar, O. D. (2015). Effects of maize cultivation on nitrogen and phosphorus loadings to drainage channels in Central Chile. *Environmental Monitoring and Assessment*, 87: 697.

Dickens, D., Moorhead, D. y McElvany, B. (2004). Fertilización de plantaciones de pino. IPNI. *Informaciones agronómicas* N° 52. 3 p.

Diez, J., de la Torre, A., Cartagena, M., Carballo, M., Vallejo, A. y Muñoz, M. (2001). Evaluation of the application of pig slurry to an experimental crop using agronomic and ecotoxicological approaches. *Journal of Environmental Quality*, 30(6): 2165–2172.

Flores, H. (2012). Herramientas de Gestión Ambiental para la utilización de purines como biofertilizantes. Tesis de Postgrado. Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 154 p.

FAO (2000). Manual de capacitación para trabajadores de campo en América latina y el caribe. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma. 205 p.

FAO (2018). La contaminación de los suelos está contaminando nuestro futuro, Alianza Mundial por el Suelo. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Fernández-Marcos, M. y Álvarez-Rodríguez, E. (2010). Contaminación del suelo por metales pesados resultante de la aplicación de purines y biosólidos. *Servizo de Publicacións e Intercambio Científico*, Universidad de Santiago de Compostela, España. 226 p.

Hilliard, E., Beard, J. & Pearce, G. (1978). Utilization of piggery waste I. The chemical composition and in vitro organic matter digestibility of pig faeces from commercial piggeries in south-eastern Australia. *Agriculture and Environment*, 4(3): 171–180.

INIA (2005). Recomendaciones técnicas para la gestión ambiental en el manejo de purines de explotación porcina. Colección libros INIA N° 18. 206 p.

INDH (2019). Acción de protección recurrido a Superintendencia del Medio Ambiente, Agrícola Coexca S.A. y Ministerio de Salud. Poder judicial. Chile.

Instituto Nacional de Normalización (2004). Norma Chilena Oficial NCH 409: agua potable. Biblioteca del Congreso Nacional.

Junta de Castilla y León (2020). La Junta aprueba el Proyecto de Decreto de Zonas Vulnerables a la contaminación por nitratos y el Código de Buenas Prácticas Agrarias. Comunicación de la Junta de Castilla y León. <https://comunicacion.jcyl.es/web/jcyl/Comunicacion/es/Plantilla100Detalle/1281372051501/A cuerdoGobierno/1284964340002/Comunicacion>

- Kadurumba, C., Kadurumba, O. & Enekwachi, M. (2019). Piggery waste management practices and environmental implications on human health in rivers state, Nigeria. *International Journal of Agriculture and Rural Development*, 22(1): 4161–4166.
- Lougheed, T. (2011). La paradoja del fósforo. *Salud Pública de México*, 53(5): 449–455.
- Mallin, M. & Cahoon, L. (2003). Industrialized Animal Production—A Major Source of Nutrient and Microbial Pollution to Aquatic Ecosystems. *Population and Environment*, 24(5): 369–385.
- Marszałek, M., Kowalski, Z. & Makara, A. (2019). The Possibility of Contamination of Water-Soil Environment as a Result of the Use of Pig Slurry. *Ecological Chemistry and Engineering S*, 26(2): 313–330.
- Marszałek, M. & Kowalski, Z. (2014). Physicochemical and microbiological characteristics of pig slurry. *technical transactions chemistry. Technical Transactions, Chemistry*, 1: 81–91.
- Martinez-Almela, J. (2007). Opciones para el tratamiento de purines. *Anaporc*, 37: 16–24.
- Martinez González, B. (2019). Evaluación de impactos ambientales en la industria porcina y propuestas de mejorar en el manejo de purines. Estudio de caso. Tesis de Pregrado. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 89 p.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2013). Aprueba reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Decreto N° 40, Artículo 11. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. 105 p.
- ODEPA (2020). Boletín carne bovina: tendencias de producción, precios y comercio exterior, Junio. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 31 p.
- ODEPA (2020b). Boletín carne bovina: tendencias de producción, precios y comercio exterior, Febrero. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 31 p.
- Ortiz, L. (2008). Metahemoglobinemia en lactantes por ingestión de agua subterránea. *Revista Archivo Médico de Camagüey*, 12(4): 1–7.
- Peralta, J., Araya, A. y Herrera, C. (2005). Manejo de purines porcinos y tecnologías aplicables: 60–90. In: Peralta, J.M (Ed) INIA – Ministerio de Agricultura. Recomendaciones técnicas para la gestión ambiental en el manejo de purines de la explotación porcina. Colección libros INIA número 18. INIA, Santiago, Chile. 206 p.
- Plaza, C., García-Gil, J. C. & Polo, A. (2007). Microbial activity in pig slurry-amended soils under aerobic incubation. *Biodegradation*, 18(2): 159–165.
- Pons, J., Regada, I., y Fuentes, E. (2016). La contaminación por purines: detección y tratamiento de los nitratos. *UABDivulga Barcelona Investigación e Innovación*.
- Quiroz, M., & Varnero, M. T. (2015). Microbiological activity and N transformations in a soil subjected to aggregate extraction amended with pig slurry. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 75(3): 350–356.

SAG (2019). Manual de Buenas Prácticas sobre Bienestar Animal en Sistemas de Producción Industrial de Cerdos. 1a Edición. Ministerio de Agricultura. Servicio Agrícola y Ganadero. Santiago de Chile. 90 p.

Salazar, F. (2005). Impacto ambiental de sistemas pecuarios. INIA. Temuco: Serie Actas - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. N° 29. 22 p.

Sewervac Ibérica. (2018). Eutrofización: Causas, consecuencias y soluciones. iAqua.

Syers, J., Johnston, A. & Curtin, D. (2008). Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use. FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin 18. FAO, United Nations, Rome, Italy. 123 p.

Townsend, A., Howarth, R., Bazzaz, F., Booth, R.S., Cleveland, C., Collinge, S., Dobson, A., Epstein, P., Holland, E., Keeney, D., Mallin, M., Rogers, C., Wayne, P. & Wolfe, A. (2003). Human health effects of a changing global nitrogen cycle. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1: 240-246.

Uribe, N. y Henao, S. (2017). Transporte de cerdos y sus repercusiones en el bienestar animal y la producción cárnica. *Revista de Medicina Veterinaria*, 33: 149-158.

Valenzuela, M., Lagos, B., Claret, M., Mondaca, M. A., Pérez, C., & Parra, O. (2009). Fecal Contamination of Groundwater in a Small Rural Dryland Watershed in Central Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 69(2): 235-243.

Vicari, María P. (2012). Efluentes en producción porcina en Argentina: generación, impacto ambiental y posibles tratamientos. Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina. 85 p.

Vitousek, P., Aber, J., Howarth, R., Likens, G., Matson, P., Schindler, D., Schlesinger, W. & Tilman, D. (1997). Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. *Nature Sciences Sociétés*, 5(4): 85.

Zhu, Y. G., Zhao, Y., Zhu, D., Gillings, M., Penueles, J., Ok, Y. S., Capon, A. & Banwart, S. (2019). Soil biota, antimicrobial resistance and planetary health. *Environment International*, 131: 105059.