

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**ESTUDIO DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE LAS AGUAS DEL
ESTERO DICHATO, RÍO PINGUERAL Y SU IMPACTO EN EL BORDE
COSTERO**

RODRIGO JAIME ANDRÉS MARTÍNEZ PÉREZ

HABILITACIÓN PROFESIONAL
PRESENTADA A LA FACULTAD
DE INGENIERÍA AGRÍCOLA DE
LA UNIVERSIDAD DE
CONCEPCIÓN, PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERO
AMBIENTAL

CHILLÁN-CHILE

2024

**ESTUDIO DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE LAS AGUAS DEL
ESTERO DICHATO, RÍO PINGUERAL Y SU IMPACTO EN EL BORDE
COSTERO**

Aprobado por:

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

Profesor Guía

Luis Seminario Salas
Ingeniero en Industrias Alimentarias, Mg.
Profesor Asistente

Profesor Asesor

Margarita Ocampo Rodríguez
Ingeniero en Alimentos, Dr.
Profesor Asistente

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 agradecer de todo corazón a mi madre Carolina, y a mi padre Jaime, por darme su amor incondicional, su apoyo constante y por inculcarme la educación desde temprana edad. Gracias por aportarme en esta investigación, tanto en lo moral como con su gran experiencia. Cuando sentí que todo estaba oscuro, ustedes fueron la luz que iluminó mi camino. Jamás podré expresar con palabras lo agradecido que estoy con ustedes y lo mucho que los admiro por todo lo que han logrado y por la cantidad de adversidades que han superado. Los amo profundamente.

A mi hermana Priscila, quien me regaló mucho de su tiempo y de su sabiduría desde el primer momento en que llegué a la universidad hasta el día de hoy. Ella también me educó como una madre. Igualmente, agradezco a Claudio, su pareja, quien nunca dudó en brindarme su apoyo en este proceso.

A mis sobrinos, Rayen y Felipe, quienes me regalaron su energía en cada abrazo y, con sus juegos, alegraron mis tardes, dándome fuerzas para seguir adelante cuando el estrés parecía desbordarme.

A mi abuela Tere (Q.E.P.D.), quien fue un pilar importante durante mi estadía universitaria, y a mi tía Moro (Q.E.P.D.), por recibirme con los brazos abiertos en la ciudad de Chillán y hacerme sentir como un hijo más en su mesa. Siempre las recordaré con amor.

A mi compañera y novia, Maily, por estar a mi lado en las buenas y en las malas durante todo este proceso. Tu apoyo ha sido fundamental. Vivir contigo

en Chillán fue una de las mejores experiencias que me llevo de esta ciudad. A mi profesor Pedro Aqueveque, gracias a usted logré llevar a cabo mi idea en esta investigación. Aprecio profundamente su paciencia y buena voluntad al enseñarme, siempre con una actitud positiva y alentadora.

A Álvaro Gallardo, del Centro INCAR de la Estación de Biología Marina de Dichato, quien me inculcó la mentalidad de ser un aporte para la comunidad. Le agradezco por abrirme las puertas de su laboratorio para realizar mi práctica profesional y trabajar en mi investigación. También le agradezco por acompañarme en los recorridos de campo para recoger las muestras de agua. Gracias por todo, hermano.

A José Sáez y Juan Méndez, quienes estuvieron conmigo navegando para obtener las muestras de agua necesarias para mi trabajo.

A mis amigas Mada, Vale y a mi amigo Gatica, por todas esas tardes de estudio y risas, que hicieron este proceso mucho más ameno y llevadero.

Finalmente, quiero agradecer a mis amigos de Dichato, por todas las buenas vibras y por la motivación constante que siempre me dieron. A la "M Crew", un grupo que sabe de superación y esfuerzo. Gracias, mis hermanos, por todo.

ÍNDICE

	Pagina
AGRADECIMIENTOS.....	III
ÍNDICE	V
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
RESUMEN.....	1
ABSTRACTS	3
1. INTRODUCCIÓN	4
2. ANTECEDENTES GENERALES	7
3. HIPÓTESIS.....	11
4. OBJETIVOS.....	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.....	12
5.3. Medición de parámetros	12
5.4. Transporte de muestras	13
5.5. Análisis microbiológico.....	15
5.5.1. Siembra en medio Lauril Sulfato Triptosa (LST)	16
5.5.2. Siembra en medio EC (EC).....	16
5.5.3. Siembra en medio Bilis Verde Brillante (BVB).....	17

5.5.4. Siembra en medio Agar Levine	17
5.6. Análisis estadístico.....	17
6. Resultados y discusión.....	19
6.1. Resultados del análisis microbiológico.....	19
6.2. Resultados de análisis fisicoquímicos	25
6.3. Resultados análisis estadístico.....	31
7. CONCLUSIONES	35
8. RECOMENDACIONES	37
9. BIBLIOGRAFÍA	39

ÍNDICE DE TABLAS

	Pagina
Tabla 1. Coordenadas geográficas correspondientes a los 6 puntos de muestreo.....	13
Tabla 2. Siembra para los tubos en LST para la cuantificación de coliformes.	16
Tabla 3. Resultados del análisis microbiológico de las muestras del Río Pingueral (P1, P2 y P3) y el Estero Dichato (D1, D2 y D3) en los meses de correspondientes al año 2024.....	19
Tabla 4. Porcentaje de <i>Escherichia coli</i> del total de Coliformes Fecales en el periodo de estudio	23
Tabla 5. Resultados del análisis fisicoquímico de las muestras del Río Pingueral (P1, P2 y P3) y el Estero Dichato (D1, D2 y D3) en el periodo de estudio correspondiente para el año 2024	26
Tabla 6. Estadística descriptiva de tendencia central para las concentraciones de <i>E. coli</i> en el Río Pingueral durante el periodo de estudio (julio a octubre).....	32
Tabla 7. Estadística descriptiva de tendencia central para las concentraciones de <i>E. coli</i> en el Estero Dichato medidas durante el periodo de estudio (julio a octubre).....	33
Tabla 8. Prueba t para las mediciones de <i>E. coli</i> en el Río Pingueral y Estero Dichato en el periodo de estudio (julio a octubre).....	34

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pagina
Figura 1. Coordenadas geográficas correspondientes a los 6 puntos de muestreo.....	14
Figura 2. Fotografía de los puntos de toma de muestra para el Estero Dichato. Donde D1 es el primer punto de muestreo, D2 es el segundo punto de muestreo y D3 es el tercer punto de muestreo.....	14
Figura 3. Fotografía de los puntos de toma de muestra para el Río Pingueral. Donde P1 es el primer punto de muestreo, P2 es el segundo punto de muestreo y P3 es el tercer punto de muestreo.....	15
Figura 4. Densidad de resultados de Coliforme Fecales (CF) en el periodo de estudio para las muestras del Río Pingueral (P1, P2 y P3) y Estero Dichato (D1, D2 y D3)	21
Figura 5. Densidad de resultados de <i>E. coli</i> para en el periodo de estudio para las muestras del Río Pingueral (P1, P2 y P3) y estero Dichato (D1, D2 y D3)	22
Figura 6. Representación gráfica de las mediciones de temperatura (T), oxígeno disuelto (OD), salinidad y turbidez para las muestras del Río Pingueral (P1, P2 y P3) y Estero Dichato (D1, D2 y	

D3) en el periodo de estudio.....	27
Figura 7. Concentración de <i>E. coli</i> en el Río Pingueral y el Estero Dichato en las muestras de agua y su relación con la salinidad (PSU) del agua	29
Figura 8. Concentración de <i>E. coli</i> en el Río Pingueral y el Estero Dichato en las muestras de agua y su relación con la turbidez (NTU) del agua en el periodo de estudio	30
Figura 9. Concentración de <i>E. coli</i> en el Río Pingueral y el Estero Dichato en las muestras de agua y su relación con la temperatura del agua.....	31

**ESTUDIO DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE LAS AGUAS DEL
ESTERO DICHATO, RÍO PINGUERAL Y SU IMPACTO EN EL BORDE
COSTERO**

**STUDY OF THE MICROBIOLOGICAL QUALITY OF THE WATERS OF THE
ESTERO DICHATO, RÍO PINGUERAL AND ITS IMPACT ON THE
COASTAL EDGE**

Palabras claves: Coliformes Totales, Coliformes Fecales, *Escherichia coli*, Río Pingueral, Estero Dichato, calidad del agua.

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad microbiológica de las aguas del Río Pingueral y el Estero Dichato según el el DS N°90/2000, durante el segundo semestre de 2024. Se analizó cómo las actividades antropogénicas en el borde costero influyen en la población de microorganismos presentes en estos cuerpos de agua. Para ello, se seleccionaron tres puntos de muestreo en cada sitio considerando su proximidad a zonas urbanas y rurales. Las muestras fueron recolectadas y analizadas utilizando técnicas microbiológicas estándar, como la siembra en medios selectivos y la técnica de fermentación en tubos múltiples para determinar la presencia de *Escherichia coli*, coliformes fecales y coliformes totales. Los resultados obtenidos fueron procesados y analizados estadísticamente para identificar patrones de contaminación y su posible relación con las actividades humanas en la región.

Los resultados obtenidos del análisis microbiológico señalan que tanto el Estero Dichato y Río Pingueral se encuentran dentro de la norma chilena, pero a pesar de esto las bacterias logran propagarse tanto en la desembocadura como en el mar.

STUDY OF THE MICROBIOLOGICAL QUALITY OF THE WATERS OF THE ESTERO DICHATO, RÍO PINGUERAL AND ITS IMPACT ON THE COASTAL EDGE

Keywords: Total Coliforms, Fecal Coliforms, *Escherichia coli*, Pingueral River, Dichato estuary, water quality.

ABSTRACTS

This research aimed to evaluate the microbiological quality of the waters of the Pingueral River and the Estero Dichato, in the commune of Tomé, during the second half of 2024. It was analyzed how activities on the coastal edge influence the population of microorganisms present in these bodies of water. To do this, three sampling points will be selected in each site considering their proximity to urban and rural areas. Samples were collected and analyzed using standard microbiological techniques, such as plating on selective media and multiple tube fermentation technique, to determine the presence of *Escherichia coli*, fecal coliforms, and total coliforms. The results obtained were processed and statistically analyzed to identify pollution patterns and their possible relationship with human activities in the region.

The results obtained from the microbiological analysis indicate that both the Estero Dichato and Río Pingueral are within the Chilean standard, but despite this the bacteria manage to spread both in the mouth and in the sea.

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento natural que ha existido en la Tierra por aproximadamente 3000 millones de años. Es también la biomolécula más crucial, a pesar de su simplicidad, si tenemos en cuenta que solo está formada por tres átomos. Sin embargo, todos los seres vivos dependen totalmente de ella para sobrevivir, por lo que se la considera el líquido de la vida (Brenes et al., 2005).

Actualmente, la contaminación del agua es un problema común y transversal en los diferentes lugares del mundo, afectando no sólo a los países industrializados o en vías de desarrollo, sino a todos los sectores de cada comunidad. Existe la creencia, de que este recurso esencial siempre estará disponible, pero la realidad es diferente, ya que, no somos conscientes de las acciones y actividades que realizamos con él (Guadarrama Tejas y Rosendo, 2016).

El crecimiento de la población mundial tiene estrecha correlación con el incremento significativo los niveles de contaminación del agua, principalmente debido al vertido de aguas residuales domésticas e industriales, en particular, los residuos domésticos son una fuente significativa de materia orgánica y microorganismos de origen fecal, lo que hace necesario realizar análisis específicos para detectar la presencia de patógenos en el agua potable y residual (Del Pilar Arcos Pulido et al., 2005).

En la Región del Biobío, la comuna de Tomé se destaca por su riqueza natural y

su relevancia económica en sectores como la pesca y el turismo, con un paisaje compuesto por planicies litorales y una hidrografía de reservas superficiales limitadas; Tomé se beneficia de su ubicación costera, que facilita actividades como la pesca artesanal, esta actividad no solo proporciona sustento a muchas familias locales, sino que también enriquece la oferta turística de la región, atrayendo visitantes interesados en productos marinos frescos y en disfrutar de las actividades recreativas en sus playas y cuerpos de agua, como el Estero Dichato y el Río Pingüeral (Burdiles, N. F., & Verdugo, D. F., 2015). La sostenibilidad de estos recursos es vital para asegurar el desarrollo económico a largo plazo de la comuna, destacando la importancia de una gestión ambiental efectiva que incluya políticas de reciclaje, manejo de residuos y protección de ecosistemas costeros (Arriaza & Venegas, 2003). La pesca en Dichato ha sido históricamente una actividad fundamental para la comunidad local, no sólo como fuente de sustento económico, sino también como un eje central de la identidad cultural y social de la zona. Desde mediados del siglo XX, Dichato ha sido escenario de conflictos territoriales derivados del uso compartido de los espacios litorales, donde los pescadores artesanales han defendido su derecho a utilizar las playas para sus labores, enfrentándose a la expansión de otras actividades económicas y la privatización de terrenos costeros; estos conflictos reflejan la tensión entre la necesidad de preservar los bienes comunes y el desarrollo de actividades productivas, lo cual subraya la relevancia de la pesca artesanal en la configuración del territorio costero y en la conservación de los recursos

naturales marinos (Camus et al., 2017).

En investigaciones sobre contaminación del agua, los microorganismos de origen fecal, como las bacterias Coliformes Totales (CT), Coliformes Fecales (CF) y *Escherichia coli* (*E. coli*), se han identificado como indicadores clave de contaminación fecal. Su presencia en el agua señala la posible contaminación por organismos enteropatógenos, que pueden causar diversas enfermedades (Olivas et al., 2013). El grupo de bacterias coliformes ha sido históricamente el principal indicador de la calidad de diversos tipos de agua; la detección y cuantificación de estos organismos en muestras de agua permite evaluar el nivel de contaminación y determinar su calidad sanitaria, proporcionando un criterio fundamental para la protección de la salud humana y el medio ambiente (Silva et al., 2004).

El presente estudio se centra en evaluar la calidad microbiológica de las aguas del Río Pingueral y el Estero Dichato, ubicados en la comuna de Tomé, puntualizando cómo las actividades humanas, incluyendo las descargas domésticas y la presencia de ganado, influyen en la población de microorganismos en estos cuerpos de agua. Este análisis se llevará a cabo durante el segundo semestre de 2024, y permitirá comprender mejor las dinámicas de contaminación microbiológica en un entorno influenciado por zonas urbanas y rurales. Los resultados de este estudio ofrecerán datos cruciales para la gestión del recurso hídrico en la comuna, promoviendo políticas públicas que mejoren la calidad del agua y, por ende, la salud pública.

2. ANTECEDENTES GENERALES

Según Escobar (2002) la contaminación marina global proviene en su mayoría de actividades humanas en la superficie terrestre, con entre el 70% y el 75% de la contaminación, aproximadamente el 90% de estos contaminantes son transportados al mar a través de los ríos; cabe destacar, que entre el 70% y el 80% de la población mundial, vive en áreas costeras o cercanas a ellas, especialmente en zonas urbanas donde una gran cantidad de desechos se vierten directamente al océano. La presencia de microorganismos en cuerpos de agua plantea un grave riesgo para la salud pública y el ecosistema, afectando las rutas migratorias de peces y ballenas, así como las colonias de moluscos, crustáceos, aves y lobos marinos (Salinas et al., 2010).

Chile, con más de 4.300 km de costa, tiene un gran interés en preservar la calidad de sus mares debido a que se enfrenta al vasto océano Pacífico Sur, uno de los más puros y vírgenes del mundo (Cabrera, 1979).

En este contexto, la región del Biobío alberga la localidad costera de Dichato, ubicada en el lado sur de la Bahía de Coliumo, con aproximadamente 4.000 habitantes. Dichato está a 9 km al norte de Tomé, formando parte de esta comuna en la Región del Biobío (Siade, 2013).

Pingüeral, una playa situada justo al norte de Dichato es conocida por ser una residencia secundaria para personas de altos ingresos y está adyacente a un río que proporciona un entorno natural distintivo para sus residentes (Romero et al., 2010). Tanto el Estero Dichato como el Río Pingüeral pueden verse

afectados por actividades humanas, como descargas domésticas y la influencia de zonas urbanas y rurales.

Para López et. al. (2016). La calidad del agua en áreas costeras y fluviales, como el Estero Dichato y el Río Pingueral, es crucial para el desarrollo sostenible de actividades económicas claves como la pesca y el turismo; estas actividades dependen de un ambiente saludable, donde la contaminación bacteriológica y química puede representar riesgos significativos para la salud pública y para quienes interactúan con estas aguas, ya sea, en actividades de contacto primario como la natación y el buceo, o de contacto secundario, como la pesca recreativa. La presencia de microorganismos patógenos y contaminantes químicos afecta a turistas y trabajadores del sector, así como la reputación del área como un destino seguro y atractivo. Por lo tanto, es esencial mantener y monitorear los estándares de calidad del agua en el Estero Dichato y el Río Pingueral para proteger la salud pública y asegurar la sostenibilidad de estas actividades económicas locales.

La calidad microbiológica de las aguas costeras, como las del Estero Dichato, puede verse significativamente afectada por las descargas de aguas residuales domésticas, que son una fuente común de contaminación por *E. coli*. Estudios han demostrado que factores como la intensidad de luz, la salinidad y la proporción de mezcla entre agua residual y marina influyen directamente en la tasa de decaimiento de *E. coli* en ambientes costeros (De Luque Villa y Robledo Buitrago, 2016). Estos factores actúan conjuntamente para reducir la concentración de *E. coli*, afectando su supervivencia mediante

mecanismos como el choque osmótico causado por la salinidad y la radiación solar, que acelera la disminución de su capacidad para formar colonias. Este fenómeno es especialmente relevante en áreas donde la calidad del agua es crucial para la recreación, la pesca y la salud pública, como en Dichato, donde la contaminación microbiológica podría comprometer tanto los ecosistemas acuáticos locales como la seguridad de sus habitantes (De Luque Villa y Robledo Buitrago, 2016).

El análisis de la calidad microbiológica de las aguas del Estero Dichato y el Río Pingueral es crucial para evaluar su impacto en el borde costero. Tanto el Decreto Supremo N°90/2000 como la NCh1333 establecen límites estrictos para la descarga de residuos líquidos y el uso recreativo del agua. El DS N°90/2000 fija un máximo de 1000 NMP/100 mL de CF en aguas fluviales mientras que la NCh1333 establece el mismo límite para actividades recreativas de contacto directo. Controlar las fuentes de contaminación es vital para preservar la biodiversidad acuática y proteger la salud pública en estas áreas. El marco normativo de Chile, como el Decreto Supremo N°90/2000, establece directrices claras sobre las emisiones de contaminantes y las descargas de residuos líquidos en aguas marinas y continentales. Este enfoque preventivo tiene como objetivo minimizar la contaminación y proteger la calidad de las fuentes de agua. Comparado con otros países como Australia, Canadá y Estados Unidos, Chile ha adoptado regulaciones específicas para controlar la descarga de efluentes, aunque los enfoques pueden variar según las características locales de cada nación. Mientras que en Australia y Canadá se

enfocan en la sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos y las buenas prácticas industriales, Estados Unidos tiene un sistema normativo basado en criterios estrictos de tratamiento de aguas residuales antes de la descarga, con énfasis en las medidas preventivas y correctivas (Brantes, 2008)

La contaminación microbiológica en cuerpos de agua, como el Río Pingueral y el Estero Dichato, también se ve influenciada por el vertido de aguas residuales sin tratamiento adecuado, combinado con el crecimiento urbano en las zonas cercanas. Este fenómeno aumenta la presencia de bacterias indicadoras de contaminación fecal, lo cual compromete la calidad del agua y la salud pública, como se describe en estudios como el de Romero et al. (2009). Las normativas en Chile, al igual que en otros países, buscan mitigar estos efectos mediante el control y monitoreo de las descargas y el tratamiento de aguas residuales.

3. HIPÓTESIS

"La calidad microbiológica de las aguas del Río Pingueral y el Estero Dichato son deterioradas, debido a la influencia directa de las zonas urbanas circundantes, las descargas domésticas y la presencia de ganado."

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

Evaluar el efecto de las actividades de las zonas urbanas y entorno del medio ambiente, que influyen en la calidad microbiológica de las aguas del Río Pingueral y Estero Dichato.

4.2. Objetivos Específicos

- Determinar la presencia de coliformes totales y fecales en las aguas del Río y Estero durante los meses julio – octubre de 2024 mediante un monitoreo en 6 puntos de control.
- Comparar la calidad microbiológica del Río Pingueral, Estero Dichato y borde costero.
- Determinar aspectos fisicoquímicos de las aguas del Río Pingueral, Estero Dichato y borde costero.

5. METODOLOGÍA

5.1. Zona de estudio

La investigación se realizó en las localidades de Dichato y Pingueral, ubicada a 40 km de la ciudad de Concepción. Se seleccionaron 3 puntos de muestreo estratégicos para evaluar la calidad microbiológica del agua en el Río Pingueral (P1, P2 y P3) y tres puntos en el Estero Dichato (D1, D2 y D3). La selección de estos puntos se basó en su ubicación geográfica: D1 y P1 están situados antes de los pueblos de Dichato y Pingueral, respectivamente mientras que D2 y P2 se encuentran en la desembocadura, donde los cuerpos de agua se mezclan con el agua salada del mar. Los puntos D3 y P3 se ubican a 15 metros de distancia de los puntos P2 y D2, respectivamente, ya dentro del mar, como se muestra en la Figura 1. Las coordenadas exactas de cada punto de muestreo se detallan en la Tabla 1.

5.2. Recolección de muestras

Las muestras de agua fueron recolectadas en 3 puntos específicos de muestreo tanto en el Río Pingueral como en el Estero Dichato como se aprecia en la Figura 1.

Se utilizaron bolsas estériles rotuladas para la toma de muestras.

5.3. Medición de parámetros

Los parámetros se determinaron in situ para cada muestra, donde se utilizó el medidor manual Handy Polaris para la medida de oxígeno disuelto en mg/L

(ppm) con su respectivo porcentaje de saturación y temperatura en grados Celsius. Para medir pH se utilizó el medidor impermeable pHep 5 de Hanna, mientras que, para conocer la salinidad del agua se utilizó el Refractómetro de salinidad modelo THEO1502B, el cual entrega dicho parámetro en Unidades Prácticas de Salinidad (PSU). Se obtuvo el resultado de la Unidad Nefelométrica de Turbidez (NTU) utilizando el turbidímetro portátil (modelo TU-2016), el cual fue el único parámetro que no fue obtenido in situ.

5.4. Transporte de muestras

Las 6 muestras se transportaron en una hielera con bolsa refrigerante al Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Concepción.

Tabla 1. Coordenadas geográficas correspondientes a los 6 puntos de muestreo.

Zona	UTM			Grados Decimales	
	Huso	Este	Norte	Latitud	Longitud
D1	18	685096	5952455	-36,55540473	-72,93182169
D2	18	685108	5953823	-36,54307778	-72,93201619
D3	18	685076	5953842	-36,54291317	-72,93236989
P1	18	686992	5955052	-36,53163878	-72,91127911
P2	18	685126	5955924	-36,52414627	-72,93231921
P3	18	685078	5955943	-36,52399245	-72,93285689

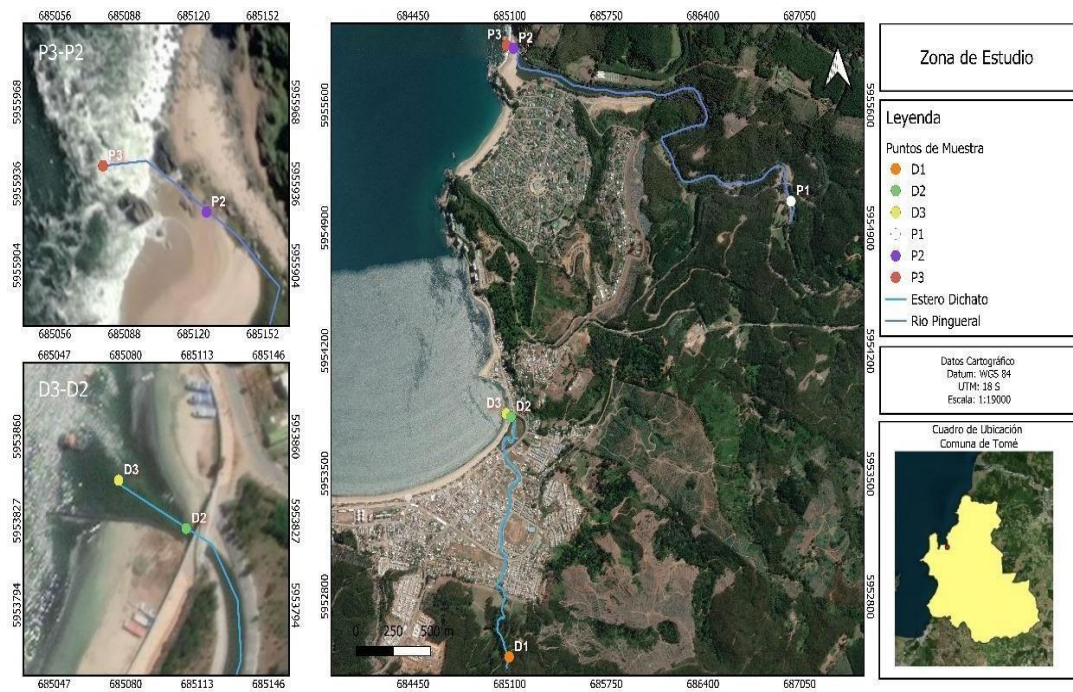


Figura 1. Coordenadas geográficas correspondientes a los 6 puntos de muestreo.

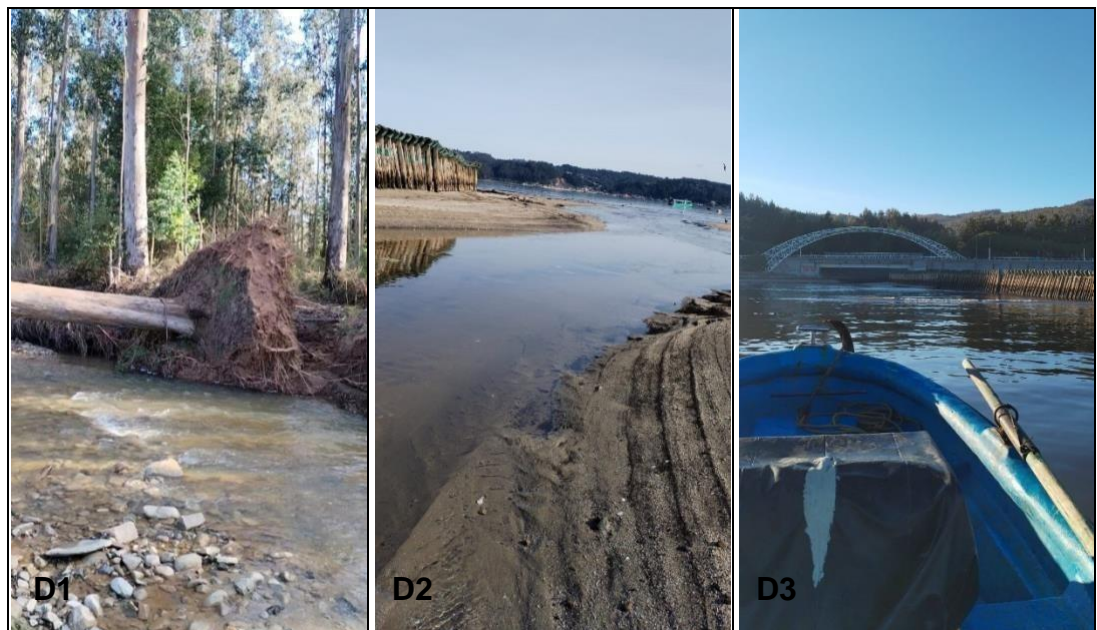


Figura 2. Fotografía de los puntos de toma de muestra para el Estero Dichato. Donde D1 es el primer punto de muestreo, D2 es el segundo punto de muestreo y D3 es el tercer punto de muestreo.



Figura 3. Fotografía de los puntos de toma de muestra para el Río Pingueral. Donde P1 es el primer punto de muestreo, P2 es el segundo punto de muestreo y P3 es el tercer punto de muestreo.

5.5. Análisis microbiológico

Al llegar al laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ingeniería Agrícola, las muestras fueron procesadas de inmediato. En primer lugar, se registraron y etiquetaron cuidadosamente para garantizar su correcta identificación a lo largo del análisis. El análisis microbiológico se llevó a cabo utilizando la técnica de tubos múltiples, un método empleado para estimar la concentración de bacterias en las muestras de agua, expresada como Número Más Probable (NMP) por cada 100 mL. Esta proporciona una evaluación indirecta pero confiable de la presencia de microorganismos patógenos. La norma chilena NCh1620/1 establece los procedimientos que aseguran la confiabilidad y

precisión de los resultados obtenidos mediante esta técnica.

5.5.1. Siembra en medio Lauril Sulfato Triptosa (LST)

El medio de cultivo Lauril Sulfato Triptosa (LST) se preparó utilizando 21,36 g de LST disueltos en 600 mL de agua destilada. Además, se preparó una solución en doble concentración con 21,36 g de LST en 300 mL de agua destilada. Se distribuyeron 10 mL de esta solución en tubos de ensayo, los cuales fueron esterilizados en autoclave a 121°C y 1 atmósfera de presión. Posteriormente, se añadió el medio LST a los tubos según se indica en la Tabla 2. Finalmente, las muestras sembradas fueron incubadas durante 48 horas en una estufa a 37°C.

Tabla 2. Siembra para los tubos en LST para la cuantificación de coliformes.

N° de tubos	Volumen de la muestra de agua	Volumen de Medio LST	Concentración del Medio LST
5	10 mL	10 mL	Doble
5	1 mL	10 mL	Simple
5	0,1 mL	10 mL	Simple

5.5.2. Siembra en medio EC (EC)

Para preparar el medio EC, se utilizaron 37 g del medio disueltos en 1.000 mL de agua destilada. Se depositaron 10 mL de esta solución en cada tubo de ensayo, los cuales fueron esterilizados en autoclave a 121°C y 1 atmósfera de presión. Posteriormente, se utilizó un asa para la inoculación de las muestras positivas desde LST a EC. Las muestras se incubaron en un baño termostático a 42,5°C durante 24 horas.

5.5.3. Siembra en medio Bilis Verde Brillante (BVB)

Para la preparación del medio Bilis Verde Brillante (BVB), se disolvieron 40 g del soluto en 1.000 mL de agua destilada. Al igual que en los demás medios, se añadieron 10 mL de la solución en los tubos de ensayo, los cuales fueron esterilizados a 121° C y 1 atmósfera de presión. Las muestras positivas del medio LST se transfirieron utilizando un asa y se incubaron en una estufa durante 2 días a una temperatura de 37° C.

5.5.4. Siembra en medio Agar Levine

Para el medio Agar Levine, se disolvieron 36 g del soluto en 1000 mL de agua destilada. La solución fue esterilizada bajo las mismas condiciones que los otros medios, a 121° C y 1 atmósfera de presión. Una vez preparada la solución se vertió en placas Petri, donde se dejó solidificar durante unos minutos. Utilizando un asa, se inoculó la muestra positiva del medio EC en un patrón en zigzag sobre la superficie del agar, y luego se incubaron las placas en la estufa a 37° C durante 24 horas.

5.6. Análisis estadístico

El análisis estadístico de los resultados obtenidos en esta investigación se centró en la determinación de *E. coli*, coliformes fecales (CF) y coliformes totales (CT) en las muestras de agua mediante la técnica de fermentación en tubos Múltiples, o técnica del Número Más Probable (NMP/100 mL).

Para el análisis de los datos, se utilizó el software Microsoft Excel, el cual permitió la creación de gráficos y tablas para visualizar los resultados de

manera clara y efectiva. Además, se aplicó un análisis estadístico descriptivo para resumir las características principales de los datos y se utilizó la prueba t de Student para comparar las medias de los diferentes puntos de muestreo, con el objetivo de determinar si existían diferencias significativas entre los cuerpos de agua analizados (Río Pingueral y Estero Dichato). Este enfoque estadístico permite evaluar la variabilidad de los indicadores microbiológicos entre las distintas muestras, para así concluir si las diferencias observadas son significativas desde el punto de vista estadístico.

6. Resultados y discusión

6.1. Resultados del análisis microbiológico

Los datos obtenidos en campo y laboratorio fueron organizados y visualizados con Excel. La Tabla 3 presenta los resultados microbiológicos de las muestras tomadas en el Río Pingueral (P1, P2, P3) y el Estero Dichato (D1, D2, D3) durante julio a octubre de 2024. La cuantificación de coliformes totales, coliformes fecales y *E. coli* se realizó mediante el método NMP, según la norma NCh1620/1 (INN, 1984). Se encontraron diferencias en la concentración de los indicadores microbiológicos entre los puntos de muestreo, lo que sugiere la influencia de factores urbanos y agrícolas y/o ganaderas cercanas. Estos resultados ayudarán a evaluar el impacto de estas actividades en la calidad del agua y sus posibles riesgos para la salud pública.

Tabla 3. Resultados del análisis microbiológico de las muestras del Río Pingueral (P1, P2 y P3) y el Estero Dichato (D1, D2 y D3) en los meses de correspondientes al año 2024.

FECHA	MUESTRA	CT (NMP/100mL)	CF (NMP/100mL)	<i>E. coli</i> (NMP/100mL)
Julio	P1	40	40	24
Julio	P2	39	33	21
Julio	P3	280	22	22
Julio	D1	54	9.3	9.3
Julio	D2	180	5	5
Julio	D3	45	0	0
Agosto	P1	22	22	20
Agosto	P2	1600	350	210
Agosto	P3	49	49	49

Continuación de la tabla anterior

Agosto	D1	27	5	5
Agosto	D2	22	6	6
Agosto	D3	170	170	34
Septiembre	P1	350	52	20
Septiembre	P2	350	180	120
Septiembre	P3	280	140	54
Septiembre	D1	45	39	20
Septiembre	D2	350	280	24
Septiembre	D3	180	140	39
Octubre	P1	72	52	22
Octubre	P2	280	180	32
Octubre	P3	540	350	33
Octubre	D1	5	5	5
Octubre	D2	140	140	39
Octubre	D3	26	26	26

P1: Primera muestra del Río Pingueral; P2: Segunda muestra del Río Pingueral; P3: Tercera muestra del Río Pingueral; D1: Primera muestra del Estero Dichato; D2: Segunda muestra del Estero Dichato; D3: Tercera muestra del Estero Dichato; CT: Coliformes totales; CF: Coliformes Fecales

En la Figura 4 y Figura 5 se observa que las concentraciones de coliformes fecales y *E. coli* respectivamente son considerablemente más altas en las muestras del Río Pingueral en comparación con las del Estero Dichato. especialmente en el punto P2. Este punto de muestreo (P2) registra una carga bacteriana notablemente elevada, lo cual puede atribuirse a su proximidad a áreas pobladas, donde es probable la influencia de descargas domésticas y la presencia de ganado.

También se puede observar que en los puntos P1 y D1, ubicados río arriba en el Río Pingueral y el Estero Dichato respectivamente, muestran niveles más moderados de CT y CF, con valores entre 40 y 54 NMP/100 mL en julio. Las concentraciones de *E. coli* observadas en la Figura 5 en los puntos P1 y D1

son relativamente bajas, lo que sugiere una menor exposición a fuentes de contaminación fecal directa en esas áreas. En contraste, la alta variabilidad en las concentraciones de bacterias en P2 a lo largo de los meses indica una posible fluctuación en las fuentes de contaminación, posiblemente relacionadas con factores estacionales o actividades humanas.

En la Figura 5 también podemos observar que, para agosto, en la muestra que se tomó en el segundo punto del Río Pingueral, es el que mayor concentración de *E. coli* tiene, con más de 200 NMP/100mL, lo que sugiere un aumento en la carga contaminante que posiblemente coincide con una actividad humana o ganadera en la zona.

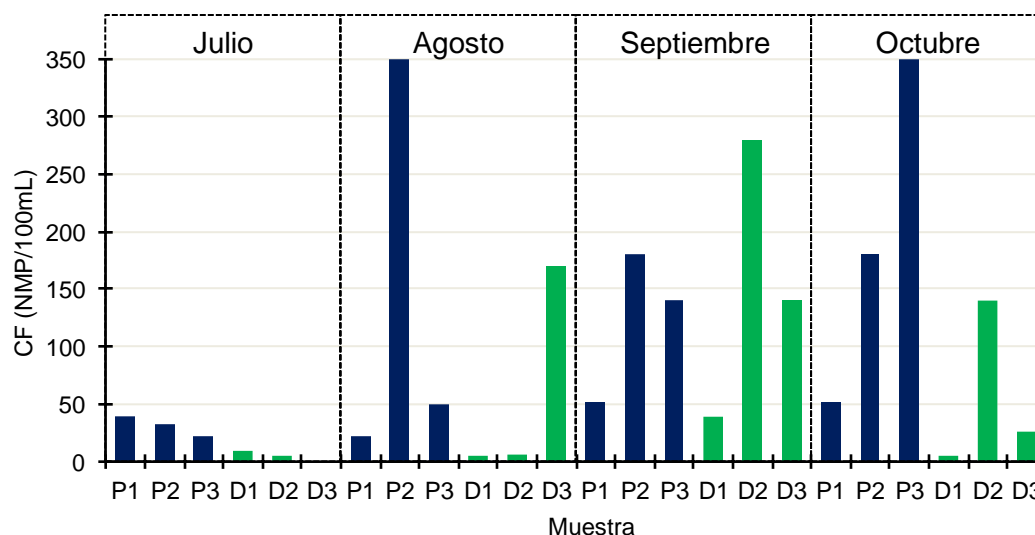


Figura 4. Densidad de resultados de Coliforme Fecales (CF) en el periodo de estudio para las muestras del Río Pingueral (P1, P2 y P3) y Estero Dichato (D1, D2 y D3).

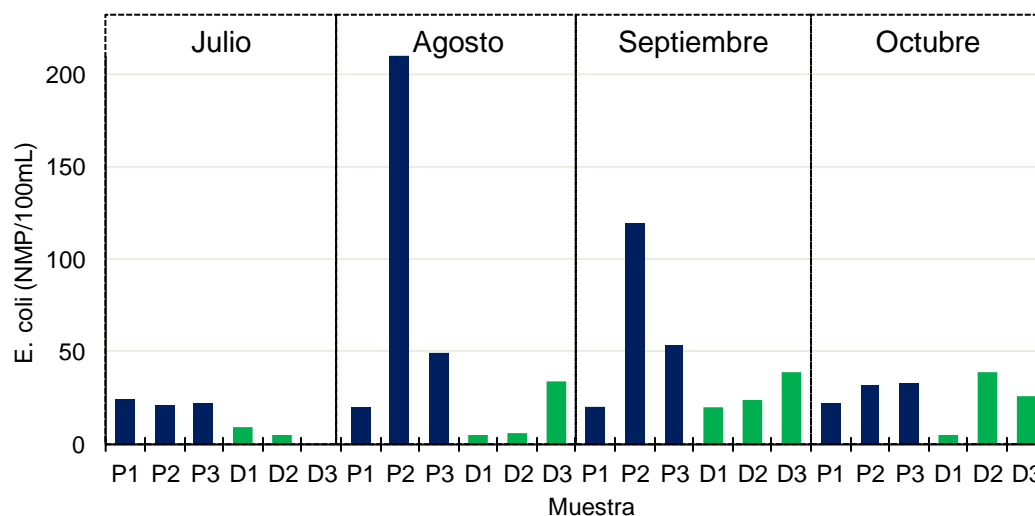


Figura 5. Densidad de resultados de *E. coli* para en el periodo de estudio para las muestras del Río Pingueral (P1, P2 y P3) y estero Dichato (D1, D2 y D3).

En este estudio, se observa una variabilidad significativa en la presencia de *Escherichia coli* en los distintos puntos de muestreo tanto en el Río Pingueral como en el Estero Dichato, lo que se puede observar en la Tabla 4. En el Estero Dichato, los puntos D1 y D2 mostraron niveles elevados de *E. coli* durante los meses de julio y agosto, alcanzando el 100% de muestras positivas. Este patrón sugiere una fuente de contaminación persistente en estos puntos, lo que podría estar relacionado con descargas domésticas o actividades agrícolas cercanas, como se ha observado en otros estudios (García et al., 2019). La disminución de los niveles de *E. coli* en septiembre y octubre en D2 sugiere que factores estacionales, como la disminución de la actividad de escorrentía o la mejor gestión de residuos, podrían haber contribuido a una mejora temporal en la calidad del agua. De manera similar, el aumento de *E. coli* a 100% en D3 en octubre refleja fluctuaciones en la contaminación, que

podrían estar asociadas a eventos climáticos o actividades puntuales en la cuenca.

En el Río Pingueral, la presencia constante de *E. coli* en el punto P3 durante julio y agosto sugiere una carga contaminante estable durante esos meses. Sin embargo, los puntos P1 y P2 muestran mayor variabilidad en la concentración de *E. coli*, lo que podría estar vinculado con fluctuaciones en las fuentes de contaminación o en la dinámica de escorrentía en la zona. Como se observa en estudios previos sobre cuerpos de agua en zonas urbanas y rurales, la presencia de *E. coli* está influenciada no solo por la contaminación directa, sino también por las variaciones estacionales y las actividades humanas en la cuenca (García et al., 2019).

Tabla 4. Porcentaje de *Escherichia coli* del total de Coliformes Fecales en el periodo de estudio.

MUESTRA	FECHA	% <i>E. COLI</i>
P1	Julio	60
P2	Julio	64
P3	Julio	100
D1	Julio	100
D2	Julio	100
D3	Julio	0
P1	Agosto	91
P2	Agosto	60
P3	Agosto	100
D1	Agosto	100
D2	Agosto	100
D3	Agosto	20
P1	Septiembre	38
P2	Septiembre	67
P3	Septiembre	39

Continuación de la tabla anterior

D1	Septiembre	51
D2	Septiembre	9
D3	Septiembre	28
P1	Agosto	42
P2	Agosto	18
P3	Agosto	9
D1	Agosto	100
D2	Agosto	28
D3	Agosto	100

Donde: P1: Primera muestra del Río Pingueral; P2: Segunda muestra del Río Pingueral; P3: Tercera muestra del Río Pingueral; D1: Primera muestra del Estero Dichato; D2: Segunda muestra del Estero Dichato; D3: Tercera muestra del Estero Dichato;

El estudio realizado en los esteros Pemuco y Dollinco también mostró niveles elevados de *E. coli* y coliformes fecales asociados a zonas urbanas y agrícolas (Fariña, 2022). En el caso del estero Pemuco, que atraviesa un área urbana, se observó una carga microbiológica notable alta de coliformes, similar a los valores encontrados en el Río Pingueral, donde los puntos de muestreo cercanos a áreas de descarga y desembocaduras registraron las concentraciones más elevadas de *E. coli* y CF. Ambos estudios resaltan cómo las actividades humanas, como las prácticas agrícolas y la presencia de ganado, incrementan la contaminación microbiológica en cuerpos de agua. Además, en ambos casos, los puntos ubicados en áreas rurales o de menor intervención humana (como el Estero Dollinco y el Estero Dichato) mostraron concentraciones significativamente más bajas y estables de estos microorganismos, lo que sugiere que la menor exposición a fuentes directas de contaminación contribuye a una mejor calidad microbiológica del agua (Fariña, 2022).

6.2. Resultados de análisis fisicoquímicos

En la Tabla 5 se observan las mediciones de los parámetros fisicoquímico para todo el periodo de estudio. Se observa que en P1 el aumento de temperatura y turbidez podría facilitar el crecimiento bacteriano. Sin embargo, la moderación en los niveles de CF y *E. coli* puede estar relacionada con el hecho de que P1 esté Río arriba, en un entorno menos impactado por fuentes directas de contaminación

La turbidez es mayor en la desembocadura (10.8 NTU en P2 y 10.44 NTU en D2), lo cual puede indicar arrastre de sedimentos y contaminación. En la desembocadura, P2 y D2, los niveles de CF suben significativamente, especialmente en D2 con 180 NMP/100 ml, posiblemente debido a las descargas urbanas que confluyen en estos puntos.

La actividad agrícola y ganadera cercana a la cuenca introduce nutrientes y residuos orgánicos que alteran el equilibrio natural del agua, promoviendo el crecimiento de microorganismos (Romero et al., 2009)

En la Figura 6 se observa que la salinidad aumenta en los puntos cercanos al mar (P3 y D3), como era de esperarse debido a la mezcla con agua salada. Esto también se correlaciona con una menor oxigenación en P3 y D3, ya que el agua salada tiene menor capacidad de disolución de oxígeno.

Tabla 5. Resultados del análisis fisicoquímico de las muestras del Río Pingueral (P1, P2 y P3) y el Estero Dichato (D1, D2 y D3) en el periodo de estudio correspondiente para el año 2024.

FECHA	MUESTRA	T (°C)	OD (mg/l)	Salinidad (PSU)	Turbidez (NTU)
Julio	P1	8,2	10,6	0	9,8
Julio	P2	8,1	10,4	3	10,8
Julio	P3	8	7,83	19	5,2
Julio	D1	9,1	9,7	0	4,3
Julio	D2	8,8	10,2	2	10,4
Julio	D3	7,8	9,52	15	9,4
Agosto	P1	9,8	8,42	0	11,0
Agosto	P2	10	8,37	0	9,3
Agosto	P3	10,9	8,07	28	9,5
Agosto	D1	11,4	7,83	0	8,1
Agosto	D2	11,1	7,74	0	9,0
Agosto	D3	11,5	8,02	26	3,9
Septiembre	P1	12,3	8,33	0	23,9
Septiembre	P2	12,4	8,23	2	20,5
Septiembre	P3	12	8,13	15	9,6
Septiembre	D1	12,6	8,22	0	5,3
Septiembre	D2	13,1	8,09	3	17,2
Septiembre	D3	12,76	7,7	29	3,0
Octubre	P1	13,7	8,27	0	7,0
Octubre	P2	14	8,23	3	3,0
Octubre	P3	13	8,13	27	2,0
Octubre	D1	13,1	8,68	0	8,0
Octubre	D2	13,5	8,09	2	12,2
Octubre	D3	12,6	6,2	25	1,2

P1: Primera muestra del Río Pingueral; P2: Segunda muestra del Río Pingueral; P3: Tercera muestra del Río Pingueral; D1: Primera muestra del Estero Dichato; D2: Segunda muestra del Estero Dichato; D3: Tercera muestra del Estero Dichato; T: Temperatura; OD: Oxígeno disuelto.

La Figura 6 muestra la variación de la temperatura, oxígeno disuelto, salinidad y turbidez en cada punto de muestreo durante los meses de estudio. Se observa un aumento de temperatura y una leve disminución del oxígeno disuelto a lo largo del tiempo, lo cual podría estar favoreciendo el crecimiento

bacteriano, incluida la *E. coli*, especialmente en puntos con altas cargas bacterianas como P2. La salinidad elevada en P3 y D3 confirma la influencia marina, afectando los niveles de contaminantes. La turbidez muestra picos altos en P1 y D2, puntos que también registraron presencia significativa de *E. coli*, sugiriendo una posible relación entre la alta carga de sólidos suspendidos y la contaminación microbiológica.

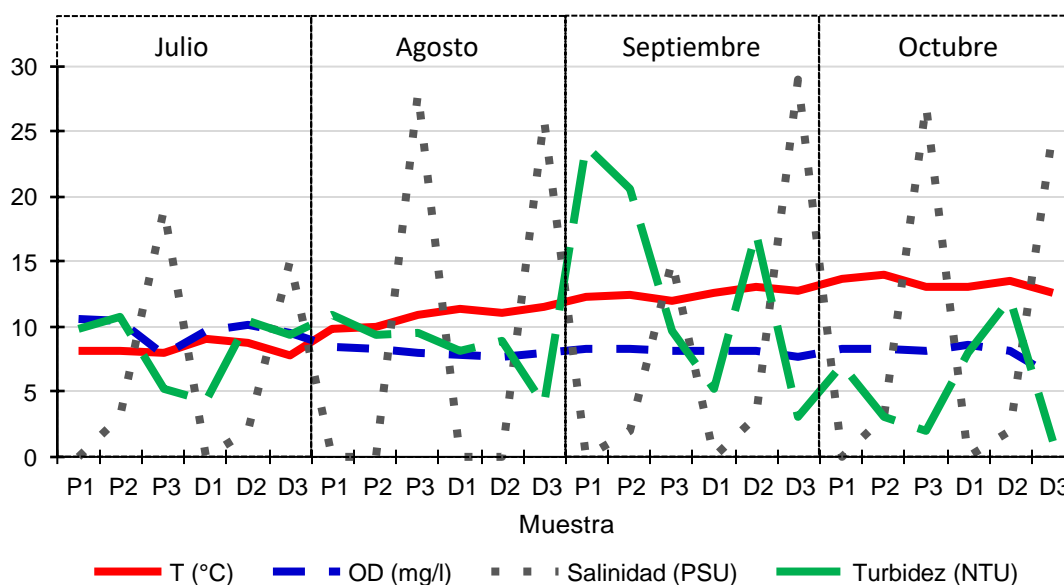


Figura 6. Representación gráfica de las mediciones de temperatura (T), oxígeno disuelto (OD), salinidad y turbidez para las muestras del Río Pingular (P1, P2 y P3) y Estero Dichato (D1, D2 y D3) en el periodo de estudio.

La Figura 7 muestra la concentración de *E. coli* en el Río Pingular y el Estero Dichato, y su relación con la salinidad del agua (medida en PSU) durante los meses de julio, agosto, septiembre y octubre en distintos puntos de muestreo (P1, P2, P3 para el Río Pingular y D1, D2, D3 para el Estero Dichato). Se observa un patrón en el que las áreas con mayor influencia de agua de mar

presentan niveles de salinidad más altos y, en general, menores concentraciones de *E. coli*. Este efecto podría atribuirse al papel bactericida de la salinidad, la cual, al generar un estrés osmótico en las células bacterianas, conduce a su inactivación y, por lo tanto, a una menor presencia de *E. coli* en estos puntos, este hallazgo coincide con estudios previos que indican que la salinidad en aguas costeras contribuye significativamente al decaimiento de *E. coli*, debido a la presión osmótica y la consecuente deshidratación celular que sufren las bacterias en ambientes salinos, como se detalla en el estudio de De Luque y Robledo (2018)

Sin embargo, en áreas más cercanas a actividades humanas, como en el punto de muestreo P2, se observa un incremento significativo de *E. coli*, lo que sugiere que, aunque la salinidad actúe como un factor natural de control, la contaminación antrópica puede contrarrestar este efecto y elevar la carga bacteriana en el agua. Este patrón destaca la influencia de las fuentes de contaminación urbana en la calidad microbiológica del agua, indicando que los factores antrópicos, junto con las condiciones ambientales, desempeñan un papel clave en la variabilidad de la concentración de *E. coli* en estos cuerpos de agua.

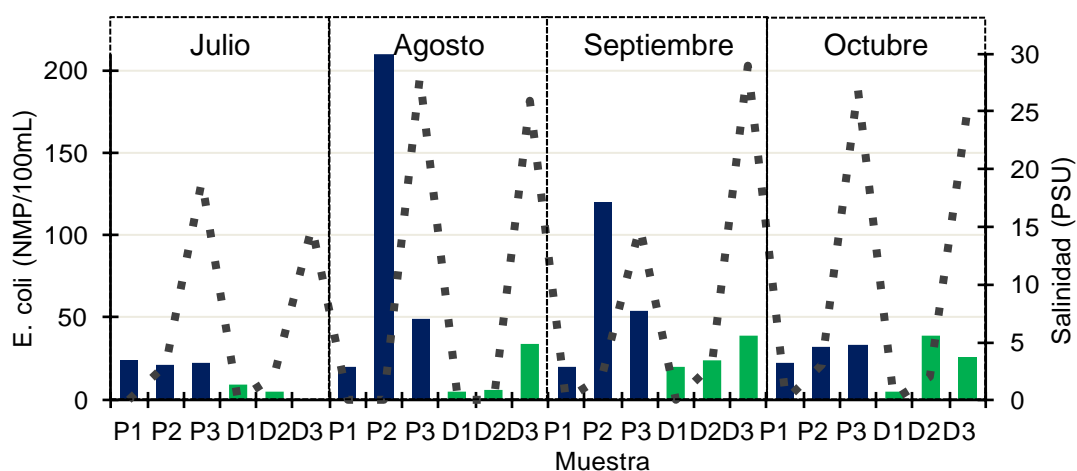


Figura 7. Concentración de *E. coli* en el Río Pingueral y el Estero Dichato en las muestras de agua y su relación con la salinidad (PSU) del agua.

La Figura 8 presenta la concentración de *E. coli* en el Río Pingueral y el Estero Dichato, junto con la turbidez del agua (medida en NTU), en diferentes puntos de muestreo (P1, P2, P3 para el Río Pingueral y D1, D2, D3 para el Estero Dichato) durante los meses de julio, agosto, septiembre y octubre. Se observa que los picos de turbidez suelen coincidir con incrementos en la concentración de *E. coli*, lo cual es esperable dado que la turbidez elevada puede facilitar la presencia de materia orgánica que transportan bacterias, como *E. coli*. En general, estos resultados indican que la calidad microbiológica del agua tiende a verse afectada en zonas con mayor turbidez, reflejando una posible correlación entre ambos parámetros.

Este comportamiento puede estar relacionado con el efecto de la radiación solar sobre *E. coli*. La luz solar, especialmente la radiación ultravioleta (UV), tiene un impacto significativo en la supervivencia de *E. coli* en cuerpos de agua, ya que la radiación UV puede reducir la viabilidad de las bacterias al

inducir daños en su ADN (De Luque y Robledo, 2018). Sin embargo, en aguas con alta turbidez, las partículas suspendidas pueden bloquear la penetración de la luz solar, limitando su efecto desinfectante. De este modo, la turbidez elevada podría reducir la capacidad de la luz solar para disminuir la concentración de *E. coli*.

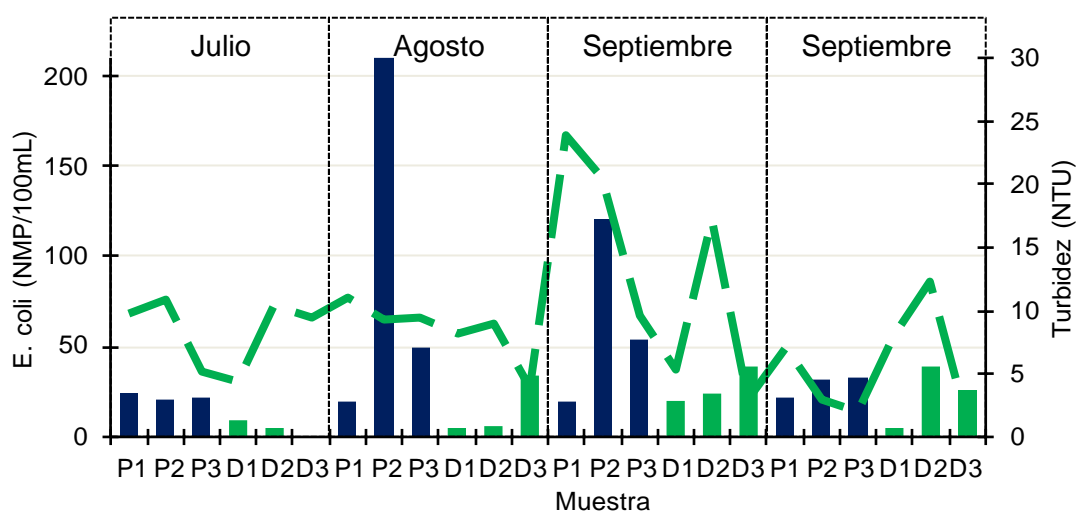


Figura 8. Concentración de *E. coli* en el Río Pingueral y el Estero Dichato en las muestras de agua y su relación con la turbidez (NTU) del agua en el periodo de estudio.

La carga de *E. coli* tiende a aumentar con la temperatura en la mayoría de los puntos de muestreo, especialmente en aquellos cercanos a fuentes de contaminación, como las desembocaduras P2 y D2. Las temperaturas más altas parecen favorecer el crecimiento de *E. coli* cuando existen nutrientes y condiciones adecuadas, como se observa en la Figura 9 durante los meses de agosto y septiembre, esta relación es particularmente evidente en áreas de baja salinidad y alta turbidez, observadas en las Figuras 7 y Figura 8

respectivamente, donde el aumento de la temperatura puede intensificar los efectos de la contaminación microbiológica. La contaminación del agua debido a actividades antropogénicas como lo es posible en estos puntos de muestreo constituye un riesgo significativo para su uso en actividades recreativas y agrícolas, además de amenazar la biodiversidad acuática (Romero et al., 2008)

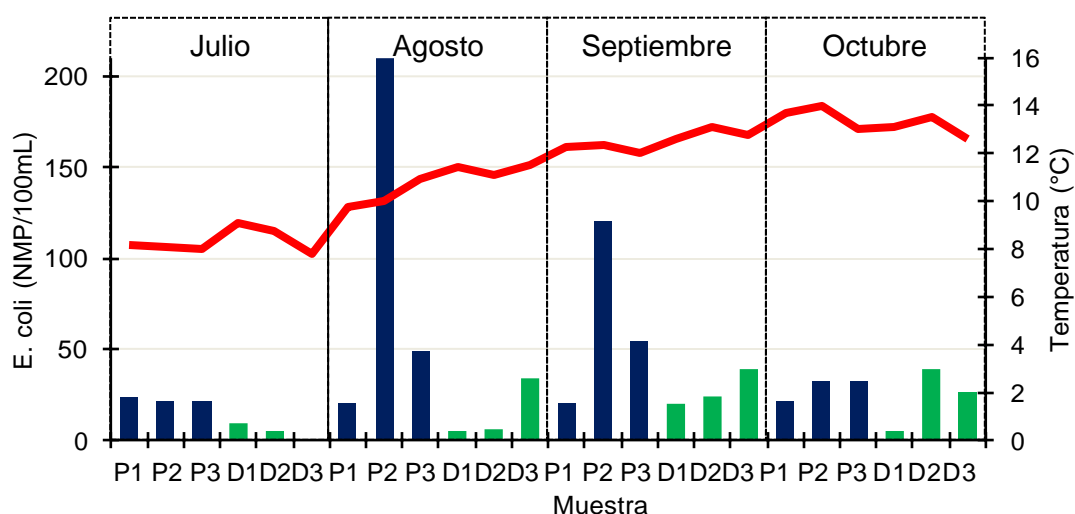


Figura 9. Concentración de *E. coli* en el Río Pingueral y el Estero Dichato en las muestras de agua y su relación con la temperatura del agua.

6.3. Resultados análisis estadístico

En esta sección, se presentan los resultados del análisis estadístico descriptivo para las concentraciones de *E. coli* medidas en el Río Pingueral y el Estero Dichato durante el periodo de estudio (julio a octubre). Se utilizaron medidas de tendencia central y dispersión para caracterizar la distribución de los datos y observar variaciones en los niveles de contaminación

microbiológica entre ambas fuentes de agua.

La Tabla 6 resume la estadística descriptiva para el Río Pingueral, destacando una media de 52.3 NMP/100ml y un máximo de 210 NMP/100ml, lo cual indica una mayor variabilidad en las concentraciones de *E. coli* en comparación con el Estero Dichato. La desviación estándar elevada (57.2) y la varianza (3268.6) reflejan esta dispersión en los datos.

Por otro lado, la Tabla 7 muestra la estadística descriptiva para el Estero Dichato, con una media significativamente menor (17.7 NMP/100ml) y un máximo de 39 NMP/100ml, lo que sugiere una menor contaminación microbiológica en comparación con el Río Pingueral. La desviación estándar (14.4) y la varianza (208.3) también indican una menor variabilidad en los datos del Estero Dichato.

Tabla 6. Estadística descriptiva de tendencia central para las concentraciones de *E. coli* en el Río Pingueral durante el periodo de estudio (julio a octubre).

<i>Estadística descriptiva para el Río Pingueral</i>	
Media	52.3
Error típico	16.5
Mediana	28
Moda	22
Desviación estándar	57.2
Varianza de la muestra	3268.6
Mínimo	20
Máximo	210
Cuenta	12

Tabla 7. Estadística descriptiva de tendencia central para las concentraciones de *E. coli* en el Estero Dichato medidas durante el periodo de estudio (julio a octubre).

<i>Estadística descriptiva para el Estero Dichato</i>	
Media	17.7
Error típico	4.2
Mediana	14.7
Moda	5
Desviación estándar	14.4
Varianza de la muestra	208.3
Mínimo	0
Máximo	39
Cuenta	12

Estos resultados sugieren que, aunque ambos cuerpos de agua presentan niveles de *E. coli*, el Río Pingueral muestra una mayor preocupación en términos de calidad microbiológica. Esta diferencia podría estar relacionada con las características del entorno, la influencia de zonas urbanas cercanas, o la gestión de residuos en cada área. Por lo tanto, es esencial implementar estrategias de monitoreo y gestión ambiental para abordar las fuentes de contaminación en el Río Pingueral y mantener la calidad del agua en el estero Dichato.

La Tabla 8 muestra los resultados de la prueba t aplicada a las concentraciones de *E. coli* en el Río Pingueral y el Estero Dichato durante el periodo de estudio (julio a octubre). Esta prueba estadística se realizó para determinar si existen diferencias significativas entre las medias de *E. coli* en ambas fuentes de agua.

Tabla 8. Prueba t para las mediciones de *E. coli* en el Río Pingueral y Estero Dichato en el periodo de estudio (julio a octubre).

	<i>Río Pingueral</i>	<i>Estero Dichato</i>
Media	52.25	17.69
Varianza	3268.57	208.32
Observaciones	12	12
Estadístico t	2.0302	
Valor P (una cola)	0.0326	
Valor crítico de t (una cola)	1.7823	

Los resultados indican que la media de *E. coli* en el Río Pingueral (52.25 NMP/100mL) es notablemente mayor que en el Estero Dichato (17.69 NMP/100mL). Con una varianza considerablemente mayor en el Río Pingueral (3268.57) en comparación con el Estero Dichato (208.32), se observó una variabilidad más alta en las concentraciones de *E. coli* en el primero.

El estadístico t calculado es de 2.0302, con un valor de p (una cola) de 0.0326, que es menor que el valor crítico de t (1.7823) para una prueba de una cola. Esto sugiere que, con un nivel de significancia del 5%, hay diferencias significativas en las concentraciones de *E. coli* entre el Río Pingueral y el Estero Dichato, lo que indica una mayor contaminación microbiológica en el Río Pingueral.

7. CONCLUSIONES

Este estudio sobre la calidad microbiológica del Estero Dichato y el Río Pingueral permitió evaluar la presencia de coliformes totales (CT), coliformes fecales (CF) y *E. coli* durante los meses de julio a octubre del año 2024, observando variaciones en función de factores ambientales y actividades antropogénicas. Aunque los niveles de contaminación en ambos cuerpos de agua están por debajo del límite de 1000 NMP/100 mL, según el Decreto Supremo N°90 (DS90) de emisión de contaminantes líquidos, el Río Pingueral presenta mayores niveles de *E. coli* en comparación con el Estero Dichato, especialmente en el punto P2 (desembocadura Río Pingueral), que destaca como el más contaminado en cuanto a CT, CF y *E. coli*.

Los parámetros fisicoquímicos, como el oxígeno disuelto (OD), el pH y la temperatura, mostraron algunas fluctuaciones, pero sin influir directamente en la propagación de los contaminantes. El OD se mantuvo constante, el pH estuvo en un rango estable y, aunque la temperatura aumentó entre julio y octubre, esto parece haber tenido mayor efecto en Dichato, donde la detección de contaminantes aumentó con el incremento de temperatura.

Un patrón interesante es la relación inversa entre salinidad y *E. coli*, en el Río Pingueral, la propagación de *E. coli* hacia el borde costero disminuye a medida que aumenta la salinidad, mientras que en Dichato ocurre lo contrario, salvo en julio y en octubre. También se observó que la turbidez está relacionada con niveles elevados de *E. coli* en algunos puntos del Río Pingueral, especialmente en P2 en septiembre, aunque en Dichato no se identificó esta correlación.

El análisis sugiere que, aunque ciertos factores fisicoquímicos influyen en la distribución de *E. coli* y coliformes, la dinámica local y las actividades humanas cercanas, como las descargas urbanas y agrícolas, juegan un papel fundamental en la variabilidad de la calidad microbiológica del agua. Este estudio subraya la necesidad de implementar estrategias de gestión ambiental que minimicen el impacto humano sobre estos cuerpos de agua, protegiendo la biodiversidad acuática y la salud pública, y resalta la importancia de monitorear y regular los efluentes urbanos y agrícolas para garantizar la sostenibilidad y la preservación de los ecosistemas acuáticos locales.

8. RECOMENDACIONES

Si bien los resultados de esta investigación se encuentran dentro de lo recomendado por la norma, siempre se puede mejorar la calidad de las aguas en el Estero Dichato y el Río Pingueral.

Se recomienda implementar un monitoreo continuo que permita detectar cambios en los niveles de coliformes totales, fecales y *E. coli*, tomar acciones correctivas de manera oportuna. Es necesario fortalecer los sistemas de tratamiento de aguas residuales en las zonas urbanas circundantes, asegurando que las descargas domésticas y comerciales reciban un tratamiento adecuado antes de ser vertidas en cuerpos de agua naturales, lo que contribuirá a reducir la contaminación microbiológica. Además, se recomienda controlar las fuentes difusas de contaminación provenientes de la ganadería, estableciendo barreras naturales, como franjas de vegetación riparia, que sirvan como filtros para los contaminantes.

Es crucial revisar y mejorar la infraestructura de alcantarillado, asegurando que no existan conexiones ilegales o ineficientes que puedan estar liberando aguas residuales sin tratamiento. Además, se deben implementar programas educativos para las comunidades locales, que promuevan el manejo adecuado de desechos y buenas prácticas agrícolas y ganaderas, reduciendo así la presión sobre los cuerpos de agua.

La protección y restauración de los ecosistemas riparios mediante la reforestación con vegetación nativa también jugará un papel importante en la creación de barreras naturales contra la contaminación. Es necesario

incentivar a los agricultores y ganaderos locales a adoptar prácticas sostenibles, como la instalación de cercas para evitar que el ganado acceda directamente al Río y al Estero, como también la gestión adecuada de estiércol y fertilizantes.

Además, se debe reforzar la legislación ambiental, asegurando el estricto cumplimiento de las normativas existentes sobre la calidad del agua y la gestión de residuos, tanto en áreas urbanas como rurales. Asimismo, es recomendable realizar estudios adicionales que permitan identificar con precisión todas las fuentes de contaminación microbiológica, incluidas las conexiones ilegales de alcantarillado y los desechos industriales y agrícolas. Por último, es importante implementar medidas para proteger el borde costero del impacto de la contaminación proveniente del Estero y el Río, dado su papel en la salud pública y en las actividades económicas, como el turismo y la pesca. Estas acciones combinadas ayudarán a mitigar los efectos negativos sobre la calidad del agua y a preservar estos importantes ecosistemas acuáticos.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Arriaza, S. M., y Venegas, N. H. (2003). Tomé, una apuesta de sustentabilidad. Urbano, 76-78.
- Brantes, R. (2008). Análisis comparativo de normativas de descarga de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales. Chile: Comisión chilena del cobre. Dirección de estudios.
- Brenes Esquivel, R., y Rojas Solano, L. F. (2005). El agua: sus propiedades y su importancia biológica. Acta Académica, 37(Noviembre), 167-196.
<http://revista.uaca.ac.cr/index.php/actas/article/view/407>
- Burdiles, N. F., & Verdugo, D. F. (2015). VISIÓN INTEGRADA DE LA BAHÍA DE CONCEPCIÓN (CHILE) PARA EL FOMENTO DEL TURISMO CULTURAL.
- Cabrera F., N. (1979). Contaminación Marina en Chile. Cuadernos Médico Sociales, 20(2), 28–33.
<https://cuadernosms.cl/index.php/cms/article/view/1694>
- Camus, P., Hidalgo, R., Pérez, L., y Muñoz, E. (2017). ¡Defendamos Dichato! Bienes comunes y conflicto territorial en los espacios litorales chilenos. Revista de geografía Norte Grande, (68), 105-122.
- De Luque Villa, M. A., y Robledo Buitrago, D. A. (2018) Evaluación del decaimiento de *Escherichia Coli* (*E. coli*), en aguas costeras con sistemas de emisarios submarinos. Editorial Universidad Manuela Beltrán, 93.
- Decreto Supremo N°90 de 2000. Ministerio Secretaría General de la

- Del Pilar Arcos Pulido, M., De Navia, S. L. Á., Torres, S. M. E., y Prieto, A. C. G. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *Nova*, 3(4), 69-79.
<https://doi.org/10.22490/24629448.338>.
- Escobar, J. (2002). La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. CEPAL.
- Fariña Martínez, Y., (2022). Estudio de la calidad microbiológica de las aguas de dos esteros ubicados en la comuna de Pemuco (Región de Ñuble): Estero Pemuco y Estero Dollinco. Universidad de Concepción, Facultad de Ingeniería Agrícola
- García, C. L., Catalini, C., & García, C. M. (2019). Empleo de nuevas metodologías en el monitoreo y zonificación de los cuerpos de agua en Argentina. *Calidad del Agua en las Américas*, 54.
- Guadarrama Tejas, R., Kido Miranda, J., Roldan Antunez, G., Salas Salgado, M., Mata-García, M., y Vázquez Briones, M. D. C. (2016). Contaminación del agua. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 2(5), 1-10.
- 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.

- ISP. (1998). Manual de técnicas microbiológicas para alimentos y aguas. In. Santiago, Chile.
- López Sardi, E. M., García, B., Reynoso, Y., González, P., & Larroudé, V. (2016). Calidad del agua para usos recreativos desde las perspectivas de la seguridad e higiene laboral y la salud pública. Estudio de caso.
- López, M., & Fernández, O. (2007). Calidad del agua. Laboratorio de Hidronomía. Depto. Manejo Recursos Forestales. Universidad de Chile.
- Olivas Enríquez, E., Flores Márgez, J. P., Di Giovanni, G. D., Corral Díaz, B., y Osuna Avila, P. (2013). Contaminación fecal en agua potable del Valle de Juárez. *Terra Latinoamericana*, 31(2), 135-143.
- Presidencia. Establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales. 30 de mayo de 2000
- Romero Aravena, H., Fuentes Catalán, C., y Smith Guerra, P. (2010). Dimensiones geográficas territoriales, institucionales y sociales del terremoto de Chile del 27 de febrero del 2010. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, (19), 137-152.
- Romero, A. M., Gómez, K. F., Sánchez, J. O., & García-Luján, C. (2009). Monitoreo de la calidad microbiológica del agua en la cuenca hidrológica del Río Nazas, México. *Química Viva*, 8(1), 35-47.
- Salinas, P., Moraga, R., Santander, E. y Sielfeld, W. (2010). Presencia de

cepas diarreogénicas de *Escherichia coli* y estudio de genes de virulencia en aislados desde heces de dos poblaciones de lobo marino común, *Otaria flavescens* en el norte de Chile. Revista de biología marina y oceanografía, 45 (1), 153-158.

Siade, I. C. (2013). DICHATO, DESDE LA CRISIS A LA RECONSTRUCCIÓN. UN MODELO DE GESTIÓN DE RIESGO Y RESILIENCIA. Urbano, 16(27), 33-40.

Silva, J., Ramírez, L., Alfieri, A., Rivas, G., y Sánchez, M. (2004). Determinación de microorganismos indicadores de calidad sanitaria. Coliformes totales, coliformes fecales y aerobios mesófilos en agua potable envasada y distribuida en San Diego, estado Carabobo, Venezuela. Revista de la sociedad venezolana de microbiología, 24(1- 2), 46-49.