

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA DE  
RIEGO EN PEQUEÑOS HORTICULTORES DE SAN NICOLÁS Y BOYEN  
CHICO, REGIÓN DE ÑUBLE, CHILE**

**JAVIERA FRANCISCA MADARIAGA ARIAS**

HABILITACIÓN PROFESIONAL  
PRESENTADA A LA FACULTAD DE  
INGENIERÍA AGRÍCOLA DE LA  
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
PARA OTORGAR AL TÍTULO DE  
INGENIERA AMBIENTAL

**CHILLÁN – 2024**

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA  
DE RIEGO EN PEQUEÑOS HORTICULTORES DE SAN  
NICOLÁS Y BOYEN CHICO, REGIÓN DE ÑUBLE, CHILE**

Aprobado por:

Pedro Miguel Aqueveque Muñoz  
Profesor de Biología. Dr.  
Profesor Asociado

---

Profesor Guía

José Luis Arumi Ribera  
Ingeniero Civil. Dr.  
Profesor Titular

---

Profesor Guía

Natalia Valderrama Valdés  
Ingeniero Civil en Industria Forestales,  
Mg.  
Profesor Asociado

---

Profesor Asesor

Juan Antonio Cañumir Veas  
Ingeniero Agrónomo, PhD.  
Profesor Asociado

---

Director de Departamento

María Eugenia González Rodríguez  
Ingeniero Agrónomo, PhD.  
Profesor Asociado

---

Decana

## AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mi familia, quienes siempre me han apoyado y confiado en mí. Agradece a Juan y Bernardita por dejarme ir fuera de la ciudad natal lo que no es fácil, y su respaldo ha sido fundamental. Gracias a Cristofer por animarme a estudiar esta carrera y acompañarme en este proceso.

Agradezco a mis compañeras/os y amigas/os, con quienes compartí alegrías, aventuras y aprendizajes inolvidables: Vale, Dichato, Gatica, Sol, Emi, Viole, Negro y Marce, gracias por ser parte de mi camino.

Agradece a los agricultores que amablemente accedieron a realizar el estudio en sus tierras.

Un agradecimiento especial a mis profesores, quienes me acompañaron e inspiraron a lo largo de la carrera y ahora en mi proceso de habilitación profesional. Profesor Aqueveque, agradezco por su paciencia mientras completaba los análisis de laboratorio y su constante apoyo. Profesora Natalia, gracias por su orientación con sus conocimientos y habilidades estadísticas. Profesor Arumi, agradezco su apoyo y visión integral en los ajustes de mi proyecto. Y a Irma, gracias por su constante apoyo en el trabajo de laboratorio.

Agradecer al CRHIAM (Proyecto ANID/FONDAP/15130015 y ANID/FONDAP/1523A0001) por otorgarme la beca de pregrado y por toda la

investigación que realizan. Este apoyo financiero fue fundamental para complementar mis estudios.

Finalmente, expreso mi gratitud al universo y a la naturaleza por proporcionarme la sabiduría, la conciencia y el amor que me otorgaron la fuerza necesaria para concluir este proceso y avanzar hacia nuevas etapas.

## ÍNDICE

	Página
RESUMEN .....	1
SUMMARY .....	3
1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. ANTECEDENTES GENERALES.....	6
3. HIPÓTESIS.....	11
4. OBJETIVO .....	11
4.1. Objetivo General .....	11
4.2. Objetivos Específicos .....	11
5. METODOLOGÍA .....	12
5.1. Zona de Estudio.....	12
5.2. Recolección de Muestras .....	15
5.3. Análisis Microbiológico.....	15
5.4. Análisis Estadístico.....	23
6. Resultados y Discusión .....	27
6.1. Resultados Análisis Microbiológico.....	27
6.2. Análisis Estadístico.....	32
7. CONCLUSIONES.....	49
8. RECOMENDACIONES.....	51
9. BIBLIOGRAFÍA .....	52

## ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Puntos de control de pozos en San Nicolás y Boyen Chico, región de Ñuble.....	12
Tabla 2. Volúmenes de muestra, concentración y serie de tubos inoculados.....	18
Tabla 3. Volumen y dilución de la muestra a inocular en series tres de tubos. ....	19
Tabla 4. Resultados de análisis microbiológico en agua para pozos de San Nicolás y Boyen Chico por la técnica del Número Más Probable (NMP/100 ml) en meses de septiembre (Sep.) y noviembre (Nov.). ....	27
Tabla 5. Resultados análisis microbiológico de hortalizas en las zonas de San Nicolás y Boyen Chico, utilizando la técnica de recuento en placa (UFC/g) en septiembre (Sep.) y noviembre (Nov). ....	29
Tabla 6. Resultados del análisis microbiológico de suelo agrícola para cada hortaliza en las zonas de San Nicolás y Boyen Chico, mediante la técnica del Número Mas Probable (NMP/g) en meses de septiembre (Sep.) y noviembre (Nov). ....	31
Tabla 7. Estadística descriptiva de las concentraciones (NMP/100 ml) de CT CF, <i>E. coli</i> y la profundidad (m) de los pozos para el total de datos de San Nicolás y Boyen Chico en el periodo de estudio. ...	34
Tabla 8. Estadística descriptiva de concentraciones (NMP/100 ml) de CT CF, <i>E. coli</i> y profundidad de los dos pozos en Boyen Chico en la periodo de estudio.....	34
Tabla 9. Estadística descriptiva de concentraciones (NMP/100 ml) de CT, CF y <i>E. coli</i> y profundidad (m) de los dos pozos en San Nicolás en periodo de estudio. ....	34
Tabla 10. Estadística descriptiva para las concentraciones (NMP/100 ml) de CT, CF y <i>E. coli</i> para el total de datos de suelo agrícola de cada hortaliza en San Nicolás y Boyen Chico en el periodo de estudio.....	37
Tabla 11. Estadística descriptiva para las concentraciones (NMP/100 ml) de CT, CF y <i>E. coli</i> para los datos de suelo agrícola para cada hortaliza en Boyen Chico en el periodo de estudio.....	37
Tabla 12. Estadística descriptiva para las concentraciones (NMP/100 ml) de CT, CF y <i>E. coli</i> para los datos de suelo agrícola para cada hortaliza en San Nicolás en el periodo de estudio.....	38

Tabla 13. Estadística descriptiva para las concentraciones (UFC/g) de enterobacterias, CT y CF para el total de hortaliza recolectadas en San Nicolás y Boyen Chico en el periodo de estudio. ....	40
Tabla 14. Estadística descriptiva para las concentraciones (UFC/g) de Enterobacterias, CT y CF para las hortaliza recolectadas en Boyen Chico en el periodo de estudio. ....	40
Tabla 15. Estadística descriptiva para las concentraciones (UFC/g) de Enterobacterias, CT y CF para las hortaliza recolectadas en San Nicolás en el periodo de estudio.....	41
Tabla 16. Resultados prueba de Levene para la homogeneidad de la varianza entre los grupos de San Nicolás y Boyen Chico para las aguas de Pozo.....	43
Tabla 17. Resultados prueba de Levene para la homogeneidad de la varianza entre los grupos de San Nicolás y Boyen Chico para las muestras de suelo agrícola para cada hortalizas.....	43
Tabla 18. Resultados prueba de Levene para la homogeneidad de la varianza entre los grupos de San Nicolás y Boyen Chico para las muestras de hortalizas.....	43
Tabla 19. Resultados prueba T Student para la homogeneidad de medias entre los grupos de San Nicolás (SN) y Boyen Chico (B) para las aguas de Pozo.....	44
Tabla 20. Resultados prueba T Student para la homogeneidad de medias entre los grupos de San Nicolás (SN) y Boyen Chico (B) para las muestras de hortalizas.....	45
Tabla 21. Resultados prueba T Student para la homogeneidad de medias entre los grupos de San Nicolás (SN) y Boyen Chico (B) para las muestras de suelo agrícola para cada hortalizas.....	46
Tabla 22. Fortalezas y vulnerabilidades observadas en cada pozo muestreado en San Nicolás (SN1 y SN2) y Boyen Chico (B2 y B2), en el periodo de estudio.....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Puntos georreferenciados de los pozos muestreados en San Nicolás (SN1 y SN2), región de Ñuble, Chile. Fuente, elaboración propia.....	13
Figura 2. Puntos georreferenciados de los pozos muestreados en Boyen Chico B1 y B2, región de Ñuble, Chile. Fuente, elaboración propia.....	14
Figura 3. Lectura positiva y negativa para CT en caldo BVB y para CF en caldo EC, respectivamente. ....	20
Figura 4. Vista de seis resultados positivos y dos negativos para <i>E. coli</i> en agar Levine.....	21
Figura 5. Diagrama de caja de concentración de contaminación por CT, CF y <i>E. coli</i> en los datos de agua de pozo para Boyen Chico (B) y San Nicolás (SN) en el periodo de estudio. ....	35
Figura 6. Diagrama de caja para concentración de contaminación por CT, CF y <i>E. coli</i> en los datos de suelo agrícola para Boyen Chico (B) y San Nicolás (SN) en el periodo de estudio. ....	38
Figura 7. Diagrama de caja para concentración de contaminación por Enterobacterias, CT y CF en hortalizas de Boyen Chico (B) y San Nicolás (SN) en el periodo de estudio. ....	41
Figura 8. Relación entre las concentraciones de Enterobacterias, CT y CF respecto al tipo de hortaliza. Acelga (Ac), apio (Ap), cilantro (C) y lechuga (L) y zona de Boyen Chico (B) y San Nicolás (SN) en el periodo de estudio.....	42

**ÍNDICE DE ECUACIÓN**

	Página
Ecuación 1. Recuento de colonias representativas en placas Petri (INN, 2001).....	22

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA DE  
RIEGO EN PEQUEÑOS HORTICULTORES DE SAN NICOLÁS Y BOYEN  
CHICO, REGIÓN DE ÑUBLE, CHILE**

EVALUATION OF THE MICROBIOLOGICAL QUALITY OF IRRIGATION  
WATER IN SMALL HORTICULTURISTS OF SAN NICOLÁS AND BOYEN  
CHICO, ÑUBLE REGION, CHILE

**PALABRAS CLAVES:** Calidad microbiológica, agua, hortaliza, suelo,  
Coliformes y *Escherichia coli*.

**RESUMEN**

La presente tesis busca evaluar la calidad microbiológica en agua, suelo y hortalizas producidas por pequeños horticultores pertenecientes a San Nicolás y Boyen Chico, región de Ñuble, Chile, para establecer la calidad del agua y su implicancia en las Enfermedades Transmitidas por los Alimentos (ETA). Para lograr este objetivo se analizaron las muestras en tres matrices: agua subterránea, hortalizas (lechuga, apio, acelga y cilantro) y suelo (de cada hortaliza). Por medio de la técnica de recuento en placa, aplicada a las hortalizas, se busca determinar Enterobacterias, *Escherichia coli*, Coliformes Totales y Coliformes Fecales; mientras que, a través de la técnica del Número Más Probable (NMP), aplicada al agua y suelo, se busca la presencia de *Escherichia coli*, Coliformes Totales y Coliformes Fecales. El muestreo se realizó en la temporada agrícola 2023-2024 en dos campañas, septiembre y noviembre. Los resultados de los análisis microbiológico

indicaron que el agua de riego utilizada en las zonas de estudios está dentro de la normativa chilena al igual que las hortalizas, sin embargo, se detectó presencia de Coliformes Fecales en todas las matrices, lo que sugiere acciones correctivas para minimizar los riesgos durante el proceso de producción, como la aplicación de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA).

**EVALUATION OF THE MICROBIOLOGICAL QUALITY OF IRRIGATION  
WATER IN SMALL HORTICULTURISTS OF SAN NICOLÁS AND BOYEN  
CHICO, ÑUBLE REGION, CHILE**

**KEY WORDS:** Microbiological quality, water, vegetables, soil, Coliforms and *Escherichia coli*.

**SUMMARY**

The present thesis seeks to evaluate the microbiological quality of water, soil and vegetables produced by small horticulturists belonging to San Nicolás and Boyen Chico, Ñuble region, Chile, to establish water quality and its implication in Foodborne Diseases (FBD). To achieve this objective, samples were analyzed in three matrices: groundwater, vegetables (lettuce, celery, chard and cilantro) and soil (of each vegetable). The plate count technique, applied to vegetables, was used to determine Enterobacteriaceae, *Escherichia coli*, total coliforms and fecal coliforms, while the Most Probable Number (MPN) technique, applied to water and soil, was used to determine the presence of *Escherichia coli*, total coliforms and fecal coliforms. Sampling was carried out during the 2023-2024 agricultural season in two campaigns, September and November. The results of the microbiological analyses indicated that the irrigation water used in the study areas is within Chile regulations, as are the vegetables; however, the presence of fecal coliforms was detected in all matrices, suggesting corrective actions to minimize risks

during the production process, such as the application of Good Agricultural Practices (GAP).

## 1. INTRODUCCIÓN

Las Enfermedades Transmitidas por los Alimentos (ETA) son un desafío aún por resolver, a pesar de la disminución de la frecuencia de brotes de enfermedades gastrointestinales en los últimos años, asociadas al consumo de frutas y hortalizas contaminadas con microorganismos patógenos para humanos, como es la *Escherichia coli* (Ávila-Quezada et al., 2008).

La calidad del agua de riego y la seguridad alimentaria está intrínsecamente relacionadas, por lo que es importante el análisis microbiológico de esta agua para prevenir enfermedades gastrointestinales causadas por contaminación de alimentos con Coliformes Fecales (OMS, 2020; ACHIPIA, 2021)

El proyecto se centra en evaluar la calidad microbiológica de recursos hídricos, suelos y productos cultivados en la comuna de San Nicolás y en la localidad de Boyen Chico, determinando la presencia de Coliformes Totales (CT), Coliformes Fecales (CF) y *Escherichia coli* (*E. coli*) en agua de riego, suelos agrícolas y hortalizas. Los resultados serán comparados con los Requisitos de calidad del agua para diferentes usos en Chile y con el Reglamento Sanitario de Alimentos, con el propósito de identificar la calidad microbiológica del agua y su implicancia en la producción hortícola.

## 2. ANTECEDENTES GENERALES

El agua, constituye casi el 80% de los seres vivos, es esencial para la vida y actividades cotidianas como la higiene, la cocina y la agricultura, por lo que, su presencia es clave para nuestro desarrollo y existencia (Patricia Matus et al., 2023)

El acceso al agua, según Peña Neira y Araya Meza (2022), es crucial para la supervivencia y el progreso integral de la sociedad, es reconocido como un derecho humano fundamental. Este recurso es esencial en la obtención de alimentos sin contaminación, para el saneamiento y como fuente vital para la población (Cerón et al., 2021). Además, así como aporta vida, salud y bienestar, puede influir en el desarrollo y la aparición de enfermedades (Patricia Matus et al., 2023).

La seguridad alimentaria es un tema global que está relacionada con la microbiología del suelo y el agua, ya que, la contaminación de alimentos con CF y patógenos puede causar graves enfermedades gastrointestinales cuando se consumen crudos o mal cocidos (OMS, 2020).

Cada año, aproximadamente 600 millones de personas en todo el mundo sufren ETAs, con 420 mil muertes atribuidas al consumo de alimentos contaminados, estas enfermedades no solo tienen un costo humano devastador, sino que también involucra importantes costos económicos, especialmente en países de ingresos bajos y medianos (OMS, 2020).

Si bien existe una reducción del 60% en la carga de enfermedades relacionadas con agua insalubre a nivel mundial entre 1990 y 2019, sigue siendo un riesgo que afecta principalmente a grupos vulnerables como menores de 5 años, mujeres embarazadas y personas inmunodeficientes (GBD, 2020, citado en Patricia Matus, et al., 2023).

Según el boletín epidemiológico trimestral de brotes de ETA, SE 1-52 año 2019, durante los primeros nueve meses de este año, Chile registró 1.129 brotes de ETA, de los cuales 1.052 fueron confirmados, representando 93%, aunque esta cifra total de afectados es inferior a la del mismo período del 2018, la cantidad de casos, que ascendió a 6.559, superó las expectativas establecidas según la mediana de los años 2014 a 2018 (MINSAL, 2020). La gastroenteritis y la colitis fueron los diagnósticos más frecuentes, sumando 839 brotes en total. Las regiones Metropolitana, Biobío, Antofagasta y Maule lideraron en número de brotes, con 243, 182, 106 y 105 respectivamente (MINSAL, 2020). Sorprendentemente, el grupo etario más afectado fue el de 15 a 44 años, evidenciando una tasa de 48 casos por cien mil habitantes y señalando la necesidad de una atención particular en este segmento de la población. Las cifras para la región de Ñuble son 33 número de brotes, 265 casos y 1 hospitalizado para este periodo (MINSAL, 2020).

Las bacterias responsables de las ETA generalmente son de la familia Enterobacterias, también conocida como bacterias entéricas, estas se encuentran de manera natural en el tracto intestinal de seres humanos y

animales, según el ISP (1998). Dentro de esta familia se encuentran los Coliformes, comúnmente representados por *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Escherichia* y *Klebsiella*, géneros de bacterias Gram negativas en forma de bacilos que fermentan lactosa a 35-37 °C, produciendo ácido y gas en 24 horas (Larrea-Murrell et al., 2013). Específicamente, la especie *E. coli* se ha establecido como un indicador clave de calidad microbiológica en agua y alimentos, para evaluar la existencia de contaminación fecal y el riesgo potencial de ETA (González M, 2007). Las bacterias patógenas pueden provocar síntomas graves, como fiebre, cefaleas, náuseas, vómitos, malestar abdominal y diarrea (OMS, 2020).

En Chile, los umbrales de contaminación del agua están definidos por las normativas NCh409/1 y NCh1333 del Instituto Nacional de Normalización (INN), las que establecen que el agua destinada al consumo humano no debe tener presencia alguna de CF, mientras que, para aguas de riego utilizadas en hortalizas a ras de suelo, el límite permitido es de 1000 CF NMP /100 ml. Investigaciones epidemiológicas realizadas en los Estados Unidos como en naciones de Europa Occidental, indicaron que el establecimiento de estos umbrales disminuye de manera significativa la probabilidad de que alguien que consumiera agua o alimentos, como lechuga, se infectara con enfermedades transmitidas por patógenos presentes en las heces, al igual que los CF, como tífus, paratífus y hepatitis (González M, 2007).

En la región de Ñuble, ubicada en la zona centro-sur de Chile con más de 10 millones de habitantes, el cambio climático ha introducido alteraciones en las precipitaciones y un notable aumento en las temperaturas, afectando la persistencia de años secos desde 2010. Esta situación ha generado un déficit medio de precipitaciones del 20% al 40% (Patricia Matus et al., 2023). Conocida por su destacada producción de hortalizas, la región ha experimentado un significativo incremento en la temperatura promedio anual, situándose entre 3 °C y 3.5 °C, lo que plantea desafíos considerables para los horticultores en cuanto a la preservación de la calidad de sus productos y la seguridad alimentaria (ACHIPIA, 2023).

Como menciona Orrego et al. (2020), la región enfrenta riesgos agroclimáticos que afectan la producción agrícola, como heladas, golpes de calor y precipitaciones inoportunas: las heladas son más probables en la Depresión Intermedia y la Precordillera Andina, persistiendo en algunas áreas hasta noviembre; los golpes de calor, especialmente frecuentes en enero en el Secano Interior, complican el riego, situación agravada por el cambio climático; y las precipitaciones superiores a 10 mm varían mensualmente, siendo más comunes en la Precordillera Andina y menos frecuentes en la costa y el Secano Interior.

La importancia del agua subterránea como fuente de abastecimiento, en particular para las grandes ciudades, se ha incrementado debido a la creciente demanda hídrica, sin embargo, este recurso también enfrenta

riesgos considerables de contaminación, especialmente relacionados con actividades agrícolas y pecuarias (Cerón, et al. 2021). Aunque se percibe que el agua subterránea es menos vulnerable a la contaminación que el agua superficial, los pozos domésticos en áreas rurales presentan desafíos, como su poca profundidad y menor mantenimiento, haciéndolos susceptibles a la contaminación (Valenzuela, et al. 2009).

El aumento de la contaminación de las aguas subterráneas se ha convertido en un creciente problema de salud pública, ya que limita la disponibilidad de agua potable para la población. En Chile, el agua subterránea destinada al consumo humano constituye más del 40% del volumen total de agua consumida en áreas urbanas y el 76% en zonas rurales (Arumi, et al. 2006).

Es esencial evaluar la calidad microbiológica del agua en el riego de hortalizas para asegurar alimentos seguros en una región impactada por el cambio climático. Se recomienda la implementación de medidas de adaptación y la promoción de buenas prácticas agrícolas (FAO, 2012).

Esta investigación se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, abordando la calidad microbiológica relacionada con la erradicación del hambre (ODS 2), la promoción de una vida saludable (ODS 3) y la gestión sostenible del agua (ODS 6) en la producción de alimentos en la región de Ñuble (ONU, 2023)

### **3. HIPÓTESIS**

El agua utilizada en el riego de hortalizas, proveniente de aguas subterráneas en sectores de San Nicolás y Boyen Chico, Región de Ñuble contiene Coliformes Fecales, produciendo alimentos fuera de la normativa sanitaria chilena y contaminando el suelo agrícola.

### **4. OBJETIVO**

#### **4.1. Objetivo General**

Evaluar la calidad microbiológica en agua, suelo y hortalizas producidas por pequeños horticultores pertenecientes a San Nicolás y Boyen Chico, región de Ñuble, Chile.

#### **4.2. Objetivos Específicos**

- Analizar la calidad microbiológica del agua de riego utilizada por horticultores de San Nicolás y Boyen Chico.
- Determinar la presencia de Coliformes Totales y Coliformes Fecales en el suelo agrícola y hortalizas producidas por estos horticultores.
- Comparar los resultados con el Reglamento Sanitario de los Alimentos y con los Requisitos de Calidad del Agua para Diferentes Usos.

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1. Zona de Estudio

Para evaluar la calidad microbiológica del agua de riego, alimentos y suelo, en dos sectores en la región de Ñuble. Se seleccionaron dos horticultores en cada sector: SN1 y SN2 en San Nicolás, comuna situada a 25 km de Chillán en dirección a la costa, en la Provincia de Punilla, Ñuble; y B1 y B2 en Boyen Chico, localidad ubicada a 13.7 km de Chillán por la ruta N-569, en la Provincia de Diguillín, Ñuble. En la Tabla 1 se encuentran las coordenadas de cada zona muestreada, en específico marca los puntos de los pozos y las distancias entre ellos para cada zona.

Tabla 1. Puntos de control de pozos en San Nicolás y Boyen Chico, región de Ñuble.

Zona	Huso	Coordenadas (UTM)		Coordenadas		Distancia entre 1 y 2 (Km)
		Este	Norte	Latitud	longitud	
SN1	H18	746469	5957820	-36.493244°	-72.248407°	5.1
SN2	H18	750706	5956374	-36.505164°	-72.200687°	
B1	H18	766844	5937592	-36.669893°	-72.014197°	1.4
B2	H18	767858	5937175	-36.676291°	-72.000559°	

- SN1 y SN2 representan al primer y segundo horticultor, respectivamente, en San Nicolás. Del mismo modo, B1 y B2 son el primer y segundo horticultor, respectivamente, en Boyen Chico.

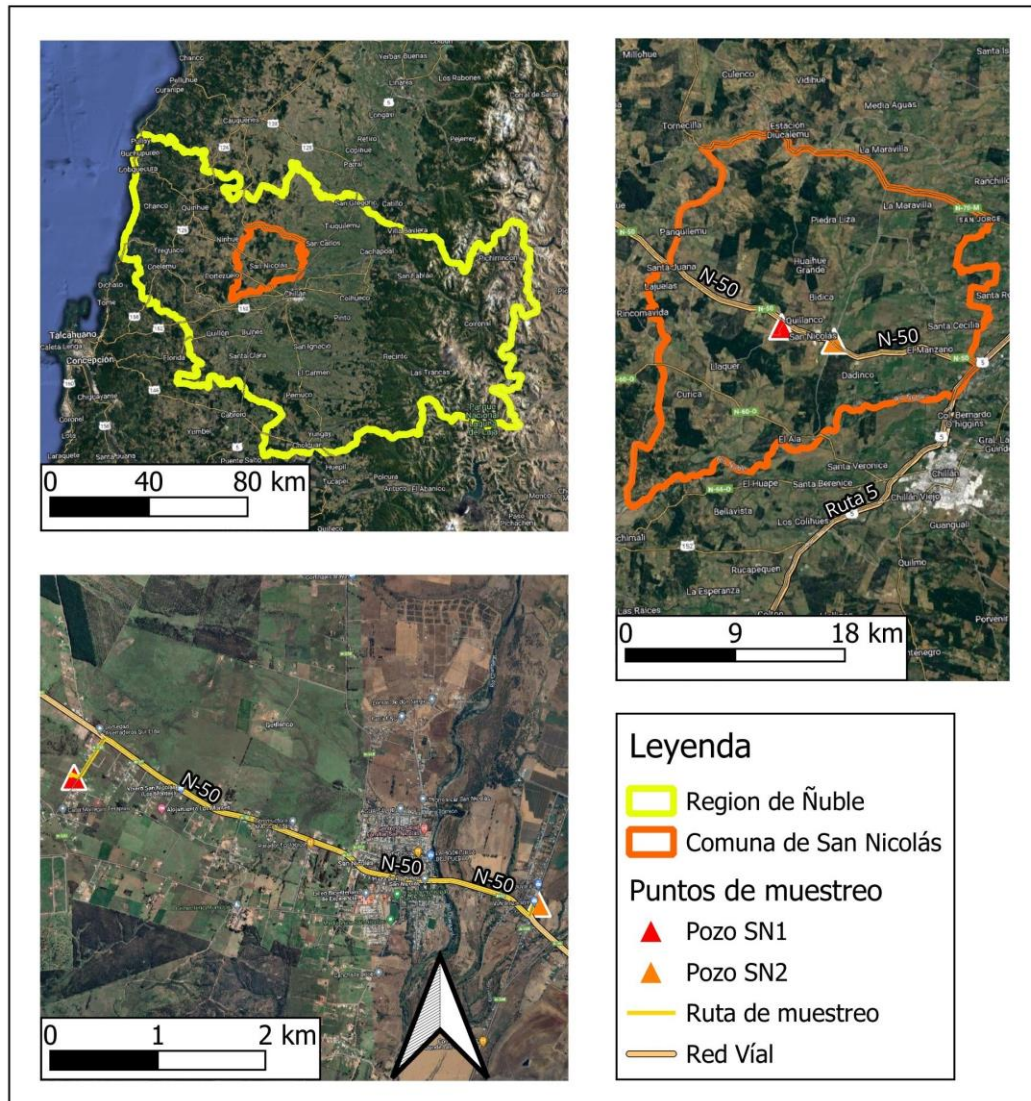


Figura 1. Puntos georreferenciados de los pozos muestreados en San Nicolás (SN1 y SN2), región de Ñuble, Chile. Fuente, elaboración propia.

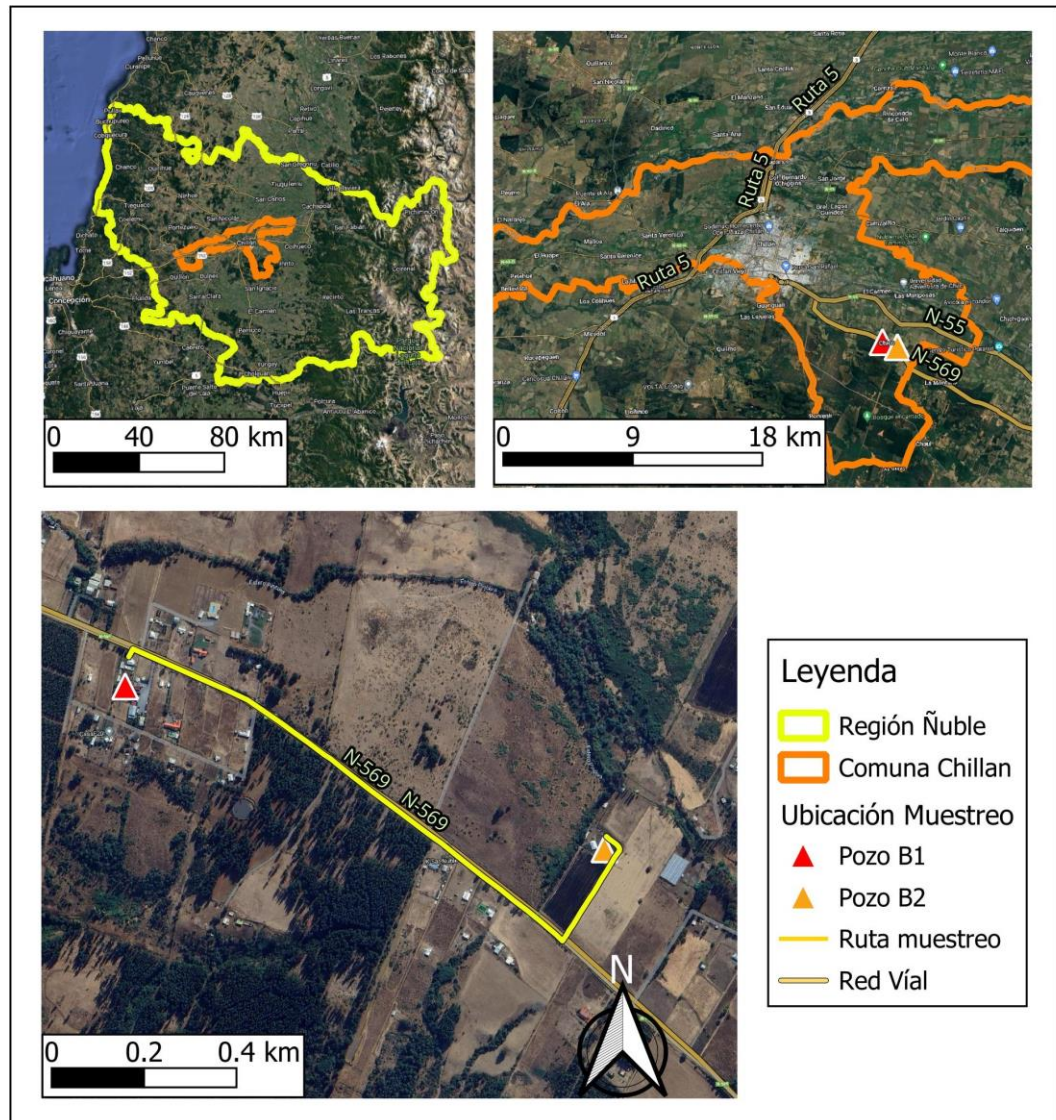


Figura 2. Puntos georreferenciados de los pozos muestreados en Boyen Chico B1 y B2, región de Ñuble, Chile. Fuente, elaboración propia.

## **5.2. Recolección de Muestras**

Se realizaron dos campañas de muestreo en la temporada agrícola 2023-2024, en primavera específicamente septiembre y noviembre. Se obtuvieron muestras de agua de pozos destinada al riego, así como muestras de hortalizas de interés: lechuga (L), apio (Ap), cilantro (C) y acelga (Ac). Hay que señalar que la disponibilidad de estos vegetales estuvo directamente relacionada con la producción actual de los horticultores en el momento de la recolección. Adicionalmente, se recolectaron muestras de suelo de cada área de cultivo correspondiente a las hortalizas recolectadas.

La recolección de muestras se llevó a cabo con el uso de material estéril y su transporte se realizó mediante un sistema de enfriamiento diseñado para conservar la representatividad de las muestras. Todos los ensayos microbiológicos fueron realizados en el Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ingeniería Agrícola dentro de las 24 horas siguientes a la recolección.

## **5.3. Análisis Microbiológico**

Para determinar *E. coli*, CF y CT en el agua y en el suelo se realizó por la técnica de fermentación de tubos múltiples o técnica del número más probable (NMP/100 ml) que proporciona una estimación estadística de la densidad microbiana presentes, descrito en NCh1620/1 y lo establecido en el Manual de técnicas microbiológicas para alimentos y aguas del Instituto de salud pública (ISP), respectivamente.

Para la determinación de Enterobacterias, CT, CF y *E. coli* en las hortalizas recolectadas se utilizó la técnica de Recuento en Placas Petri que entrega el número de Unidades Formadoras de Colonias de bacterias en gramos de alimentos (UFC/g), según la norma NCh 2635/2.

### 5.3.1. Medios de Cultivo

Los medios nutritivos de cultivo que se utilizaron para estos análisis fueron:

- Agar Bilis Rojo Violeta con Glucosa (VRBG): Medio selectivo diseñado para el aislamiento de bacterias Gram negativas, como Enterobacterias (Condolab, 2023b).
- Agar Bilis Rojo Violeta con Lactosa (VRBL): Utilizado para detectar y contar bacterias que fermentan lactosa, permitiendo la diferenciación de CF en alimentos (Condolab, 2023a).
- Agar Levine: Se utilizó para detectar CF específicos, como *E. coli*, en agua, alimentos y suelo (Condolab, 2023c).
- Agua Peptonada (AP): Se utilizó para diluir muestras de agua, alimentos y suelo, recomendado para la detección de Enterobacterias, en particular, *E. coli*, mediante la identificación de la producción de indol (Condolab, 2023d).
- Caldo Bilis Verde Brillante al 2% (BVB): se utilizó en análisis confirmativos de la técnica del NMP, este medio inhibe el crecimiento de bacterias Gram positivas (Condolab, 2023e).

- Caldo Lauril Sulfato Triptosa (CLST): Medio selectivo que facilita la detección de Coliformes en agua y suelo, promoviendo su crecimiento y permitiendo la detección de la producción de gas (Condolab, 2023f).
- Medio EC: Medio utilizado para detectar bacterias CF en agua y suelo. Inhibe bacterias Gram positivas y permite el crecimiento de bacterias Gram negativas (Condolab, 2023g).

### **5.3.2. Preparación de Muestras**

#### **A. Muestras de Agua**

Previo a la siembra, las muestras de agua fueron sometidas a una agitación vigorosa, realizando 25 movimientos en 7 segundos con un ángulo de 45°, utilizando movimientos de arriba abajo, este proceso se llevó a cabo para garantizar la homogeneidad de la muestra (INN, 1984).

#### **B. Muestras de Alimentos y suelo**

Las muestras de alimentos y suelo fueron manipuladas bajo condiciones asépticas para garantizar la integridad de los resultados. Se extrajo una muestra de 10 g de cada alimento y se agregó cuidadosamente en bolsas estériles de Stomacher. Luego, se añadieron 90 ml de agua peptonada (AP) para crear una mezcla homogénea, la que se llevó a cabo con un homogeneizador Stomacher durante 30 segundos (ISP, 1998). Este procedimiento se repitió para las muestras de suelo, con diferencia que no se utilizó el homogeneizador Stomacher para la homogenización del suelo,

realizándolo de forma manual, con el fin de evitar que se rompiera la bolsa y contaminar la muestra.

### 5.3.3. Siembra e Incubación.

#### A. Técnica del Número Más Probable (NMP/ 100 ml).

##### I. Prueba Presuntiva para Coliformes en Aguas.

Se siguió la normativa NCh 1620/1 para la determinación de bacterias CT y *E. coli* mediante el método de tubos múltiples o la técnica del NMP. La muestra se inoculó en series de cinco tubos de cultivo con CLST según los volúmenes y concentraciones especificadas en la Tabla 2.

Tabla 2. Volúmenes de muestra, concentración y serie de tubos inoculados.

Volumen de Muestra	Concentración CLST	Nº de Tubos Inoculados
10 ml	Doble	5
1 ml	Simple	5
0,1 ml	Simple	5

##### II. Prueba presuntiva para Coliformes en suelo.

Al igual que el análisis de agua, el suelo agrícola se llevó a cabo mediante la técnica de NMP, conforme al Manual de Técnicas Microbiológicas para Alimento y Aguas del ISP (1998). Tras homogeneizar la muestra (10 g de muestra con 90 ml de AP) para obtener una dilución de  $10^{-1}$ , se realizaron diluciones seriadas posteriores, lo que, consistió en tomar 1 ml de la dilución anterior ( $10^{-1}$ ) y transferirlo a un tubo que contenía 9 ml de AP, generando la

dilución  $10^{-2}$ , así hasta la dilución  $10^{-3}$ . Posteriormente, se continuó con el procedimiento detallado en la Tabla 3.

Tabla 3. Volumen y dilución de la muestra a inocular en series tres de tubos.

Volumen de Muestra	Dilución de la muestra	Concentración CLST	N° de Tubos Inoculados
1 ml	$10^{-1}$	Simple	3
1 ml	$10^{-2}$	Simple	3
1 ml	$10^{-3}$	Simple	3

### III. Incubación y lectura de ensayos positivos en prueba presuntiva.

La incubación para la técnica del NMP se llevó a cabo en un horno a 35 °C durante 48 horas. Al finalizar este período, la presencia de gas en los tubos de Durham y turbidez en el caldo contenido en los tubos de ensayo indicó resultados positivos en la prueba presuntiva para Coliformes. Los resultados positivos se registraron para cada dilución según las pautas del ISP (1998).

### IV. Prueba Confirmativa para CT y CF

Para los tubos que resultaron positivos en la prueba presuntiva, se transfirió un inóculo con un asa a caldo BVB para confirmar CT, y otra asada del mismo tubo positivo se trasladó a caldo EC para confirmar CF. Con precaución de enfriar el asa para garantizar la viabilidad del inóculo y su proliferación en el caldo selectivo. La incubación de los tubos con caldo BVB se realizó a 35 °C durante 48 horas en el horno, mientras que los tubos inoculados en caldo EC se incubaron en un baño termostático a 44,5 °C

durante 24 horas (ISP, 1998). La presencia de turbidez en el medio y gas en los tubos de Durham en cualquiera de los tubos como se ve en la Figura 3, indicó un resultado positivo para la presencia de CT y CF respectivamente.

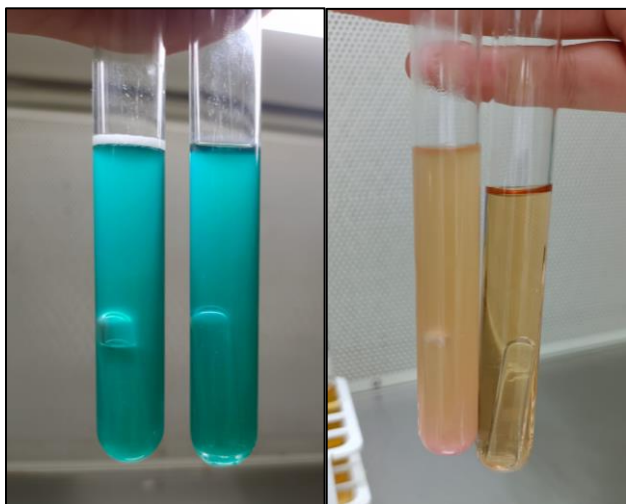


Figura 3. Lectura positiva y negativa para CT en caldo BVB y para CF en caldo EC, respectivamente.

#### **V. Prueba confirmativa para *E. coli*.**

A partir de los tubos de EC positivos en la prueba confirmativa para CF tomar un inóculo de cada uno y se traspasa a agar Levine para confirmar presencia *E. coli* por agotamiento en la superficie para obtener colonias aisladas. Se incubaron las placas invertidas en el horno a 35 °C por 18 a 24 horas. Al finalizar el periodo de incubación observar las colonias que presenten un centro oscuro con o sin brillo metálico serán positivas para *E. coli* como en la Figura 4 (ISP, 1998).



Figura 4. Vista de seis resultados positivos y dos negativos para *E. coli*. en agar Levine.

## **B. Técnica de Recuento en Placa.**

### **I. Preparación de diluciones.**

Tras la homogenización de la muestra que proporciona la dilución  $10^{-1}$ , se prepararon diluciones hasta  $10^{-3}$ . La dilución  $10^{-2}$  se obtiene agregando con una pipeta 1 ml de la dilución  $10^{-1}$  a un tubo que contiene 9 ml de AP, la dilución  $10^{-3}$ , se obtiene traspasando 1 ml de la dilución  $10^{-2}$  a otro tubo con 9 ml de medio AP (INN, 2001).

### **II. Siembra en profundidad e incubación.**

Se agregó 1 ml de cada dilución a placas Petri con duplicado. Luego se agregó en cada placa, previamente identificadas, 15 ml de agar correspondiente. Para detectar Enterobacterias se utiliza agar VRBG, y para detectar CF, se utiliza agar VRBL. El agar líquido se distribuyó

uniformemente sobre la placa, y luego se dejó solidificar, para añadir una segunda capa de agar para simular condiciones anaeróbicas y se incubó a 35 °C durante 24 horas. (INN, 2001).

### III. Recuento de colonias.

Al finalizar la incubación se realizó el recuento de colonias, se seleccionaron las placas que contenían no más de 150 colonias para su conteo, siguiendo el procedimiento establecido (INN, 2001). Para el cálculo y expresión de resultados, se determinará mediante la Ecuación 1.

Ecuación 1. Recuento de colonias representativas en placas Petri (INN, 2001).

$$N = \frac{\Sigma c}{V (n1 + 0.1 n2) d} \quad [1]$$

Donde:

N = Número de colonias por g de producto (UFC/g).

$\Sigma C$  = Suma de todas las colonias contadas en todas las placas seleccionadas.

V = Volumen de inóculo agregado a cada placa (ml).

n1 = Número de placas contadas de la menor dilución.

n2 = Número de placas contadas de la dilución consecutiva.

d = factor de dilución correspondiente a la primera dilución seleccionada.

#### **IV. Prueba confirmativa para CT y CF para alimentos.**

Para confirmar CT y CF, se seleccionaron colonias representativas de diferentes áreas de las placas que hayan crecido en el agar VRBG y VRBL respectivamente y se traspasaron en 5 tubos que contenían caldo BVB y caldo EC. Luego los tubos con BVB inoculados se incubarán durante 48 horas a una temperatura de 35 °C, y los tubos con EC se sometieron a incubación en baño termal a una temperatura de 44.5 °C durante un periodo de 24 horas. La presencia de turbidez en el medio y gas en la campana de Durham en cualquiera de los tubos indicará un resultado positivo para la presencia de CT o CF respectivamente (ISP, 1998) como se observa en la Figura 3.

#### **V. Prueba confirmativa para *E. coli*.**

De los tubos EC positivos para CF, se toma un inóculo y se transfiere a agar Levine para confirmar *E. coli*. Tras la incubación a 35 °C durante 18-24 horas, las colonias con centro oscuro y/o brillo metálico se consideran positivas (ISP, 1998) como se observa en la Figura 4.

#### **5.4. Análisis Estadístico**

Los resultados de los análisis microbiológicos de agua, alimento y suelo, recopilados en el laboratorio durante la temporada agrícola 2023-2024 en las campañas de septiembre y noviembre, se sometieron a un análisis estadístico utilizando el software R Studio, con el objetivo de evaluar las

diferencias en la calidad de estas matrices entre los sectores, San Nicolás y Boyen Chico.

#### **5.4.1. Análisis Descriptivo**

Se realizó un análisis descriptivo que proporciona una visión general de las características de las muestras. Este análisis incluyó medidas estadísticas, como la media, la mediana y los cuartiles: el primer cuartil (Q1), donde el 25% de los datos son igual o están por debajo que este valor; el segundo cuartil (Q2), corresponde a la mediana, indicando que el 50% de los datos es menor o igual a este valor; y el tercer cuartil (Q3), es donde el 75% de los datos es menor o igual a este valor, de otra forma, inferir que el 25% de los datos se encuentran sobre este valor. Estas medidas ofrecen una comprensión de la tendencia central, para la interpretación de los resultados.

#### **5.4.2. Análisis Grafico**

Se presentan los resultados a través de gráficos descriptivos, con la creación de gráficos de caja para visualizar la distribución de los datos de agua y suelo, proporcionando información sobre la dispersión y presencia de valores atípicos. Además, se creó gráfico de barra para los datos de alimentos, facilitando la observación de tendencias y patrones en las variaciones entre las zonas.

### 5.4.3. Análisis de varianzas

Se realizaron pruebas de homogeneidad de varianza antes de comparar grupos (sectores de estudio: San Nicolás y Boyen Chico), utilizando la prueba de Levene con una estimación de confianza del 95%. Esto se llevó a cabo para evaluar la igualdad de varianzas entre las zonas de San Nicolás y Boyen Chico en cada variable, tanto para agua, alimento y suelo. Las variables consideradas son CT, CF y *E. coli* en el caso del agua y suelo, por otro lado, Enterobacterias, CT y CF para los alimentos. Si el valor p de la prueba es superior a 0.05, las varianzas no son significativamente diferentes entre sí y se cumple el supuesto de homogeneidad de varianza. (Team, 2023a)

### 5.4.4. Análisis de medias

Después de confirmar la homogeneidad de varianza, se llevaron a cabo pruebas t de Student con el objetivo de responder a la pregunta: ¿Existe una diferencia estadísticamente significativa entre los valores promedio de las concentraciones de los indicadores microbiológicos en las zonas de San Nicolás y Boyen Chico, para las diversas matrices estudiadas? El análisis se realizó con un intervalo de confianza del 95%. De esta manera, si el valor p de la prueba t resulta ser mayor a 0.05, se interpreta que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las concentraciones microbiológicas en las zonas de San Nicolás y Boyen Chico.

Esto sugiere que, con un nivel de confianza del 95%, los resultados no son lo suficientemente distintos como para considerarlos estadísticamente relevantes. En cambio, un valor  $p$  menor a 0.05 indicaría la presencia de diferencias significativas, respaldando la idea de que las concentraciones de los indicadores microbiológicos difieren de manera notable entre las dos zonas estudiadas. Estas pruebas, ampliamente utilizadas en investigación científica, resultan ideales para comparar grupos independientes y determinar la relevancia estadística de las diferencias observadas en las concentraciones microbiológicas (Team, 2023b).

## 6. Resultados y Discusión.

### 6.1. Resultados Análisis Microbiológico.

Las concentraciones de contaminación de las aguas de pozo, hortalizas y suelo agrícola de cada hortaliza recolectadas se presentan en las Tabla 4, Tabla 5 y Tabla 6 respectivamente, donde a simple vista se puede observar variabilidad de los datos.

Tabla 4. Resultados de análisis microbiológico en agua para pozos de San Nicolás y Boyen Chico por la técnica del Número Más Probable (NMP/100 ml) en meses de septiembre (Sep.) y noviembre (Nov.).

Zona	Profundidad (m)	CT	CF	<i>E. coli</i>	Campañas (mes)
SN1	30	<1.8	<1.8	Ausencia	Sep.
SN2	4.5	21	7.8	7.8	Sep.
B1	35	6.8	4	4	Sep.
B2	52	110	49	49	Sep.
SN1	30	7.8	7.8	7.8	Nov.
SN2	4.5	540	7.8	7.8	Nov.
B1	35	<1.8	<1.8	Ausencia	Nov.
B2	52	280	<1.8	Ausencia	Nov.

- SN1 y SN2 representan al primer y segundo horticultor, respectivamente, en San Nicolás. Del mismo modo, B1 y B2 son el primer y segundo horticultor, respectivamente, en Boyen Chico.
- <1.8 simboliza que la cantidad de microorganismos presentes en la muestra es tan baja que no pudo ser detectada y cuantificada con precisión por el método utilizado.

La Tabla 4 evidencia la presencia constante de contaminación por CF y *E. coli* en el pozo SN2, que tiene una profundidad menor en comparación con los demás pozos, lo que lo hace más vulnerable. A pesar de las variaciones,

las concentraciones de contaminación fecal en el agua de riego se encuentran dentro de los límites permitidos por la NCh 1333, que establece los requisitos de calidad del agua para diferentes usos, incluido el riego de vegetales a ras de suelo. Esta norma establece que la calidad del agua puede contener cargas igual o menor a 1000 CF/100 ml de agua.

Por otro lado, según la NCh 409/1. Of. 2005, que regula el agua potable, establece que las concentraciones de CT deben ser menores o iguales a 5 NMP/100 ml y que la ausencia de CF indicaría que el agua es apta para el consumo humano y animal (Valenzuela et al., 2012). En el caso del pozo SN2, esta última norma no se cumple en ninguna campaña, mientras tanto, en los pozos de Boyen Chico en la campaña de noviembre, no se detectaron CF en el agua de pozo.

El pozo B1 indicó una medición de CT menor a 5 NMP/100 ml, en esa ocasión, lo que la hace apta para el consumo en ese momento; sin embargo, es importante hacer mediciones constantes para asegurar la calidad a lo largo del tiempo.

Tabla 5. Resultados análisis microbiológico de hortalizas en las zonas de San Nicolás y Boyen Chico, utilizando la técnica de recuento en placa (UFC/g) en septiembre (Sep.) y noviembre (Nov).

Zona	Muestra de Hortaliza	Enterobacterias	CT	CF	Campañas (mes)
SN1	Apio	4364	864	<10	Sep.
SN1	Cilantro	55560	11000	<10	Sep.
SN1	Lechuga	8272	6272	<10	Sep.
SN2	Lechuga	<10	<10	<10	Sep.
SN2	Lechuga	5272	1773	<10	Sep.
B1	Acelga	5454	4000	4000	Sep.
B2	Acelga	1318	1773	<10	Sep.
B2	Cilantro	<10	<10	<10	Sep.
B2	Lechuga	3182	2500	2500	Sep.
SN1	Cilantro	15272	1046	<10	Nov.
SN1	Apio	1272	1272	1272	Nov.
SN2	Lechuga	410	500	<10	Nov.
B1	Lechuga	546	46	<10	Nov.
B1	Acelga	956	<10	<10	Nov.
B2	Lechuga	2226	454	<10	Nov.
B2	Acelga	2046	818	<10	Nov.
B2	Cilantro	9136	1226	<10	Nov.

- SN1 y SN2 representan al primer y segundo horticultor, respectivamente, en San Nicolás. Del mismo modo, B1 y B2 son el primer y segundo horticultor, respectivamente, en Boyen Chico.
- <10 UFC/g simboliza ausencia de colonias contables, posible presencia de una pequeña cantidad de bacterias no cuantificables con el método utilizado.

No se detectó la presencia de *E. coli*. en las muestras de alimentos, lo que sugiere que los productos cultivados por los pequeños agricultores en las zonas de San Nicolás y Boyen Chico cumplen con los estándares de calidad

establecidos por el Reglamento Sanitario de los Alimentos, según el DTO. N° 977/96 para este indicador. De acuerdo con este reglamento, las frutas y verduras frescas pueden contener una concentración (UFC/g) mínima de 100 y máxima de 1000 *E. coli*, en la versión actualizada el 26 de enero de 2023 (MINSAL, 1997)

Sin embargo, se encontraron CF en algunos vegetales, como se detalla en la Tabla 5 y en la Figura 8 para una acelga recolectada en septiembre en Boyen Chico con el primer agricultor (B1), una lechuga extraída del segundo agricultor (B2) en el mismo mes, y un apio recolectado en noviembre en la zona del primer agricultor en San Nicolás (SN1). Esto indica la presencia de contaminación con material fecal en algunos alimentos frescos, representando un riesgo para la seguridad alimentaria local.

Los alimentos contaminados representan una amenaza para la salud a nivel mundial, especialmente para grupos vulnerables como lactantes, niños, embarazadas, personas mayores y aquellas con enfermedades inmunodeficientes (OMS, 2023).

Es fundamental destacar que la inocuidad alimentaria es crucial para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), como se enfatizó en la Conferencia Internacional sobre Inocuidad Alimentaria en Addis Abeba en 2019 y el Foro Internacional sobre Inocuidad Alimentaria y Comercio en Ginebra en el mismo año (OMS, 2020). Aunque la responsabilidad principal recae en los productores, es importante señalar que una parte significativa

de las ETA resulta de la preparación o manipulación incorrecta en el hogar, en establecimientos que sirven comida o en los mercados (OMS, 2020).

Tabla 6. Resultados del análisis microbiológico de suelo agrícola para cada hortaliza en las zonas de San Nicolás y Boyen Chico, mediante la técnica del Número Mas Probable (NMP/g) en meses de septiembre (Sep.) y noviembre (Nov).

Zona	Suelo de hortaliza	CT	CF	<i>E. coli</i>	Campaña (mes)
SN1	Lechuga	1100	23	23	Sep.
SN1	Cilantro	>1100	40	40	Sep.
SN1	Apio	>1100	4	4	Sep.
SN2	Lechuga	150	4	4	Sep.
SN2	Lechuga	9	4	4	Sep.
B1	Acelga	1100	500	500	Sep.
B2	Lechuga	200	<3	Ausencia	Sep.
B2	Cilantro	150	40	40	Sep.
B2	Acelga	500	4	4	Sep.
SN1	Cilantro	500	<3	Ausencia	Nov.
SN1	Apio	1100	<3	Ausencia	Nov.
SN2	Lechuga	500	9	9	Nov.
B1	Lechuga	>1100	>1100	1100	Nov.
B1	Acelga	1100	500	500	Nov.
B2	Lechuga	90	90	40	Nov.
B2	Acelga	200	40	40	Nov.
B2	Cilantro	23	<3	Ausencia	Nov.

- SN1 y SN2 representan al primer y segundo horticultor, respectivamente, en San Nicolás. Del mismo modo, B1 y B2 son el primer y segundo horticultor, respectivamente, en Boyen Chico.
- <3 simboliza que la cantidad de microorganismos presentes en la muestra es tan baja que no pudo ser detectada y cuantificada con precisión por el método utilizado.

Los resultados obtenidos en el análisis de suelo agrícola se observan en la Tabla 6, donde en general, se encontraron mayores concentraciones de *E. coli* en la zona de Boyen Chico en comparación con San Nicolás.

En los resultados de la Tabla 4 y Tabla 5, destacan la presencia de *E. coli* en el pozo B1 y la contaminación con CF en la acelga recolectada en la misma ubicación, respectivamente. Además, la Tabla 6 evidencia que en el mismo periodo (septiembre) para el suelo de la misma hortaliza, se registró una contaminación de 500 *E. coli* NMP/g, lo que señala que esta contaminación del suelo podría tener origen tanto en el agua de riego como en abonos de origen animal. Esto destaca la necesidad de una gestión cuidadosa de los recursos hídricos y prácticas agrícolas para abordar las posibles fuentes de contaminación y preservar la calidad del agua y los alimentos en esta zona estudiada.

## **6.2. Análisis Estadístico.**

### **6.2.1. Estadística Descriptiva.**

#### **A. Análisis descriptivo para agua.**

Se recolectaron un total de 8 observaciones, distribuidas entre las zonas de muestreo de San Nicolás y Boyen Chico, con una medición por campaña en cada uno de los dos puntos de muestreo en cada zona (SN1, SN2, B1 y B2).

La variable de profundidad proporciona información sobre la ubicación de las muestras y oscila entre 4.5 y 52 metros. Esta variabilidad en la profundidad

sugiere que los pozos domésticos en zonas rurales, especialmente los poco profundos, pueden estar expuestos a contaminación debido a su menor protección y mayor susceptibilidad a fuentes potenciales de contaminación superficial (Valenzuela et al., 2009).

Los resultados de la Tabla 7 indican una variabilidad significativa en las concentraciones microbiológicas, con valores que van desde 1.8 NMP/100 ml hasta 540 NMP/100 ml para CT, 1.8 NMP/100 ml hasta 49 NMP/100 ml para CF y ausencia hasta 49 NMP/100 ml para *E. coli*. La mediana y la media proporcionan medidas centrales de referencia, siendo 14.4 NMP/100 ml y 121.15 NMP/100 ml para CT, 5.9 NMP/100 ml y 10.22 NMP/100 ml para CF, y 5.9 NMP/100 ml y 9.55 NMP/100 ml para *E. coli*, respectivamente. Estos resultados reflejan la magnitud de la contaminación microbiológica en las muestras de agua de pozos recolectadas durante las campañas de muestreo, lo que además se puede observar en la Figura 5, donde la línea central de la caja indica la mediana de los datos para cada zona.

La presencia de indicadores microbiológicos puede relacionarse con diversas fuentes de contaminación, como animales, lluvias y filtraciones hacia los acuíferos de los pozos. La identificación del origen de la contaminación fecal es crucial para evaluar los riesgos y tomar medidas para abordarlas.

Se destaca un cambio en la concentración de CT en el pozo SN1 de septiembre (<1.8 NMP/100 ml) a noviembre (7.8 NMP/100 ml), posiblemente atribuible a la presencia de ganado en el área. En contraste, el pozo B1

mostró una disminución de 21 NMP/100 ml en septiembre a <1.8 NMP/100 ml en noviembre, posiblemente relacionado con precipitaciones e inundaciones en el sector durante ese período. La contaminación puede provenir de fuentes puntuales o difusas (Valenzuela et al., 2009).

Tabla 7. Estadística descriptiva de las concentraciones (NMP/100 ml) de CT CF, *E. coli* y la profundidad (m) de los pozos para el total de datos de San Nicolás y Boyen Chico en el periodo de estudio.

	Mínimo	Q1	Mediana	Media	Q3	Máximo
CT	1.8	5.55	14.4	121.15	152.5	540
CF	1.8	1.8	5.9	10.22	7.8	49
<i>E. Coli</i>	0	0	5.9	9.55	7.8	49
Profundidad	4.5	23.62	32.5	30.38	39.25	52

Tabla 8. Estadística descriptiva de concentraciones (NMP/100 ml) de CT CF, *E. coli* y profundidad de los dos pozos en Boyen Chico en la periodo de estudio.

	Mínimo	Q1	Mediana	Media	Q3	Máximo
CT	1.8	5.55	58.4	99.65	152.5	280
CF	1.8	1.8	2.9	14.15	15.25	49
<i>E. Coli</i>	0	0	2	13.25	15.25	49
Profundidad	35	35	43.5	43.5	52	52

Tabla 9. Estadística descriptiva de concentraciones (NMP/100 ml) de CT, CF y *E. coli* y profundidad (m) de los dos pozos en San Nicolás en periodo de estudio.

	Mínimo	Q1	Mediana	Media	Q3	Máximo
CT	1.8	6.3	14.4	142.7	150.8	540
CF	1.8	6.3	7.8	6.3	7.8	7.8
<i>E. Coli</i>	0	5.85	7.8	5.85	7.8	7.8
Profundidad (m)	4.5	4.5	17.25	17.25	30	30

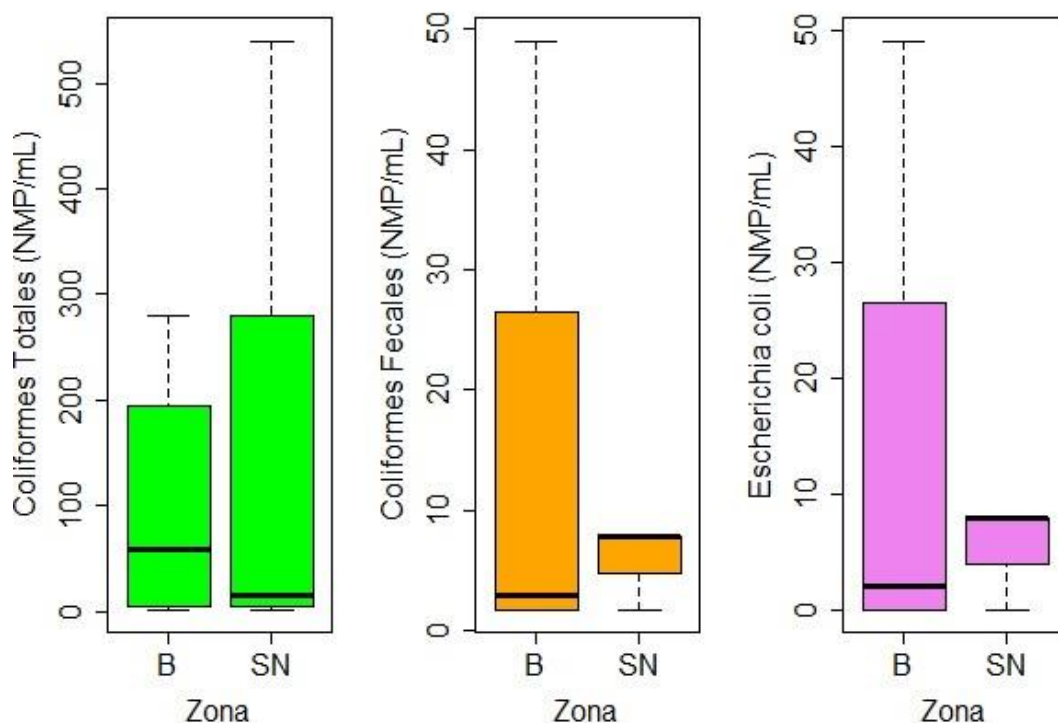


Figura 5. Diagrama de caja de concentración de contaminación por CT, CF y *E. coli* en los datos de agua de pozo para Boyen Chico (B) y San Nicolás (SN) en el periodo de estudio.

En las Tablas 8, Tabla 9 y en la Figura 5 se puede observar que las medianas, para el caso de Boyen Chico, para CF es de 2.9 NMP/100 ml, lo que indica que la mitad de los datos se encuentran por debajo de este valor, sin embargo, se identificó un valor que amplía el rango de distribución hasta 49 NMP/100 ml, sugiriendo variabilidad en la contaminación microbiológica del agua. Si bien existe esta medición elevada por diferentes motivos, la mayoría de los datos sugiere que Boyen Chico tiende a tener niveles más bajos de contaminación en comparación con San Nicolás.

Por otro lado, en San Nicolás, su mediana es de 7.8 NMP/100 ml, lo que indica que la mitad de los datos se sitúan por debajo de este valor con un rango más estrecho de 1.8 a 7.8 NMP/100 ml, lo que podría indicar una mayor consistencia en los niveles de contaminación.

Boyen Chico parece tener concentraciones más baja de CF en general, con una variabilidad marcada por un valor que se aleja de la mayoría, mientras que San Nicolás presenta una mediana más alta, y con una distribución más uniforme.

#### **B. Análisis descriptivo para los datos del suelo.**

Los valores de CT observados en la Tabla 10 varían desde 9 hasta 1100 NMP/g, con una mediana de 500 NMP/g, indicando que la mitad de las muestras tiene concentraciones considerables de Coliformes, aunque la media más alta (598.4 NMP/g) señala la presencia de valores más altos en algunas muestras, revelando la asimetría de los datos, ya que la media se ve influenciada por valores atípicos.

La variabilidad en los niveles de CF, que oscilan desde 3 NMP/g hasta 1100 NMP/g, refleja heterogeneidades en la calidad del suelo. La media (139.4 NMP/g) es más alta que la mediana (9 NMP/g), indicando presencia de valores atípicos elevados. Estos valores podrían estar relacionados con posibles fuentes de contaminación fecal en algunas áreas, como la fertilización con abonos de origen animal o contaminación desde el agua. El tercer cuartil (75%) se encuentra en 40 NMP/g, sugiriendo que la mayoría de

las muestras de suelo tienden a tener niveles bajos de CF, aunque hay algunas con valores más altos.

En cuanto a los niveles de *E. coli*, se exhibe una variabilidad considerable, desde la ausencia hasta 1100 NMP/g. El tercer cuartil (75%) está en 40 NMP/g, indicando que la mayoría de las muestras tienden a tener niveles bajos de *E. coli*, pero existen algunas con valores más altos.

El problema de la contaminación del suelo ha experimentado un aumento en la última década, afectado por diversos contaminantes derivados de actividades humanas, como compuestos orgánicos volátiles, desechos tóxicos industriales, efluentes domésticos, plaguicidas y fertilizantes, que se introducen en la superficie terrestre (Orizano Fabian, 2018).

Tabla 10. Estadística descriptiva para las concentraciones (NMP/100 ml) de CT, CF y *E. coli* para el total de datos de suelo agrícola de cada hortaliza en San Nicolás y Boyen Chico en el periodo de estudio.

	Mínimo	Q1	Mediana	Media	Q3	Máximo
CT	9	150	500	589.5	1100	1100
CF	3	4	9	139.4	40	1100
<i>E. Coli</i>	0	4	9	135.8	40	1100

Tabla 11. Estadística descriptiva para las concentraciones (NMP/100 ml) de CT, CF y *E. coli* para los datos de suelo agrícola para cada hortaliza en Boyen Chico en el periodo de estudio.

	Mínimo	Q1	Mediana	Media	Q3	Máximo
CT	23	150	200	495	1100	1100
CF	3	4	40	253.3	500	1100
<i>E. Coli</i>	0	4	40	247.1	500	1100

Tabla 12. Estadística descriptiva para las concentraciones (NMP/100 ml) de CT, CF y *E. coli* para los datos de suelo agrícola para cada hortaliza en San Nicolás en el periodo de estudio.

	Mínimo	Q1	Mediana	Media	Q3	Máximo
CT	9	412.5	800	694.9	1100	1100
CF	3	3.75	4	11.25	12.5	40
<i>E. Coli</i>	0	3	4	10.5	12.5	40

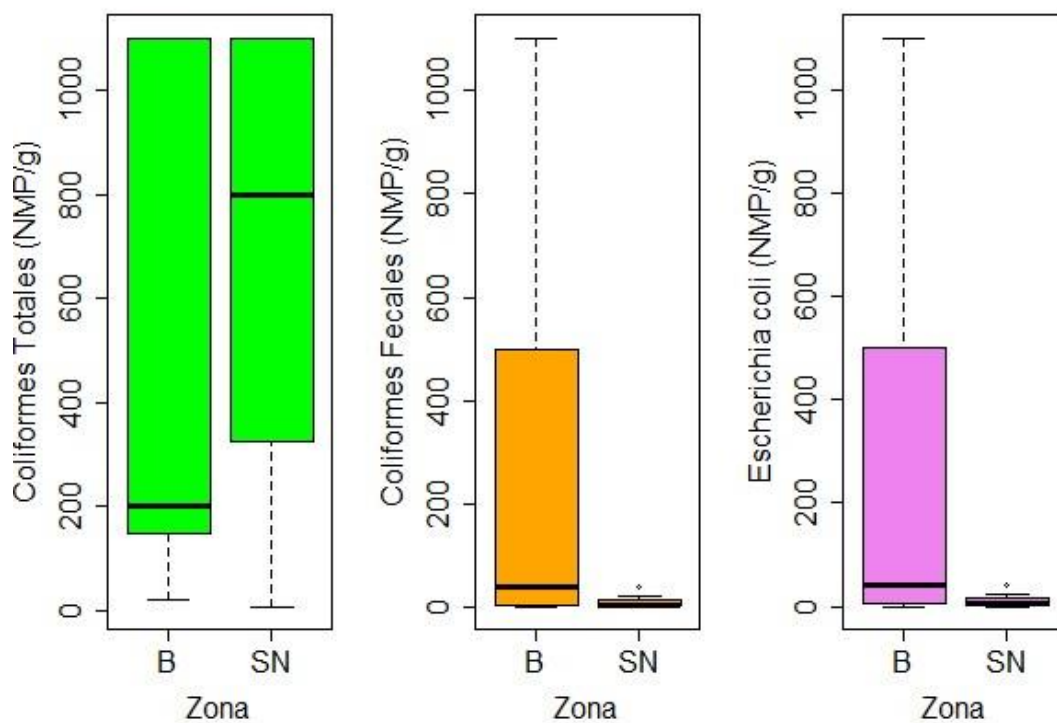


Figura 6. Diagrama de caja para concentración de contaminación por CT, CF y *E. coli* en los datos de suelo agrícola para Boyen Chico (B) y San Nicolás (SN) en el periodo de estudio.

Al analizar las Tablas 11 y 12, se evidencia una marcada diferencia entre las zonas previamente agrupadas en la Tabla 10. En Boyen Chico, la mediana de CT es de 200 NMP/100 ml con una media de 496 NMP/100 ml, mientras que, en San Nicolás, estas cifras son de 800 NMP/100 ml y 694.9 NMP/100 ml respectivamente. Estos valores indican la presencia de mediciones

atípicas o áreas específicas con contaminación significativamente más alta que el resto de las muestras, como se visualiza en la Figura 6. Esta variabilidad podría ser resultado de diversas fuentes de contaminación y condiciones específicas en cada zona.

En cuanto a las concentraciones de CF, observadas en las Tablas 11 y 12 respectivamente, la mediana en Boyen Chico es de 40 NMP/100 ml, mientras que en San Nicolás es de 4 NMP/100 ml. De manera similar, la mediana de E. coli en Boyen Chico es de 40 NMP/100 ml, frente a los 4 NMP/100 ml en San Nicolás. Estos resultados sugieren que, aunque San Nicolás tiende a tener concentraciones más altas de CT en comparación con Boyen Chico, se observa una menor concentración en las variables CF y E. coli en San Nicolás durante los meses de septiembre y noviembre. Este contraste se visualiza claramente en la Figura 6, donde las cajas para las variables CF y E. coli para la zona de San Nicolás son menos amplias que las de Boyen Chico.

### **C. Análisis descriptivo para los datos del alimentos.**

La Tabla 13 destaca la variabilidad en las enterobacterias, con una mediana de 2226 UFC/g y una media de 6789 UFC/g. Para los CT, la mediana es 1046 UFC/g y la media es 1975 UFC/g. En CF, la mediana es 10 UFC/g y la media es 465.4 UFC/g, con un máximo de 4000 UFC/g. Estos resultados indican presencia de contaminación microbiológica en hortalizas de San Nicolás y Boyen Chico durante las campañas de septiembre y noviembre. La

variabilidad de las mediciones resalta la importancia de mejorar las prácticas agrícolas para garantizar la seguridad alimentaria y la salud local.

Tabla 13. Estadística descriptiva para las concentraciones (UFC/g) de enterobacterias, CT y CF para el total de hortaliza recolectadas en San Nicolás y Boyen Chico en el periodo de estudio.

	Mínimo	Q1	Mediana	Media	Q3	Máximo
Enterobacterias	10	956	2226	6789	5454	55578
CT	10	454	1046	1975	1772	11000
CF	10	10	10	465.4	10	4000

Los datos de las Tablas 14 y 15 y en la Figura 7 revelan que Boyen Chico presenta concentraciones más bajas de enterobacterias en comparación con San Nicolás, tanto en mediana como en media. Ambas zonas muestran una variabilidad considerable en estas concentraciones. En el caso de los CT, Boyen Chico también muestra concentraciones más bajas en mediana y media en comparación con San Nicolás, con una variabilidad moderada en Boyen Chico y una variabilidad más amplia en San Nicolás. A pesar de concentraciones similares en mediana y media para CF en ambas zonas, San Nicolás tiene una concentración máxima más baja que Boyen Chico.

En la Figura 8 se pueden observar las concentraciones de contaminación en cada hortaliza para san Nicolás y Boyen Chico, donde se ve que las hortalizas con mayor contaminación es el cilantro y la lechuga, sin embargo, es en la acelga es donde se encuentra mayor concentración de CF.

Tabla 14. Estadística descriptiva para las concentraciones (UFC/g) de Enterobacterias, CT y CF para las hortaliza recolectadas en Boyen Chico en el periodo de estudio.

	Mínimo	Q1	Mediana	Media	Q3	Máximo
--	--------	----	---------	-------	----	--------

Enterobacterias	10	956	2046	2764	3182	9136
CT	10	46	818	1204	1772	4000
CF	10	10	10	730	10	4000

Tabla 15. Estadística descriptiva para las concentraciones (UFC/g) de Enterobacterias, CT y CF para las hortaliza recolectadas en San Nicolás en el periodo estudio.

	Min	Q1	Mediana	Media	Q3	Máximo
Enterobacterias	91	1056	4818	11316	10022	55578
CT	10	773	1159	2842	2897	11000
CF	10	10	10	167	10	1272

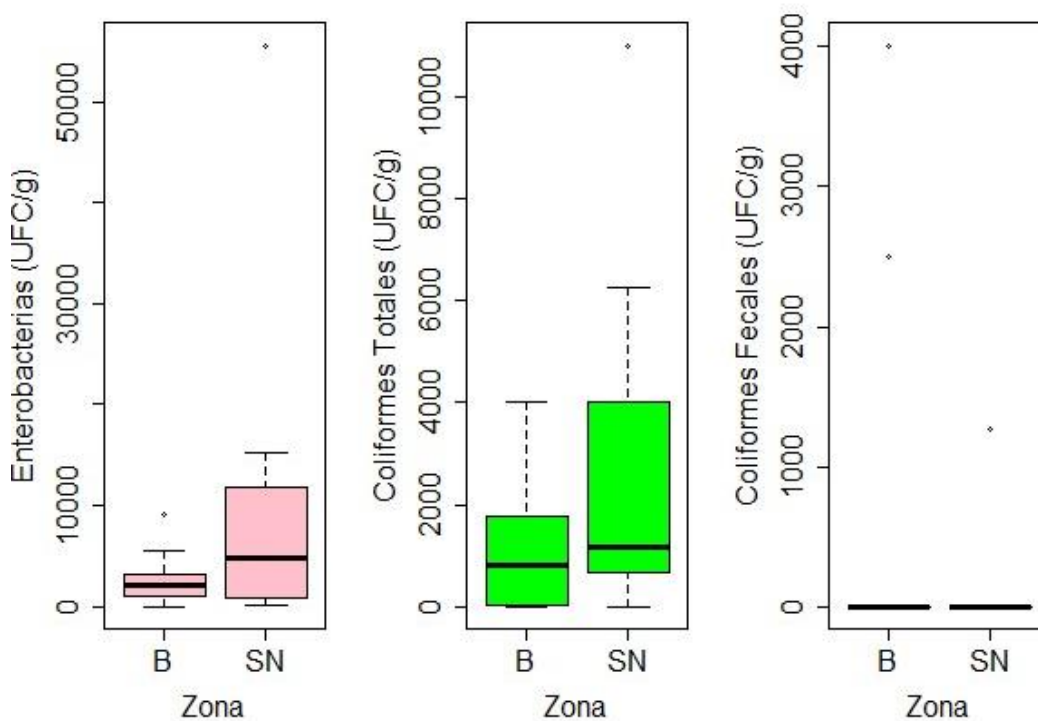


Figura 7. Diagrama de caja para concentración de contaminación por Enterobacterias, CT y CF en hortalizas de Boyen Chico (B) y San Nicolás (SN) en el periodo de estudio.

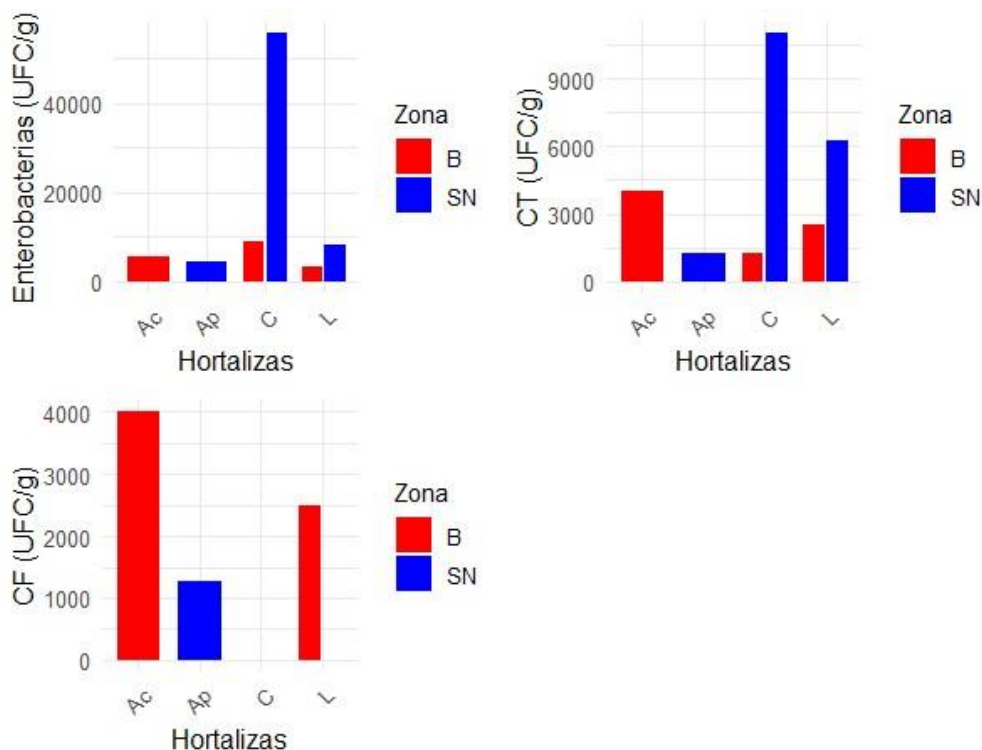


Figura 8. Relación entre las concentraciones de Enterobacterias, CT y CF respecto al tipo de hortaliza. Acelga (Ac), apio (Ap), cilantro (C) y lechuga (L) y zona de Boyen Chico (B) y San Nicolás (SN) en el periodo de estudio.

### 6.2.2. Análisis de Varianza

Los valores  $p$  en la prueba T Student para CT, CF y para *E. coli* para las mediciones de agua de pozo vistas en la Tabla 16 y las mediciones de suelo agrícola vistas en la Tabla 18 son mayores que el nivel de significancia utilizada (0.05) y para las mediciones de hortalizas vistas en la Tabla 17, también, por lo tanto, hay evidencia suficiente para aceptar la hipótesis alternativa de igualdad de varianzas entre las zonas de Boyen Chico y San Nicolás, entonces la estadística sugiere que las varianzas son homogéneas,

lo que indica, que la variabilidad en las concentraciones de CT, CF y *E. Coli* son similares tanto en San Nicolás como en Boyen Chico.

Tabla 16. Resultados prueba de Levene para la homogeneidad de la varianza entre los grupos de San Nicolás y Boyen Chico para las aguas de Pozo.

	Estadística	gl1	gl2	Valor P
CT	0.0977	1	6	0.7651
CF	0.9139	1	6	0.376
<i>E. coli</i>	0.9795	1	6	0.3605

- gl1: Grados de libertad asociados con las diferencias entre las medias de los grupos.
- gl2: Grados de libertad asociados con la variabilidad dentro de los grupos.
- Valor p: Valor asociado con la prueba de Levine.

Tabla 17. Resultados prueba de Levene para la homogeneidad de la varianza entre los grupos de San Nicolás y Boyen Chico para las muestras de suelo agrícola para cada hortalizas.

	Estadística	gl1	gl2	Valor p
CT	3.2146	1	16	0.09317
CF	0.0467	1	16	0.8318
<i>E. Coli</i>	3.0055	1	16	0.1035

- gl1: Grados de libertad asociados con las diferencias entre las medias de los grupos.
- gl2: Grados de libertad asociados con la variabilidad dentro de los grupos.
- Valor p: Valor asociado con la prueba de Levine.

Tabla 18. Resultados prueba de Levene para la homogeneidad de la varianza entre los grupos de San Nicolás y Boyen Chico para las muestras de hortalizas.

	Estadística	gl1	gl2	Valor p
Enterobacterias	1.9448	1	15	0.1835
CT	1.0573	1	15	0.3201
CF	1.0655	1	15	0.3183

- gl1: Grados de libertad asociados con las diferencias entre las medias de los grupos.
- gl2: Grados de libertad asociados con la variabilidad dentro de los grupos.
- Valor p: Valor asociado con la prueba de Levine.

### 6.2.3. Análisis de Medias

#### A. Aguas de Pozo

La estadística t es -0.26127 con un valor p de 0.7807, lo que sugiere que no hay diferencias significativas entre las medias de CT en ambos sectores. El intervalo de confianza del 95% para la diferencia de medias abarca valores negativos y positivos, respaldando la conclusión de la no significancia.

Ambas variables muestran estadísticas t de 0.66953 y un valor p de 0.5281, indicando que no hay diferencias significativas entre las medias de CF y *E. coli* en ambas ubicaciones. Los intervalos de confianza también abarcan valores negativos y positivos, respaldando la conclusión de la no significancia

Tabla 19. Resultados prueba T Student para la homogeneidad de medias entre los grupos de San Nicolás (SN) y Boyen Chico (B) para las aguas de Pozo.

	Estadística	Valor P	Media		95% de intervalo de confianza	
			B	SN	Inferior	Superior
CT	-0.26127	0.7807	99.65	142.65	-404.239	318.239
CF	0.66953	0.5281	14.15	6.3	-20.839	36.539
<i>E. coli</i>	0.66953	0.5281	14.15	6.3	-20.839	36.539

- Estadística: Indica la presencia de una diferencia significativa entre los grupos.
- Valor p: Un valor menor a 0.05 sugiere diferencias en las medias.
- Media: Representa el promedio de los resultados de las variables para cada sector.
- Intervalo de Confianza del 95%: Indica el rango probable de la verdadera diferencia entre las medias; si incluye cero, no hay evidencia suficiente de diferencia significativa entre los sectores.

## B. Muestras de Hortalizas

La estadística T es 0.50091 con un valor p de 0.6233, indicando que no hay diferencias significativas entre las medias de Enterobacterias en ambos sectores. El intervalo de confianza del 95% respalda la no significancia al abarcar valores negativos y positivos.

Para CT y CF muestran estadísticas t de 0.82474 y 0.91034 con valores p de 0.4216 y 0.3762, respectivamente, sugiriendo la ausencia de diferencias significativas. Los intervalos de confianza respaldan la no significancia al incluir valores negativos y positivos.

Tabla 20. Resultados prueba T Student para la homogeneidad de medias entre los grupos de San Nicolás (SN) y Boyen Chico (B) para las muestras de hortalizas.

	Estadística	Valor P	Media		95% de intervalo de confianza	
			B	SN	Inferior	Superior
Enterobacterias	-1.3685	0.1913	2763.8	11316.4	-21873.6	4768.4
CT	-1.2055	0.2467	1204	2842	-4534.2	1258.2
CF	1.0322	0.3183	730	167.75	-598.7	1723.2

- Estadística: Indica la presencia de una diferencia significativa entre los grupos.
- Valor p: Un valor menor a 0.05 sugiere diferencias en las medias.
- Media: Representa el promedio de los resultados de las variables para cada sector.
- Intervalo de Confianza del 95%: Indica el rango probable de la verdadera diferencia entre las medias; si incluye cero, no hay evidencia suficiente de diferencia significativa entre los sectores.

## C. Muestras de suelo agrícola para cada hortaliza

La estadística T es -0.87604 con un valor p de 0.3948, vistos en la Tabla 21 indica que no hay diferencias significativas entre las medias de CT en ambos

lugares. El intervalo de confianza del 95% abarca valores negativos y positivos, respaldando la conclusión de la no significancia.

Las variables CF y *E. coli* muestran estadísticas T de 1.8032 y 1.7461 con valores p de 0.09147 y 0.1012, respectivamente, sugiriendo cierta tendencia hacia la significancia ( $>0.05$ ). Sin embargo, los intervalos de confianza que incluyen valores negativos y positivos indican una variabilidad considerable en los resultados. Esta variabilidad confirma la tendencia a que ambos sectores presenten contaminación fecal.

Tabla 21. Resultados prueba T Student para la homogeneidad de medias entre los grupos de San Nicolás (SN) y Boyen Chico (B) para las muestras de suelo agrícola para cada hortalizas.

	Estadística	Valor P	Media		95% de intervalo de confianza	
			B	SN	Inferior	Superior
CT	-0.87604	0.3948	495.889	694.875	-683.13	285.1588
CF	1.8032	0.09147	253.333	11.25	-44.064	528.2308
<i>E. coli</i>	1.7461	0.1012	247.111	10.5	-52.225	525.4474




- Estadística: Indica la presencia de una diferencia significativa entre los grupos.
- Valor p: Un valor menor a 0.05 sugiere diferencias en las medias.
- Media: Representa el promedio de los resultados de las variables para cada sector.
- Intervalo de Confianza del 95%: Indica el rango probable de la verdadera diferencia entre las medias; si incluye cero, no hay evidencia suficiente de diferencia significativa entre los sectores.

La Figura 22 evalúa la fortaleza y vulnerabilidad ambiental de los pozos estudiados: SN1, a pesar de su profundidad y ser relativamente nuevo, enfrenta riesgos debido a la presencia cercana de ganado; SN2, cuenta con plataforma de concreto, sin embargo, es vulnerable por su poca profundidad y proximidad a canales y animales; B1, a pesar de su profundidad, también enfrenta riesgos debido a la presencia de gallinas y acumulación de agua en

su entorno; B2, destaca por su profundidad, plataforma y filtro de malla, mostrando mayor resistencia ante riesgos ambientales.

Aunque se piensa que el agua subterránea es menos vulnerable a la contaminación que el agua superficial debido a la filtración natural del subsuelo, los pozos domésticos en áreas rurales son susceptibles a diversas fuentes de contaminación fecal, lo que, complica la identificación precisa, lo que es clave para evaluar riesgos y tomar medidas, a pesar de métodos cuantitativos, la identificación no es rápida ni segura debido a la dispersión y a la naturaleza ocasional de esta contaminación, especialmente en agua subterránea contaminada (Valenzuela et al., 2009).

Tabla 22. Fortalezas y vulnerabilidades observadas en cada pozo muestreado en San Nicolás (SN1 y SN2) y Boyen Chico (B2 y B2), en el periodo de estudio.

Pozo	Fortaleza – Protección	Vulnerabilidad – riesgos	Fotografía
<b>SN1</b> 30 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Profundo</li> <li>• Nuevo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ganado y mascotas cerca</li> <li>• Falta de revestimiento.</li> </ul>	
<b>SN2</b> 4.5 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuenta con plataforma de concreto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poco profundo</li> <li>• Canal adyacente</li> <li>• Gallinas y mascotas al rededor</li> </ul>	
<b>B1</b> 35 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Profundo</li> <li>• Cuenta con plataforma de concreto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gallinas</li> <li>• Acumulación de agua alrededor del pozo, cuando llueve.</li> </ul>	
<b>B2</b> 52 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Profundo</li> <li>• Cuenta con plataforma de concreto</li> <li>• Filtro de malla</li> </ul>		

## 7. CONCLUSIONES

Con el análisis microbiológico se demostró que la calidad del agua para los sectores estudiados de San Nicolás y Boyen Chico se encuentra por debajo del umbral establecido en la NCh 1333 para el riego de hortalizas a ras de suelo, lo que indicaría una calidad de agua apta para este uso. Sin embargo, dado a la variabilidad de los resultados en las mediciones no se recomienda como bebida para seres humanos o animales, según lo establecido en el NCh409/1, lo que sugiere que hay un nivel de contaminación de las aguas subterráneas que se debe tener en cuenta, con el objetivo de anticipar posibles cambios y riesgos a los que puedan estar susceptibles cada pozo.

En los análisis también se pudo observar la existencia de contaminantes presentes en el suelo, en ambos lugares de estudio existió la presencia de CT y CF, lo que significa un riesgo de contaminación para los vegetal.

Para las hortalizas, los resultados del análisis microbiológico mostraron que no existe presencia *E. coli*, por lo que cumple con el DTO. N° 977/96, sin embargo, sí la existencia de CT y CF, lo cual es preocupante, por lo tanto, es importante tomar medidas al momento del consumo, como el buen lavado de las hortalizas. Las fuentes de contaminación de las hortalizas son diversas, entre las causas se incluyen la fertilización con abonos de origen animal y la contaminación con el agua. La presencia de valores atípicos elevados sugiere posibles fuentes puntuales de contaminación en ambas zonas.

En el análisis estadístico, para la prueba de Levene sugiere que las varianzas son homogéneas, lo que indica que la variabilidad en las concentraciones de CT, CF y *E. coli* son similares tanto en San Nicolás como en Boyen Chico. Es decir, las zonas estudiadas poseen igual dispersión de la contaminación.

La prueba T Student, sugiere que las medias son homogéneas, lo que indica que no hay diferencias significativas entre las medias de CT, CF y *E. coli* en ambos lugares, es decir que la calidad del agua, del suelo y las hortalizas en promedio es similar en ambos sectores: San Nicolás y Boyen Chico.

## **8. RECOMENDACIONES**

Se recomienda monitoreo continuo de la calidad del agua en ambas zonas para evaluar las tendencias a lo largo del tiempo y obtener información de la estabilidad o cambios en la calidad microbiológica del agua. Investigar e identificar las posibles fuentes de contaminación en las zonas para abordar posibles soluciones.

Al construir los pozos se les recomienda hacerlos con revestimiento, sello de concreto y plataforma del pozo, además de una profundidad considerable. Instalar sistemas de tratamiento físico, como filtración para eliminar partículas sólidas, sedimentos y organismos presentes en el agua.

Implementar y promover buenas prácticas agrícolas (BPA). Esto incluiría el manejo adecuado de residuos, control del uso de fertilizantes y pesticidas, y medidas para prevenir la contaminación del agua de riego.

Fomentar la colaboración entre entidades gubernamentales, científicos, agricultores y la comunidad local para abordar de manera integral los desafíos de calidad del agua. La colaboración puede resultar en soluciones más efectivas y sostenibles para garantizar la seguridad hídrica, alimentaria y por consecuencia la salud de la comunidad.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- ACHIPIA. (2020). *RECOMENDACIONES para el lavado y desinfección de frutas y verduras*. Retrieved from <https://www.achipia.gob.cl/wp-content/uploads/2020/05/RECOMENDACIONES-PARA-DESINFECCION-DE-FRUTAS-Y-VER-4.pdf>
- ACHIPIA. (2021). *Manual para Manipuladores de Alimentos*. Santiago, Chile: Karen Baracatt L. Liliana Maier N. Luis López V. & Ricardo A. Jacob C. Retrieved from [https://www.achipia.gob.cl/wp-content/uploads/2021/10/MANUAL\\_MANIPULADORES\\_FORMADOR\\_ES.pdf](https://www.achipia.gob.cl/wp-content/uploads/2021/10/MANUAL_MANIPULADORES_FORMADOR_ES.pdf)
- Arumi, J. L., Salgado, L., & 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. <https://www.scielosp.org/pdf/rpsp/v20n6/a04v20n6.pdf>
- Ávila-Quezada, G., Sánchez, E., Muñoz, E., Martínez, L., & Villalobos, E. (2008). Diagnóstico de la calidad microbiológica de frutas y hortalizas en Chihuahua, México. *Phyton (Buenos Aires)*, 77, 129-136. <https://www.scielo.cl/pdf/rdpucv/n59/0718-6851-rdpucv-59-131.pdf>
- Cerón, L. M., Sarria, J. D., Torres, J. S., & Soto-Paz, J. (2021). Agua subterránea: tendencias y desarrollo científico. *Información tecnológica*, 32(1), 47-56. <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v32n1/0718-0764-infotec-32-01-47.pdf>

Condolab. (2023a). *Agar Bilis Rojo Violeta con Lactosa (VRBL) ISO*.

Retrieved 25 octubre 2023 from

<https://www.condalab.com/int/es/medios-de-cultivo-deshidratados/137-12362-agar-bilis-rojo-violeta-con-lactosa-vrbl-iso.html>

Condolab. (2023b). *Agar Bilis y Rojo Violeta con Glucosa (VRBG)*

*EP/USP/ISO*. Retrieved 25 octubre 2023 from

<https://www.condalab.com/int/es/medios-de-cultivo-deshidratados/136-12361-agar-bilis-y-rojo-violeta-con-glucosa-vrbg-ep-usp-iso.html>

Condolab. (2023c). *Agar Levine (EMB) BAM/ISO*. Retrieved 25 octubre 2023

from [https://www.condalab.com/int/es/medios-de-cultivo-](https://www.condalab.com/int/es/medios-de-cultivo-deshidratados/56-14915-agar-levine-emb-bam-iso.html)

[deshidratados/56-14915-agar-levine-emb-bam-iso.html](https://www.condalab.com/int/es/medios-de-cultivo-deshidratados/56-14915-agar-levine-emb-bam-iso.html)

Condolab. (2023d). *Agua Peptonada (Agua Tryptonada) ISO*. Retrieved 25

octubre 2023 from [https://www.condalab.com/int/es/medios-de-cultivo-](https://www.condalab.com/int/es/medios-de-cultivo-deshidratados/1142-14480-agua-peptonada-agua-triptonada-iso.html)

[deshidratados/1142-14480-agua-peptonada-agua-triptonada-iso.html](https://www.condalab.com/int/es/medios-de-cultivo-deshidratados/1142-14480-agua-peptonada-agua-triptonada-iso.html)

Condolab. (2023e). *Caldo Bilis Verde Brillante 2% ISO*. Retrieved 25 octubre

2023 from [https://www.condalab.com/int/es/medios-de-cultivo-](https://www.condalab.com/int/es/medios-de-cultivo-deshidratados/1001-14464-caldo-bilis-verde-brillante-2-iso.html)

[deshidratados/1001-14464-caldo-bilis-verde-brillante-2-iso.html](https://www.condalab.com/int/es/medios-de-cultivo-deshidratados/1001-14464-caldo-bilis-verde-brillante-2-iso.html)

Condolab. (2023f). *Caldo Lauril Sulfato (Caldo Lauril Triptosa - LTB) ISO*.

Retrieved 25 octubre 2023 from

<https://www.condalab.com/int/es/medios-de-cultivo-deshidratados/1081-14725-caldo-lauril-sulfato-caldo-lauril-triptosa-ltb-iso.html>

Condolab. (2023g). *Medio EC ISO*. Retrieved 25 octubre 2023 from

<https://www.condalab.com/int/es/medios-de-cultivo-deshidratados/1206-12399-medio-ec-iso.html>

FAO. (2012). *Manual de Buenas Prácticas Agrícolas para el Productor Hortofrutícola* (Vol. 2º Edición). Organización de las Naciones Unidas

para la Alimentación y la Agricultura.

<https://www.fao.org/3/as171s/as171s.pdf>

González M, S. (2007). *Caracterización de coliformes fecales en aguas de*

*riego*.

<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/7214/NR35482.pdf?sequence=13&isAllowed=y>

Infobic. (2023). *CAMBIO CLIMÁTICO: EFECTOS EN LA INOCUIDAD Y SEGURIDAD ALIMENTARIA EN CHILE*. Santiago, Chile Retrieved

from [https://www.achipia.gob.cl/wp-content/uploads/2023/02/INFORMATIVO-OBIC-FEB-2023\\_5-1.pdf](https://www.achipia.gob.cl/wp-content/uploads/2023/02/INFORMATIVO-OBIC-FEB-2023_5-1.pdf)

ISP. (1998). *Manual de técnicas microbiológicas para alimentos y aguas*. In.

Santiago, Chile.

Instituto Nacional de Normalización. 1978. *Requisitos de calidad del agua*

para diferentes usos. NCh 1333: of. 1978 modificada en 1987.

Santiago, Chile.

- Instituto Nacional de Normalización. 1984. Agua - Determinación de bacterias coliformes totales - Parte 1: Método de los tubos múltiples (NMP). NCh 1620/1: of. 1984. Santiago, Chile.
- Instituto Nacional de Normalización. 2001. Productos hidrobiológicos - Determinación de coliformes - Parte 2: Técnica de recuento en placa. NCh 2635/2: of. 2001. Santiago, Chile.
- Instituto Nacional de Normalización. 2005. Agua potable – parte 1: Requisitos. NCh 409/1: of. 2005. Santiago, Chile.
- Kopper, G., Calderón, G., Schneider, S., Domínguez, W., Gutiérrez, G., Rosell, C., & Mejía, D. (2009). Enfermedades transmitidas por alimentos y su impacto socioeconómico. *Informe de la Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Roma, Italia: FAO*, 6, 1-194.
- Larrea-Murrell, J. A., Rojas-Badía, M. M., Romeu-Álvarez, B., Rojas-Hernández, N. M., & Heydrich-Pérez, M. 2013. Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 44(3), 24-34.
- López-Feldman, A. (2015). Cambio climático y actividades agropecuarias en América Latina. <https://hdl.handle.net/11362/39824>
- MINSAL. (1997). REGLAMENTO SANITARIO DE LOS ALIMENTOS. In *DTO. N° 977/96*. Santiago, Chile.

- MINSAL. (2020). *BOLETÍN EPIDEMIOLÓGICO TRIMESTRAL BROTES DE ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR ALIMENTOS (ETA) SE 1-52 AÑO 2019*. Retrieved from [http://epi.minsal.cl/wp-content/uploads/2020/02/BET\\_ETA\\_2019.pdf](http://epi.minsal.cl/wp-content/uploads/2020/02/BET_ETA_2019.pdf)
- OMS. (2020). *Inocuidad de los alimentos*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/food-safety>
- ONU. (2023). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>
- Orizano Fabian, S. L. B. (2018). Eficiencia del tratamiento de nanopartículas de plata sintetizado con alcanfor (*Cinnamomum Camphora*) para reducir coliformes totales en suelo agrícola, Chuquitanta-Lima, 2018. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/18729/Orizano\\_FSLB.pdf?sequence=1](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/18729/Orizano_FSLB.pdf?sequence=1)
- Orrego V., R. C. M., Cristóbal; Fuentes B., Marcel. (2020). *El clima de la Región de Ñuble: factor determinante para el progreso agrícola*. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/3622/NR42043.pdf?sequence=10&isAllowed=y>
- Patricia Matus, R. B., Gloria Gómez & Gladys Vidal. (2023). Agua, ecosistema y salud pública. [https://www.crhiam.cl/wp-content/uploads/2023/05/CRHIAM\\_Libro-Agua-Ecosistemas\\_-Altas-res.pdf](https://www.crhiam.cl/wp-content/uploads/2023/05/CRHIAM_Libro-Agua-Ecosistemas_-Altas-res.pdf).

- Peña-Neira, S., & Araya Meza, P. 2022. El derecho humano y el deber del Estado de acceso al agua (potable) en la doctrina de la Corte Suprema de Chile. *Revista de derecho (Valparaíso)*, (59), 131-142.
- RStudio. (2023). *A language and environment for statistical computing*. In <https://www.R-project.org/>
- Team, D. (2023a). Prueba t para muestras independientes. Retrieved 15 diciembre 2023 from <https://datatab.es/tutorial/unpaired-t-test>
- Team, D. (2023b). *Prueba de Levene*. Retrieved 15 diciembre 2023 from <https://datatab.es/tutorial/levене-test>
- 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://www.scielo.cl/pdf/rci/v29n6/art07.pdf>
- Valenzuela, M., Mondaca, M. A., Claret, M., Pérez, C., Lagos, B., & Parra, O. (2009). Determinación del origen de la contaminación microbiológica del agua subterránea en una cuenca rural en Chile. *Agrociencia*, 43(4), 437-446. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v43n4/v43n4a10.pdf>