

Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco  
Facultad de Ciencias Naturales y Ciencias de la Salud



Tesis para obtener el grado de  
Licenciatura en Protección y Saneamiento Ambiental

TEMA:

**“Determinación del índice de calidad ambiental de agua marina para uso recreativo en las Playas de Rada Tilly y Comodoro Rivadavia (Km 3)”**

ALUMNO

Bruno Armando Torrijos

DIRECTORA

Dra. Ofelia Katusich

CO-DIRECTORA

Dra. Paola Lanas Orrego

COMODORO RIVADAVIA – ARGENTINA

2024

# INDICE

## Contenido

INDICE.....	2
Resumen.....	4
INTRODUCCIÓN.....	5
<b>OBJETIVOS</b> .....	6
METODOLOGIA.....	7
AREA DE ESTUDIO .....	7
CLIMA Y MORFOLOGIA.....	10
ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES .....	10
SISTEMAS FLUVIALES.....	10
ABUNDANCIA RELATIVA DE EFLUENTES .....	11
MUESTREO .....	11
MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
MATERIALES .....	12
MÉTODOS.....	14
pH .....	14
TEMPERATURA .....	15
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....	15
FOSFATOS.....	15
NITRATOS .....	16
BACTERIAS COLIFORMES TOTALES Y FECALES .....	17
DETERMINACION DEL ICA .....	17
ICATest v1.0.....	17
Índice de Calidad del Agua – Metodología de Brown .....	20
ANALISIS ESTADÍSTICOS .....	21
RESULTADOS .....	22
ANALISIS MULTIVARIADO – ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES.....	23
➤ pH .....	24
➤ Temperatura.....	27
➤ Conductividad .....	28
➤ Fosfatos .....	30
➤ Nitratos.....	31
Coliformes Totales y Fecales .....	33
ICA (Índice de Calidad del Agua) .....	34

PROPUESTA DE INDICE LOCAL DE CALIDAD DEL AGUA.....	37
DISCUSIÓN.....	39
CONCLUSIONES .....	46
BIBLIOGRAFIA.....	47



**Tesis Profesional de grado:** Licenciatura en Protección y Saneamiento Ambiental

**Tema:** “Determinación de parámetros fisicoquímicos en agua marina para uso recreativo en las Playas de Rada Tilly y Comodoro Rivadavia”

**Autor:** Bruno Torrijos

## Resumen

La ciudad de Comodoro Rivadavia enfrenta una problemática ambiental derivada de la descarga de efluentes cloacales sin tratamiento previo en su costa, lo que afecta en el ambiente y la calidad de vida de la población. En contraste, en la localidad de Rada Tilly, los efluentes reciben un tratamiento parcial antes de su vertido al mar. Aunque existe normativa provincial y local que regula la disposición de efluentes y exige su tratamiento, principalmente para su reutilización en riego, su aplicación efectiva resulta aún deficiente. La eliminación de contaminantes como nitrógeno y fósforo, entre otros, implica procesos costosos y complejos, lo que favorece la eutrofización y podría afectar las comunidades marinas locales. El presente trabajo tuvo como objetivo determinar y comparar los parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua de mar en dos playas: Rada Tilly y Km 3 de Comodoro Rivadavia, además de calcular indicadores de calidad del agua en ambas zonas. Para ello, se realizaron muestreos durante las estaciones de primavera e invierno del año 2022. Los parámetros analizados fueron pH, temperatura, conductividad, nitratos, fosfatos y bacterias coliformes (totales y fecales). En el laboratorio se optimizaron las técnicas analíticas para la determinación de estos parámetros, lo que permitió adquirir destrezas en el manejo de muestras y equipos. Los resultados obtenidos indicaron que los valores registrados se encontraron, en general, por debajo de los límites establecidos en el Decreto Provincial 1540/16 y en los estándares internacionales. Sin embargo, se evidenciaron diferencias significativas entre ambas zonas: Rada Tilly presentó valores más estables, mientras que Km 3 mostró mayor variabilidad. Los índices de calidad calculados fueron superiores en Rada Tilly, lo cual podría vincularse con la existencia del tratamiento parcial de sus efluentes. A partir de los resultados, se recomienda el desarrollo e implementación de un índice de calidad de agua adaptado a las particularidades locales, acompañado por un protocolo de muestreo estandarizado, que permita evaluar con mayor precisión la calidad del agua en las playas de la región, diferenciando adecuadamente aquellas destinadas al uso recreativo de aquellas que reciben aportes mixtos.



**Tesis Profesional de grado:** Licenciatura en Protección y Saneamiento Ambiental

**Tema:** “Determinación de parámetros fisicoquímicos en agua marina para uso recreativo en las Playas de Rada Tilly y Comodoro Rivadavia”

**Autor:** Bruno Torrijos

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la Ciudad de Comodoro Rivadavia se enfrenta al desafío de gestionar los efluentes cloacales generados por sus ciudadanos, los cuales están destinados directamente en la zona costera, estando los mismos concentrados sin tratamiento previo. En el caso del Municipio de Rada Tilly, en cambio, los efluentes que recibe el cuerpo de agua se tratan y contienen parcialmente en una laguna artificial antes de su descarga.

Existe legislación a nivel provincial que indica los límites permisibles de parámetros físicos químicos para disposición de efluentes directamente al mar (Decreto N° 1540/16) y legislación local que obliga a tratar los efluentes domésticos con el objetivo de alcanzar las condiciones óptimas para que se clasifiquen como agua de riego (Ordenanza Municipal N° 7199/00). A pesar de la existencia de legislación en materia ambiental no se efectúa en la actualidad un tratamiento de aquellos efluentes cloacales previo a su disposición final en la Ciudad de Comodoro Rivadavia. No existe legislación local sobre la temática en cuestión. Esta situación tiene efectos sobre el ambiente y la calidad de vida de los habitantes de la ciudad.

La eliminación de los contaminantes orgánicos de origen humano resulta costosa y presenta dificultades para su identificación, medición y control. Estos contaminantes son conocidos por ser compuestos resistentes, lo que requiere tratamientos avanzados, especialmente para eliminar las sales de nitrógeno (N) y fósforo (P), los cuales representan uno de los problemas más críticos en las áreas costeras (Bermúdez Kuminev *et al.*, 2017).

El enriquecimiento excesivo de nutrientes en diversos ecosistemas costeros ha llevado a un aumento en el suministro de materia orgánica, un fenómeno que se conoce como eutrofización. Los problemas relacionados con la contaminación marina están captando la atención a nivel mundial debido a su impacto en la salud pública de los usuarios. En la mayoría de los casos, se carece de guías de calidad para el agua costera (Villacres Flores & Villamar Moreno, 2017).

Es relevante destacar que en las zonas costeras de estudio se encuentran diversas comunidades marinas autóctonas que dependen del agua para su subsistencia. La ausencia de un tratamiento adecuado de aguas residuales puede perjudicar o beneficiar a estas comunidades, según se alteren las propiedades del agua en donde se desarrolle (Llanos, 2018).

Con respecto a la determinación de parámetros fisicoquímicos del agua de mar o cálculo del Índice de Calidad Ambiental (ICA), no se cuenta con antecedentes en la zona de estudio, salvo por investigaciones sobre la presencia de microorganismos, enterobacterias y coliformes específicamente, en aguas residuales del barrio de Stella Maris de la ciudad (Pucci *et al.*, 2013).

Un índice de calidad de agua es una herramienta comunicativa para transmitir información. Consiste en una expresión simple de una combinación más o menos compleja de parámetros, que sirven como medida de la calidad del agua. Su ventaja radica en que la información puede ser más fácilmente interpretada que una lista de valores numéricos (Fernández Parada & Solano Ortega, 2005).

El presente estudio pretende determinar el ICA del agua de mar de uso recreativo en las playas de Villa Rada Tilly y Km 3, para ello es necesaria la determinación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, así como el análisis temporal y espacial de los diferentes indicadores de calidad del agua de mar seleccionados. El propósito de esta investigación es proporcionar



**Tesis Profesional de grado:** Licenciatura en Protección y Saneamiento Ambiental

**Tema:** “Determinación de parámetros fisicoquímicos en agua marina para uso recreativo en las Playas de Rada Tilly y Comodoro Rivadavia”

**Autor:** Bruno Torrijos

información ambiental relevante para la calidad del agua y la calidad de vida de los habitantes de la ciudad, que aporte a los estudios previos en este campo.

La evaluación de las características de calidad de agua, tanto física, química y biológicas, de la zona marino costera de las playas de estudio podría brindar importante información, a fin de consolidar la belleza natural del área, la salud de las personas expuestas; así como preservar, recuperar y potenciar el uso sostenible de los recursos naturales existentes (Panana-Arce *et al.*, 2014).

## OBJETIVOS

### Generales:

- Determinar parámetros fisicoquímicos de agua de mar de la Playa de Rada Tilly y la Playa Km 3 de Comodoro Rivadavia.
- Calcular los indicadores de calidad ambiental del agua de mar para las zonas de estudio.

### Específicos:

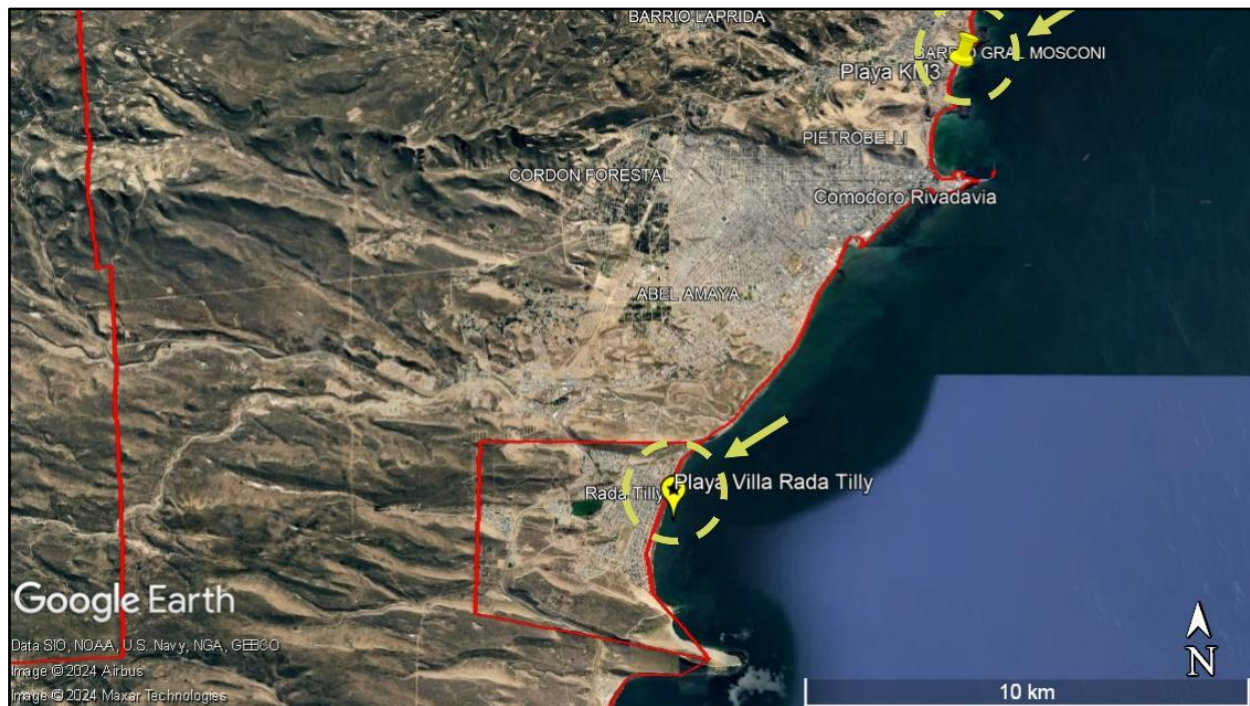
- Optimizar técnicas para la determinación de los parámetros fisicoquímicos en agua de mar.
- Adquirir destreza en la toma de muestras y el uso de equipos de laboratorio en función de los parámetros a analizar.

## METODOLOGIA

En la presente tesis de grado se realizó trabajo de laboratorio, de campo y búsqueda bibliográfica para el desarrollo de los objetivos planteados. De esta manera se determinó el ICA y se obtuvo una interpretación sobre el posible grado de influencia de la contaminación antropogénica en la calidad de aguas costeras con fines de uso recreativo en las playas de estudio.

## AREA DE ESTUDIO

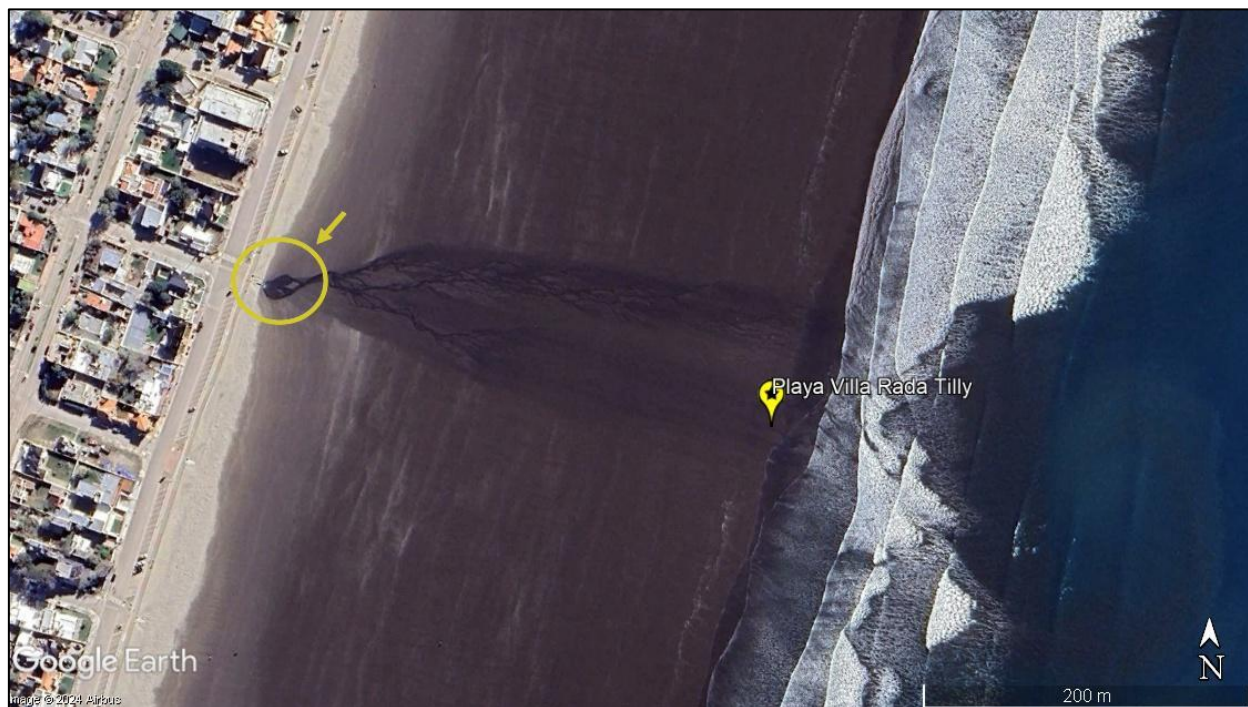
El estudio se llevó a cabo en el área costera central del golfo San Jorge (Figura 1). Se establecieron puntos de muestreo de las aguas de mar frente a la playa de Rada Tilly, con una longitud de 3976 metros (Figura 2a y 2b) y la playa de Km 3 con una longitud de 1794 metros correspondiente a la Ciudad de Comodoro Rivadavia (Figura 3a y 3b).



**Figura 1. Area de estudio. Vease las playas señaladas como objetivos de estudio.**  
Fuente: Google Earth.



**Figura 2a. Zona 1. Area de estudio Playa Rada Tilly (Fuente: Lic. en Protección y Saneamiento Ambiental Eduardo Fernández)**



**Figura 2b. Zona 1: Punto de muestreo de la playa de Rada Tilly. Destáquese el sitio de disposición final de los efluentes cloacales en la bajada 16 de la playa. (Imagen satelital extraída de Google Earth).**



*Figura 3a. Zona 2. Area de estudio Playa KM. 3 (Fuente: Lic. en Protección y Saneamiento Ambiental Eduardo Fernández).*



*Figura 3b. Zona 2: Punto de muestreo de la playa Km 3. El mismo se encuentra frente al Colegio “Biología Marina” (Imagen satelital extraída de Google Earth).*



**Tesis Profesional de grado:** Licenciatura en Protección y Saneamiento Ambiental

**Tema:** “Determinación de parámetros fisicoquímicos en agua marina para uso recreativo en las Playas de Rada Tilly y Comodoro Rivadavia”

**Autor:** Bruno Torrijos

### CLIMA Y MORFOLOGIA

Comodoro Rivadavia posee un clima de árido a semiárido con precipitaciones anuales que no superan los 250 mm y la temperatura media anual es de 12,7 °C. Los vientos predominantes son del oeste (43%), con velocidades medias de 41 km/h y ráfagas de 100 km/h promedio.

Indirectamente el viento aporta sedimentos finos a las playas del sur del golfo, donde se destacan los efectos de corredores eólicos hacia las playas de Rada Tilly, Alsina, El Límite y dentro del ejido urbano Restinga Alí y Stella Maris, estas últimas también asociadas a la presencia de pequeños cauces que aportaron el material fino.

Las playas de Comodoro Rivadavia, se encuentran en el límite entre playas disipativas hacia el sur y reflectivas hacia el norte. Están compuestas por arenas finas a muy finas, con una pendiente inferior al 1,5% y relacionadas con aportes de arenas desde el continente. Las playas al norte de Comodoro Rivadavia, como la de Km 3, no supera los 50 m de intermareal, están compuestas de arena gruesa y grava y su pendiente es mayor al 10% (lantanos *et al.*, 2007). La playa de Rada Tilly y dentro del ejido supera los 300 m de área intermareal.

### ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES

La ciudad se encuentra en una zona árida, seca y algo fría, caracterizada por fuertes y frecuentes vientos provenientes del oeste y con precipitaciones escasas. Estos vientos, que forman un cinturón alrededor del mundo entre los 40° y 60° de latitud Sur, traen consigo humedad del océano Pacífico y descargan las precipitaciones en la Cordillera de los Andes, siendo secantes en su trayecto hacia el mar y con precipitaciones esporádicas, lo que genera un déficit hídrico significativo para la zona costera.

En invierno se registran las mayores precipitaciones pluviales y nivales, en tanto que durante la primavera y el verano las precipitaciones se reducen notablemente, en coincidencia con el aumento de la temporada ventosa y de mayores temperaturas (Paredes *et al.*, 2017).

### SISTEMAS FLUVIALES

En los alrededores de Comodoro Rivadavia, los cañadones no presentan cursos de agua permanente, y en su lecho se desarrollan canales temporales o efímeros. Los mismos transportan agua de manera estacional debido a las fluctuaciones del nivel freático y a la concentración de las precipitaciones durante los meses de otoño e invierno, en tanto que los canales efímeros pueden mantener su lecho seco durante períodos de muchos años, activándose únicamente durante eventos de precipitaciones muy intensas y extremas. A continuación, se pueden observar en la Figura 4 las cuencas de drenaje: Arroyo Belgrano (Km. 5) y Arroyo La Mata que se encuentran próximas a la zona de estudio y atraviesan la ciudad de Comodoro Rivadavia (Paredes *et al.*, 2017).

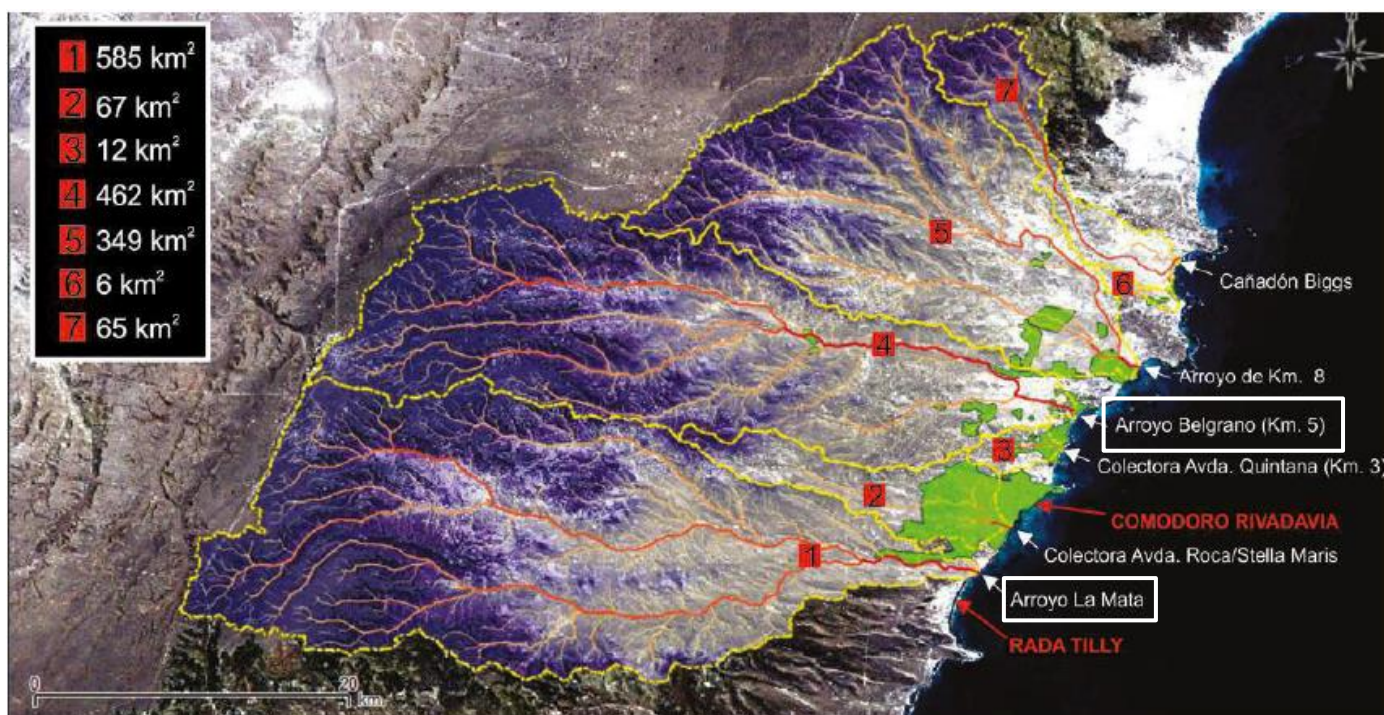


Figura 4. Cuencas de drenaje efímeras o estacionales de los alrededores de Comodoro Rivadavia (Paredes et al., 2017).

#### ABUNDANCIA RELATIVA DE EFLUENTES

Los valores de abundancia relativa existentes de los efluentes urbanos pluviales, cloacales y mixtos son mayores en la playa de Km 3 (4,11; 1,17 y 2,93 Unidades/km respectivamente) con respecto a los de Rada Tilly (1,76; 0 y 1,25 Unidades/km respectivamente), según datos proporcionados por el PI 1654 “Caracterización de comunidades intermareales en restingas de playas urbanas del área central del golfo San Jorge” (Resol. R/9 N° 109-2021).

#### MUESTREO

El período de toma de muestra inició el 12/08/2022 y culminó el 6/12/2022, el cual fue elegido debido a que en este tiempo se registra una disminución de actividades recreativas y una baja afluencia de personas en las playas.

En cada playa se tomaron 11 muestras, de las cuales 6 se tomaron en invierno y 16 durante la primavera. Cada muestra se tomó por triplicado. En cada playa se eligió el punto de muestreo en proximidad al vertido urbano. La Tabla 2 describe las fechas de recolección de las muestras y su ubicación.

Tabla 2. Fecha de recolección de muestras y su ubicación

Playa Km 3			Playa Rada Tilly		
N° de muestra	Fecha	Coordenadas	N° de muestra	Fecha	Coordenadas
1Km 3	12-8-2022	45°50'24.20"S 67°27'59.67"O	1RT	12-08-2022	45°55'47.93"S 67°33'7.19"O
2Km 3	20-8-2022		2RT	20-08-2022	
3Km 3	19-9-2022		3RT	19-09-2022	
4Km 3	6-10-2022		4RT	6-10-2022	
5Km 3	20-10-2022		5RT	19-10-2022	
6Km 3	1-11-2022		6RT	3-11-2022	
7Km 3	8-11-2022		7RT	8-11-2022	
8Km 3	18-11-2022		8RT	18-11-2022	
9Km 3	25-11-2022		9RT	25-11-2022	
10Km 3	2-12-2022		10RT	1-12-2022	
11Km 3	6-12-2022		11RT	6-12-2022	

Las muestras se tomaron durante la marea baja siguiendo las normas previstas en NTC-ISO 5667-2 y 5667-3 (Garay *et al.*, 1993). El investigador ingresó al agua de mar hasta cubrir sus rodillas y procedió a recolectar la muestra a contracorriente, utilizando envases de plástico limpios con una capacidad de 1,5 litros. Fueron guardados en una conservadora a baja temperatura para su traslado al laboratorio. Cada muestra fue adecuadamente rotulada, indicando el número de muestra, la fecha y la playa correspondiente, con el fin de asegurar la trazabilidad y la correcta identificación durante el proceso de análisis y posterior interpretación de los resultados.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### MATERIALES

En las siguientes figuras se pueden observar los materiales utilizados.


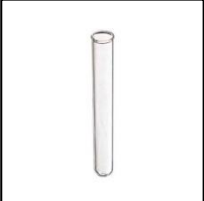




MATERIAL	IMAGEN ILUSTRATIVA
Botellas/contenedores PET 1,5 Litros	
Conservadora	

Figura 5. Material de campo

MATERIAL	IMAGEN ILUSTRATIVA
Tubo de ensayo	
Pipeta (5 y 10 mililitros)	
Pro pipeta	
Vaso de precipitados (100 mililitros)	
Piseta de agua destilada	

<p><b>Mechero bunsen</b></p>	
<p><b>Espectrofotómetro UV-Vis – UV-1800. Marca Shimadzu</b></p>	
<p><b>PHmetro digital. Marca JENCO</b></p>	
<p><b>Termómetro de mercurio.</b></p>	
<p><b>Conductímetro de mesada portátil. Marca Parsec VEGAV</b></p>	

*Figura 6. Material/Equipo de laboratorio*

## MÉTODOS

### pH

La determinación del pH de las muestras de agua de mar colectadas se realizó utilizando un pHmetro digital Jenco Model 610 (resolución 0,1 y precisión  $\pm 0,2$ ) previamente calibrado con soluciones buffer de pH 4,7 y 10 (Figura 6). Para la medición de este parámetro se colocaron

**Tesis Profesional de grado:** Licenciatura en Protección y Saneamiento Ambiental

**Tema:** “Determinación de parámetros fisicoquímicos en agua marina para uso recreativo en las Playas de Rada Tilly y Comodoro Rivadavia”

**Autor:** Bruno Torrijos

aproximadamente 75 mL de la muestra en un vaso de precipitados de 100 mL. Posteriormente el pHmetro fue sumergido durante 5 minutos y se registraron los datos obtenidos (APHA, 1998).

### TEMPERATURA

Los valores se determinaron con termómetro (Figura 6), se sumergió la herramienta en el agua de mar durante un minuto registrándose su valor, siguiendo los Métodos Estándar para el Examen de Agua y Aguas Residuales indicados en la bibliografía (APHA, 1998). De manera complementaria se determinó el valor de la temperatura a través del software SOTO by Worldview – PODAAC y se realizó el promedio de los valores obtenidos en campo y mediante el software.

### CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

En cuanto a la obtención de los valores de conductividad eléctrica, se empleó un conductímetro de mesada portátil Parsec VEGAV (Figura 6), utilizando las técnicas descritas en el manual de Standard Methods (APHA, 1998).

### FOSFATOS

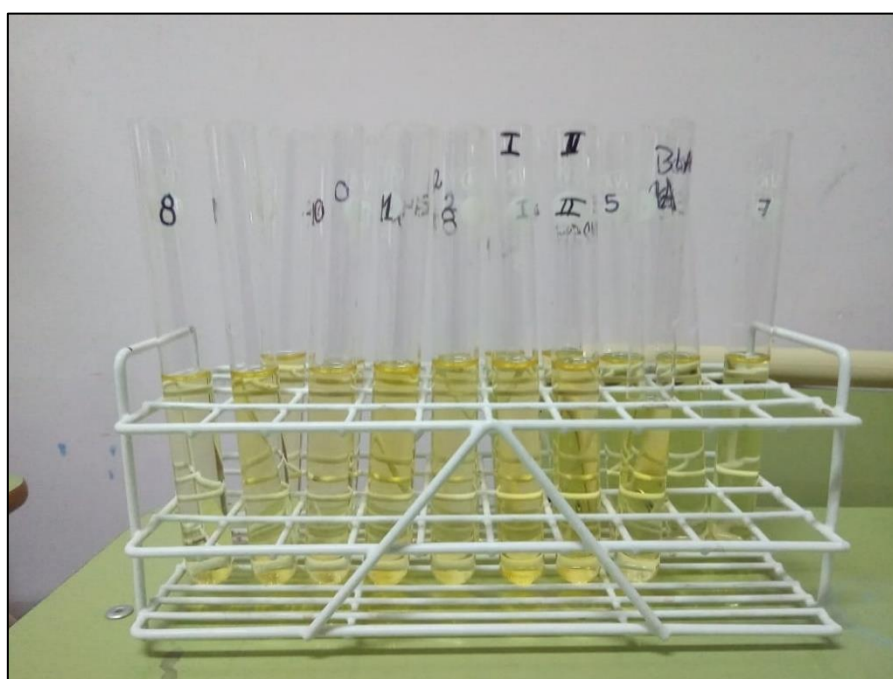
Para la determinación de fosfatos, se aplicó el método estándar descrito según lo establecido en bibliografía (Baird, 2017). El método se basa en la formación del ácido molibdofosfórico que se reduce con cloruro estannoso a azul de molibdeno de color intenso que permite su detección por espectrofotometría a 690 nm. Se realizaron mediciones por triplicado. Se prepararon patrones de concentración conocida hasta 2 mg/L de fósforo, utilizando un blanco de agua destilada, los cuales se procesaron junto con las muestras. Previamente se verificó con fenolftaleína la acidez de las muestras. Se llevaron 100 ml de cada muestra de agua a un vaso de precipitados de 200 ml y posteriormente se le agregaron los reactivos molibdato amónico y cloruro estannoso, agitando en cada adición, dentro de los 10 minutos a partir del agregado de los reactivos se determinó su absorbancia. La lectura de los patrones permitió realizar la curva de calibración (Figura 7).



*Figura 7. Determinación de Fosfatos. Muestras preparadas para la determinación de fosfatos a través de la metodología de espectrofotometría.*

## NITRATOS

Con respecto a la determinación de nitratos, se adaptó el procedimiento descrito por el método estándar mencionado en la bibliografía (Baird, 2017). El método se basa en la reacción entre la brucina y el nitrato en medio ácido, produciendo un color amarillo que se mide espectrofotométricamente a 353 nm. Se realizaron mediciones por triplicado. Se prepararon patrones de concentración conocida, los cuales se procesaron junto con las muestras de la siguiente manera: en baño de agua fría 15°C a 10 ml de muestra se le adicionó 2 ml de cloruro de sodio, 10 ml de ácido sulfúrico 29 N, se mezcló y enfrió, luego se agregó 0,5 ml de brucina-ácido sulfanilico en baño a 100° C durante 20 minutos. Se enfriaron a 15 °C y luego se registró la absorbancia en el espectrofotómetro a 353 nm (Figuras 8 y 9).



*Figura 8. Determinación de Nitratos. Muestras preparadas para la determinación de nitratos a través de la metodología de espectrofotometría.*



*Figura 9. Determinación de Nitratos. Muestras llevadas a un baño maría de agua hirviendo*



**Tesis Profesional de grado:** Licenciatura en Protección y Saneamiento Ambiental

**Tema:** “Determinación de parámetros fisicoquímicos en agua marina para uso recreativo en las Playas de Rada Tilly y Comodoro Rivadavia”

**Autor:** Bruno Torrijos

## BACTERIAS COLIFORMES TOTALES Y FECALES

Los datos obtenidos de la Playa de Rada Tilly fueron proporcionados por la Secretaría de Ambiente de dicho municipio. Por otro lado, se obtuvo el resultado de una muestra correspondiente a la Playa de Km 3 proporcionada por la Dirección de Laboratorio de Aguas de la Municipalidad de Comodoro Rivadavia. La técnica informada para obtener el resultado fue APHA 9221 23. Por tal motivo los análisis comparativos se realizaron solo en la playa de Rada Tilly.

## DETERMINACION DEL ICA

En la determinación del ICA (Índice de Calidad de Agua) se utilizaron dos métodos. Uno fue a través del uso del software “ICATest v1.0”, en el cual los resultados se calculan de manera automática al ingresar los valores de los parámetros asignados en distintos modelos de índices específicos. El método restante fue a través de la ponderación manual y subjetiva de los parámetros físicos químicos seleccionados utilizando la fórmula del “Índice de Brown”. El “ICA” adopta para condiciones óptimas, en términos generales, un valor máximo determinado de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación del curso de agua en estudio.

### ICATest v1.0

A través de la herramienta software se determinaron los ICA para cada muestra individual en cada zona de estudio. Se utilizaron los siguientes índices:

#### 1. Índice de León (Índice mexicano – 1998) en función del uso de las aguas como “Uso recreativo”

La selección de este Índice fue debido a que se considera importante dentro del mismo, la posible escasez de datos completos en un monitoreo, por lo que en la metodología de estimación de éste ICA, se tiene en cuenta que, al faltar el valor de alguno de las variables, su peso específico se reparte en forma proporcional entre los restantes, excluyéndolo del operador multiplicativo en el momento de estimar el ICA (Fernández y Solano, 2004).

El ICA resultante que arroja la ecuación es un número entre 0 y 100 a partir del cual y en función del uso del agua, permite estimar el nivel de contaminación y su clasificación.

Asociado al valor numérico del ICA se definen 6 rangos de estado de calidad del agua (Tabla 3).

*Tabla 3. Clasificación índice de calidad del agua*

<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>E</b>	<i>Excelente</i>
<b>A</b>	<i>Aceptable</i>
<b>LC</b>	<i>Levemente Contaminada</i>
<b>C</b>	<i>Contaminada</i>
<b>FC</b>	<i>Fuertemente Contaminada</i>
<b>EC</b>	<i>Excesivamente Contaminada</i>

El rango de uso del agua utilizado fue el de “Uso recreativo” (Tabla 4).



Tabla 4. Clasificación índice de calidad del agua para uso recreativo

RANGO DE VALORES	DESCRIPCIÓN
70-100	Permite la realización de cualquier tipo de deporte acuático
50-70	Restringir los deportes de inmersión, precaución si se ingiere dada la posibilidad de presencia de bacterias
40-50	Dudosa para contacto con el agua
30-40	Evitar contacto, solo lanchas
20-30	Contaminación visible, evitar cercanía
0-20	Inaceptable para recreación

## 2. IFNS: Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (Índice americano).

Este índice tiene la particularidad de ser ampliamente usado en estudios ambientales. El índice se coloca en el eje vertical y el tiempo y la distancia en los ejes horizontales, con el fin de detectar tendencias y observar el comportamiento de la contaminación (Fernández y Solano, 2004).

Para calcular el índice de calidad del agua agregado, se usa una suma lineal ponderada de los subíndices o una función de agregación del producto ponderado. El resultado de su aplicación, debe ser un número entre 0 y 100, donde 0 representa la calidad de agua muy pobre y 100 representa la calidad de agua excelente (Fernández y Solano, 2004). El índice usa un promedio aritmético ponderado (Figura 10):

$$ICA_a = \sum_{i=1}^9 (Sub_i * w_i)$$

Figura 10. Formula determinación del ICA. Promedio aritmético ponderado (Fernández y Solano, 2004).

Donde:

**ICA<sub>a</sub>**: Índice de Calidad de Agua

**Sub<sub>i</sub>**: Subíndice del parámetro i

**w<sub>i</sub>**: Factor de ponderación para el subíndice i

El resultado final es interpretado de acuerdo con la siguiente escala de clasificación, en la que el color correspondiente a una clasificación (Tabla 5).

**Tesis Profesional de grado:** Licenciatura en Protección y Saneamiento Ambiental

**Tema:** “Determinación de parámetros fisicoquímicos en agua marina para uso recreativo en las Playas de Rada Tilly y Comodoro Rivadavia”

**Autor:** Bruno Torrijos

*Tabla 5: Clasificación calidad del agua según el IFNS (Fernández y Solano, 2004)*

ICA	Clasificación	Color
0-25	Pésima	Rojo
26-50	Mala	Amarillo
51-70	Regular	Gris
71-90	Buena	Cian
91-100	Excelente	Azul oscuro

### 3. ICOpH: Índice de Contaminación Orgánica pH (Índice Colombiano)

Este índice fue seleccionado para su determinación ya que se contaba con los valores del pH de todas las muestras analizadas en ambas playas. La fórmula utilizada se indica a continuación (Figura 11).

$$ICOpH: \frac{e^{-31,08 + 3.5 pH}}{1 + e^{-31,08 + 3.45 pH}}$$

*Figura 11. Fórmula determinación del ICOpH (Fernández y Solano, 2004).*

Los rangos establecidos son los siguientes (Tabla 6):

*Tabla 6: Clasificación ICO (Fernández y Solano, 2004)*

Clasificación	Escala	Color
Ninguna	0 – 0,2	Azul
Baja	0,2 – 0,4	Verde
Media	0,4 – 0,6	Amarillo
Alta	0,6 – 0,8	Naranja
Muy alta	0,8 – 1	Rojo



**Tesis Profesional de grado:** Licenciatura en Protección y Saneamiento Ambiental

**Tema:** “Determinación de parámetros fisicoquímicos en agua marina para uso recreativo en las Playas de Rada Tilly y Comodoro Rivadavia”

**Autor:** Bruno Torrijos

### Índice de Calidad del Agua – Metodología de Brown

Con el objetivo de realizar análisis más específicos de la calidad del agua, se realizó la determinación del ICA de manera manual, mediante la ponderación de los parámetros fisicoquímicos seleccionados utilizando la fórmula del “Índice de Brown”, y se comparó dicho resultado con los obtenidos con la herramienta software mencionada previamente en función de realizar análisis más específicos de la calidad del agua planteado como objetivo en el presente estudio.

Se realizó una modificación en la asignación de los pesos relativos de los parámetros utilizados cuya sumatoria es igual a uno. Los parámetros utilizados fueron: pH, Nitratos, Fosfatos y Bacterias Coliformes Totales y Fecales. Esta operación asegura una asignación racional y unificada de los pesos relativos de acuerdo al uso del agua (Fernández y Solano, 2004).

La evaluación numérica del ICA, con técnicas multiplicativas y ponderadas con la asignación de pesos específicos se debe a Brown et al, 1970. La expresión matemática de este se expresa en la Figura 10.

Para determinar el valor de ICA aritmético es necesario sustituir los datos en la ecuación mencionada anteriormente obteniendo los subíndices ( $Sub_i$ ) de los parámetros ambientales. Dicho valor se multiplica por sus respectivos pesos relativos ( $W_i$ ) (Tabla 7) y se realiza la sumatoria de los resultados de las variables evaluadas. Con respecto al ICA geométrico (Figura 12), este proviene de una función multiplicativa (no sumatoria) siendo mucho más riguroso a la hora de expresar resultados.

*Tabla 7: Peso ponderado corregido de las variables seleccionadas (Fernández y Solano, 2004)*

PARAMETROS UTILIZADOS	Wi
pH	0,2525
Nitratos	0,2325
Fosfatos	0,2325
Bacterias Coliformes Fecales	0,2825

$$ICA_m = \prod_{i=1}^9 (Sub_i^{w_i})$$

*Figura 12. Formula determinación del ICA geométrico (Fernández y Solano, 2004).*



**Tesis Profesional de grado:** Licenciatura en Protección y Saneamiento Ambiental

**Tema:** “Determinación de parámetros fisicoquímicos en agua marina para uso recreativo en las Playas de Rada Tilly y Comodoro Rivadavia”

**Autor:** Bruno Torrijos

**ICA<sub>m</sub>:** Índice de Calidad de Agua geométrico

**Sub<sub>i</sub>:** Subíndice del parámetro i

**w<sub>i</sub>:** Factor de ponderación para el subíndice i

El resultado final obtenido se interpreta a través de la Tabla 3 mencionada anteriormente en la metodología del IFNS (Índice Federal Nacional de Saneamiento) (Fernández y Solano, 2004).

## ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Se determinaron los valores promedios de las tres réplicas obtenidas en cada fecha de muestreo para cada playa, posteriormente con estos valores se realizaron los análisis estadísticos (González *et al.*, 2011).

Para el parámetro pH se analizó la variación del mismo en ambas playas (análisis de la varianza bifactorial - ANOVA) teniendo en cuenta dos factores: el factor sitio de estudio y el factor estación del año. La distribución normal de los datos se verificó mediante el Test de Kolmogorov-Smirnov, con la corrección Lilliefors y la homogeneidad de las varianzas se verificó mediante el test de Bartlett. Las variables ambientales que no presentaron una distribución normal (temperatura, conductividad, salinidad, nitratos, fosfatos y coliformes fecales y totales) fueron analizadas con el Test No Paramétrico de Kruscall-Wallis.

En ambas playas, para testear las diferencias entre valores observados de pH, conductividad, nitratos, fosfatos y los valores esperados se realizó la prueba de bondad de ajuste (prueba de Chi cuadrado). Los valores bacteriológicos, bacterias coliformes totales y fecales y el ajuste a los valores esperados se analizaron solo en la playa de Rada Tilly con el mismo método estadístico. Los valores esperados de pH fueron los descritos por Artero *et al.*, 2012. Para el parámetro Conductividad se utilizaron como valores esperados los valores definidos por Ferrando y Sturla Lompre, 2020. Para los nitratos, fosfatos y bacteriológicos se emplearon los valores permisibles descritos en el Decreto Provincial N° 1540/16 “Reglamentación Parcial de la Ley XI N° 35” (Gobierno del Chubut, 2016).

La acción combinada de todas las variables fue analizada mediante un análisis multivariado de ordenación, llamado análisis de componentes principales (PCA) sobre la matriz de correlación, utilizando la distancia euclídea, teniendo en cuenta 22 muestras por 8 variables ambientales (Legendre & Legendre, 1979). Los datos de bacterias coliformes fecales y totales fueron utilizados considerando los datos de la playa de Rada Tilly como valores de referencia, por ser los provenientes de aguas con algún tipo de tratamiento. Los datos fueron procesados y estandarizados por el software InfoStat versión 2008.



## RESULTADOS

En la Tabla 8 se presentan los valores promedios de los parámetros físicos químicos determinados en las zonas de estudio

Tabla 8. Valores promedios  $\pm$  DE de los parámetros físicos químicos de la playa de Km 3 y Rada Tilly

Parámetro	Unidad	Playa Km 3 – Invierno	Playa Rada Tilly – Invierno	Playa Km 3 – Primavera	Playa Rada Tilly - Primavera
pH	-	6,9 $\pm$ 0,4	6,7 $\pm$ 0,2	6,6 $\pm$ 0,6	7,1 $\pm$ 0,4
Temperatura	°C	7,4 $\pm$ 0,1	7,4 $\pm$ 0,1	10,65 $\pm$ 1,6	10,2 $\pm$ 1,4
Conductividad	$\mu$ S/cm	3,26x 10 <sup>4</sup> $\pm$ 1,39x 10 <sup>3</sup>	3,36x 10 <sup>4</sup> $\pm$ 1,16x 10 <sup>3</sup>	3,74x 10 <sup>4</sup> $\pm$ 4,61x 10 <sup>3</sup>	3,7x 10 <sup>4</sup> $\pm$ 1,6 x 10 <sup>3</sup>
Fosfatos	$\mu$ mol/L.	0,92 $\pm$ 0,0	0,94 $\pm$ 0,01	0,93 $\pm$ 0,04	0,92 $\pm$ 0,0
Nitratos	$\mu$ mol/L.	0,073 $\pm$ 0,0	0,073 $\pm$ 0,0	0,073 $\pm$ 0,0	0,073 $\pm$ 0,0
Bacterias Coliformes Totales	NMP/100 ml	-	19,7 $\pm$ 16,5	-	24,6 $\pm$ 25,1
Bacterias Coliformes Fecales	NMP/100 ml	-	19,7 $\pm$ 16,5	-	24,6 $\pm$ 25,1

El test no paramétrico de *Kruskal – Wallis* indicó que no existen diferencias estadísticamente significativas para los parámetros temperatura, conductividad, nitratos y fosfatos entre las playas de RT y Km 3. Por otro lado, la temperatura y conductividad presentaron diferencias significativas entre las estaciones invierno y primavera. No se observaron diferencias significativas para nitratos, fosfatos y coliformes totales/fecales entre ambas estaciones (Tabla 9).

Tabla 9. Análisis de la variación de los parámetros ambientales por sitio y estación del año (N = 22; g.l = 1).

Parámetro	Sitio		Estación	
	H	P	H	P
Temperatura	0,21	> 0,05	12,7	< 0,05
Conductividad	0,11	> 0,05	7,66	< 0,05
Nitratos	7,59	> 0,05	0,71	> 0,05
Fosfatos	1,33	> 0,05	0,42	> 0,05
Coliformes Totales	-	-	1,73	< 0,05
Coliformes Fecales	-	-	-	-

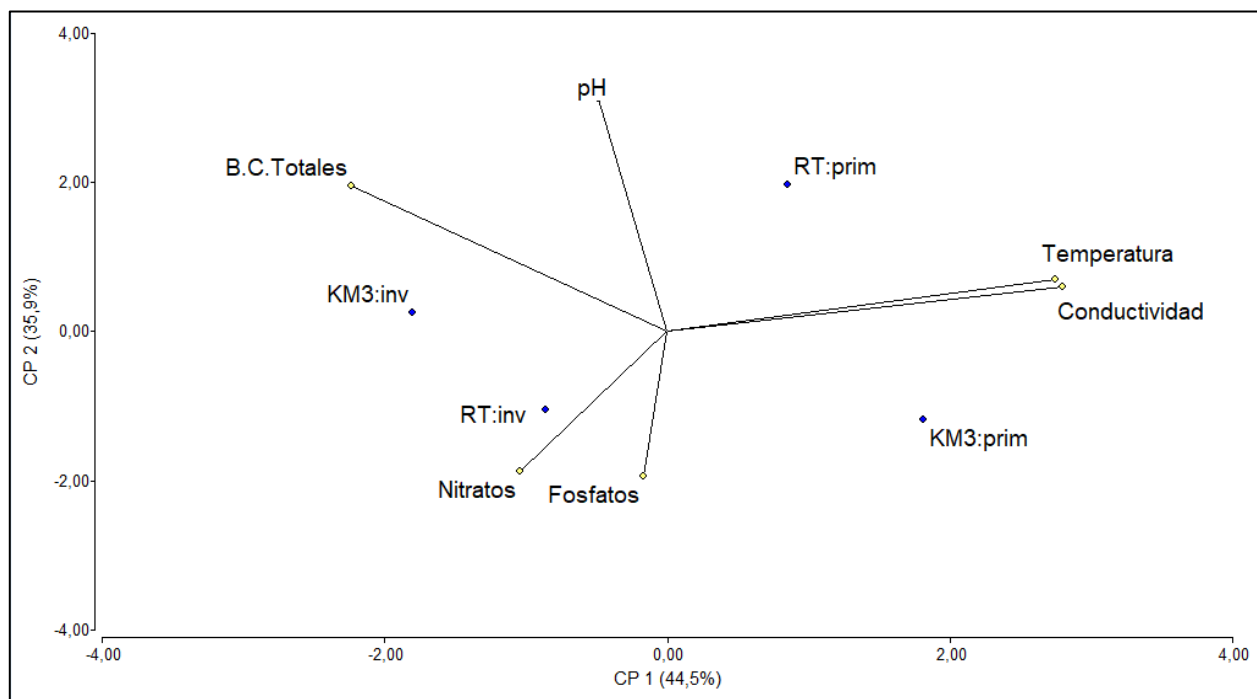
(H: test Kruskal Wallis; P: nivel de probabilidad)

## ANÁLISIS MULTIVARIADO – ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

Los valores de los autovectores determinados se presentan a continuación (Tabla 10).

**Tabla 10. Valores de las variables en función de los Autovectores PCA. Variables de clasificación utilizados: Playa y Estación**

AUTOVECTORES PCA		
VARIABLES	EJE 1	EJE 2
pH	-0,10	0,67
Temperatura	0,59	0,15
Conductividad	0,60	0,13
Nitratos	-0,22	-0,40
Fosfatos	-0,04	-0,42
B.C.Totales	-0,48	0,42



**Figura 13. Diagrama de ordenación mediante la técnica de componentes principales. Biplot. Criterios de clasificación: Playas, estaciones del año. Variables: pH, Temperatura, Conductividad, Nitratos, Fosfatos y Bacterias Coliformes Totales (B. C. Totales). RT:prim = Rada Tilly primavera. RT:inv = Rada Tilly invierno. KM3:prim = Km. 3 primavera. KM3:inv = Km. 3 invierno.**



**Tesis Profesional de grado:** Licenciatura en Protección y Saneamiento Ambiental

**Tema:** “Determinación de parámetros fisicoquímicos en agua marina para uso recreativo en las Playas de Rada Tilly y Comodoro Rivadavia”

**Autor:** Bruno Torrijos

El análisis de componentes principales indica que el componente principal N°1 (CP1) explica el 44,5% de la variabilidad total. Mientras que el componente principal N° 2 (CP2) explica el 35,9%, resultando en total el 80,4 % de la variabilidad total encontrada (Figura 13).

En el CP1, las variables temperatura y conductividad aparecen estrechamente relacionadas entre sí de manera positiva. A su vez ambas se relacionan positivamente a la primavera en ambos sitios de estudio. De misma manera estas variables mencionadas se relacionan negativamente con las B.C. Totales (Figura 13).

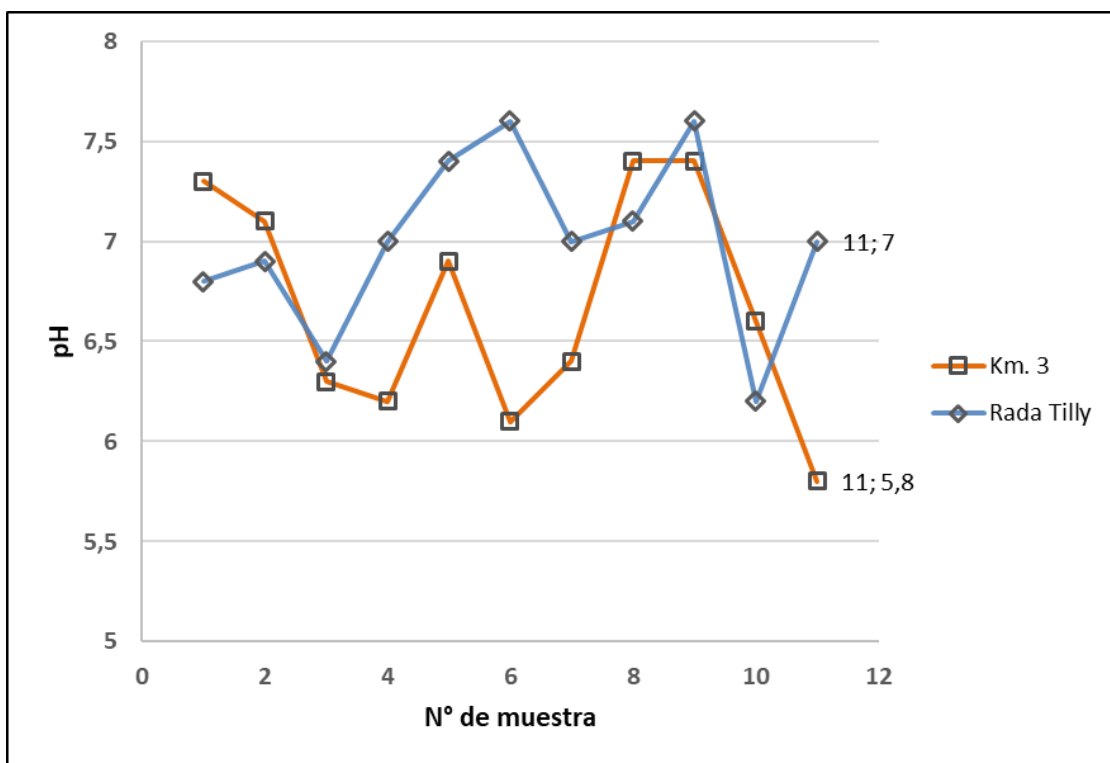
En el CP2, el pH aparece débilmente asociado de manera positiva a los Coliformes totales y de manera negativa a los nutrientes. Las variaciones de pH y los fosfatos no se relacionarían con los cambios de temperatura y conductividad. La variación en las concentraciones de nitratos no se relacionarían con la variación en las concentraciones de Coliformes totales (Figura 13).

La diferencia encontrada en las variables analizadas entre ambas playas y las diferentes estaciones se ve reflejada en la distancia que separan las muestras en la gráfica Biplot (Figura 13).

➤ pH:

El pH determinado en la Playa de Km 3 presentó valores entre 5,8 y 7,4. Con respecto a la Playa de Rada Tilly los valores están comprendidos entre 6,2 y 7,6. Si bien se observó que en la Playa de Rada Tilly el pH de agua de mar de las muestras obtenidas fue ligeramente más alcalino que el pH de las muestras analizadas en la Playa de Km 3 (Figura 14), si bien se observaron diferencias, el ANOVA bifactorial no arrojó diferencias estadísticamente significativas en función de la zona o la estación (Tabla 11).

El test de bondad de ajuste no indicó diferencias significativas entre los valores observados y los valores esperados establecidos como valores promedios de referencia (SWRCB, 2024) y los indicados en la directriz sanitaria provincial establecidos por Decreto para la playa de Km 3 (Chi-cuadrado:3,12;  $p < 0,97$ ) y la playa de Rada Tilly (Chi-cuadrado: 1,88;  $p < 0,99$ ).



*Figura 14. Valores de pH de las muestras analizadas correspondientes a las playas de Km 3 y Rada Tilly. Fuente: Elaboración propia*

Los valores promedios de pH por estación del año en ambas playas resultaron similares en primavera siendo ligeramente mayor en Km 3. Mientras que en invierno se presentó un aumento de pH en la playa de Km 3 determinando un mayor grado de alcalinidad que en las aguas de la playa de Rada Tilly (Figura 15). A pesar de esta observación, el análisis de la varianza muestra que estas diferencias no son estadísticamente significativas (Tabla 11)

**Tesis Profesional de grado:** Licenciatura en Protección y Saneamiento Ambiental

**Tema:** “Determinación de parámetros fisicoquímicos en agua marina para uso recreativo en las Playas de Rada Tilly y Comodoro Rivadavia”

**Autor:** Bruno Torrijos

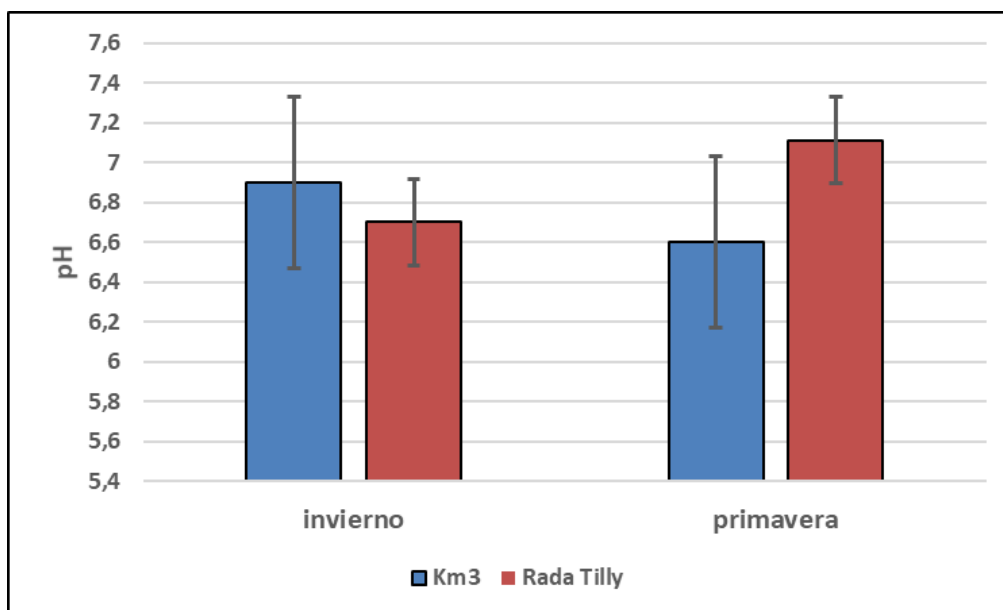


Figura 15. Valores promedios de pH de las zonas de estudio en función de las estaciones del año ( $\pm 1DE$ ). Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Análisis de la Varianza bifactorial de pH. Zona: Rada Tilly vs Km 3. Estación: Invierno vs primavera.

	Grados de Libertad	SC	CM	F	p
Zona	1	0,55	0,55	2,05	0,16
Estación	1	0,01	0,01	0,05	0,82
Error	19	5,14	0,27		
Zona*Estación	1	0,55		2,17	0,15
Total	21	5,71			

(SC: Suma de cuadrados; CM: Cuadrado medio; F: Estadístico; p: Probabilidad)

➤ **Temperatura:**

La temperatura del agua de mar en la playa de Km 3 osciló entre 7,5 y 12,1 °C. En la zona de Rada Tilly este parámetro fue de 7,2 a 12 °C. Los valores determinados indican que la temperatura presentó un incremento gradual en el tiempo de muestreo con respecto a ambos sitios de estudios en las estaciones analizadas (Figura 16).

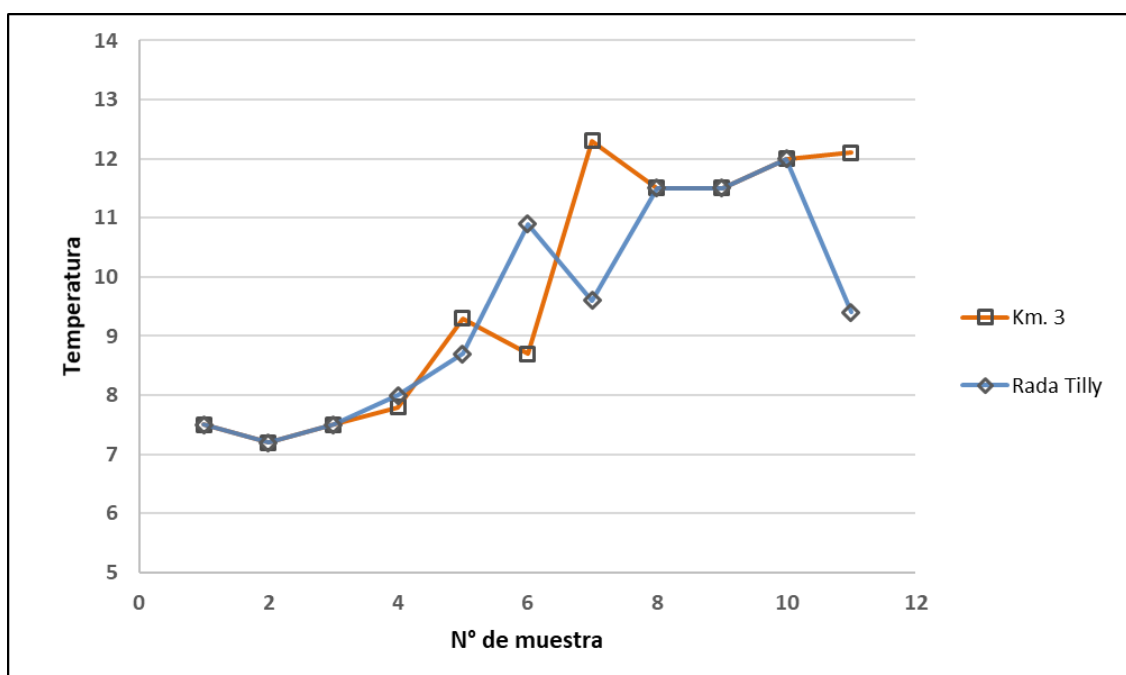


Figura 16. Valores de Temperatura en °C de las muestras analizadas de las zonas de estudio. Fuente: Elaboración propia

Las temperaturas promedio aumentaron durante la primavera en ambos sitios de estudio y fueron ligeramente superiores en la playa de Km 3 (Figura 17).

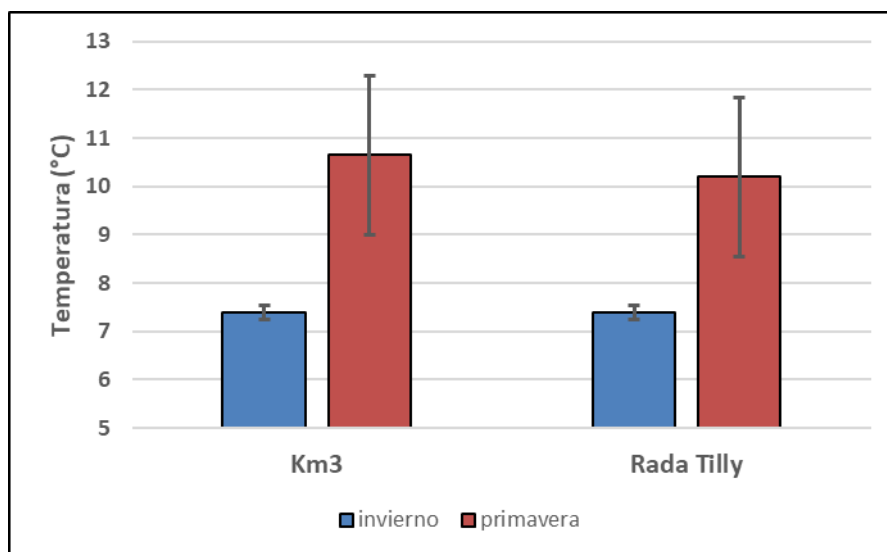


Figura 17. Valores promedios de temperatura (°C) de las zonas de estudio en función de las estaciones del año ( $\pm 1DE$ ). Fuente: Elaboración propia

#### ➤ Conductividad:

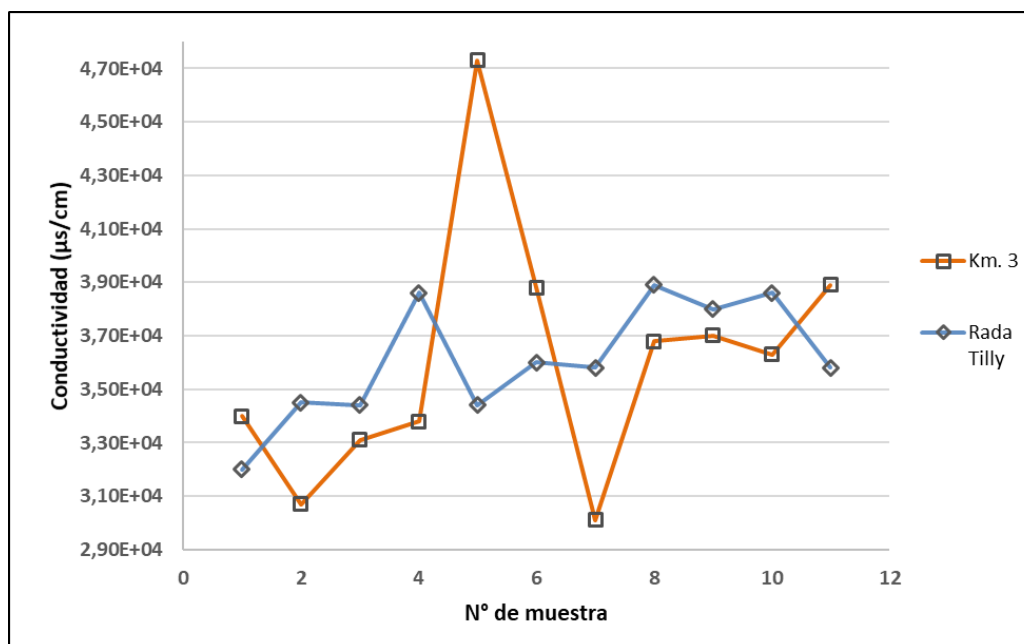
La conductividad en la playa de Km 3 presentó valores que van desde  $3,01 \times 10^4$  a  $4,73 \times 10^4$   $\mu\text{S}/\text{cm}$ . En la Playa de Rada Tilly, los valores oscilaron valores entre  $3,20 \times 10^4$  a  $3,89 \times 10^4$ . En las muestras analizadas de la playa de Km 3 se encontró un valor máximo en la muestra N° 5 y un mínimo en la muestra N° 9. Ambas muestras corresponden a la estación primavera (Figura 18).

El test de bondad de ajuste indicó diferencias significativas entre los valores obtenidos y los valores promedios esperados para cada estación del año para la playa de Km 3 (Chi-cuadrado: 4732,24;  $p < 0,01$ ) y la playa de Rada Tilly (Chi-cuadrado: 669,45;  $p < 0,01$ ).

**Tesis Profesional de grado:** Licenciatura en Protección y Saneamiento Ambiental

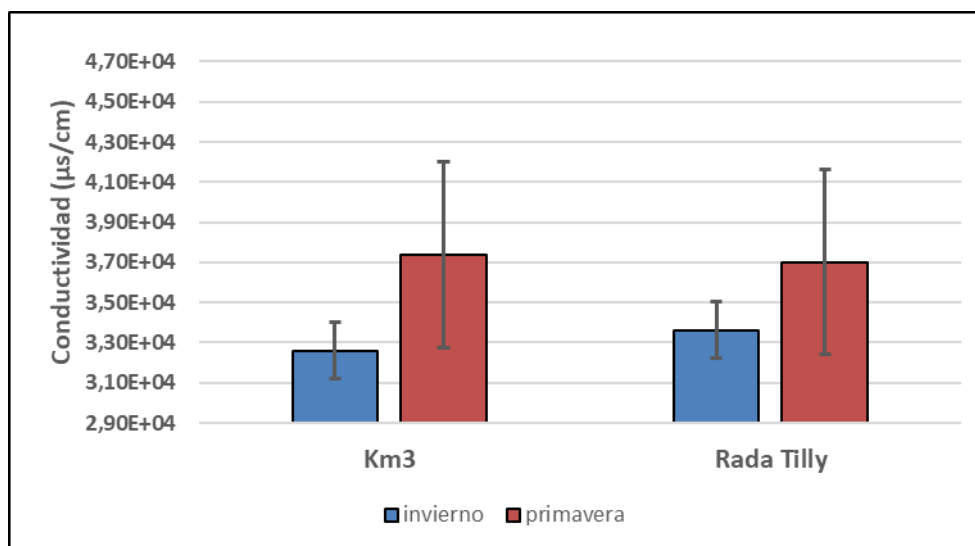
**Tema:** “Determinación de parámetros fisicoquímicos en agua marina para uso recreativo en las Playas de Rada Tilly y Comodoro Rivadavia”

**Autor:** Bruno Torrijos



*Figura 18. Valores de conductividad en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  de las muestras analizadas correspondiente a las zonas de estudio. Fuente: Elaboración propia*

Se observó que la conductividad promedio fue mayor durante la primavera respecto del invierno y ligeramente superior en la playa de Km 3 (Figura 19).



*Figura 19. Valores promedio de conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) de las zonas de estudio en función de las estaciones del año ( $\pm 1\text{DE}$ ). Fuente: Elaboración propia*

➤ Fosfatos:

Las concentraciones de fosfatos obtenidas en la Playa de Km 3 presentaron valores entre 0,87 a 1,01  $\mu\text{mol/L}$ . La Playa de Rada Tilly presentó valores similares que van desde 0,90 a 0,96  $\mu\text{mol/L}$ .

En las muestras analizadas de la playa de Km 3 se encontró un valor máximo de concentración de fosfatos en la muestra N° 9 y un mínimo en la muestra N° 4. Ambas muestras corresponden a la estación primavera (Figura 20).

El test de bondad de ajuste indicó diferencias significativas entre los valores obtenidos y los valores esperados indicados en la directriz sanitaria provincial establecidos por Decreto para la playa de Km 3 (Chi-cuadrado: 39,36;  $p < 0,01$ ) y la playa de Rada Tilly (Chi-cuadrado: 39,31;  $p < 0,01$ ). Resultando estos valores más bajos a los contemplados en este Decreto Provincial.

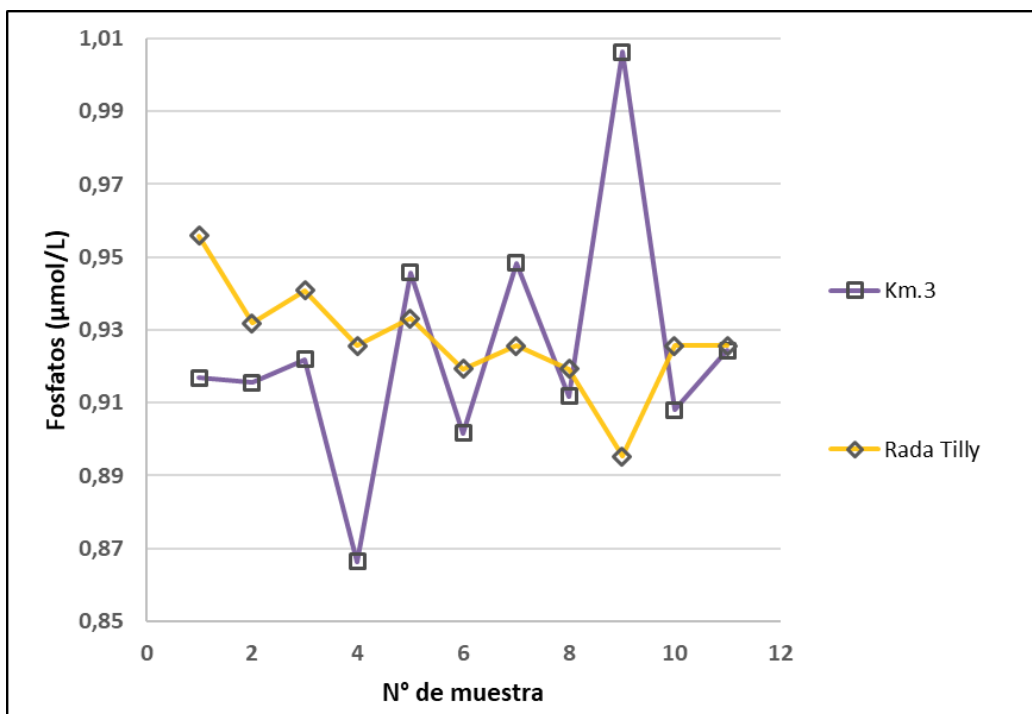


Figura 20. Valores de concentración de fosfatos en  $\mu\text{mol/l}$  de las muestras analizadas correspondiente a las zonas de estudio. Fuente: Elaboración propia

Los valores promedios de concentraciones de fosfatos por estación del año en ambas playas resultaron similares (Figura 21). Se observó que los valores fueron más altos en la playa de Rada Tilly para la estación de invierno mientras que en la playa de Km 3 los valores fueron más elevados en primavera.

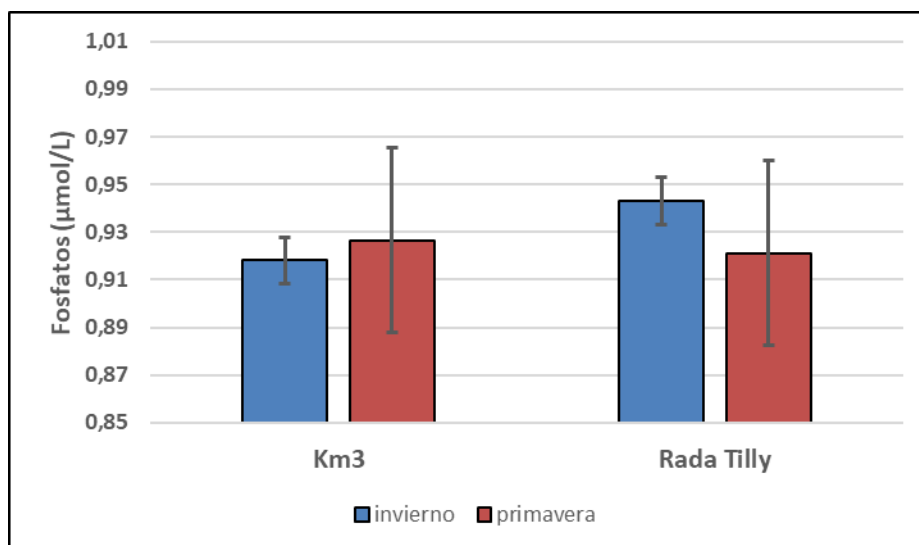


Figura 21. Valores promedio de concentración de fosfatos ( $\mu\text{mol/L}$ ) de las zonas de estudio en función de las estaciones del año ( $\pm 1\text{DE}$ ). Fuente: Elaboración propia

#### ➤ Nitratos:

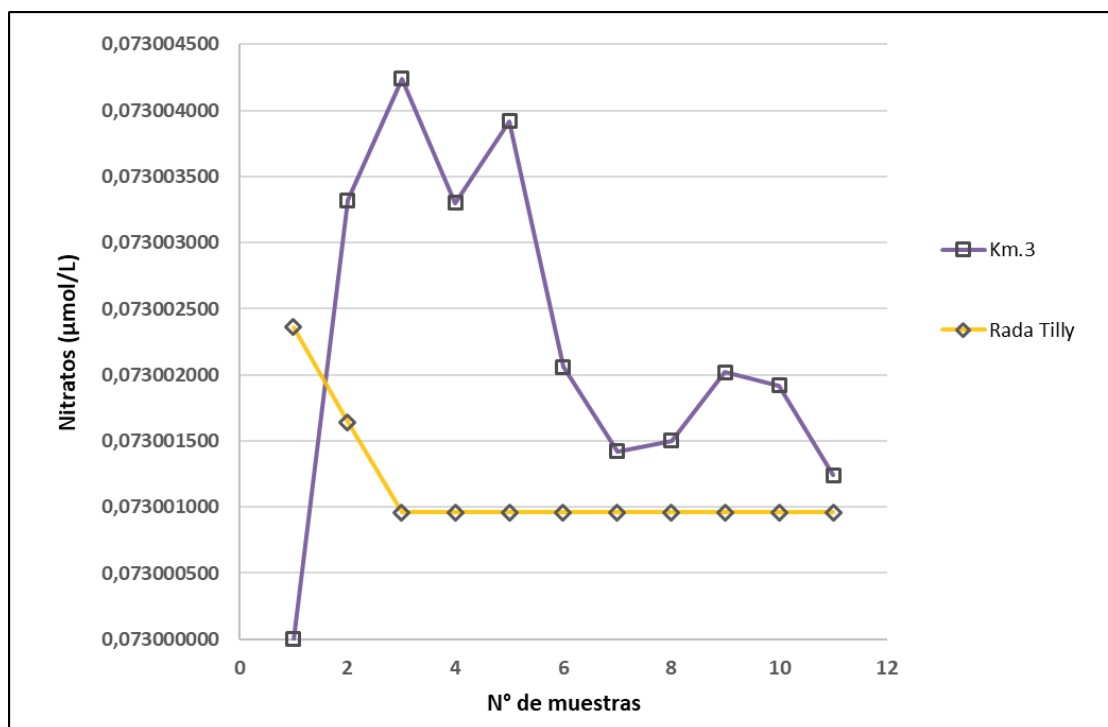
En ambas playas los valores de nitratos determinados no superaron ni fueron menores a  $0,073 \mu\text{mol/L}$  (Figura 22). Las muestras en la playa de Rada Tilly presentaron valores constantes y las de Km. 3 manifestaron mayor variación siempre dentro de ese rango del valor.

El test de bondad de ajuste indicó diferencias significativas entre los valores obtenidos y los valores esperados indicados en la directriz sanitaria provincial establecidos por Decreto para la playa de Km 3 y Rada Tilly (Chi-cuadrado: 4433,81;  $p < 0,01$ ) y la playa de Rada Tilly (Chi-cuadrado: 4433,80;  $p < 0,01$ ). Los valores resultaron más bajos a los esperados.

**Tesis Profesional de grado:** Licenciatura en Protección y Saneamiento Ambiental

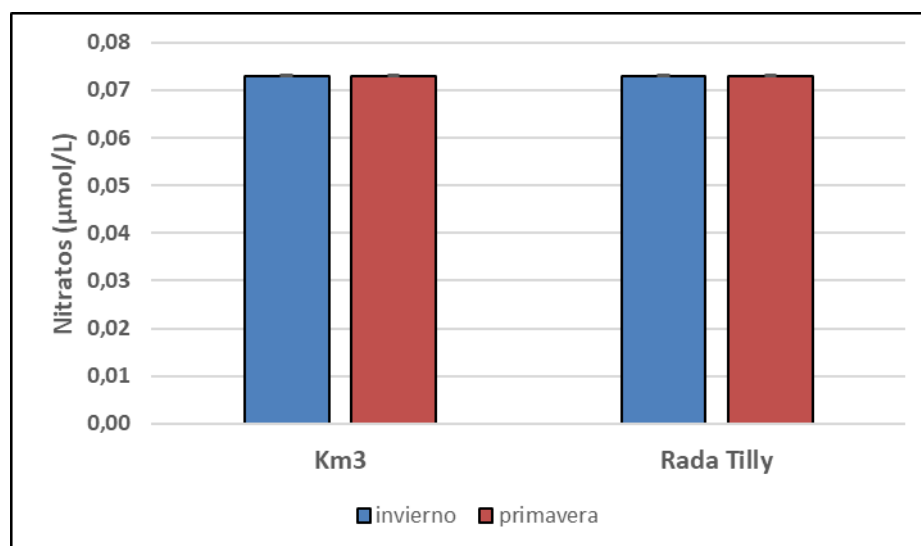
**Tema:** “Determinación de parámetros fisicoquímicos en agua marina para uso recreativo en las Playas de Rada Tilly y Comodoro Rivadavia”

**Autor:** Bruno Torrijos



**Figura 22.** Valores de concentración de nitratos en  $\mu\text{mol/l}$  de las muestras analizadas correspondiente a las zonas de estudio. Fuente: Elaboración propia

Los valores promedio de concentraciones de nitratos por estación del año en ambas playas resultaron similares (Figura 23).



**Figura 23.** Valores promedio de concentración de nitratos ( $\mu\text{mol/L}$ ) de las zonas de estudio en función de las estaciones del año ( $\pm 1\text{DE}$ ). Fuente: Elaboración propia

### Coliformes Totales y Fecales

Con respecto a las muestras analizadas de la Playa de Rada Tilly, los valores bacteriológicos de Coliformes Totales y Fecales oscilaron desde 3 a 75 NMP/100ml (Figura 24). El test de homogeneidad indicó diferencias significativas entre los valores obtenidos y los valores esperados tanto en las Bacterias Coliformes Totales (Chi-cuadrado: 10499,87;  $p < 0,01$ ) y Bacterias Coliformes Fecales (Chi-cuadrado: 2285,49;  $p < 0,01$ ) indicados en la directriz sanitaria provincial establecidos por Decreto para la playa de Rada Tilly. Estos valores fueron significativamente menores.

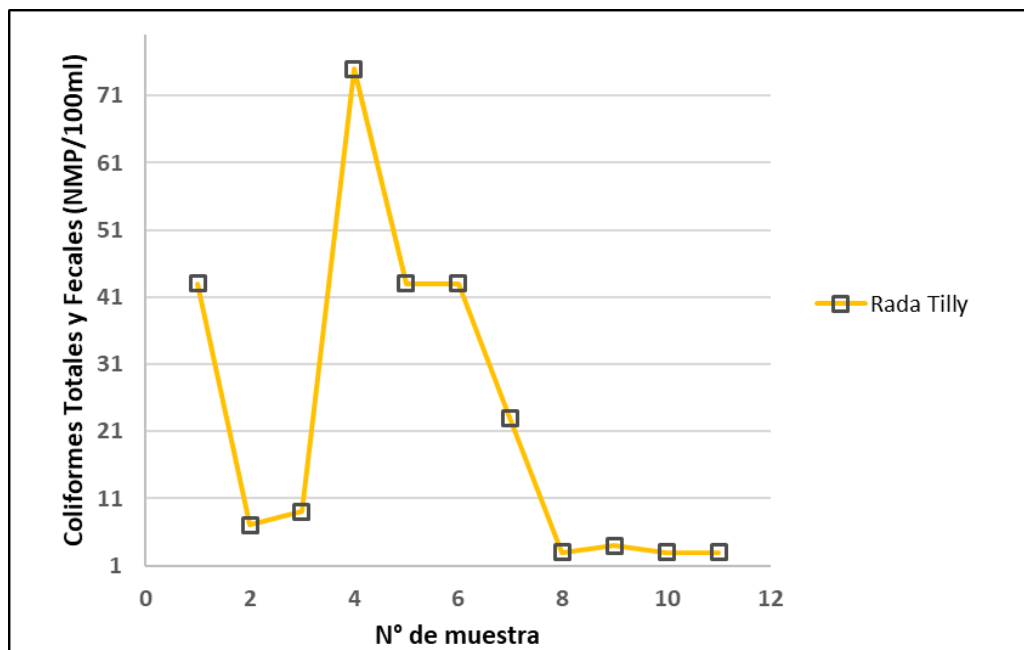


Figura 24. Valores de coliformes totales y fecales en NMP/100ml de las muestras analizadas correspondiente a la playa de Rada Tilly. Fuente: Elaboración propia

Los valores promedios de Coliformes Totales y Fecales en la playa de Rada Tilly fueron mayores en primavera (Figura 25).

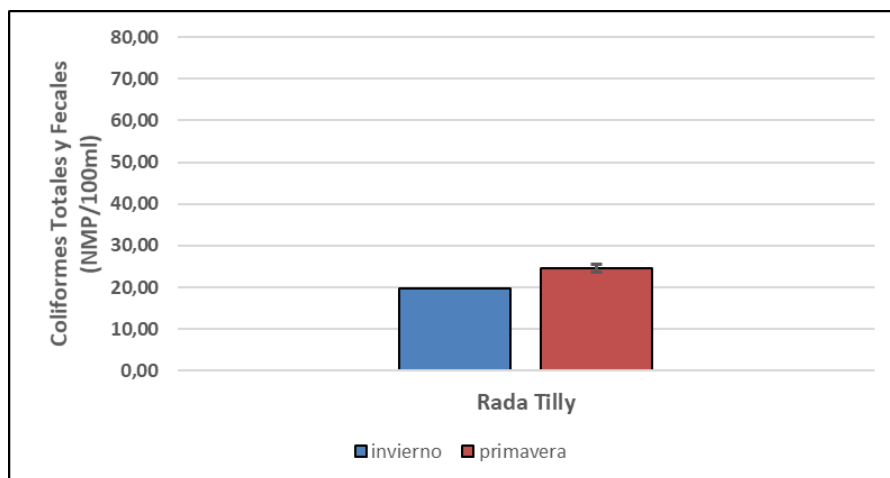


Figura 25. Valores promedio de bacterias coliformes Totales y Fecales (NMP/100ml) de la playa de Rada Tilly en invierno y primavera ( $\pm 1DE$ ). El DE en invierno no se observa. Fuente: Elaboración propia



**Tesis Profesional de grado:** Licenciatura en Protección y Saneamiento Ambiental

**Tema:** “Determinación de parámetros fisicoquímicos en agua marina para uso recreativo en las Playas de Rada Tilly y Comodoro Rivadavia”

**Autor:** Bruno Torrijos

## ICA (Índice de Calidad del Agua)

- ICATest v1.0

### Determinación del ICA para cada muestra obtenida en función de la zona de estudio

1. ICA – Índice de León (México):

Los valores resultantes para ambos sitios de estudio fueron más bajos que los óptimos previstos por el índice para playas mexicanas de uso exclusivamente turístico (Tablas 3 y 4). Así mismo se observaron diferencias entre los índices de ambas zonas de estudio (Tabla 12).

*Tabla 12. Resultados de Índice de Calidad del Agua utilizando el Índice de León para las muestras de ambas playas de estudio*

ICA		
N° MUESTRA	VALOR ÍNDICE (Playa Km 3)	VALOR ÍNDICE (Playa Rada Tilly)
1	21,55	39,07
2	21,97	45,05
3	19,93	41,29
4	19,62	38,11
5	21,92	38,81
6	19,18	38,4
7	20,27	40,97
8	21,35	44,44
9	21,24	42,96
10	21,01	41,72
11	18,3	44,42

### ICA – IFNS (Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento)

Las muestras analizadas para la Playa de Km 3, indicaron que los índices de IFNS determinados para las muestras desde M1 a M10 se clasifican como “Buena” ya que los valores se encuentran dentro del rango entre 71 a 90. La única muestra que presenta una clasificación diferente es la M11. Esta se clasifica como “Regular” y es asignado con el color gris. El promedio de las muestras fue de 75,85 entrando en la misma clasificación antes mencionada (Tabla 5).

Con respecto a los ejemplares analizados para la Playa de Rada Tilly, desde la muestra M1 a M7 y M9 a M11, las determinaciones de sus índices fueron clasificados como “Buena” debido a que sus valores se encuentran dentro del rango entre 71 a 90. Solamente la muestra M8 fue clasificada como “Excelente” ya que se encuentra dentro del rango entre 91 a 100. El valor promedio resultante determinó un índice de 84,61 siendo clasificada también como “Buena”. (Figura 26)



Tesis Profesional de grado: Licenciatura en Protección y Saneamiento Ambiental

Tema: “Determinación de parámetros fisicoquímicos en agua marina para uso recreativo en las Playas de Rada Tilly y Comodoro Rivadavia”

Autor: Bruno Torrijos

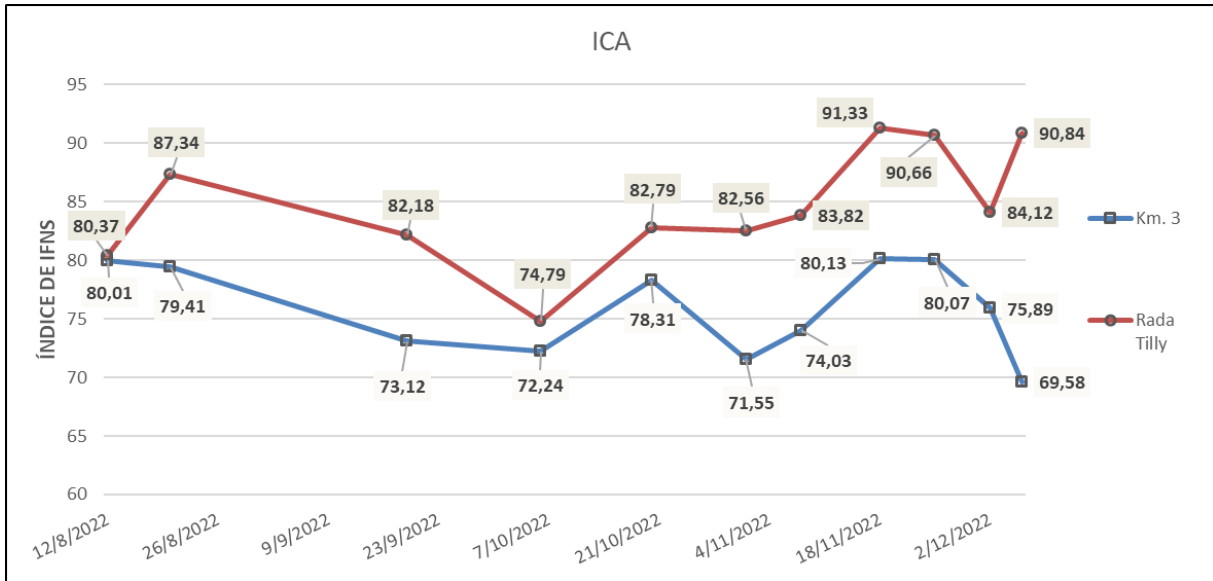


Figura 26: Índices de Calidad del Agua (Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento) para cada muestra determinada para las playas de KM. 3 y Rada Tilly a través del Software ICATest v1.0 (Fuente: Elaboración propia)

### ICA – ICOpH (Índice de Contaminación Orgánica pH)

Los ICO determinados de las muestras para la Playa de Km 3 dieron valores menores a 0,06 clasificándose como “Ninguna” ya que el resultado se encuentra entre el rango de 0 a 0,2 (color azul en la tabla) no pudiéndose evaluar como consecuencia el grado de contaminación a partir del pH (Tabla 6).

Para el caso de las muestras analizadas en la playa de Rada Tilly, la situación fue similar, ya que los resultados de los ICO fueron menores a 0,03. (Figura 27)

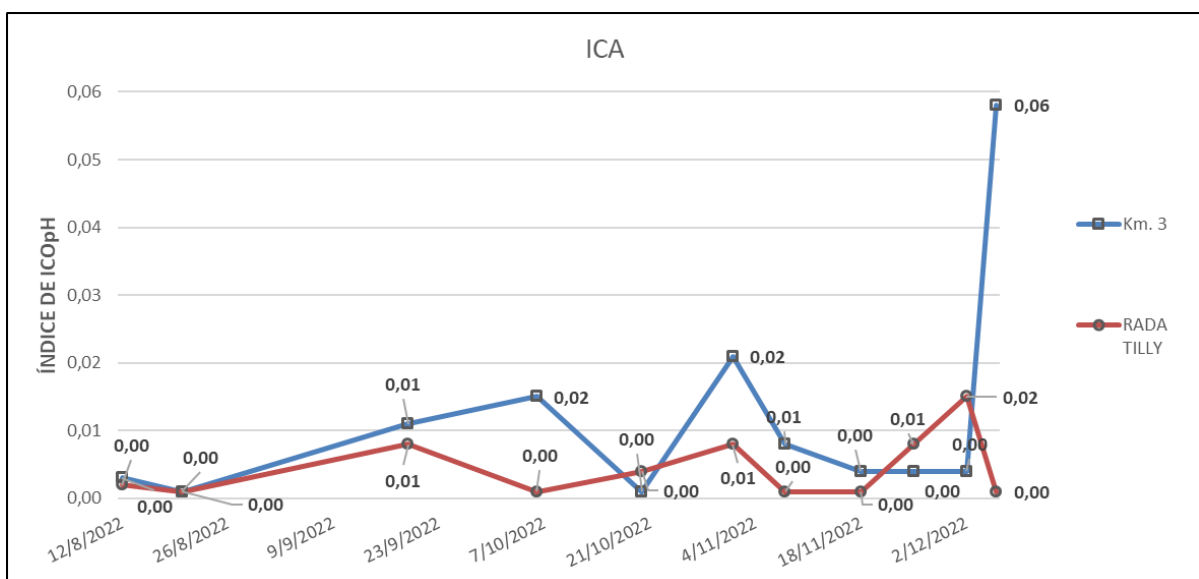


Figura 27: Índices de Calidad del Agua (Índice de Contaminación Orgánica pH) para cada muestra determinada para las playas de KM. 3 y Rada Tilly a través del Software ICATest v1.0 (Fuente: Elaboración propia)



**Tesis Profesional de grado:** Licenciatura en Protección y Saneamiento Ambiental

**Tema:** “Determinación de parámetros fisicoquímicos en agua marina para uso recreativo en las Playas de Rada Tilly y Comodoro Rivadavia”

**Autor:** Bruno Torrijos

### Metodología de Brown

Los índices de calidad del agua determinados para ambas zonas de estudio a través de la metodología de Brown indicaron que, cuando se determina por medio del procedimiento matemático aritmético estos se clasifican mayormente como calidad del agua “Buena” y algunas “Excelente”, siendo esta última clasificación correspondiente a muestras de la playa de Rada Tilly. Los valores que van desde 70 a 92 (Tabla 13). Por otro lado, el procedimiento matemático geométrico del cálculo del índice de calidad del agua correspondiente al mismo método indicó que principalmente las muestras se clasifican como calidad “Regular” mientras que unos pocos se encasillan en calidad “Mala” destacando que estas últimas pertenecen a la playa de Km 3 (Tablas 5). Estos valores oscilan entre 47 a 66.

*Tabla 13. ICA determinado a través de la metodología de Brown para las muestras de agua en las playas de Km 3 y Rada Tilly. Fuente: Elaboración propia.*

MUESTRAS	ICA aritmético	CALIDAD DEL AGUA	ICA geométrico	CALIDAD DEL AGUA
RT Invierno 1	80	Buena	55	Regular
RT Invierno 2	88	Buena	63	Regular
RT Invierno 3	82	Buena	58	Regular
RT Primavera 1	81	Buena	56	Regular
RT Primavera 2	83	Buena	57	Regular
RT Primavera 3	83	Buena	57	Regular
RT Primavera 4	85	Buena	60	Regular
RT Primavera 5	92	Excelente	66	Regular
RT Primavera 6	92	Excelente	65	Regular
RT Primavera 7	84	Buena	59	Regular
RT Primavera 8	92	Excelente	66	Regular
Km 3 Invierno 1	81	Buena	55	Regular
Km 3 Invierno 2	81	Buena	55	Regular
Km 3 Invierno 3	73	Buena	50	Regular
Km 3 Primavera 1	73	Buena	49	Mala
Km 3 Primavera 2	80	Buena	54	Regular
Km 3 Primavera 3	72	Buena	48	Mala
Km 3 Primavera 4	75	Buena	51	Regular
Km 3 Primavera 5	81	Buena	55	Regular
Km 3 Primavera 6	81	Buena	55	Regular
Km 3 Primavera 7	76	Buena	52	Regular
Km 3 Primavera 8	70	Buena	47	Mala



**Tesis Profesional de grado:** Licenciatura en Protección y Saneamiento Ambiental

**Tema:** “Determinación de parámetros fisicoquímicos en agua marina para uso recreativo en las Playas de Rada Tilly y Comodoro Rivadavia”

**Autor:** Bruno Torrijos

## PROPUESTA DE INDICE LOCAL DE CALIDAD DEL AGUA

De acuerdo a los resultados obtenidos con las diferentes metodologías de cálculo de ICA (Índice de Calidad del Agua), a continuación, se sugieren los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que se deberían tener en cuenta y una propuesta de metodología de muestreo para la determinación del ICA local que aportarían un ICA para la zona de estudio.

Los componentes fisicoquímicos sugeridos para la propuesta de un ICA local incluyen una serie de parámetros clave que permiten evaluar la calidad del agua de manera integral en base a las condiciones de las playas de estudio. El pH se considera un indicador básico de la acidez o alcalinidad del agua, mientras que los fosfatos ( $PO_4$ ) representan un indicador de contaminación orgánica y un potencial riesgo de eutrofización. Por otro lado, los nitratos ( $NO_3$ ) son un indicador de contaminación proveniente de desechos humanos, exactamente efluentes cloacales en este caso. La temperatura se destaca como un factor influyente en la actividad biológica y química del agua, y el oxígeno disuelto se considera un indicador clave de la calidad del agua y la salud de los ecosistemas acuáticos, ya que ha sido ampliamente evaluado en numerosos estudios a nivel mundial en relación con el ICA. La conductividad, por su parte, actúa como un indicador indirecto de la salinidad y la presencia de compuestos disueltos, aunque también permite determinar la salinidad de forma específica. Asimismo, se incluyen la Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ), que mide la cantidad de materia orgánica biodegradable presente en el agua, y la Demanda Química de Oxígeno (DQO), que evalúa la presencia de materia orgánica e inorgánica. Estos parámetros, en conjunto, permiten realizar una gran evaluación de la calidad del agua adaptada a las características específicas de la región. Con respecto a los parámetros microbiológicos sugeridos incluyen a las bacterias coliformes totales, que actúan como un indicador general de contaminación fecal, y las bacterias coliformes fecales, que constituyen un indicador más específico de contaminación fecal reciente. Estos parámetros son fundamentales para evaluar la calidad microbiológica del agua y su aptitud para usos recreativos y ambientales en la zona de estudio (Fernández y Solano, 2005).

Para la metodología del cálculo del índice primero se deberán determinar los pesos ponderados de los parámetros a utilizar. Se asignan pesos a cada parámetro según su relevancia para la salud pública y el uso recreativo del agua. Los parámetros microbiológicos y aquellos indicadores de contaminación fecal tendrán un mayor peso en las playas recreativas. Las fórmulas a utilizar para la determinación de los índices son los siguientes (Figuras 28 y 29):

**ICA Recreativo:**

$$ICA_R: \sum W_i * P_i$$

Donde  $W_i$  es el peso ponderado y  $P_i$  es el valor del parámetro estandarizado

*Figura 28: Fórmula propuesta para la determinación del ICA recreativo en playas locales*



**Tesis Profesional de grado:** Licenciatura en Protección y Saneamiento Ambiental

**Tema:** “Determinación de parámetros fisicoquímicos en agua marina para uso recreativo en las Playas de Rada Tilly y Comodoro Rivadavia”

**Autor:** Bruno Torrijos

**ICA Mixto:**

$$ICA_M: \sum W_i * P_i$$

Donde se incluirán parámetros adicionales relacionados con el tratamiento de efluentes.

*Figura 29: Fórmula propuesta para la determinación del ICA recreativo en playas locales*

Por último, se recomienda utilizar la siguiente clasificación descrita en la Tabla 14 en base a los valores de los índices determinados (los umbrales pueden ajustarse ligeramente para reflejar la presencia y el impacto de los efluentes tratados con respecto a las playas mixtas):

*Tabla 14. Clasificación del índice de calidad del agua local en función de playas recreativas y playas mixtas.*

CLASIFICACION DEL INDICE		
CATEGORIA	PLAYAS RECREATIVAS	PLAYAS MIXTAS
Excelente	91-100	86-100
Buena	71-90	66-85
Regular	51-70	46-65
Mala	26-50	21-45
Pésima	0-25	0-20



**Tesis Profesional de grado:** Licenciatura en Protección y Saneamiento Ambiental

**Tema:** “Determinación de parámetros fisicoquímicos en agua marina para uso recreativo en las Playas de Rada Tilly y Comodoro Rivadavia”

**Autor:** Bruno Torrijos

## DISCUSIÓN

Los parámetros fisicoquímicos determinados en el presente trabajo de tesis son fundamentales para determinar, evaluar y comprender la calidad del agua de mar y su influencia en los ecosistemas marinos y la actividad recreativa de la vida humana. Gran cantidad de procesos biológicos que mantienen el equilibrio en comunidades marinas y fenómenos físicos que regulan las propiedades del agua de mar a nivel global, dependen directamente de estos parámetros.

En este trabajo las diferencias observadas en los parámetros fisicoquímicos analizados pueden explicarse en su mayoría por las diferencias en el tratamiento de los efluentes cloacales y por las diferencias en las abundancias relativas de descarga en ambos sitios de estudio.

El pH es una medida de la acidez o alcalinidad del agua. Este valor para los investigadores es muy importante ya que muchas reacciones químicas y procesos biológicos en los ecosistemas marinos son sensibles al mismo. Variaciones significativas en el pH pueden tener efectos perjudiciales en la vida marina, como la acidificación del océano, que afecta a los organismos con conchas de carbonato de calcio, como los crustáceos y los moluscos. En definitiva, el pH es considerado equilibrador de vida marina, de temperatura (el aumento de este separa la molécula del agua en  $H^+$  y  $O_2$ ), de  $CO_2$  y de componentes marinos (López Gappa, 1990; Cloern, 2001).

En Km 3, una mayor descomposición de materia orgánica, que libera ácidos orgánicos y dióxido de carbono ( $CO_2$ ), podría aumentar la acidez. En Rada Tilly, la acidez podría neutralizarse parcialmente, lo que resulta en valores de pH más cercanos a los estándares globales y locales. Aunque en Km 3 el pH es ligeramente más ácido, los análisis estadísticos no mostraron diferencias significativas entre ambas playas. Esto sugiere que, aunque hay una diferencia observable, no es lo suficientemente marcada como para ser estadísticamente relevante. La similitud en los resultados de pH podría deberse a la capacidad buffer del agua de mar, que resiste cambios drásticos (Crain *et al.*, 2008).

La fauna intermareal podría enfrentar estrés fisiológico debido a cambios en pH, lo que podría afectar su reproducción y supervivencia. La acidificación puede alterar las redes tróficas y la biodiversidad local (Gálvez y Martínez Odar, 2021).

Para las actividades recreativas, aunque un pH levemente ácido no es inmediato motivo de preocupación, la percepción de contaminación puede afectar a futuro la afluencia de turistas y bañistas, especialmente si se asocia con otros problemas de calidad del agua.

Las determinaciones de pH realizadas en un estudio en la Ciudad de Comodoro Rivadavia no mostraron variaciones importantes durante todo el tiempo de muestreo, con un valor promedio de  $7,7 \pm 0,4$  (Pucci *et al.*, 2009). En un estudio realizado en el canal de Panamá los valores de pH registrados oscilaron entre 6,5 y 8,3. El pH se encuentra dentro del rango establecido en diferentes países, los cuales establecen rangos entre 6,0 a 8,5, 7,0 a 8,5 y 5,5 a 9,0, como se puede apreciar cada rango obedece a una condición local específica (Grey, 2014).

Los valores obtenidos de pH en ambas playas de estudio, tanto en invierno como en primavera, se encuentran dentro de los valores límite permisible para descargar a costa marítima establecidos en el Decreto Provincial 1540/16 que van desde 6 a 9. Los mismos valores se encuentran dentro del rango establecido por MINAM (Ministerio del Ambiente de Perú) que



**Tesis Profesional de grado:** Licenciatura en Protección y Saneamiento Ambiental

**Tema:** “Determinación de parámetros fisicoquímicos en agua marina para uso recreativo en las Playas de Rada Tilly y Comodoro Rivadavia”

**Autor:** Bruno Torrijos

define a las aguas como Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación, siendo este de 6 a 9 igualmente (MINAM, 2017).

Con respecto a la comparación de los valores obtenidos de pH con valores estándares internacionales y en función de la eutrofización se destaca según la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea (UE), los valores de pH en aguas costeras deben mantenerse entre 6,5 y 9,0 para prevenir la eutrofización y proteger la vida acuática (EURLex, 2000). En América Latina las normas pueden variar, pero muchas siguen directrices similares a las establecidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (World Health Organization, 2022) y la Environmental Protection Agency (EPA) de Estados Unidos (EPA, 2023), que recomiendan un rango de pH de 6,5 a 8,5 para aguas recreativas y de protección de la vida acuática. Los valores obtenidos del parámetro pH en el presente trabajo de estudio se encuentran dentro de los rangos estándar descritos anteriormente (A excepción de una muestra analizada en la playa de Km 3).

Las propiedades térmicas del agua marina dependen del calor que absorbe de las radiaciones solares, y de la cantidad de calor que regresa del mar a la atmósfera. La temperatura del agua de mar influye en numerosos aspectos de los ecosistemas acuáticos. Impacta en la distribución y comportamiento de las especies marinas, en los ciclos biogeoquímicos, y en la tasa de reacciones químicas y biológicas (Chávez Soto y Sánchez Durand, 2022; Ancin *et al.*, 2021).

La temperatura superficial del agua de mar aumenta a medida que se transita del invierno a la primavera debido al incremento progresivo de la radiación solar y las temperaturas ambientales generales en esa estación del año. Este aumento de temperatura es consistente con las expectativas estacionales, puede atribuirse al incremento de horas de luz solar y temperaturas del aire más cálidas, que calientan gradualmente la superficie del mar. El rango de temperatura del agua de mar en la playa de Km 3 (7,5 a 12,1 °C) y Rada Tilly (7,2 a 12 °C) muestra una diferencia pequeña, a excepción de una muestra en Rada Tilly. Esta notable disminución de la muestra individual de Rada Tilly sugiere la posible influencia de factores anómalos, como un evento meteorológico, cambios en las corrientes marinas o una descarga reciente y puntual de efluentes con menor temperatura. En Km 3, la falta de tratamiento puede causar variaciones menores en la temperatura debido a las descargas directas y su posible efecto térmico en el entorno inmediato. La ligera diferencia en la temperatura promedio entre las playas de Km 3 y Rada Tilly podría deberse también a las variaciones en la geografía local, la topografía del fondo marino y la influencia de corrientes marinas. Otros análisis de temperatura de muestras de agua costera en estudios locales (Pucci *et al.*, 2009) indicaron que la temperatura fue de  $16 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$  para las estaciones de verano y primavera y de  $12 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  para otoño e invierno, existiendo coincidencias con los resultados obtenidos.

La característica climática seca de la región con precipitaciones concentradas en invierno podría contribuir a la estabilidad térmica del agua de mar, con menos fluctuaciones extremas en la temperatura (Neelin *et al.*, 2022). Este patrón de lluvia concentrado podría tener menos impacto en enfriar el agua del mar durante el invierno en comparación con climas más húmedos. Según Podestá (2022) la disposición de efluentes previamente tratados directos hacia el mar en la Ciudad de Rada Tilly se realiza de manera intermitente e interrumpida sin tener un patrón de descarga definido.



**Tesis Profesional de grado:** Licenciatura en Protección y Saneamiento Ambiental

**Tema:** “Determinación de parámetros fisicoquímicos en agua marina para uso recreativo en las Playas de Rada Tilly y Comodoro Rivadavia”

**Autor:** Bruno Torrijos

La temperatura del Atlántico Sur varía entre  $-1,5^{\circ}\text{C}$  y  $27^{\circ}\text{C}$  según la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), aunque si tomamos como referencia los valores de zonas cercanas a la costa varía entre  $10^{\circ}\text{C}$  y  $27,5^{\circ}\text{C}$  (NOAA, 2024).

La temperatura del cuerpo receptor, de acuerdo a las normas consultadas, no debe excederse de ciertos límites para mantener el equilibrio de los diferentes procesos del ecosistema. Algunos países como Bolivia y en el estado de Carolina del Norte, Estados Unidos de América (EEUU), se establecen límites inferiores y superiores sobre la temperatura estándar del área, mientras que en otros países como Chile, Ecuador, México y Puerto Rico y en organismos como EPA se establece un límite máximo superior permisible a la temperatura estándar del lugar donde rige la norma. Este indica que el aumento máximo aceptable de la temperatura media semanal debido a fuentes artificiales es de  $1^{\circ}\text{C}$  durante todas las estaciones del año, siempre que no se superen las máximas de verano (EPA, 1980). Al comparar los promedios obtenidos en el presente estudio con la norma correspondiente a la EPA, se observa que no sobrepasan los límites establecidos. Los valores obtenidos de temperatura en ambas playas de estudio, tanto en invierno como en primavera, se encuentran dentro de los valores límite permisible para descargar a costa marítima establecidos en el Decreto Provincial 1540/16 indicando que no deben ser igual o sobrepasar los  $30^{\circ}\text{C}$ .

En primavera el incremento de la temperatura puede estar asociado con una mayor evapotranspiración y concentración de sales en el agua. Un aumento en la temperatura de una solución provoca una disminución de su viscosidad y un aumento en la movilidad de los iones en solución. También puede causar aumento en el número de iones en solución debido a disociación de moléculas. Como la conductividad de una solución depende de estos factores entonces un aumento en la temperatura de la solución conduce a un aumento de su conductividad (Barron y Ashton, 2005; Pawlowicz, 2013)

La conductividad eléctrica del agua está relacionada con la concentración de iones disueltos en ella. Esto es crucial para evaluar la salinidad del agua, que a su vez afecta la densidad y la estratificación del agua en los océanos (Tyler *et al.*, 2017). La salinidad también influye en la distribución de las especies marinas, ya que algunas son más sensibles a los cambios en la salinidad que otras (Smyth y Elliott, 2016). La conductividad varía sobre todo con la temperatura y la salinidad (a mayor salinidad, mayor conductividad). La conductividad es afectada por la geología del terreno que atraviesa el agua, y por la presencia o no de vertidos de aguas residuales, ya que las sales que contienen no son eliminadas por los procesos de depuración naturales. Este parámetro sirve para determinar la existencia de algunos vertidos y la posibilidad de reutilización del agua para riego (Fernández Cirelli y Volpedo, 2020). Según Campins *et al.* (2020) la variación de este parámetro podría estar afectada por el cambio estacional de la temperatura. Si bien, un aumento en la temperatura del agua puede llevar a un aumento en la conductividad debido a la mayor disolución de sales, esta relación no siempre es lineal.

La conductividad en Km 3 presenta valores que van desde 30100 a 47300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . En contraste, Rada Tilly presenta un rango más estrecho de 32000 a 38900  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Estas diferencias en ambas playas podrían deberse a la diferente gestión de los efluentes anteriormente mencionada. Los aumentos de conductividad en Km 3 podrían deberse a eventos específicos de descarga de efluentes, variaciones en las condiciones oceanográficas locales, o fenómenos meteorológicos. El valor mínimo de la muestra N° 7, que presenta un valor de 30100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y el valor máximo en



**Tesis Profesional de grado:** Licenciatura en Protección y Saneamiento Ambiental

**Tema:** “Determinación de parámetros fisicoquímicos en agua marina para uso recreativo en las Playas de Rada Tilly y Comodoro Rivadavia”

**Autor:** Bruno Torrijos

la muestra N° 5, que es de 47300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , podrían estar asociados a un período de menor descarga de efluentes o una mayor dilución del agua de mar con agua dulce (tal vez debido a lluvias intensas o cambios en las corrientes oceánicas que traen agua de diferente salinidad) y a un evento de descarga significativa de efluentes sin tratamiento respectivamente. La variabilidad en los valores de conductividad está directamente relacionada con la cantidad y la calidad de los efluentes descargados al mar. La descarga directa de efluentes en Km 3 puede introducir grandes cantidades de iones y compuestos orgánicos que elevan la conductividad (Mamidisetti y Vijay, 2023).

Si bien no existen límites específicos para la conductividad en las normativas de la UE o las directrices de la OMS, la conductividad es un parámetro importante que puede indicar la presencia de contaminantes y cambios en la composición química del agua, lo cual es relevante para evaluar los impactos de los efluentes sin tratamiento adecuado.

Los nutrientes (fosfatos y nitratos específicamente) son críticos para el crecimiento de las plantas y fitoplancton marino, su equilibrio adecuado es esencial para mantener una cadena alimentaria saludable y equilibrada en el ecosistema marino. El exceso de estos puede conducir a la proliferación de algas y cianobacterias que pueden liberar toxinas que son perjudiciales para la salud humana, causan disminución de oxígeno en las zonas profundas del cuerpo de agua y aumentan la turbidez. Los aportes excesivos de estos nutrientes producidos por la actividad humana ocasionan fenómenos de eutrofización (García Miranda y Miranda Rosales, 2018; Fernández y Volpedo, 2020).

La concentración de fosfatos en ambas playas, Km 3 y Rada Tilly, presenta valores similares. Esto podría estar relacionado con los episodios intermitentes de descarga directa de aguas residuales, así como con factores ambientales como la variabilidad en la circulación del agua y la actividad biológica estacional. La distinción del valor máximo de concentración de fosfatos en la muestra N° 9 (1,01  $\mu\text{mol}/\text{L}$ ) y el mínimo en la muestra N° 4 (0,87  $\mu\text{mol}/\text{L}$ ) durante la primavera en la playa de Km 3 podrían atribuirse a variaciones en las descargas de efluentes, actividades humanas y las condiciones de absorción de nutrientes. Es probable que la muestra N° 9 coincida con un período de mayor de descarga de efluentes, mientras que la muestra N° 4 puede haberse tomado durante un período de menor descarga o mejor dilución de los efluentes.

Con respecto a los valores obtenidos de concentración de nitratos para ambas playas, estos fueron muy similares. La similitud en las concentraciones promedio de fosfatos y nitratos por estación en ambas playas sugiere que las variaciones estacionales pueden tener un impacto menor comparado con las descargas de efluentes. Esto podría indicar que los episodios de descarga y la dinámica de los nutrientes en el agua de mar son más importantes que las variaciones estacionales naturales.

Para evaluar los niveles de nutrientes en las aguas costeras y marinas según la Directiva Marco del Agua (DMA) de la UE, es fundamental considerar tanto los estándares establecidos como las directrices de monitoreo. La DMA no establece valores umbral específicos de nitratos y fosfatos a nivel europeo debido a la variabilidad de las condiciones ecológicas en las diferentes regiones. La EPA ha establecido criterios de calidad del agua para nutrientes, específicamente nitrógeno y fósforo, para proteger los cuerpos de agua de la contaminación por los mismos. Estos criterios se diseñaron para mantener usos designados como la vida acuática, el agua potable y las



**Tesis Profesional de grado:** Licenciatura en Protección y Saneamiento Ambiental

**Tema:** “Determinación de parámetros fisicoquímicos en agua marina para uso recreativo en las Playas de Rada Tilly y Comodoro Rivadavia”

**Autor:** Bruno Torrijos

actividades recreativas. Los criterios varían según el tipo de cuerpo de agua (ríos, arroyos, lagos, embalses) y la región ecológica, debido a las diferencias naturales en las concentraciones de nutrientes y en la sensibilidad de los ecosistemas (EPA, 2023). Los valores obtenidos de Nitratos en ambas playas de estudio, tanto en invierno como en primavera, se encuentran dentro de los valores límite permisibles para descargar a costa marítima establecidos en el Decreto Provincial 1540/16 siendo menor o igual a  $403 \mu\text{mol/L}$  (25 mg/L). Los mismos valores se encuentran dentro del rango establecido por MINAM que define a las aguas como Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación, siendo estos menores al valor límite  $161,3 \mu\text{mol/L}$  (10 mg/L) (MINAM, 2017).

Las bacterias coliformes fecales son un subconjunto de las bacterias coliformes totales y son indicadoras específicas de contaminación por materia fecal. Los valores similares encontrados para ambos parámetros, estarían indicando que la principal fuente de contaminación bacteriana es de origen fecal. Esto se correlaciona con las diferencias en el tratamiento de los efluentes en cada sitio de estudio. Las variaciones estacionales en los niveles de bacterias coliformes totales y fecales en Rada Tilly, con mayores valores en primavera, podrían estar relacionadas con el aumento de la temperatura y la actividad humana durante esta estación. Las temperaturas más cálidas en primavera favorecen la proliferación de bacterias. Además, la primavera puede coincidir con un aumento en la actividad recreativa en las playas, incrementando la descarga de efluentes y, por ende, la carga bacteriana. La eficiencia del tratamiento en la laguna también puede verse comprometida debido al incremento de volumen de efluentes en esta temporada. Estudios realizados en la playa de Stella Maris (golfo San Jorge) indicaron aumentos significativos de la presencia de estos microorganismos durante las estaciones primavera y verano, lo cual es coincidente con los resultados mencionados en este trabajo (Pucci *et al.*, 2013; Pucci *et al.*, 2009).

Los límites establecidos para las bacterias coliformes fecales y totales varían de acuerdo al país y al tipo de uso del agua (Grey *et al.*, 2014). La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece directrices para la calidad del agua de recreación que incluyen límites para las bacterias coliformes fecales y totales siendo no más de 200 NMP/100ml (Número más probable cada 100 mililitros) y no más de 1000 NMP/100ml respectivamente para aguas recreacionales (WHO, 2021). Esta directriz proporciona un marco comparativo para evaluar la calidad del agua de mar en las áreas de estudio con respecto a estándares internacionales.

Según los resultados del PCA, la relación negativa existente entre la temperatura y bacterias coliformes totales se debería a que una mayor temperatura puede favorecer la descomposición de materia orgánica y el aumento de la actividad metabólica de microorganismos que compiten con las bacterias coliformes, lo que podría reducir su concentración. Además, el agua más caliente puede no ser ideal para la proliferación de algunas bacterias coliformes específicas (Aram *et al.*, 2021).

Se sabe que los niveles de bacterias coliformes en los cuerpos de agua se ven afectados por la salinidad y la temperatura y esto está estrechamente relacionado con las condiciones biológicas y fisicoquímicas. En aguas superficiales, la concentración de coliformes fecales se ve muy afectada por factores físicos y climáticos como la temperatura del agua, las precipitaciones, la escorrentía, condiciones de marea, radiación solar, nutrientes disueltos, competencia con otras bacterias y otras condiciones fisicoquímicas (Aram *et al.*, 2021).



**Tesis Profesional de grado:** Licenciatura en Protección y Saneamiento Ambiental

**Tema:** “Determinación de parámetros fisicoquímicos en agua marina para uso recreativo en las Playas de Rada Tilly y Comodoro Rivadavia”

**Autor:** Bruno Torrijos

La relación positiva existente entre el pH y las bacterias coliformes totales puede deberse a que pueden proliferar en condiciones de pH relativamente neutro a ligeramente alcalino (caso de la zona de estudio). Un pH más alto puede indicar un ambiente favorable para estas bacterias (Saalidong *et al.*, 2022).

El pH del agua está relacionado a factores como la materia orgánica disuelta y el dióxido de carbono. Se sabe que el pH afecta la supervivencia de las bacterias coliformes fecales en el agua. En un estudio sobre coliformes fecales murieron más rápidamente cuando las condiciones de pH aumentaron por encima de 8,50, incluso en una condición rica en nutrientes, lo que sugiere la influencia del pH para la supervivencia de coliformes fecales en sistemas de agua (Aram *et al.*, 2021).

La relación negativa entre el pH y los nutrientes, nitratos y fosfatos, podría deberse a la actividad de microorganismos que descomponen materia orgánica en presencia de estos nutrientes, produciendo ácidos orgánicos y disminuyendo el pH. Este fenómeno es común en áreas afectadas por eutrofización (Young y Gobler, 2016).

Cuando se combinó con altas temperaturas, una disminución del pH del agua de mar tuvo a su vez un impacto negativo en la absorción de fosfato. Dado que el fósforo es necesario en varios pasos de la maquinaria fotosintética, así como en la producción de energía (Godinot *et al.*, 2011), esto es consistente con los resultados obtenidos en el PCA.

La falta de una relación directa, según los resultados del análisis multivariado, entre nitratos y bacterias coliformes totales podría indicar que otros factores limitan el crecimiento de estas bacterias. Por ejemplo, la presencia de nitratos podría favorecer más a otros microorganismos o procesos biogeoquímicos que no están directamente relacionados con las bacterias coliformes. El estudio realizado por Seo *et al.*, (2019) indica conclusiones similares con respecto a la falta de relación directa de los parámetros mencionados.

Como ya se ha señalado, la eutrofización también puede promover el crecimiento de fitoplancton y otros microorganismos que compiten con las bacterias coliformes. Por otro lado, las variaciones estacionales en la temperatura, luz solar, y patrones de precipitación pueden influir en la dinámica de los parámetros medidos, contribuyendo a las observaciones de variación en las concentraciones de estos parámetros.

La determinación del Índice de Calidad del Agua realizada a través de distintas metodologías o tipos de índices conocidos y modificados a lo largo del tiempo a nivel internacional, en la presente tesis de grado señaló en términos generales que las aguas analizadas posiblemente presenten indicios de contaminación, con algunas pequeñas variables con respecto al grado o la escala.

Los resultados obtenidos mediante el Índice de León y el IFNS muestran que Rada Tilly tiene índices de calidad del agua más altos en promedio que Km 3, lo que apoya la hipótesis de que el tratamiento de efluentes tiene un impacto positivo en la calidad del agua. La disposición directa e intermitente de efluentes sin tratamiento previo en la playa de Km 3 afecta negativamente la calidad del agua en dicha zona de estudio, por lo tanto, dicha playa resultó en menores valores de ICA como era esperado. A pesar de estas leves diferencias se indica posible contaminación visible en ambos sitios de estudios existiendo así contaminación como consecuencia de la



**Tesis Profesional de grado:** Licenciatura en Protección y Saneamiento Ambiental

**Tema:** "Determinación de parámetros fisicoquímicos en agua marina para uso recreativo en las Playas de Rada Tilly y Comodoro Rivadavia"

**Autor:** Bruno Torrijos

recepción de efluentes cloacales en los cuerpos de agua. El IFNS indica que las aguas de Rada Tilly son predominantemente clasificadas como "Buenas" y "Excelentes", mientras que las aguas de Km 3, aunque también clasificadas en su mayoría como "Buenas" bajo el IFNS, tienen una media más baja y una muestra en la categoría "Regular", sugiriendo mayor variabilidad y potenciales picos de contaminación.

Los resultados obtenidos de ICOpH en ambas playas son menores a los umbrales que permiten la evaluación de la contaminación, sugiriendo que este índice no es adecuado para las condiciones específicas de estas playas.

Los valores obtenidos a través del método manual de Brown (1970) indican que Rada Tilly mostró una mejor clasificación que las aguas de Km 3 mostrando la tendencia general de que las aguas con tratamiento previo presentan una mejor calidad.

Los resultados del software ICATest, clasifican a la mayoría de las muestras de Km 3 como "Fuertemente Contaminadas" y las de Rada Tilly como "Levemente Contaminadas" o "Buenas" y reflejan una tendencia similar a las evaluaciones manuales, donde el método geométrico también muestra clasificaciones más bajas (generalmente "Regular" y "Mala"), sugiriendo una congruencia entre metodologías rigurosas. Esto indica que la evaluación manual (tanto aritmética como geométrica) sigue una tendencia similar a las obtenidas por el software.

En la actualidad en Argentina no existen índices de calidad del agua específicos sobre el agua de mar no siendo la excepción la ciudad de Comodoro Rivadavia. Por lo tanto, en función de los resultados de este trabajo, se propone construir un índice propio para las playas de la zona acondicionado en función de los parámetros más influyentes en la calidad del agua basado en la actividad antropogénica presente. El desarrollo de un Índice de Calidad del Agua (ICA) específico para las playas de Comodoro Rivadavia, que tenga en cuenta las características locales como la constante salinidad, la falta de cursos de agua permanente y el clima seco y árido indicando bajas precipitaciones anuales (entre otros), proporcionará una evaluación más precisa y relevante de la calidad del agua para su uso recreativo. Este índice deberá diferenciar entre playas recreativas y mixtas, ajustando los parámetros y umbrales para reflejar adecuadamente las condiciones de cada tipo de playa. De manera complementaria se puede utilizar los valores límites de los parámetros mencionados en el Decreto Provincial 1540/16 con respecto al vuelco de efluentes en la costa marítima.

Las expectativas del valor del índice que se esperarían para playas recreativas serían con niveles bajos de coliformes fecales y totales en donde se refleje una menor influencia de contaminación fecal directa. Valores de fosfatos y nitratos dentro de límites seguros indicarían un bajo riesgo de eutrofización y otras contaminaciones orgánicas. También el oxígeno disuelto debe tener niveles adecuados para la vida acuática, reflejando un buen estado de salud del ecosistema. Con respecto a las expectativas para playas mixtas se deben considerar niveles aceptables de contaminantes indicativos del tratamiento de efluentes con umbrales ajustados que reflejen la posible presencia de residuos de tratamiento. Se destaca la conductividad y DBO<sub>5</sub> como parámetros adicionales para reflejar la influencia de efluentes tratados.

Para finalizar se pueden tener en cuenta consideraciones complementarias para la formación del índice. Puede considerarse, por ejemplo, la influencia de la energía y amplitud de las mareas en la dispersión y concentración de contaminantes, posiblemente ajustando los umbrales de



**Tesis Profesional de grado:** Licenciatura en Protección y Saneamiento Ambiental

**Tema:** “Determinación de parámetros fisicoquímicos en agua marina para uso recreativo en las Playas de Rada Tilly y Comodoro Rivadavia”

**Autor:** Bruno Torrijos

calidad según la dinámica de mareas observadas. Por otro lado, incorporar factores que reflejen la carga de contaminantes de acuerdo con la densidad poblacional y la variabilidad estacional (impacto de la población) teniendo en cuenta la capacidad de tratamiento, como consecuencia, en el caso de que exista.

La obtención de una nueva herramienta metodológica para determinar el Índice de Calidad del Agua de mar tiene varias aplicaciones prácticas y potencialmente importantes para la comunidad académica y la sociedad en general. Puede concebir una mejora de la gestión costera siendo crucial para la gestión sostenible de recursos naturales, la protección del medio ambiente marino y la toma de decisiones informada y con mayor respaldo científico por parte de las autoridades locales y los responsables de políticas. La nueva herramienta, por otro lado, puede contribuir al monitoreo y evaluación de la salud de los ecosistemas, lo que es relevante para la conservación de la biodiversidad marina y la pesca sostenible. También puede aumentar la seguridad para la recreación en las playas de estudio y presentes en la ciudad. La herramienta puede servir como base para futuras investigaciones en el campo de la calidad del agua de mar. Los científicos y los investigadores pueden utilizar esta herramienta para explorar tendencias a largo plazo y analizar cambios estacionales (Chidiac *et al.*, 2023).

## CONCLUSIONES

Se determinaron los parámetros ambientales de pH, temperatura, conductividad, nitratos, fosfatos, bacterias coliformes totales y fecales en muestras de agua de mar colectadas en las playas de Km 3 y Rada Tilly durante invierno y primavera.

Los parámetros analizados en la playa de Rada Tilly presentaron valores más constantes en comparación con los resultados obtenidos en la playa de Km 3 los cuales mostraron una mayor variabilidad.

Los resultados obtenidos estuvieron por debajo de los valores umbrales establecidos en el Decreto Provincial 1540/16 y límites complementarios a nivel internacional, registrándose aun así variaciones significativas de los parámetros analizados para cada zona de estudio.

Se calcularon los índices de calidad del agua utilizando software y mediante métodos manuales para ambas playas. Las aguas de Rada Tilly mostraron mejor calidad y menores niveles de contaminación en comparación con las aguas de Km 3, reflejando la eficiencia del sistema del tratamiento parcial de efluentes.

En base a los tipos de índice de calidad de agua utilizados en el presente estudio se recomienda el desarrollo de un índice propio para Comodoro Rivadavia, junto con una metodología de muestreo detallada, que permitirá una evaluación más precisa de la calidad del agua en las playas locales, diferenciando entre playas recreativas y mixtas.



**Tesis Profesional de grado:** Licenciatura en Protección y Saneamiento Ambiental

**Tema:** “Determinación de parámetros fisicoquímicos en agua marina para uso recreativo en las Playas de Rada Tilly y Comodoro Rivadavia”

**Autor:** Bruno Torrijos

## BIBLIOGRAFIA

- American Public Health Association APHA. (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Edition 20. APHA/AWWA/WPCF. 1134 pp. <https://www.standardmethods.org/doi/book/10.2105/SMWW.2882>.
- Ancin, B. L., Epherra, L., & Rubilar, T. (2021). Efecto de la temperatura sobre la morfología y reproducción en el erizo de mar *Arbacia dufresnii* (Echinodermata: Echinoidea). *Revista de Biología Tropical*, 69, 154-170.
- Aram, S. A., Saalidong, B. M., & Osei Lartey, P. (2021). Comparative assessment of the relationship between coliform bacteria and water geochemistry in surface and ground water systems. *Plos one*, 16(9), e0257715.
- Artero, C., Nogueras Cervera, M., & Manuel Lázaro, A. (2012). PH sensor. *Instrumentation viewpoint*, (13), 23-25.
- Baird, R. B. (2017). Standard Methods for the Examination of Water and WastewaterTM, 23rd Edition, 4-163pp (523 PDF) <https://dokumen.pub/standard-methods-for-the-examination-of-water-and-wastewater-23th-23thnbsped-9780875532875.html>.
- Barron, J. J., & Ashton, C. (2005). The effect of temperature on conductivity measurement. *TSP*, 7(3), 1-5.
- Bermúdez Kuminev, F., Campos Zumbado, A., & Lépiz López, L. (2017). Herramienta metodológica para la vigilancia de la calidad de agua de mar en playas de uso recreativo de Costa Rica.
- Brown, R., Maccllelland, N., Deininger, R., & Tozer, R., A Water Quality Index Do We Dare? *Water and Sewage Works*. October, 1970, pp. 339-334.
- Campins, M., Rampi, M. G., Cuestas, N. R., & Maggiore, M. A. (2020). Determinación de Parámetros Fisicoquímicos y Aplicación del Índice de Calidad NSF en Los Arroyos La Totorá y La Carolina del Partido de Gral. Alvarado, Prov. de Buenos Aires, Argentina. *Revista Tecnología y Ciencia*, (38), 127-141.
- Chávez Soto, D. C., & Sánchez Durand, A. P. (2022). Evaluación de la calidad de agua de mar afectado por los vertimientos domésticos en la bahía del distrito de Huacho–2021.
- Chidiac, S., El Najjar, P., Ouaini, N., El Rayess, Y., & El Azzi, D. (2023). A comprehensive review of water quality indices (WQIs): history, models, attempts and perspectives. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 22(2), 349-395.
- Cloern, J. E. 2001. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Marine Ecology Progress Series*, 210: 223-253. Disponible en: <http://www.int-res.com/abstracts/meps/v210/p223-253/>. Consultado en junio de 2024.
- Crain, C. M., Kroeker, K., & Halpern, B. S. 2008. Interactive and cumulative effects of multiple human stressors in marine systems. *Ecology Letters*, 11: 1304-1315. Disponible en: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1461-0248.2008.01253.x>. Consultado en junio de 2024.
- Criterios de calidad del agua ambiental para abordar la contaminación por nutrientes en lagos y embalses. 2023. EPA. Disponible en: <https://www.epa.gov/nutrientpollution/ambient-water-quality-criteria-address-nutrient-pollution-lakes-and-reservoirs>. Consultado en junio de 2024
- DECRETO PROVINCIAL Año 2016 - Dto. N° 1540 - Reglamentación Parcial de la Ley XI N° 35 Disponible en: <http://www.ambiente.chubut.gov.ar/wp-content/uploads/2016/11/Decreto-1540-16-de-Vuelcos-Boletin-oficial.pdf>.



**Tesis Profesional de grado:** Licenciatura en Protección y Saneamiento Ambiental

**Tema:** “Determinación de parámetros fisicoquímicos en agua marina para uso recreativo en las Playas de Rada Tilly y Comodoro Rivadavia”

**Autor:** Bruno Torrijos

- Directiva Marco del Agua de la UE (2000/60/CE). EURLex. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:32000L0060>. Consultado en junio de 2024.
- Directrices sobre la calidad de agua potable (2022). World Health Organization. Disponible en: <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/water-sanitation-and-health/water-safety-and-quality/drinking-water-quality-guidelines>. Consultado en junio de 2024.
- Ferrando, A., & Sturla Lompre, J. (2020). Caracterización físico-química y biológica de sedimentos marino costeros, sujetos o no a actividades antropogénicas (Golfo Nuevo, Patagonia argentina).
- Ferrario M. E., Solís M. & Sastre V. 2019. Sastre A. V. MICROALGAS MARINAS TÓXICAS EN AGUAS COSTERAS DE LA PROVINCIA DE CHUBUT. 73-94.
- Fernández Cirelli, A., & Volpedo, A. (2020). Indicadores fisicoquímicos: ¿Qué, cómo y cuánto reflejan la calidad del agua?
- Fernández Parada, N. J. & Solano Ortega, F. Libros y Software (2005). Índices de Calidad y de Contaminación del Agua. Disponible en: [https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home\\_10/recursos/general/pag\\_contenido/libros/05082010/libros.jsp](https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/05082010/libros.jsp). Consultado en julio del 2023.
- Fernández, N., Ramos, G., & Solano, F. (2004). Una herramienta Informática para el análisis y valoración de la calidad del Agua. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 2(2), 88-97.
- Gálvez Figueroa, S. M., & Martínez Odar, G. A. (2021). La acidificación y su impacto en la biodiversidad de 200 mts en zona marina costera, Caleta Santa Rosa–Lambayeque.
- Garay, J., Panizzo, L., Ramírez, G., Sánchez, J. Manual de técnicas analíticas de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, CIOH. Cartagena, 1993. <http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/7010manualTecnicasanaliticas.pdf>.
- García Miranda, F. G., & Miranda Rosales, V. (2018). Eutrofización, una amenaza para el recurso hídrico.
- Godinot, C., Houlbrequé, F., Grover, R., & Ferrier-Pages, C. (2011). Coral uptake of inorganic phosphorus and nitrogen negatively affected by simultaneous changes in temperature and pH. *PLoS One*, 6(9), e25024.
- González, C. G., Liste, A. V. & Felpeto, A. B. 2011. Tratamiento de datos con R, STATISTICA y SPSS. Díaz de Santos. Vigo, España. 978 pp.
- Grey, A. A., de Franco, V. D., & Cárdenas, C. E. (2014). Estudio Comparativo de la Calidad del agua superficial marino costero en área adyacente al Canal de Panamá.
- Huguenin, L., Lalanne, Y., de Casamajor, M. N., Gorostiaga, J. M., Quintano, E., Salerno, M., y Monperrus, M. 2019. Impact of wastewater treatment plant discharges on macroalgae and macrofauna assemblages of the intertidal rocky shore in the southeastern Bay of Biscay. *Continental Shelf Research*, 181: 34-49. Elsevier Ltd. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2019.04.014>. Consultado en junio de 2024.
- Iantanos, N., Fajardo, M. A., Abril, M., Isla, F., & UNPSJB, D. G. F. N. (2007). Influencia de la actividad humana sobre la costa de Comodoro Rivadavia, provincia del Chubut. *Naturalia*, 61.



**Tesis Profesional de grado:** Licenciatura en Protección y Saneamiento Ambiental

**Tema:** “Determinación de parámetros fisicoquímicos en agua marina para uso recreativo en las Playas de Rada Tilly y Comodoro Rivadavia”

**Autor:** Bruno Torrijos

- Lanas, P., Salazar, H., González, M., Maure, A., Fernández, E., Rodríguez Podestá, E., Quesada, M., Montero Ferruz, MB., Katusich, O., Caglianone, J. & Torrijos, B. Caracterización de comunidades intermareales en restingas de playas urbanas del área central del golfo San Jorge. PI 1654 UNPSJB (Resol. R/9 N° 109-2021).
- López Gappa, J. J., Tablado, A., & Magaldi, N. H. 1990. Influence of sewage pollution on a rocky intertidal community dominated by the mytilid *Brachidontes rodriguezii*. *Marine Ecology Progress Series*, 63: 163-175.
- Chiménez, M. A. L., Monks, W. S., Solís, A. S., Flores, G. P., Oyarzún, J. C. G., & Ortega, M. L. (2012). Dinámica de las variables fisicoquímicas del sedimento de la laguna de Tampamachoco, Veracruz, México. *Revista científica UDO agrícola*, 12(4), 965-972.
- Llanos, E. N. (2018). Biodiversidad y patrones sucesionales en comunidades bentónicas intermareales de Mar del Plata afectadas por contaminación orgánica.
- Legendre, P., & Legendre, L. F. J. 2012. *Numerical Ecology*. 1006 pp.
- Lomovasky, B. J., Osiroff Calle, A. P., Yusseppone, M. S., & Kahl, L. C. (2022). La acidificación de los océanos, el otro problema al aumento del CO<sub>2</sub>: perspectivas para la comprensión de sus efectos sobre los ecosistemas marinos en Argentina.
- Mamidisetti, H., & Vijay, R. (2023). Dynamics of sewage outfall plumes based on Landsat-8-derived sea surface salinity and tidal characteristics. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(34), 82311-82325.
- Ministerio del Ambiente - Perú. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. 2017. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>. Consultado en junio de 2024.
- Neelin, J. D., Martínez-Villalobos, C., Stechmann, S. N., Ahmed, F., Chen, G., Norris, J. M., ... & Lenderink, G. (2022). Precipitation extremes and water vapor: relationships in current climate and implications for climate change. *Current Climate Change Reports*, 8(1), 17-33.
- Nutrients in Europe's transitional, coastal and marine waters (2024). European Environment Agency. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/nutrients-in-transitional-coastal-and>. Consultado en junio de 2024.
- Ordenanza Municipal N°7199/00. Disponible en: [https://www.digestocomodoro.gob.ar/verNorma.aspx?ID\\_NORMA=760](https://www.digestocomodoro.gob.ar/verNorma.aspx?ID_NORMA=760).
- Panana-Arce, A., Gama-Villasana, H., Mendoza-Zúñiga, R., Panana-Villalobos, E., & Rivera-Prieto, J. (2014). Registro Preliminar del perfil de playa y parámetros fisicoquímicos en la zona costera Roca Partida-Monte Pío, Veracruz. In *XXI Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología del Mar, Cozumel, Quintana Roo*.
- Paredes, J. M., Ocampo, S. M., Foix, N., Olazábal, S. X., Fernández, M. A., Montes, A., ... & Valle, M. N. (2017). Sistemas fluviales efímeros e inundaciones repentinas de la ciudad de Comodoro Rivadavia: causas, procesos y mitigaciones. *Informe técnico. Comodoro Rivadavia: Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco*.
- Pawlowicz, R. (2013). Key physical variables in the ocean: temperature, salinity, and density. *Nature Education Knowledge*, 4(4), 13.
- Podestá V. R. (2022). Espacios costeros como “espacios problema”. Conflicto ambiental por el vertido de efluentes en el espacio costero de Rada Tilly – Chubut. Tesis de Licenciatura en Gestión Ambiental. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.



**Tesis Profesional de grado:** Licenciatura en Protección y Saneamiento Ambiental

**Tema:** “Determinación de parámetros fisicoquímicos en agua marina para uso recreativo en las Playas de Rada Tilly y Comodoro Rivadavia”

**Autor:** Bruno Torrijos

- Pucci, G., Acuña, J., & Pucci, O. (2013). Contaminación microbiológica por enterobacterias y coliformes totales de la playa de Stella Maris, Comodoro Rivadavia, Argentina, derivada de los efluentes cloacales. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 13(5), 1102-1107.
- Pucci, G. N., Acuña, A. J., Llanes, M. L., Tiedemann, M. C., & Pucci, O. H. (2009). Identificación de bacterias marinas cultivables de la ciudad costera Comodoro Rivadavia, Argentina. *Revista de biología marina y oceanografía*, 44(1), 49-58.
- Saalidong, B. M., Aram, S. A., Otu, S., & Lartey, P. O. (2022). Examining the dynamics of the relationship between water pH and other water quality parameters in ground and surface water systems. *PLoS one*, 17(1), e0262117.
- Seo, M., Lee, H., & Kim, Y. (2019). Relationship between coliform bacteria and water quality factors at weir stations in the Nakdong River, South Korea. *Water*, 11(6), 1171.
- Sistema Mundial de Observación de los Océanos. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (2024). Disponible en: <https://www.aoml.noaa.gov/es/global-ocean-observing-system/>. Consultado en junio de 2024.
- SOTO by worldview (PODAAC). Disponible en: <https://soto.podaac.earthdatacloud.nasa.gov/>. Consultado en diciembre del 2022.
- Smyth, K., & Elliott, M. (2016). Effects of changing salinity on the ecology of the marine environment. *Stressors in the marine environment: physiological and ecological responses; societal implications*, 161-174.
- Tabla de criterios nacionales recomendados para la calidad del agua (2023). EPA (United States Environmental Protection Agency). Disponible en: <https://www.epa.gov/wqc/national-recommended-water-quality-criteria-tables>. Consultado en junio de 2024.
- Temperature Water Quality Standards Criteria Digest A Compilation Of State Federal Criteria (EPA) (1980). Disponible en: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/2000YTVI.txt?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=1976%20Thru%201980&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&UseQFieldId=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5CZYFILES%5CINDEX%20DATA%5C76THRU80%5CTXT%5C00000008%5C2000YTVI.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=4#>. Consultado en junio de 2024.
- Tyler, R. H., Boyer, T. P., Minami, T., Zweng, M. M., & Reagan, J. R. (2017). Electrical conductivity of the global ocean. *Earth, Planets and Space*, 69, 1-10.
- Villacres Flores, K. A., & Villamar Moreno, J. F. (2017). *Evaluación ambiental a partir de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la calidad de agua de mar en playas de Chipipe, canton Salinas provincia de Santa Elena* (Doctoral dissertation, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Químicas). <https://repositorio.ug.edu.ec/server/api/core/bitstreams/0c67f6b0-c452-4893-a861-3ac3eddcdd80/content>.
- Vizcaíno, L. F. L. (2009). Índices de calidad del agua (ICA), forma de estimarlos y aplicación en la Cuenca Lerma-Chapala. *Instituto Mexicano de Tecnología del agua*.



**Tesis Profesional de grado:** Licenciatura en Protección y Saneamiento Ambiental

**Tema:** “Determinación de parámetros fisicoquímicos en agua marina para uso recreativo en las Playas de Rada Tilly y Comodoro Rivadavia”

**Autor:** Bruno Torrijos

- WHO launches Guidelines for Recreational Water Quality as summer heats up. 2021. WHO. Disponible en: <https://www.who.int/news/item/13-07-2021-who-launches-guidelines-for-recreational-water-quality-as-summer-heats-up>. Consultado en junio de 2024.
- Young, C. S., & Gobler, C. J. (2016). Ocean acidification accelerates the growth of two bloom-forming macroalgae. *PloS one*, 11(5), e0155152.