



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA PARA
CONSUMO HUMANO”

Trabajo de Investigación para optar el Grado de Bachiller en:
INGENIERÍA AMBIENTAL

Presentado por:

Grecia Thane Oscoco Medina (0000-0002-1247-5332)

Asesor:

Armando Jesús Edilberto, Vélez Azañero (0000-0003-4246-1502)

Lima – Perú

2019

**RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N° 239 -2020-DACIA-DAFCA-
CIENTIFICA**

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES / CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Lima 16 de noviembre de 2020

VISTO:

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: **Determinación de la calidad de agua subterránea para consumo humano**, presentado por:

- **Grecia Thane Oscoco Medina**

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el grado de Bachiller de **Ingeniería Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

SE RESUELVE:

Aprobar e inscribir el trabajo de investigación titulado: **Determinación de la calidad de agua subterránea para consumo humano** con N° de registro de la carrera: **086-FCA-IAM**.

Nombrar al docente/colaborador **Vélez Azañero, Armando Jesús** como asesor de dicho trabajo de investigación.

Regístrese, comuníquese y archívese,



Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca
Director Académico de Carrera
Ingeniería Ambiental

Determinación de la calidad de agua subterránea para consumo humano

Grecia Oscoco-Medina & Armando Vélez-Azañero

greciaoscco@gmail.com

Universidad Científica del Sur. Facultad de Ciencias Ambientales. Carrera de Ingeniería

Ambiental. Panamericana Sur Km19. Lima 42

Resumen

A principios del siglo 21, las enfermedades hídricas son el mayor problema de calidad de agua subterránea, estas ocasionadas por contaminantes que son introducidos por distintos medios al agua, siendo el contaminante más frecuente los microorganismos patógenos, debido frecuentemente a las instalaciones cercanas de pozos sépticos, silos o la disposición de residuos sólidos en la parte superficial del suelo. La calidad del agua subterránea se puede ver afectada naturalmente y artificialmente mediante la modificación de sus componentes (pH, Turbiedad, DBO, sulfatos, nitratos, oxígeno disuelto, etc.). Además, la calidad de agua es diferente para cada actividad de uso que se le pueda dar, esto va a estar determinado por la norma nacional que establece el MINSA para los LMP de calidad del agua para consumo humano. Así mismo, para la determinación del estado del agua se utiliza el ICA que establece los rangos del estado del agua que permite conocer las condiciones del agua en un tiempo determinado. Mediante investigaciones y estudios de calidad de agua subterránea en zonas rurales, se concluye que las enfermedades gastrointestinales se relacionan con el agua de consumo extraídos de pozos, debido a que estas aguas subterráneas presentan contaminación, estableciendo la necesidad de buscar alternativas de tratamiento que garanticen la buena calidad de agua subterránea para el consumo de las personas; beneficiando la calidad de vida de una población en específico.

Palabras clave: calidad de agua subterránea, contaminantes, enfermedades, índice de calidad.

Abstract

At the beginning of the 21st century, water diseases are the biggest problem of groundwater quality, caused by pollutants that are introduced by different means to water, being the most frequent contaminant the pathogenic microorganisms, frequently due to nearby facilities of septic tanks, silos or the disposal of solid waste on the surface of the ground. The quality of groundwater can be affected naturally and artificially by modifying its components (pH, Turbidity, BOD, sulfates, nitrates, dissolved oxygen, etc.). In addition, water quality is different for each use activity that can be given, this will be determined by the national standard that establishes the MINSA for the LMP of water quality for human consumption. Likewise, for the determination of the state of the water the ICA is used, which establishes the water status ranges that allow to know the water conditions in a determined time. Through research and studies of groundwater quality in rural areas, it is concluded that gastrointestinal diseases are related to drinking water extracted from wells, because these groundwater are contaminated, establishing the need to seek treatment alternatives that guarantee the good groundwater quality for human consumption; benefiting the quality of life of a specific population.

Keywords: quality of groundwater, contaminants, diseases, quality index.

Revisión teórica

Agua subterránea.

El agua subterránea es una parte importante de toda la cantidad de agua existente en el continente, constituyendo una masa que solo comprende el agua dulce de todo el planeta, que se encuentra bajo la superficie de la corteza terrestre, por debajo del nivel freático donde los poros y fisuras del terreno se encuentran saturados. Esta se aloja en los acuíferos y son capaces de almacenar y transmitir el agua desde la superficie debajo de la tierra (Ordoñez, 2011; Llamas, Hernández, & Martínez, 2000).

Las aguas superficiales se van infiltrando por el terreno por medio de los poros y grietas del suelo, llegando hasta un nivel donde todos los orificios están llenos de agua; esta zona es llamada la zona de la superficie freática o zona saturada (Ordoñez, 2011). El agua se desplaza lentamente por medio del acuífero entre la zona saturada y no saturada, llegando al nivel freático la cual va renovando y recargando de forma natural por medio de la percolación generado por las precipitaciones y por la escorrentía superficial; ayudando a la gestión de este recurso hídrico, tanto como al aprovechamiento y protección de las aguas subterráneas (López, Fornés, Ramos, & Villarroya, 2009).

El agua subterránea fluye a la superficie naturalmente por medio de áreas de rezume, manantiales, cauces o directamente al mar. Asimismo, el agua subterránea puede extraerse artificialmente por medio de pozos, que se trata de un agujero, excavación o mediante un túnel vertical en la cual perfora el suelo hasta encontrar una profundidad suficiente para encontrar el nivel freático; y otros tipos de captaciones (Fuentes, 2002). Todo ello para lograr el objetivo de extraer agua desde el nivel freático y darle diferentes usos, ya sean domésticos o industriales (Pritchard, 2010).

Resaltando la extracción artificial por medio de pozos, generalmente este es de forma cilíndrica y se recomienda tomar precauciones para el aseguramiento de sus paredes, ya sea con ladrillos, piedras, madera o cemento, todo ello para evitar cualquier deterioro o un derrumbe (Santa Cruz, 2013).

La problemática e interés que abarca las aguas subterráneas ha venido aumentando cada año en los ambientes científicos y técnicos en todas partes del mundo, debido a que su uso ha sido mayor cada año para la satisfacción de las necesidades humanas, siendo esta la principal razón (Ordoñez Suarez, 2001). Donde gran parte de la investigación hidrogeológica se está centrando en los problemas de la calidad del agua subterránea, presentando contaminación desde niveles muy altos a bajos, ocasionados por causas naturales o mayormente que se da por las actividades humanas (J. Sánchez, 1991).

El acuífero.

El acuífero representa un volumen de roca y arena que se encuentra bajo la superficie terrestre en la cual contiene agua, describiéndose como un medio poroso, capaz de almacenar volúmenes grandes de agua y que a través del cual esta se puede mover o fluir naturalmente (Ordoñez, 2011). Estos pueden estar clasificados en acuíferos libres, confinados y semiconfinados (Santa Cruz, 2013).

Las propiedades que presentan los acuíferos de almacenar o contener agua, está definida por sus factores de porosidad, coeficiente de almacenamiento, transmisibilidad específica y permeabilidad. Conociendo dichas características se permite evaluar el recurso hídrico, en su magnitud y aprovechamiento racional sin correr el riesgo de agotar el recurso (Foster, Tuinhof, Kemper, Graduño, & Nanni, 2006).

Vulnerabilidad del acuífero.

El sistema de agua subterránea tiene una propiedad intrínseca, que va a depender de la sensibilidad del sistema frente a una carga contaminante (artificiales o naturales); demostrando incapacidad para absorber las alteraciones. Así mismo, se describe como el riesgo del peligro al deterioro de la calidad del acuífero, frente a impactos por contaminantes. Existen dos tipos de vulnerabilidad del acuífero, la vulnerabilidad intrínseca y la específica. La vulnerabilidad intrínseca, se refiere a que los trabajos desarrollados en la superficie pueden afectar al acuífero; por ejemplo, actividades como la ganadería, fertilización, riego de plantaciones, o actividades domésticas, industriales o urbanas). Y la vulnerabilidad específica, se refiere al riesgo de peligro de deterioro del acuífero relacionado a contaminantes específicos (Auge, 2004).

Calidad de agua subterránea.

Respecto a la calidad de agua subterránea, ya en el mundo en desarrollo (siglo 21), uno de los problemas más grandes de alta frecuencia sigue siendo el de las enfermedades hídricas ocasionadas por patógenos, como por ejemplo las bacterias coliformes fecales (Foster, Kemper, Tuinhof, Nanni, & Garduño, 2006). El problema se debe en gran medida a que los contaminantes más frecuentes de las aguas subterráneas son los ya mencionados patógenos, que generalmente llegan al agua debido a la presencia de heces humanas o animales muy cerca a la fuente, como resultado de una protección sanitaria inadecuada (AECID, 2017). Existen diferentes técnicas combinadas que se pueden utilizar para obtener una buena calidad de agua y para mejoras en su saneamiento e higiene, estas intervenciones pueden disminuir

hasta un 80% el riesgo de adquirir enfermedades hídricas y por lo tanto se reduciría la mortalidad relacionadas a dichas enfermedades (AECID, 2017).

Por otro lado, para una certificación de la calidad del agua es sumamente necesario conocer y describir sus características físico - químico y biológico, ya que el agua subterránea está en constante dinámica de movimiento que sucede a través de las rocas y tierra del subsuelo, y debido a ello esta fácilmente disuelve sustancias durante su movimiento. Por esta razón, las aguas contenidas en el subsuelo pueden presentar mayores sustancias que las halladas en las aguas superficiales (MINAM, 2012). La gran variabilidad de la calidad del agua subterránea se puede deber a sustancias presentes en la naturaleza, como el arsénico; o sustancias producidas por las actividades del hombre (Auge, 2006).

Contaminación de agua subterránea.

Comprende la presencia e introducción de sustancias que están susceptibles a causar daños al bienestar humano, recursos naturales y daños a los sistemas ecológicos. Estas pueden contener iones o compuestos en niveles altos de concentraciones que no son aceptables para diversos usos hídricos, principalmente para el consumo humano (Foster, Hirata, Gomes, D'Elia, & Paris, 2002). Así mismo, pueden constituir una gran amenaza a la calidad de agua subterránea las actividades humanas realizadas en la superficie, debido a que pueden disponer de contaminantes sobre el suelo (descargas o lixiviados) y pueden penetrar el subsuelo hasta llegar al nivel freático del acuífero; generalmente la disposición de contaminantes se da por las actividades urbanas, industriales, agrícolas o mineras no es controlada adecuadamente (Castaño, 2010).

Se resalta que la presencia de contaminantes es más persistente en las aguas subterráneas siendo mucho mayor que en las aguas superficiales, debido a que no hay una dinámica de

mezcla y por lo tanto a tener menor dispersión de las concentraciones de los contaminantes; en cambio en las aguas superficiales la presencia de contaminantes suele desaparecer al poco tiempo de eliminarse las fuentes que la produce la contaminación (Sauquillo, 1994).

Índice de calidad de agua (ICA).

El ICA es una metodología sensitiva a los químicos más contaminantes lo cual proporciona los efectos desfavorables de la contaminación del hombre y a la vida acuática (MINAM, 2012). Así mismo, es parte de una herramienta matemática en la cual introducen la información de distintos parámetros, a través de sus transformaciones de datos a una unidad única de medición. Además, ayudan a reducir la cantidad de mediciones y el número de parámetros que se hubiera requerido para un análisis exacto; y también ayuda a una simplificada interpretación de los resultados.

El ICA es considerado un instrumento importante para gestionar los recursos hídricos, ya que su función es identificar y comparar los estados que puedan presentar la calidad del agua en un determinado tiempo. Además, sus resultados son sencillos de transmitir, dando a conocer la calidad del recurso hídrico a la población o a una autoridad determinada (MINAGRI, 2018).

Según Meléndez, Quintero, & Ramirez, (2013), el cálculo del ICA consiste en una expresión que contendrá distintos parámetros, sirviendo como una medida de calidad de agua que valora el recurso, usando una suma lineal ponderada como muestra la siguiente ecuación:

$$ICA = \sum_{i=1}^n Si * Wi$$

ICA = Índice de calidad del agua

n= Número total de parámetros

Wi= Peso ponderado del sub índice “i”

SI_i = Sub índice de la variable “i”

Clasificación del ICA.

Los valores en escala que el ICA establece para determinar el estado del agua es del 0 al 100, donde 0 hace referencia a un estado del agua de muy mala calidad y 100 hace referencia al estado del agua de excelente calidad; distintas investigaciones han desarrollado diferentes ICA con distinto número de rangos para el estado del agua, esto se debe a que el ICA que se plantea a utilizar va a variar de acuerdo a las fuentes del recurso hídrico y sus usos. La clasificación del estado del agua se muestra en la Tabla 1 (Torres, Hernan, & Patiño, 2009).

Tabla 1. Clasificación e interpretación del estado del agua.

Clasificación	Valoración	Interpretación
Excelente	91- 100	Condiciones del recurso hídrico similares a la calidad natural, apta para su ingesta, sin previo tratamiento.
Buena	71- 90	Condiciones del recurso hídrico cercanas a la calidad natural. Con poca magnitud de deterioro de la calidad.
Regular	51- 70	Condiciones del recurso hídrico ocasionalmente amenazadas o dañadas, lo cual muchos de sus usos requerirán tratamiento.
Mala	26- 50	Condiciones del recurso hídrico amenazadas o dañadas, lo cual sus usos requerirán tratamiento.
Muy mala	0- 20	Condiciones del recurso hídrico que siempre están amenazadas o dañadas, lo cual todos sus usos requerirán un previo tratamiento.

Fuente: MINAGRI, (2018).

Componentes de la calidad del agua.

Potencial de Hidrogeno.

Mide niveles de acidez o alcalinidad de cualquier solución, y su rango puede variar desde el 0 (cero) al 14, siendo 7 su rango neutral; donde el $pH > 7$ indica que es básica, y el $pH < 7$ indica que el agua es acida (Figura 1). Lo que mide el pH son los iones de hidrogeno y también los hidróxidos que pueda presentar el agua, por ello si es que el agua presenta mayor proporción de hidrógenos tiene mayor prevalencia a la acidez, en cambio, si el agua presenta mayor proporción de hidróxidos significa que tiene prevalencia básica.

El pH puede verse afectado por distintas actividades, ya sea antropogénicas o naturales; como la introducción de sustancias al recurso hídrico, la lluvia acida, sedimentaciones atmosféricas, drenajes de cualquier tipo de industria, etc. Así mismo, el tipo de rocas que conforman el recorrido de la fuente de agua puede afectar también al pH (Monte, 2005) .

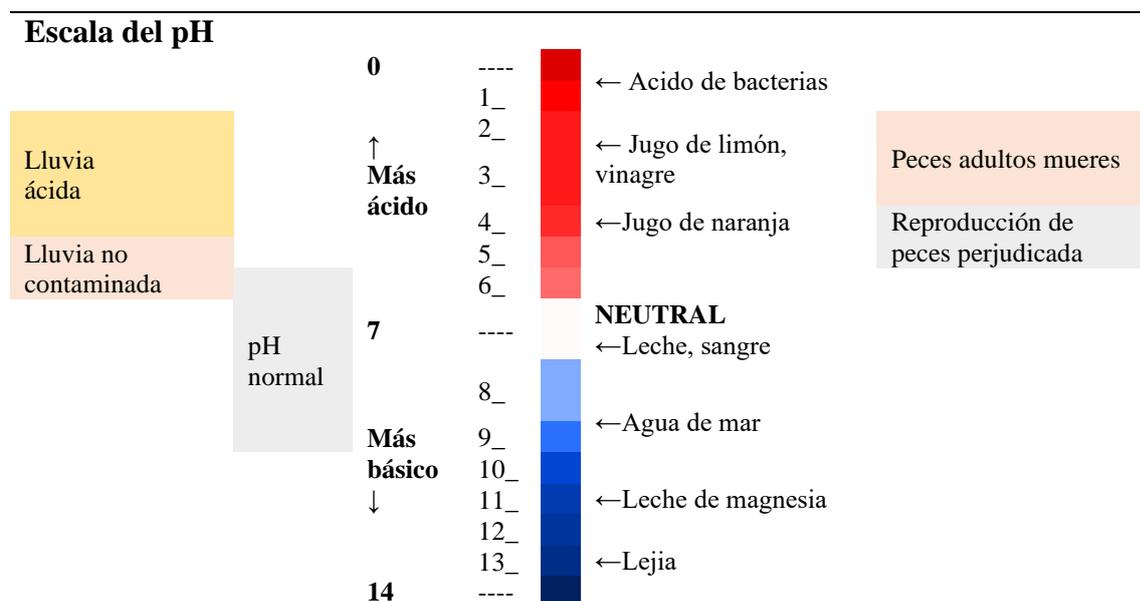


Figura 1. Escala del pH.

Fuente: Chang, (2016)

Conductividad eléctrica.

Las soluciones acuosas presentan una propiedad para conducir corriente eléctrica y esta se mide mediante la conductividad eléctrica (CE). La propiedad de conducir corriente eléctrica dependerá de las concentraciones de iones en el agua, así como su número de valencia y su movilidad. También, va a depender de la temperatura de medición; sin embargo, los compuestos inorgánicos serán las que presenten una mejor conducción. Para hallar la CE se emplea la unidad del sistema internacional, siemens (S) (Doris, Consuelo, & Duque, 2006).

Tabla 2. Conductividad eléctrica de distintas fuentes de agua

Fuentes	CE en mS/cm
Agua potable	1055
Agua de montaña	1,0
Agua ultra pura	0,055
Agua de mar	56
Agua salobre	100
Agua doméstica	500 a 800
Agua destilada	0,5

Fuente: Doris et al., (2006).

Dureza total.

Existen acuíferos carbonatados, conformados por carbonatos de magnesio y calcio, en la cual las aguas subterráneas pasan a través de ellos y estas terminan presentando una concentración elevada de dureza (FACSA, s.f.). En la práctica la dureza es considerada causada por iones metálicos, la cual forman precipitados al reaccionar con el jabón y también forman incrustaciones con algunos aniones que puedan presentar el agua. Los cationes principales la cual causan la dureza en el recurso hídricos son: Mn^{++} , Mg^{++} , Fe^{++} , Ca^{++} y Sr^{++} ; y los aniones son los siguientes: HCO_3 , SO_4 , Cl^- , NO_3 y SiO_3 . Siendo los menos relevantes el Al^{+++} y Fe^{+++} , en conclusión, la dureza es la suma de la concentración de cationes que presenta el recurso hídrico (Rodríguez, 2007).

Tabla 3. Clasificación de la dureza total del agua.

Concentración (Ca + Mg) en mg/L	Características
> 300	Muy dura
200 – 300	Dura
75 – 200	Moderadamente dura
0 – 75	Blanda

Fuente: FACSA, (s.f.)

Nitratos.

Las concentraciones normales de nitratos en agua subterráneas son típicamente menores de 10 mg/l NO₃ y las concentraciones de nitratos van aumentando debido a las actividades humanas, como las actividades industriales, agrícolas, los efluentes domésticos, etc. Los nitratos tienden a moverse lentamente por el suelo y por las aguas subterráneas, estos compuestos nitrogenados se relacionan con el ciclo del nitrógeno y relativamente una gran fracción en los suelos y sustancias orgánicas constituyen la forma oxidada del nitrógeno (Fernández & Vázquez, 2006).

Oxígeno disuelto.

La solubilidad del oxígeno es ligera en el agua, y este corresponde a la principal fuente necesaria para la respiración de todo microorganismo aeróbico presente en la fuente del recurso hídrico. La solubilidad del gas determinará la cantidad de oxígeno que podría estar en la solución. Así mismo, este dependerá de la temperatura y de la pureza del agua (Gaitán, 2004). La concentración de oxígeno disuelto (OD) en fuentes naturales dependerá de algunas actividades bioquímicas que realizan los organismos y de las características físico – químicas que se realizan en el agua. Así mismo, el oxígeno disuelto corresponde a un indicador del

grado contaminación y el grado de soporte de la vida animal y vegetal que pueda presentar el recurso hídrico (Pulla, 2007).

El OD puede variar en niveles de 0 a 18 ppm, donde niveles entre 2 y 1 ppm los peces mueren y niveles de 3 ppm los organismos del agua son afectados. Por otro lado, los niveles de 5 o 6 ppm es óptimo para soportar una diversidad de vida en el agua (Tabla 4; Pulla, 2007).

Tabla 4. Clasificación del oxígeno disuelto en agua

Niveles en ppm	Interpretación
< 2	Mortalidad de la mayor parte de los organismos acuáticos
< 3	Efectos dañinos para la mayoría de los organismos acuáticos
5 – 6	Oxígeno idóneo para la mayoría de los organismos acuáticos

Fuente: Pulla, (2007)

Sulfatos.

Se presentan en naturalmente en variedades de minerales que se utilizan comercialmente. Indiscriminadamente estos son liberados a fuentes de agua y pueden provenir de precipitaciones atmosféricas y de residuos industriales; sin embargo, se suelen encontrar concentraciones elevadas en las aguas subterráneas provenientes de forma natural.

Generalmente el consumo de sulfato proviene por el agua de consumo y es aproximadamente 500mg (diaria media), pero si el agua de ingesta presenta concentraciones de 1000 a 1200 mg/l tiene efectos sobre la salud, que actúa como laxante, ocasionando diarrea, deshidratación o la pérdida de peso (efectos gastrointestinales). La presencia de sulfatos en agua produce un sabor apreciable y este contribuye a la corrosión de los sistemas de distribución (OMS, 2003).

Turbiedad.

La turbidez es considerada como la presencia de diferentes partículas en suspensión (como las arcillas, los limos, los coloides, materia orgánica, etc.). Y estas partículas pueden estar asociadas en tres categorías: primero los minerales provenientes por la erosión del suelo y rocas; segundo las partículas húmicas que pueden provenir de restos vegetales y tercero de partículas filamentosas que provienen de restos de amiantos. A su vez la turbiedad puede aumentar en la época lluviosa debido a que la escorrentía es más elevada y remueve todas las partículas que se pueden encontrar precipitadas o aferradas al suelo, enriqueciendo de materias minerales y así aumentando la turbiedad de las aguas de ríos y embalses. Asimismo, en los medios hídricos naturales, el crecimiento y presencia de algas también pueden provocar el aumento de turbidez (Marcó, Azario, Metzler, & Garcia, 2004).

Microorganismos coliformes.

Gran parte de los coliformes se pueden hallar en la flora bacteriana del tracto digestivo ya sea del hombre o de animales, y estas son expulsados a través de las heces (por ejemplo, la bacteria *Escherichia coli*). Por esta razón, se encuentra frecuentemente en la materia fecal, y estos grupos son utilizados como indicadores de prácticas de higiene inadecuadas, en los estudios de microbiología de alimentos. Pero no solo viven en la flora digestiva del hombre o animal, también pueden vivir en otros ambientes y así se diferencian en coliformes totales y coliformes fecales (Camacho, Giles, et al., 2009).

Al hallar la presencia de bacterias coliformes no necesariamente significa que haya bacterias coliformes fecales, pero para descartar esa posibilidad es necesario repetir la prueba utilizada para detectar la presencia de los coliformes. Sin embargo, los coliformes fecales son bacterias muy peligrosas y estas son las que provienen de los excrementos de los humanos y los

animales. Por lo general, la presencia de un silo inadecuado o mal construidos, fugas en las tuberías de desagüe o los excrementos, pueden llegar a contaminar una fuente de agua si es que estas están muy cercanas; llegando a afectar al consumidor de la fuente (Camacho, Ortegón, Serrano, & Velazquez, 2009).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

Es un método el cual mide la cantidad de oxígeno que consumen los microorganismos heterotróficos en la utilización de la materia orgánica presente, siendo la principal reacción de cuerpos naturales de agua. Permite evaluar el impacto de los organismos acuáticos, y también permite medir la concentración de contaminantes orgánicos. Las variaciones de DBO se debe a la presencia, concentración y edad de diferentes especies de gérmenes, también se debe a la presencia de bacterias nitrificantes y de protozoos, en la cual se nutren consumiendo oxígeno (IDEAM, 2007)

Límite máximo permisible de calidad de agua para consumo humano.

Para el agua de consumo humano se deben cumplir normas legales nacionales como el reglamento de calidad de agua (DS N° 031-2010-SA) que establece los límites máximos permisibles (LMP) como muestra la siguiente tabla 5.

Tabla 5. Límites máximos permisibles del reglamento de calidad de agua (consumo humano).

Parámetro	LMP	Unidad
pH	6,5 a 8,5	UNT
Turbiedad	5	Valor de pH

Conductividad (25°C)	1 500	µmho/cm
Sulfatos	250	mg SO ₄ = L ⁻¹
Nitratos	50,00	mg NO ₃ L ⁻¹
Dureza total	500	mg CaCO ₃ L ⁻¹
Coliformes Termo-tolerantes o Fecales	0 (*)	UFC/100 mL a 44,5°C
Coliformes Totales.	0 (*)	UFC/100 mL a 35°C

Leyenda: UFC = Unidad formadora de colonias

Fuente: MINSA, (2011).

Estudios de calidad de agua subterránea.

En la región centro – norte de la provincia Santa fe en Chile, es frecuente que el agua proveniente de fuentes subterráneas sea solo desinfectada por cloro (único tratamiento) y este destinada para el consumo humano de la mayoría de la población. En esta región se realizó estudios parasitológicos con respecto a la calidad del agua y a la salud publica pediátrica constando con cuatro grupos poblacionales de niños (A, B, C y D); A, B y C son poblaciones de niños que consumen agua de fuentes subterráneas que solo cuentan con el tratamiento del cloro, y D es la población de niños que consumen agua con tratamiento convencionales siendo el control. En todos los puntos de abastecimiento el estudio de agua presento que estaban contaminadas con bacterias y protozoos. Respecto a los análisis fecales en las poblaciones de niños resultaron positivos para protozoos intestinales, siendo sus respectivos porcentajes en: A=16(47%), B=15(41%), C=30(67%) y D=4(12%); existiendo diferencia significativa entre la población control que se abastece de fuentes superficiales con tratamiento convencional y las poblaciones que se abastecían con agua subterránea con un tratamiento único del cloro. En conclusión, se debe proteger las fuentes de agua de materias

fecales, ya que estas portan helmintos, virus, bacterias y protozoos; y estas son indicadores que la fuente está contaminada con heces (Lura *et al.*, 2002).

En San Cosme, Argentina se analizó la presencia de indicadores microbiológicos presentes en el agua para consumo, en la cual se seleccionaron doce muestras para cada una de las fuentes de agua destinada para el consumo humano (superficial y subterránea). El análisis de bacterias coliformes fecales, presento una mayor concentración en agua de pozo en la época de primavera; y en las aguas superficiales la presencia de coliformes fue muy variada, incrementando y disminuyendo su presencia en distintos puntos de muestreo. En el análisis de las bacterias *P. aeruginosa*, registro mayor presencia en el agua subterránea de pozos en gran comparación con las fuentes de agua superficiales. Estas diferencias de poca y gran escala se pueden deber a que el pozo está más expuesto a la contaminación de bacterias, debido al deterioro y mal funcionamiento de esta, así como a la presencia de focos de contaminación cercanos, como las letrinas, pozo ciego o corrales de animales (S. C. Rodríguez, Asmundis, Ayala, & Arzú, 2018).

Según la Universidad de Massachusetts Amherst, actualmente los compuestos nitrogenados están siendo introducidos en los recursos hídricos por las actividades humanas, alterando el ciclo del nitrógeno. Existiendo una preocupación por las aguas subterráneas contaminadas por compuestos nitrogenados, ya que estas están siendo consumidas sin un previo tratamiento convencional. Así mismo, se menciona que existen limitaciones de métodos efectivos que detectan y cuantifican reacciones con la disminución del nitrógeno. Para el consumo doméstico del agua, es necesario determinar la pérdida de compuestos nitrogenados (nitrato y amonio) en las aguas subterráneas; pero como ya se mencionó aún no se ha encontrado métodos efectivos que midan los procesos del nitrógeno; y los métodos existentes muestran

cambios en concentraciones de sustratos, sensibilidad, alteraciones en la configuración física, alta variación espacial y temporal del proceso y por lo tanto los métodos son considerados como no eficientes (Alvarado, 2018).

En la ciudad de San Gabriel en Brasil, se utilizan los efluentes porcinos como biofertilizantes y agua en la estación seca; concentrándose solo en los beneficios que brindan a las plantaciones y a los parámetros de nutrición del suelo (físico - químico). Por otro lado, el estudio se enfocó en la relación del biofertilizante con el agua subterránea contaminada, la cual se caracterizó en el análisis microbiano de muestras de agua subterráneas de piezómetros y de pozos para la identificación de coliformes totales; siendo la mayor contaminación por los efluentes porcinos en las épocas lluviosas y en las épocas secas. Concluyendo que si existe relación y que la contaminación se debe a las lixiviaciones que ocurren por procesos de gravedad de los efluentes porcinos (Pahl, Lastoria, & Gabas, 2018).

Al sur este del departamento de San Juan en Argentina, se evaluó las fuentes de agua subterránea para consumo humano y actividades productivas, muestreando solo en tres perforaciones. Los resultados mostraron que el agua proveniente de las perforaciones era inadecuada para las actividades productivas (consumo del ganado y riego), ya que las sales superan los límites establecidos para la actividad ganadera y la calidad del agua puede producir a los animales trastornos gastrointestinales. Así mismo, el agua de las perforaciones era inadecuada para el riego debido a su elevada sodicidad y salinidad. Respecto al agua para consumo humano, se analizaron en las perforaciones valores que superaban los límites de sólidos totales, dureza total, cloruros, sulfatos, fluoruros y boro y también se halló la presencia de las bacterias *Pseudomona* y *Escherichia coli.*, siendo esta no apta para el consumo humano. Concluyendo que estas aguas subterráneas no pueden ser tomadas

directamente de la fuente; la cual requeriría un previo tratamiento (Tapia, Scaglia, Andrieu, & Martinelli, 2017).

En el Sur de la Quintana Roo en México, el acuífero es su principal fuente de agua para consumo humano, y esta es cada vez más vulnerable por la contaminación debido a sus características cársticas que permite una fácil movilidad y arrastre de contaminantes, así mismo, la contaminación también tiene relación con el crecimiento demográfico que se presenta cada año. Se analizó el acuífero para conocer el estado de la calidad del agua subterránea al paso del tiempo, mediante los parámetros de, pH, temperatura, dureza, sodio, sólidos disueltos totales, cloruros, sulfatos y nitratos. Los análisis demostraron que los cloruros sobrepasaban los límites permisibles en un 9.8%, sólidos totales disueltos en 42%, dureza total en 60% y sodio en 9.8%. El ICA demostró un análisis comparativo de los años 2002 y 2012, presentando una degradación de la calidad del agua subterránea, en zonas donde el crecimiento poblacional fue creciente (Sánchez, Álvarez, Pacheco, Carrillo, & González, 2016).

En la provincia de Chaco, Argentina, se utilizó la técnica de reacción en cadena de polimerasa (PCR) mediante la detección de los factores de virulencia *aggR*, *AA probe* y *aap* en *E. coli* entero agregativo en aguas subterráneas (pozos y perforaciones en hogares), seleccionando viviendas donde la única fuente sea el agua subterránea y es utilizado directamente sin un previo tratamiento. De 93 viviendas analizadas, se encontró en 36 fuentes de agua de las viviendas (38,7%) la bacteria *E. coli*, siendo estas aguas subterráneas no aptas para consumo humano. Luego se aplicó la técnica PCR a las 36 cepas de *E. coli*, encontrando 6 cepas (16,7%) que portaban genes de virulencia (3 contenían el gen *aap*, 2 el gen *AA probe* y 1 los genes *aggR* y *aap*) correspondiendo al 6,4% de las fuentes analizadas. En conclusión, se

determinó que no existe potencial riesgo a la salud, por la presencia y distribución de genes de virulencia en fuentes de agua subterránea en el área analizada (Lösch, Gariboglio, Rivas, & Merino, 2015).

En año 2012 en el Estado de Aragua en Venezuela, la enfermedad diarreica ocupó el segundo lugar frente a todas las enfermedades gastrointestinales, por ello, la identificación de parásitos intestinales analizados en pozos profundos es importante, ya que, su diagnóstico permitirá la reducción de impactos que las patologías puedan ocasionar. En el estado de Aragua se analizó 56 pozos, detectando parásitos solo el 21 (37,5 %); con mayor frecuencia se detectaron a los protozoos de géneros comensales del tracto digestivo humano, hallando 15 de los 21 pozos a los protozoos *Blastocystis sp.*, 10 de 21 a lo *Endolimax* y 2 de 21 a helmintos. Se concluye que la presencia de estos parásitos se debe a que la zona es rural y carecen de servicios higiénicos con conexiones de tuberías, por lo tanto, ellos cuentan con pozos ciegos y letricas que estarían contaminando por lixiviaciones las aguas subterráneas (Gallego et al., 2014).

En Chile en la zona rural ubicada en Pelchuquín, se realizó un estudio microbiológico sobre la relación que tenía la actividad agrícola - ganadera con la contaminación del agua subterránea y la salud poblacional, ya que esta es la única fuente de abastecimiento de los pobladores. El área de estudio correspondió a un previo que era usado para actividades ganaderas y las muestras fueron extraídas de pozos, todos los análisis presentaron coliformes totales y *Echerichia coli*. Sobrepasando los límites de la normativa de Chile; concluyendo que los impactos ambientales provocados por las actividades agrícolas – ganaderas se deben regular y además se debe monitorear constantemente el agua subterránea destinada para

consumo humana, para crear alternativas que permitan estar por debajo de los límites establecidos por la normativa chilena (Valenzuela, Godoy, Almonacid, & Barrientos, 2012).

En la Ciudad de Linares en México, se encuentra un relleno sanitario municipal cercano a pozos de agua subterránea, los habitantes cercanos al relleno reportaron que sus pozos de agua presentaban olores y anomalías, así mismo el relleno presentaba muchas deficiencias como la geomembrana rota y la gestión de los lixiviados; por ello, se realizó un estudio de análisis físico-químico y bacteriológico en los pozos cercanos (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8), donde se determinó concentraciones elevadas de NO_3^- en los pozos P2, P3, P4 y P8; Pb en el P3; Mn en P4 y Fe en P3, P4 y P8; sobrepasando los estándares de la normativa mexicana, que determina que son peligrosas para la salud de los pobladores. Concluyendo que se requiere un monitoreo y seguimiento en el relleno sanitario, y también un tratamiento para los lixiviados (Cruz et al., 2015).

Sobre la zona de recarga del acuífero Barva del valle central de Costa Rica, se desarrollan actividades que representan una amenaza a la calidad de sus aguas. Para identificar su carga de contaminante, se realizó un mapa de riesgo comprendiendo los cantones del acuífero de San Rafael, Santa Bárbara y Barva; seleccionando las actividades más representativas. Considerando cargas de contaminantes de fuentes puntuales (áreas industriales, gasolineras, cementerios y sitios de disposición de residuos sólidos), difusas (Cultivos de café, mixtos y asentamientos humanos) y lineales (cauce de ríos); clasificándolos en elevado, moderada y reducida, según el método POSH. Los resultados del mapa de riesgo mostraron que el cantón con carga potencial elevado fue el de Santa Bárbara con un 67% (con mayor porcentaje en los talleres mecánicos), moderado fue el de San Rafael con un 39% (con mayor porcentaje en las actividades pecuarias) y reducido fue el de Barva con un 22% (con mayor porcentaje

ebanisterías). Concluyendo que la información de los mapas de riesgo elaborados, permitirán desarrollar un diseño e implementación de medidas de control, con el fin de minimizar la probabilidad de contaminación del acuífero (Madrigal, Fonseca, Núñez, & Gómez, 2014). Concentraciones elevadas de nitrato en agua subterráneas representan uno de los mayores problemas a nivel mundial relacionándose directamente con la proliferación bacteriana; en Argentina se ha encontrado concentraciones elevadas de nitrato en aguas de consumo humano que se determinan potencialmente peligrosas. El estudio se llevó a cabo en chacras en Itatí al norte de la provincia de Corrientes, tomando muestras de pozos, perforaciones de aguas subterráneas y laguna, encontrando en todas coliformes, existiendo correlación negativa significativa entre las concentraciones de nitrato y coliformes en general. Sin embargo, se encontró mayor concentración de nitratos en los pozos y perforaciones, pero sin superar los límites permisibles por la norma argentina. En conclusión, la contaminación de coliformes en las aguas subterráneas, se pudo haber debido por los silos inapropiados, cría de animales, disposición y acumulación de residuos (S. Rodríguez, Gauna, Martínez, & Acevedo, 2012).

Conclusiones

La calidad del agua subterránea se determinará mediante la medición de sus componentes, lo cual serán comparados con la norma nacional del ministerio de salud. Así mismo, la determinación del estado del agua subterránea se determinará por medio del índice de calidad de agua que, mediante la ponderación de su fórmula, introduciendo los valores de los componentes. Finalmente, en las zonas rurales, las enfermedades gastrointestinales se relacionan con el agua de consumo extraídos de pozos, debido a que estas aguas presentan contaminación, en parte por las actividades generadas en las zonas; estas zonas no presentan un tratamiento de agua previo por lo que esta población rural necesita de alternativas accesibles a su economía y a la vez que sean eficientes. Entonces se establece la necesidad de buscar alternativas de tratamiento que garanticen la buena calidad del agua subterránea para consumo humano; beneficiando a la calidad de vida de una población en específico.

Referencias bibliográficas

- Auge, M. (2004). *De acuíferos conceptos y métodos*.p. 1–3.
- Auge, M. (2006). Agua subterránea. *Deterioro de La Calidad y Reserva*. p. 1–42.
- Camacho, A., Giles, M., Ortegón, A., Palao, M., Serrano, B., & Velázquez, O. (2009).
Determinación de coliformes totales por cuenta en placa. *Versión Para Administrador de Manuales y Documentos (AMyD) de La Facultad de Química, UNAM* , (Técnicas para el Análisis Microbiológico de Alimentos).p. 6.
- Camacho, Ortegón, Serrano, & Velazquez. (2009). *Método para la determinación de bacterias coliformes*.p. 1–17.
- Castaño, S. (2010). Vertederos e impacto sobre las aguas subterráneas. *Instituto Geológico y Minero de España, 23. 28003(Ríos Rosas), 10*. Retrieved from <http://riubu.ubu.es/bitstream/10259.4/2495/1/Castaño-Vertederos.pdf>
- Chang, J. (2016). Calidad de agua. In *Escuela Superior Politecnica del Litoral*. Guayaquil.
- Cruz, C., Dávila, R. A., Velasco, F., Chapa, J. R., León, H. de, Cruz-Vega, C. R., ... Chapa, J. R. (2015). *Impacto del lixiviado generado en el relleno sanitario municipal de Linares (Nuevo León) sobre la calidad del agua superficie y subterránea*. 32(3), 514–526.
Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1026-87742015000300514
- Doris, S., Consuelo, L., & Duque, M. (2006). *Conductividad Electrica en aguas por el metodo electrometrico* (Vol. 2). Retrieved from <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Conductividad+Eléctrica.pdf/f25e2275-39b2-4381-8a35-97c23d7e8af4>

FACSA. (n.d.). *La dureza del agua*.

Fernández, & Vázquez. (2006). Origen de los nitratos (NO₃) Y Nitritos (NO₂) y su influencia en la potabilidad de las aguas subterráneas. *Minería y Geología*, 22, 1–9.

Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223517652002>

Foster, Hirata, Gomes, D'Elia, & Paris. (2002). *Prote del agua subterránea*. Retrieved from

[http://siteresources.worldbank.org/INTWRD/Resources/336486-](http://siteresources.worldbank.org/INTWRD/Resources/336486-1175813625542/Sp_Groundwaterquality_web.pdf)

[1175813625542/Sp_Groundwaterquality_web.pdf](http://siteresources.worldbank.org/INTWRD/Resources/336486-1175813625542/Sp_Groundwaterquality_web.pdf)

Foster, S., Tuinhof, A., Kemper, K., Graduño, H., & Nanni, M. (2006). *Caracterización de*

Sistemas de Agua Subterránea. 1–6.

Fuentes, J. (2002). *Aguas Subterráneas*. Retrieved from

<http://www.ideam.gov.co/web/agua/aguas-subterranas>

Gaitán, S. (2004). *Determinación de oxígeno disuelto por el método yodométrico*

modificación de azida. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 1,

1–9. Retrieved from

<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Oxígeno+Disuelto+Método+Winkler.pdf/e2c95674-b399-4f85-b19e-a3a19b801dbf>

Gallego, L., Heredia, H., Salazar, J., Hernández, T., Naranjo, M., & Suárez, B. (2014).

Identificación de parásitos intestinales en agua de pozos profundos de cuatro municipios

. Estado Aragua, Venezuela 2011-2012. *Revista Cubana De Medicina Tropical*, 66(2),

164–173.

IDEAM. (2007). *Demanda Bioquímica de Oxígeno (incubación y electrometría)*. (2), 1–13.

Llamas, R., Hernández, N., & Martínez, L. (2000). El uso sostenible de las aguas

subterráneas. *Papeles Del Proyecto Aguas Subterráneas.*, 1, 54.

- López, J., Fornés, J., Ramos, G., & Villarroya, F. (2009). Las agua subterráneas. *Un recurso natural del subsuelo*. In Instituto Geológico y Minero de España. Retrieved from [https://www.fundacionbotin.org/89dguuytdfr276ed.../educacion ambiental.pdf](https://www.fundacionbotin.org/89dguuytdfr276ed.../educacion%20ambiental.pdf)
- Lösch, L., Gariboglio, M., Rivas, M., & Merino, L. (2015). Detección de genes de virulencia del patotipo de fuentes de agua subterránea de la provincia del Chaco, Argentina. *Revista Argentina de Microbiología*, 47(2), 88–94.
- Lura, C., Beltramino, D., Abramovich, B., Carrera, E., Haye, A., & Contini, L. (2002). El agua subterránea como agente transmisor de protozoos intestinales. *Revista chilena de pediatría*, 73(4), 415-424. <https://dx.doi.org/10.4067/S0370-41062002000400016>.
- Madrigal, H., Fonseca, A., Núñez, C., & Gómez, A. (2014). Amenaza de contaminación del agua subterránea en el sector norte del acuífero Barva, Heredia, Costa Rica. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 5(6), 103–118. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222014000600007
- Marcó, L., Azario, R., Metzler, C., & Garcia, M. (2004). Turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. *Revista de Higiene Y*, 82, 72–82. Retrieved from [http://salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc510156890491c_Hig.Sanid.Ambient.4.72-82\(2004\).pdf](http://salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc510156890491c_Hig.Sanid.Ambient.4.72-82(2004).pdf)
- Meléndez, V. G., Quintero, O. C., & Ramirez, N. A. (2013). Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DINIUS y BMWP en la quebrada La Ayurá, Antioquia, Colombia. *Gestión y Ambiente*, 16(1), 97–107. Retrieved from <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=169427489003>
- MINAGRI. (2018). Índice de Calidad del agua. In *Metodología para la Determinación del*

Índice de Calidad de Agua de los Recursos Hídricos Superficiales en el Perú (ICA-PE).

Retrieved from

http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/propuesta_metodologia_ica-pe.pdf

MINAM. (2012). *Propuesta de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua*

Subterránea. Retrieved from [http://eca-suelo.com.pe/wp-](http://eca-suelo.com.pe/wp-content/uploads/2014/04/3.6.pdf)

[content/uploads/2014/04/3.6.pdf](http://eca-suelo.com.pe/wp-content/uploads/2014/04/3.6.pdf)

MINSA. (2011). *DS N° 031-2019-SA, Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo*

Humano. 1–44.

Monte, I. (2005). *Agua , pH y equilibrio químico*.

OMS. (2003). Guías de la OMS para la calidad del agua potable. *Chloride in Drinking-*

Water., 1. <https://doi.org/10.1111/j.1574-695X.1999.tb01389.x>

Ordoñez Suarez, J. L. (2001). Procesos y tecnologías emergentes de remediación de aguas

subterráneas contaminadas con disolventes clorados. *Investigación, Gestión y*

Recuperación de Acuíferos Contaminados, 245–258.

Ordoñez, J. (2011). *Aguas Subterráneas — Acuíferos*. Retrieved from

[http://www.gwp.org/Global/GWP-](http://www.gwp.org/Global/GWP-SAm_Files/Publicaciones/Varios/Aguas_Subterraneas.pdf)

[SAm_Files/Publicaciones/Varios/Aguas_Subterraneas.pdf](http://www.gwp.org/Global/GWP-SAm_Files/Publicaciones/Varios/Aguas_Subterraneas.pdf)

Pahl, C. B. C., Lastoria, G., & Gabas, S. G. (2018). Microbial contamination of groundwater

in a swine fertigation area. *Rbrh*, 23(0), 1–12. [https://doi.org/10.1590/2318-](https://doi.org/10.1590/2318-0331.231820170129)

[0331.231820170129](https://doi.org/10.1590/2318-0331.231820170129)

Pritchard, D. *El manejo de las aguas subterráneas: Lineamientos para el manejo de las*

aguas subterráneas a fin de mantener las características ecológicas de los humedales. ,

(2010).

- Pulla, E. (2007). *Calidad De Agua - Oxigeno Disuelto (Od)*. Retrieved from <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6162/5/Investigacion.pdf>
- Rodríguez, C. (2007). Dureza total en agua con EDTA por volumetría. *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*, pp. 1–12.
- Rodríguez, S. C., Asmundis, C. L., Ayala, M. T., & Arzú, O. R. (2018). Presencia de indicadores microbiológicos en agua para consumo humano en San Cosme (Corrientes, Argentina). *Revista Veterinaria*, 29(1), 9. <https://doi.org/10.30972/vet.2912779>
- Rodríguez, S., Gauna, L., Martínez, G., & Acevedo, H. (2012). *REALACION DEL NITRATO SOBRE LA CONTAMINACION BACTERIANA DEL AGUA*. 111–119.
- Sánchez, J. (1991). Contaminación de las aguas subterráneas. *Dpto. Geología Univ. Salamanca*, 1–5. Retrieved from http://dialnet.unirioja.es/servlet/openurl?url_ver=Z39.88-2004&rft_val_fmt=info:ofi/fmt:kev:mtx:book&rft:isbn=847433697X
- Sánchez, J. A., Álvarez, T., Pacheco, J. G., Carrillo, L., & González, R. A. (2016). Calidad del agua subterránea: acuífero sur de Quintana Roo, México. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 7(4), 75–96.
- Santa Cruz, K. (2013). *Indice de calidad de agua de tres pozos artesianos que abastecen a la comunidad nativa Pueblo Nuevo*. Universidas nacional Agraria de la Selva.
- Sauquillo, A. (1994). La Contaminación De Las Aguas Subterráneas. Situación En España. *Ingeniería Del Agua*, 1(3), 31–40. Retrieved from <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/4199/article3.pdf>
- Tapia, R., Scaglia, J., Andrieu, J., & Martinelli, M. (2017). *Acceso y calidad del agua para su*

uso en múltiples actividades por parte de pequeños productores caprinos situados en el sureste del secano de San Juan (Argentina). 26(2), 21–32.

Torres, P., Hernan, C., & Patiño, P. (2009). CHAPTER 11: Time-dependent Restricted-active-space Self-consistent-field Theory for Electron Dynamics on the Attosecond Timescale. *Ingenierias Universidad de Medellin*, (13), 1–16.
<https://doi.org/10.1039/9781788012669-00386>

Valenzuela, E., Godoy, R., Almonacid, L., & Barrientos, M. (2012). Calidad microbiológica del agua de un área agrícola-ganadera del centro sur de Chile y su posible implicancia en la salud humana. *Revista Chilena de Infectología*, 29(6), 628–634.
<https://doi.org/10.4067/s0716-10182012000700007>

Zarama-Alvarado, S. (2018). The Challenges of Dealing with Nitrogen Pollutants in Groundwater. *Revista Científica*, 3(33), 230–242.
<https://doi.org/10.14483/23448350.13545>