



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

Recinto Universitario “Rubén Darío”
Facultad de Ciencias e Ingeniería
Departamento de Biología
Ingeniería Ambiental

Monografía para optar al Título de Ingeniero Ambiental

Calidad de agua y sedimentos en los ecosistemas marinos costeros de las playas El Ostional y
San Juan del Sur, Rivas, en el período de septiembre 2021 a mayo 2022

Autora: Bra. Maraegretta De León García Espinoza

Tutor: Dr. Dimas García Guzmán

Asesor Metodológico: MSc. Gena Abarca

Asesor Técnico: Dra. Katia Montenegro Rayo

Managua, Nicaragua,
Julio, 2023.

Dedicatoria

Dedico este trabajo monográfico a:

Dios, por haberme permitido llegar a la culminación de mi carrera, por ser mi guía en todo momento, por todas las oportunidades y bendiciones otorgadas.

“Encomienda a Jehová tus obras,

Y tus pensamientos serán afirmados” Prov. 16:3

A mi amada madre Sandra Espinoza, por su apoyo y amor incondicional durante todo el transcurso de mi carrera y por ser esa inspiración para alcanzar mis metas.

A mi padre Ramiro García, por acompañarme y apoyarme siempre.

Mis padres han sido un pilar fundamental para llegar a este momento.

A mis queridos abuelos Conchita Vallejos y Florencio Espinoza, quienes siempre me han acompañado y motivado de una manera incondicional a esforzarme por mis estudios.

A mi hermana Elydariana García Espinoza, por siempre animarme y acompañarme.

Agradecimientos

A Dios gracias sobre todas las cosas.

A la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua), mi Alma Máter, la universidad del pueblo, mi casa de estudios, de formación ética y profesional durante estos años, así como los docentes que fueron parte de mi formación.

Al Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua), por la oportunidad de participar en el proyecto de investigación RLA 7025 “Fortalecimiento de las capacidades en el manejo marino y costero mediante la aplicación de técnicas nucleares e isotópicas” así como la realización de los muestreos y análisis de laboratorio.

A la maestra Selvia Flores, directora del CIRA/UNAN-Managua por la oportunidad de realizar mi tesis en este prestigioso centro.

A mi tutor, Dr. Dimas García Guzmán, por su valioso asesoramiento, conocimiento, acompañamiento y apoyo para culminar mi formación profesional.

A la Dra. Katia Montenegro Rayo por su valioso conocimiento y apoyo para la culminación de este trabajo.

A mi tutora metodológica, MSc. Gena Abarca por su acompañamiento y asesoramiento.

Al personal del laboratorio de Radioquímica Ambiental, MSc. Yader Caballero Arbizú, jefe de laboratorio; Lic. Edwin Alvarado, especialista en análisis de laboratorio y Lic. Andrés López, Auxiliar de laboratorio, por su apoyo, asesoría y acompañamiento en la realización de los análisis de sedimentos.

Al MSc. Jairo López Palma, jefe del laboratorio de Hidrobiología y Lic. Marjorie Hernández por el aporte de conocimiento y asesoramiento en la realización de los análisis de agua.

Carta Aval del Tutor



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

CENTRO PARA LA INVESTIGACIÓN
EN RECURSOS ACUÁTICOS
DE NICARAGUA
CIRA/UNAN-MANAGUA



"2023: Seguimos Avanzando en Victorias Educativas"

Managua, 8 de julio del 2023

Maestro Rafael Varela Urbina
Director del Departamento de Biología
Facultad de Ciencias e Ingenierías
UNAN-Managua

Estimado Maestro Varela:

Por medio del presente y en mi calidad de tutor de la estudiante Bra. Maraegretta de León García Espinoza con carnet número 17-04037-0 doy conocer que se han realizados los cambios sugeridos por el honorable comité evaluador durante el proceso de la pre-defensa realizada el día 5 de julio del presente. Con base en lo anterior, doy mi aval para que la Bra. García Espinoza presente al departamento que usted dirige el documento de Tesis titulado "Calidad de aguas y sedimentos en los ecosistemas marinos costeros de las playas El Ostional y San Juan del Sur, Rivas, en el periodo de septiembre 2021 a mayo 2022" con el cuál la estudiante culmina su carrera.

Cabe señalar, que esta tesis contó con el apoyo del Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN) ya que es parte del Proyecto Internacional RLA 7025 titulado "Fortalecimiento de las capacidades en el manejo marino y costero mediante la aplicación de técnicas nucleares e isotópicas", el cual es financiado por el Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA, por sus siglas en inglés).

Finalmente, tengo a bien declarar que la estudiante contó con la asesoría metodológica de la MSc. Gena Abarca docente del Depto. de Biología de la Facultad de Ciencias e Ingenierías y la asesoría técnica de la Dra. Katia Montenegro del Área de Investigación y Desarrollo del CIRA/UNAN.

Me despido agradeciendo la atención al presente y el trámite que corresponda para que la Bra. García cumpla con los requisitos de graduación de nuestra Alma Máter.

Un saludo,

Dr. Dimas Abarca Guzmán
Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua

Tutor

Jefe del Área de Investigación y Desarrollo CIRA/UNAN - Managua

¡A la libertad por la Universidad!

Hospital Monte España 300 metros al norte. Cod. Postal 4598 | Managua, Nicaragua | www.cira.unan.edu.ni
Telfs.: 2278 6981-2278 6982 ext. 8323 | Correo: dimas.garcia@cira.unan.edu.ni; dgarciaguzman@gmail.com

Resumen

La presente investigación tuvo el objetivo de evaluar la Calidad de aguas y sedimentos en los ecosistemas marinos costeros de las playas El Ostional y San Juan del Sur, Rivas, en el período de los meses septiembre 2021 a mayo 2022. Se colectaron muestras de agua y sedimentos en diferentes muestreos realizados en los dos períodos estacionarios lluvioso y seco, en los meses de septiembre y noviembre de 2021, enero y mayo de 2022. Las determinaciones analíticas fueron llevadas a cabo siguiendo las metodologías descritas en el Standard Methods of Water and Wastewater. Los resultados obtenidos de los análisis físicos químicos muestran que cumplen los valores límites permisibles para considerarse como un agua de buena calidad. En lo que respecta a la calidad microbiológica, no reportaron o no fueron detectadas Coliformes Termotolerantes (CTT). Los resultados de cálculo de los índices de Carlson y Aizaki clasifican los puntos estudiados como Mesotróficos lo que evidencia un alto contenido de Nitrógeno y Fósforo (N y P) o sea un impacto desde el continente. Con respecto a la composición fitoplanctónica, se detectaron cinco taxones siendo las más abundantes las Bacillariophytas, la especie que predominó en los cuatro muestreos fue *Chaetoceros sp*, una diatomea no tóxica y en el punto que se presentó la mayor diversidad fue San Juan del Sur. Referente a los sedimentos, los resultados obtenidos en los análisis fisicoquímicos revelaron que presentan bajas concentraciones de N, P y materia orgánica, debido a las características arenosas de estos. En conclusión, se comprobó que la calidad de las aguas y sedimentos de los ecosistemas estudiados, si bien han sido modificados por ciertas actividades naturales o antrópicas, no se encuentran en un nivel elevado de contaminación, su calidad es buena y son aptas para el desarrollo de la vida acuática.

Contenido

Capítulo I.....	1
1.1. Introducción	1
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Justificación.....	3
1.4. Objetivos	4
Objetivo general.....	4
Objetivos específicos.....	4
Capítulo II.....	5
2.1. Marco Referencial	5
2.1.1. Antecedentes.....	5
2.1.2. Marco teórico y conceptual	7
2.1.2.1. Generalidades	7
a) Ecosistemas marinos y costeros de Nicaragua	7
b) Problemática ambiental de las aguas costeras del Pacífico de Nicaragua	7
c) Caracterización del municipio de San Juan del Sur.....	8
d) Fuentes de contaminación de las aguas costeras de El Ostional y San Juan del Sur	10
e) Caracterización de Sedimentos.....	11
f) Calidad de agua.....	12
g) Estado trófico.....	12
2.1.2.2. Factores que influyen en la calidad de las aguas y sedimentos de las playas del Pacífico sur de Nicaragua, El Ostional y San Juan del Sur	13
a) Factores físicos	13
pH.....	13
Conductividad.....	13

Alcalinidad	13
Temperatura.....	13
Oxígeno Disuelto	14
Potencial Redox	14
Salinidad.....	14
Granulometría.....	14
b) Factores químicos	14
Nutrientes	14
Nitratos.....	15
Nitritos	15
Nitrógeno amoniacal.....	15
Fósforo Reactivo Disuelto.....	15
Hierro total	15
Sílice reactivo disuelto.....	15
Dióxido de carbono libre.....	16
Carbono Orgánico Disuelto.....	16
Materia orgánica	16
Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	16
Sólidos Suspendidos Totales	16
c) Factores biológicos	17
Bacterias coliformes.....	17
Clorofila a.....	17
Fitoplancton.....	17
2.1.2.3. Estructura comunitaria de fitoplancton	19
a) Riqueza de especies	19

b) Abundancia relativa	19
c) Índice de diversidad y similitud de especies	19
Índice de diversidad de Simpson	19
Índice de diversidad de Shannon-Wiener	20
Índice de diversidad de Margalef	20
Índice de Similitud de Sorensen	20
Índice de similitud % PSC	20
Índice de similitud de Pinkham and Pearson's (B2).....	20
2.1.3. Marco legal.....	21
2.2. Hipótesis.....	21
Capítulo III	22
3.1. Diseño metodológico	22
3.1.1. Tipo de estudio	22
3.1.2. Área de estudio	22
3.1.3. Población y muestra.....	23
3.2. Definición y operacionalización de variables (MOVI).....	23
3.2.1. Matriz de operacionalización de variables	24
3.3. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	25
3.4. Procedimientos para la recolección de datos e información	26
3.4.1. Recolección de muestras	26
3.4.2. Recolección, preservación y almacenamiento de las muestras	27
3.4.3. Procedimientos analíticos.....	28
3.4.3.1. Metodología analítica fisicoquímica y biológica utilizada en los análisis de calidad de agua	28
3.4.3.2. Análisis fisicoquímicos en sedimentos	36

3.4.3.3.	Índices de estado trófico utilizadas.....	40
3.4.3.4.	Ecuaciones de los índices de diversidad y similitud aplicadas.....	41
3.5.	Plan de tabulación y análisis	43
Capítulo IV	.....	44
4.1.	Análisis y discusión de resultados	44
4.1.1.	Calidad de las aguas de las bahías de El Ostional y San Juan del Sur.....	44
4.1.1.1.	Parámetros fisicoquímicos	44
a)	pH.....	44
b)	Conductividad.....	45
c)	Alcalinidad	46
d)	Temperatura y Oxígeno Disuelto.....	46
e)	Salinidad.....	47
f)	Sílice reactivo disuelto	48
g)	Hierro total	49
h)	Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	50
i)	Carbono Orgánico Disuelto.....	50
j)	Dióxido de Carbono Libre.....	51
k)	Sólidos Suspendidos Totales	52
4.1.1.2.	Parámetros biológicos.....	52
a)	Coliformes termotolerantes	52
4.1.1.3.	Nutrientes	53
a)	Nitrógeno total, nitratos, nitritos y nitrógeno amoniacal	53
b)	Fósforo total y fósforo reactivo disuelto	55
c)	Clorofila-a	56
d)	Relación de N total, P total y DBO ₅ en los puntos de muestreo.....	57

4.1.1.4.	Estado trófico.....	58
a)	Índice de estado trófico Carlson (Modificado).....	58
b)	Índice de estado trófico - Aizaki.....	59
4.1.1.5.	Fitoplancton.....	59
1.	Riqueza y taxones presentes.....	59
2.	Abundancia total y relativa.....	60
3.	Índices de diversidad y similitud.....	63
4.1.2.	Calidad de los sedimentos de las bahías de El Ostional y San Juan del Sur.....	66
4.1.2.1.	Parámetros fisicoquímicos.....	66
a)	Porcentaje de humedad.....	66
b)	Granulometría.....	66
c)	Materia orgánica.....	67
d)	Nitrógeno y Fósforo total.....	68
Capítulo V	.....	70
5.1.	Conclusiones.....	70
5.2.	Recomendaciones.....	71
5.3.	Bibliografía.....	72
5.4.	Anexos.....	82
Tablas.....	.....	82
Figuras.....	.....	91
Fotos.....	.....	94

Índice de tablas

Tabla 1. Legislación vinculada a la protección de los ecosistemas marino-costeros en Nicaragua	21
Tabla 2. Matriz de operacionalización de variables.....	24
Tabla 3. Instrumentos utilizados en campo	25
Tabla 4. Instrumentos utilizados en laboratorio.....	26
Tabla 5. Recipientes utilizados para la recolección y conservación de muestras.....	27
Tabla 6. Parámetros y métodos de análisis fisicoquímicos y biológicos realizados en las muestras de agua.....	28
Tabla 7. Análisis fisicoquímicos en sedimentos	36
Tabla 8. Escala de Valores del estado trófico en los cuerpos de agua según Carlson y Aizaki ...	41
Tabla 9. Valores de Salinidad de los puntos muestreados.....	48
Tabla 10. Valores de coliformes termotolerantes	53
Tabla 11. Relación de los parámetros NT, PT y DBO5 en los puntos de muestreo	57
Tabla 12. Valores de IET según Carlson para los puntos de estudio El Ostional y San Juan del Sur	58
Tabla 13. Valores de IET según Aizaki para los puntos de estudio El Ostional y San Juan del Sur	59
Tabla 14. Abundancias totales de especies de las bahías de El Ostional y San Juan del Sur en los muestreos de 2021-2022.....	61
Tabla 15. Datos de diversidad de organismos fitoplanctónicos en las aguas de las bahías El Ostional y San Juan del Sur, muestreos 2021-2022.....	64
Tabla 16. Datos de similitud de organismos fitoplanctónicos en las aguas de las bahías El Ostional y San Juan del Sur, muestreos 2021-2022.....	65
Tabla 17. Valores de porcentaje de humedad en las muestras de sedimentos.....	66

Índice de figuras

Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio y de los puntos de muestreos.....	22
Figura 2. Valores de pH registrados en los monitoreos realizados en los años 2021-2022 en las playas del El Ostional y San Juan del Sur	45
Figura 3. Valores de conductividad eléctrica registrados en los monitoreos realizados en los años 2021-2022 en las playas del El Ostional y San Juan del Sur.....	45
Figura 4. Valores de alcalinidad registrados en los monitoreos realizados en los años 2021-2022 en las playas del El Ostional y San Juan del Sur	46
Figura 5. Valores de temperatura y concentraciones de OD registrados en los monitoreos realizados en los años 2021-2022 en las playas del El Ostional y San Juan del Sur	47
Figura 6. Concentraciones de sílice reactivo disuelto registrados en las muestras de agua de las playas de El Ostional y San Juan del Sur durante los muestreos 2021-2022	48
Figura 7. Concentraciones de Hierro total registrados en las muestras de agua de las playas de El Ostional y San Juan del Sur durante los muestreos 2021-2022.....	49
Figura 8. Concentraciones de DBO ₅ registrados en las muestras de agua de las playas de El Ostional y San Juan del Sur durante los muestreos 2021-2022.....	50
Figura 9. Concentraciones de COD registrados en las muestras de agua de las playas de El Ostional y San Juan del Sur durante los muestreos 2021-2022.....	51
Figura 10. Dióxido de Carbono libre registrados en las muestras de agua de las playas de El Ostional y San Juan del Sur durante los muestreos 2021-2022.....	51
Figura 11. Concentraciones de SST registrados en las muestras de agua de las playas de El Ostional y San Juan del Sur durante los muestreos 2021-2022.....	52
Figura 12. Concentraciones de Nitrógeno total, N-nitrato, N-nitrito y N-amoniaco registrados en las muestras de agua de las playas de El Ostional y San Juan del Sur durante los muestreos 2021-2022.....	54
Figura 13. Concentraciones de Fósforo total y Fósforo reactivo disuelto registradas en las muestras de agua de las playas de El Ostional y San Juan del Sur durante los muestreos 2021-2022	55
Figura 14. Concentraciones de Clorofila-a registrados en las muestras de agua de las playas de El Ostional y San Juan del Sur durante los muestreos 2021-2022.....	56

Figura 15. Número de taxones de fitoplancton identificados por phylum en las muestras de los puntos El Ostional y San Juan del Sur, en el período de muestreo realizado de septiembre 2021 a mayo 2022	60
Figura 16. Abundancias relativas de organismos fitoplanctónicos encontrados en las muestras de agua colectadas durante los muestreos del 2021 en los puntos a) EO 5m Sep, b) EO Zf Sep, c) SJS 5m Sep, d) SJS Zf Sep, e) EO 5m Nov, f) EO Zf Nov, g) SJS 5m Nov, h) SJS Zf Nov	62
Figura 17. Abundancias relativas de organismos fitoplanctónicos encontrados en las muestras de agua colectadas durante los muestreos del 2022 en los puntos a) EO 5m Ene, b) EO Zf Ene, c) SJS 5m Ene, d) SJS Zf Ene, e) EO 5m May, f) EO Zf May, g) SJS 5m May, h) SJS Zf May	63
Figura 18. Comportamiento de la granulometría en las muestras de sedimentos de El Ostional y San Juan del Sur.....	67
Figura 19. Porcentaje de materia orgánica en las muestras de sedimentos de El Ostional y San Juan del Sur	68
Figura 20. Comportamiento del porcentaje de NT y PT en las muestras de sedimentos de El Ostional y San Juan del Sur.....	69

Capítulo I

1.1. Introducción

A nivel mundial la calidad de las aguas marinas costeras, se ha visto afectada por las actividades humanas, ya que estas producen un gran impacto en los ecosistemas marinos, alterando sus ciclos biológicos. Uno de los fenómenos que se han incrementado en los últimos años son las Floraciones Algaes Nocivas (FANs), estos se generan por el crecimiento de ciertas microalgas que producen un efecto nocivo o tóxico, generadas por el aumento de nutrientes en el mar, y cuya frecuencia ha ido incrementando, especialmente en la zona de América Latina y el Caribe. Otro fenómeno que afecta actualmente a los océanos es la acidificación de sus aguas, provocado por la absorción de dióxido de carbono atmosférico (REMARCO, 2019).

En Nicaragua, en lo referente a la zona del Pacífico, la mayoría de los estudios que se han realizado, están relacionados con las actividades de la explotación de los recursos pesqueros. Con respecto a casos de contaminación ambiental referidos a eventos de FANs, en el Pacífico de Nicaragua se han registrado eventos en los años 2005, 2012, 2016 y 2018, los estudios sobre estos han sido realizados por el Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua, (CIRA/UNAN-Managua, 2021).

Esta investigación se realizó con el objetivo de evaluar la calidad de las aguas y sedimentos en los ecosistemas marinos de las playas El Ostional y San Juan del Sur, ya que en estas se han presentado eventos de Floraciones Algaes Nocivas en los últimos 20 años. Por lo antes mencionado, es importante que en Nicaragua se realicen monitoreos ambientales constantes para conocer en el tiempo las variaciones de la calidad de las aguas marinas, así como, la de los eventos de las FANs, y poder contar con la información actualizada para tomar las decisiones pertinentes a fin de mitigar las afectaciones en la biota y en los consumidores de los recursos marinos.

1.2. Planteamiento del problema

En los últimos 20 años, el impacto de las actividades antrópicas sobre los ecosistemas marinos y costeros en el pacífico mesoamericano se ha agravado a tal grado que ha causado modificaciones en la biodiversidad marina y en la calidad de las aguas debido al incremento de nutrientes que causan fenómenos como las Floraciones Algales Nocivas (FANs), cuyas consecuencias son muy graves en la biota marina y la salud humana.

En Nicaragua los estudios ambientales en el océano Pacífico son incipientes, donde la mayoría de ellos están enfocados en los recursos marinos como actividad económica. Sin embargo, se han realizado esfuerzos para monitorear los eventos de FANs, a través de la colaboración de diferentes instituciones gubernamentales, entre ellos el Ministerio de Salud (MINSAL), Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA), Instituto Nicaragüense de la Pesca y Acuicultura (INPESCA), Ministerio Agropecuario y Forestal (MAGFOR), Fuerza Naval del Ejército de Nicaragua, Municipalidades y el Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua).

Por otra parte, las investigaciones de calidad marina costera realizadas hasta la fecha por el CIRA/UNAN-Managua en Nicaragua, han sido basadas en cuatro eventos de floraciones algales en la costa pacífica norte de Nicaragua, uno frente a Corinto y tres en el Golfo de Fonseca, los cuales han causado daños a la salud pública y afectaciones socioeconómicas a nivel local. Así mismo, se han realizado estudios en las playas de El Ostional y San Juan del Sur, en donde se ha registrado al menos un evento de FANs en los últimos años. Teniendo en cuenta que la principal causa de los florecimientos algales nocivos y la alteración de los ecosistemas marinos y costeros es la eutrofización, que es producto de las actividades antropogénicas que se realizan desde el continente, se planteó la necesidad de realizar estudios que permitiera conocer las concentraciones de contaminantes que ingresan al mar y sus efectos. Los resultados del estudio servirán a los tomadores de decisiones para hacer propuestas en aras de mejorar y modernizar las normativas ambientales vigentes y promover estrategias que mejoren las prácticas ambientales desde el continente a las instituciones involucradas. Asimismo, se pretende dar a conocer los resultados de esta investigación a la población en general para crear una conciencia y cultura ambiental.

1.3. Justificación

En la región de Mesoamérica, existe una preocupación científica debido al incremento de la intensidad y frecuencia de los eventos de FANs, en los cuales se ven involucrados varios tipos de algas nocivas que afectan la fauna marina y la salud humana.

En Nicaragua, existen pocos estudios de contaminantes en agua y sedimentos marinos costeros, por lo que existe la necesidad de mantener un monitoreo constante y una evaluación sistemática en las costas del pacífico nicaragüense para tomar medidas adecuadas de control y prevención sobre todo de los nutrientes que son los causantes de eutrofización. En este contexto, el presente estudio pretende evaluar la calidad de las aguas y sedimentos en dos playas del Pacífico sur nicaragüense: El Ostional y San Juan del Sur, ya que son sitios donde se reportan al menos un evento de floración algal en los últimos 20 años.

Los resultados obtenidos aportarán a la prevención y mitigación de los impactos de la contaminación que tienen como consecuencia las FANs, y trae con ello la disminución del oxígeno disuelto en el agua y la liberación de toxinas que provocan la muerte de la fauna marina. De esta manera, la conveniencia y la relevancia científica y social de la investigación se centrará en conocer la calidad de las aguas y sedimentos de estas dos playas para monitorear los posibles eventos de floraciones que se puedan presentar, de manera que la investigación sea de utilidad y consulta a nivel nacional y regional, para prevenir los impactos en la biodiversidad marina y poblaciones humanas cercanas que consumen los recursos marinos.

Esta investigación permitirá conocer las condiciones físicas, químicas e hidrobiológicas de las aguas y sedimentos e indagar y profundizar en los tipos de impactos negativos de la contaminación y sobre todo los eventos FANs en los ecosistemas marino-costeros de El Ostional y San Juan del Sur, con la finalidad de contribuir al control, prevención y mitigación de las afectaciones de este fenómeno en la salud pública y en los ecosistemas.

1.4. Objetivos

General:

Evaluar la calidad de las aguas y sedimentos en los ecosistemas marinos costeros de las playas El Ostional y San Juan del Sur, Rivas, usando indicadores físico-químicos y biológicos, durante el período de septiembre 2021 a mayo 2022

Específicos:

1. Medir la calidad físico-química de las aguas de los ecosistemas de las playas El Ostional y San Juan del Sur.
2. Caracterizar la estructura y abundancia fitoplanctónica de los ecosistemas de las playas El Ostional y San Juan del Sur.
3. Analizar la composición fisicoquímica en el sedimento de los ecosistemas marinos de las playas El Ostional y San Juan del Sur.

Capítulo II

2.1. Marco Referencial

2.1.1. Antecedentes

En Costa Rica, existe un estudio sobre FANs, titulado: Identificación taxonómica y distribución espacial de quistes de resistencia de dinoflagelados nocivos, en el Golfo de Nicoya, Puntarenas, Costa Rica, en este se dieron a conocer las áreas de distribución de quistes de resistencia para brindar información para la implementación de futuras actividades productivas. Para la realización del estudio, los investigadores determinaron un total de 21 estaciones de muestreo distribuidas tanto en la parte interna como externa del golfo. Para la determinación de la presencia de quistes recolectaron muestras del sedimento marino con un nucleador por gravedad, luego realizaron análisis de laboratorio. En los puntos de estudio se observaron 6405 quistes de los cuales 4138 tenían contenido celular viable. Se identificaron quistes de *Pyrodinium bahamense var. compressum*, *Alexandrium sp*, *Gyrodinium sp*, *Gonyaulax sp*, *Protoperdinium sp*, *Gymnodinium cf. catenatum* y *Pheopolykrikos sp*. Los investigadores concluyeron que el estudio establece las bases para determinar la ubicación de los semilleros de especies potencialmente tóxicas y nocivas dentro del Golfo de Nicoya (Valerio, 2020).

En Ancash, Perú, el estudio realizado por (Saravia, 2020), titulado “Características físico-químicas del agua de mar asociadas a las floraciones algales en la Bahía El Ferrol en los años 2015-2016”, tuvo como objetivo determinar las características físico-químicas del agua de mar de las Floraciones algales (FA) en la Bahía El Ferrol (Ancash, Perú), la base de datos correspondió a 65 estaciones con muestreos en los meses de setiembre y noviembre del 2015 y marzo y octubre 2016, en los cuales se evaluó la composición de especies, la concentración celular del fitoplancton tóxico y presencia de Floraciones algales nocivas (FANs) y su correlación con los parámetros físicos (temperatura superficial del mar y transparencia) y químicos (pH, oxígeno disuelto, clorofila-a, nitritos, nitratos, silicatos y fosfatos). La investigación demostró que en las estaciones de muestreo se registraron floraciones algales nocivas originadas por las especies, *Skeletonema costatum*, *Leptocylindrus danicus*, *Guinardia flácida*, *Thalassiosira subtilis*, *Akashiwo sanguinea*, *Heterosigma akashiwo*, *Prorocentrum micans*, *P. cordatum* y *Tripos furca*, durante todo el periodo

de estudio. La mayor abundancia de fitoplancton se observó en verano del 2015 por la diatomea *S. costatum*. Se determinó que los factores físicos y químicos: temperatura, transparencia, oxígeno disuelto, pH, nutrientes y clorofila-a, favorecieron la presencia de las floraciones algales.

En Lima, Perú, se realizó un estudio titulado “Variación espacial y temporal del fitoplancton con énfasis en las floraciones algales frente a la playa de pescadores artesanales de Chorrillos”, en donde se evaluó la variabilidad espacial y temporal de las principales comunidades de fitoplancton en tres estaciones de la playa de pescadores artesanales de Chorrillos, en relación con las variables fisicoquímicas. En la investigación se realizaron mediciones *in situ* de temperatura y pH todos los meses durante un año, salinidad y oxígeno disuelto durante medio año. Se colectaron muestras de agua superficial para determinar la composición del fitoplancton. Se identificaron un total de 120 taxas de organismos fitoplanctónicos, pertenecientes a 46 familias y 66 géneros. Se encontraron correlaciones significativas entre las comunidades del fitoplancton y las variables fisicoquímicas. Se determinó que los factores abióticos como: oxígeno disuelto, temperatura, salinidad y pH favorecieron la presencia de las floraciones algales. La existencia de especies de fitoplancton potencialmente tóxico/nocivo sugiere un monitoreo frecuente de las floraciones de algas nocivas (FANs) en la playa de Pescadores Artesanales de Chorrillos (Baylón, Advíncula, Loyola, Norabuena, & Hernández Becerri, 2019).

En Nicaragua, los pocos estudios reportados han sido realizados por el CIRA /UNAN-Managua, se trata de un registro de los eventos de FANs que han ocurrido en el país, especificando que ocurrieron en la Costa Pacífica Norte, uno frente al puerto de Corinto y tres en el Golfo de Fonseca. De estos casos registrados, el más grave fue el evento ocurrido en Corinto, causado por la floración de *Pyrodinium bahamense* (CIRA/UNAN-Managua, 2021).

También existe un estudio titulado: Calidad fisicoquímica, microbiológica y de nutrientes de las aguas de las bahías de El Ostional, La Flor, Escameca y San Juan del Sur, Pacífico nicaragüense, cuyo objetivo fue estimar la calidad fisicoquímica, microbiológica y de nutrientes de las aguas de las bahías antes mencionadas en el período noviembre 2018 - abril 2019; el estudio concluyó que las bahías estudiadas poseen aguas de buena calidad fisicoquímica con base en oxígeno disuelto, pH, DBO₅ y fosfatos, para la preservación de flora y fauna, que oscilan entre aguas de calidad

óptima y aguas de buenas condiciones, desde el punto de vista de los nutrientes (Nitrógeno, Fósforo y Sílice) las bahías presentan aguas oceánicas saludables (García, 2019).

2.1.2. Marco teórico y conceptual

2.1.2.1. Generalidades

a) Ecosistemas marinos y costeros de Nicaragua

En Nicaragua el concepto de manejo de zonas costeras surge a raíz de la necesidad de atender una zona de transición compleja de interrelaciones múltiples y de concentración de amenazas e impactos, cuyo control y mitigación trasciende las competencias de enfoques específicos; la zona marino-costera nicaragüense tiene una extensión de 11,954.5 km² en la parte terrestre que equivalen al 9 % del territorio nacional y 100,456.5 km² de plataforma continental, posee 835 km de litoral, constituyendo el 13 % de las costas litorales de Centroamérica, tiene una extensión de manglares de 749.8 km², 1400 km² de lagunas costeras y estuarios y más de 250 cayos e islas. También están representados los ecosistemas marinos tropicales con extensas áreas de pastos marinos y 454 km de arrecifes de coral, siendo considerados estos los mejores conservados de Centroamérica (MARENA, 2001).

b) Problemática ambiental de las aguas costeras del Pacífico de Nicaragua

La costa del Pacífico de Nicaragua se ha dividido en dos grandes regiones: Pacífico norte, que incluye los departamentos de León y Chinandega, y Pacífico sur, que incluye los departamentos de Managua, Carazo y Rivas. Los ecosistemas más importantes de Nicaragua son los ecosistemas de manglares, estuarios, playas y el ecosistema marino. Los ecosistemas marinos costeros de Nicaragua se encuentran amenazados por actividades que siguen ocurriendo sin criterios ecológicos que permitan su sustentabilidad, la contaminación de las aguas por desechos sólidos y líquidos y otros cambios ambientales que tienen un gran impacto en la biodiversidad marina. Por otra parte, también se ven afectados por la contaminación ya sea por nutrientes, metales pesados, hidrocarburos, sedimentos y organismos patógenos (TNC; MARENA, 2010).

c) Caracterización del municipio de San Juan del Sur

El municipio de San Juan del Sur está ubicado en el departamento de Rivas, es considerado uno de los principales municipios de actividades turísticas y de pesca; se ubica a los 11°15'N y 85°53'O, limita al norte con el municipio de Rivas, al sur con el océano Pacífico, al este con el municipio de Cárdenas y la república de Costa Rica y al oeste con el océano Pacífico. Cabe destacar que este municipio también cuenta con diferentes playas que son muy visitadas por los turistas, las cuales son La Flor, El Naranjo, Marsella y El Ostional (INTUR, 2021).

Clima

El clima del municipio de San Juan del Sur es tropical húmedo y seco, la temperatura media es cálida con valores mayores a 28 °C, la precipitación media anual oscila entre los 1600 mm (INETER, 2020).

Hidrografía

Los ríos que se encuentran en el municipio son: San Juan del Sur, Escameca, Escamequita, La Flor, El Ostional, El Naranjo y Marsella, estos son de mediana a corta trayectoria, con nacientes en la zona serrana, y con cursos rectilíneos que terminan desembocando en el océano Pacífico. Las playas de San Juan del Sur son de las más visitadas del país, por lo que se observa mucha intervención humana en sus costas. La vegetación en algunos sectores como La Flor, Playa Marsella, Playa Madera es aún conservada principalmente en áreas con fuerte pendiente (INTUR, 2021).

En la comunidad de El Ostional, del municipio de San Juan del Sur, se encuentra un bosque de mangle, que es un típico ejemplo de los ecosistemas costeros en el Pacífico sur de Nicaragua; cabe mencionar que la playa de El Ostional se encuentra muy cerca del refugio de vida silvestre La Flor, y aunque en menor medida, también es sitio de anidación de tortugas marinas. Adicionalmente, el bosque de mangle refugia a otras especies faunísticas (aves, monos, mamíferos pequeños) y es una atracción turística que genera ingresos económicos a la población de El Ostional (Calderón, Chow, Pérez, & Bautista Reyna, 2021).

Flora y Fauna

La flora del municipio de San Juan del Sur incluye especies como el Jabillo, Acetuno, Caoba, Pochote, Ceiba, entre otros. Por otra parte, este municipio cuenta con muchas playas las cuales son ricas en especies faunísticas, el mayor referente natural del municipio lo constituye el refugio vida silvestre La Flor, cuya área aproximada es de 800 hectáreas. Este refugio protege recursos únicos de gran valor ecológico y social, entre los que se puede mencionar la protección de las cinco especies de tortugas marinas que anidan en estas playas, (tortuga carey, paslama, tortuga verde, tora o baula y tortuga torita). Además de la gran variedad de especies de tortugas, también se encuentran mamíferos como delfines y ballenas y una gran variedad de aves (INTUR, 2020).

Población

La población actual del municipio de San Juan del Sur es de 16, 040 habitantes para una densidad poblacional de 39 habitantes por km². El 51.5 % de la población es masculina y el 34.0% es menor de 20 años (MINSA, 2022).

Actividades económicas

Según datos de la Alcaldía Municipal de San Juan del Sur, las principales actividades económicas del municipio son: turismo, pesca artesanal e industrial, comercio y producción de mariscos para consumo interno y exportación (Alcaldía Municipal de San Juan del Sur, 2020).

Pesca

La pesca y extracción de mariscos son actividades económicas de gran importancia en el municipio de San Juan del Sur, una parte de la producción es utilizada para el consumo interno y otra para la exportación y comercialización en los sitios turísticos del municipio y otros departamentos a nivel nacional; mediante la práctica de la pesca de mediana altura se obtienen especies de grandes pelágicos como dorados, atunes y tiburones, la principal especie de marisco que se pesca es la langosta verde (*Panulirus gracilis*), en cuanto a los moluscos entre las principales especies que se obtienen están la concha negra, almejas, cambutes y ostras/ostiones; la pesca es una de las principales fuentes de empleo en el municipio, y representa el 33% de la pesca nacional (INPESCA, 2008).

Turismo

El turismo es la actividad económica más desarrollada en el municipio de San Juan del Sur, esta empezó a crecer a partir del año 1851, cuando el departamento de Rivas fue elevado al rango de ciudad, a partir de ese momento empezaron las llegadas constantes de turistas de todas partes del mundo ocasionando el surgimiento de pequeños negocios familiares dedicados a la actividad turística, convirtiendo las viviendas en albergues, tiendas de artesanías, comedores, cibercafés, pulperías, bares, guías, escuelas de español y otras actividades de atención al turista (Cruz Gutiérrez, López Huembes, & Barrios Mairena, 2015).

Actualmente, San Juan del Sur es la segunda ciudad con más hoteles después de la capital Managua. En cuanto al servicio de alimentación, hay 33 restaurantes debidamente certificados ante el INTUR, además de 28 bares. De igual manera, existen otras ofertas turísticas en la ciudad como operadores turísticos que ofrecen excursiones o actividades como buceo, pesca y surf. También ofertan caminatas, canopy, cabalgatas, paisajismo y conducción de vehículos todoterreno. La tipología del turismo que se desarrolla en San Juan del Sur es el de sol y playa; tanto con turistas nacionales como extranjeros; con algunos atractivos eventuales dentro del turismo deportivo y turismo de aventura (Espinoza Vallejos & García Vásquez, 2018).

d) Fuentes de contaminación de las aguas costeras de El Ostional y San Juan del Sur

Uno de los mayores problemas que enfrentan las playas de El Ostional y San Juan del Sur es la contaminación por plásticos, que pueden provocar cambios físicos y químicos en las especies que entran en contacto con ellos, provocando enredos, asfixia, ingestión y muerte.

En el año 2019, investigadores del CIRA/UNAN realizaron un estudio para identificar y cuantificar microplásticos en la arena de las bahías, San Juan del Sur y El Ostional. Los resultados concluyeron que la playa menos contaminada fue la bahía de El Ostional donde no se encontraron microplásticos y la más contaminada fue la bahía de San Juan del Sur, donde se encontraron aproximadamente 304 piezas (4.97 g/m²) (Díaz Domínguez & Sarria Sacasa, 2019).

Otro de los problemas que impactan las aguas marinas de las bahías de El Ostional y San Juan del Sur, es el vertimiento de aguas residuales sin el tratamiento adecuado, lo cual provoca el aumento de nutrientes en el mar causando eutrofización (ENACAL, 2018).

En el año 2022 se inició un proyecto de ampliación y mejoramiento del alcantarillado sanitario y tratamiento de aguas residuales del municipio de San Juan del Sur, entre las principales obras que se ejecutaron están la instalación de 12 km de tuberías, construcción de 289 sumideros, tres estaciones de bombeo y la rehabilitación y mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales (ENACAL, 2022).

e) Caracterización de Sedimentos

Los sedimentos son partículas procedentes de las rocas o el suelo y son susceptibles a ser transportados (agua y viento) y ser depositados a lo largo de cauces, lagos, mar y en la parte baja de las cuencas, sus fuentes pueden ser naturales, como la erosión de la superficie de terreno y los deslizamientos naturales, o artificiales tales como la minería, la deforestación y la agricultura (Caballero Y. , 2021).

Los sedimentos marinos se definen como el depósito final de las sustancias producidas en las aguas superficiales y de aquellas introducidas al mar por procesos naturales y antrópicos. Entre estas sustancias se encuentran los compuestos orgánicos persistentes, nutrientes, combustibles, radionúclidos, patógenos y metales pesados (Váldez & Castillo, 2014).

Los sedimentos se pueden caracterizar por sus componentes físicos y químicos; los físicos incluyen la textura del sedimento (arena, limo o arcilla) y los componentes químicos incluyen las concentraciones de nitrógeno, fósforo y materia orgánica (Caballero Y. , 2021).

La contaminación de los sedimentos puede darse de manera natural o antrópica, ya sea por el arrastre de minerales erosionados a través de las lluvias y aguas fluviales o bien por vertidos domésticos e industriales como la minería, industria textil, entre otras. Los sedimentos pueden actuar como portadores y posibles fuentes de contaminación debido a que retienen contaminantes que pueden provocar cambios en las condiciones ambientales de un cuerpo de agua, alterando los

niveles de pH, potencial redox y oxígeno disuelto, causando un grave daño a la integridad biológica del cuerpo de agua (Rodríguez, 2005).

Los sedimentos marinos son importantes porque albergan indicadores de gran interés como el reciclado de nutrientes provenientes de la columna de agua. Por otro lado, los microorganismos que se encuentran en estos sedimentos son la base de las redes tróficas y, además, producen compuestos necesarios para otros organismos, haciéndolos un elemento clave en el funcionamiento de los ecosistemas marinos (Lanzén, Abad, & Garate, 2015).

f) Calidad de agua

La calidad de las aguas es una variable descriptora fundamental del estado del medio hídrico, tanto desde el punto de vista de su caracterización ambiental, como desde la perspectiva de la planificación y gestión hidrológica, ya que delimita la aptitud del agua para mantener los ecosistemas y atender las diferentes demandas. La calidad de las aguas puede verse modificada tanto por causas naturales como por factores externos; cuando estos factores que degradan la calidad natural de las aguas son ajenos a los factores naturales, se habla de contaminación (Secretaría de Estado de Aguas y Costas del Ministerio de Medio Ambiente, 2000). Para definir la calidad de agua se usan indicadores como índice de estado trófico, WQ, regulaciones nacionales y guías de organizaciones internacionales como USEPA, CCME, etc.

g) Estado trófico

La eutrofización es el enriquecimiento de las aguas superficiales con nutrientes disponibles para las plantas. Si bien la eutrofización se produce en forma natural, normalmente está asociada a fuentes antropogénicas de nutrientes (Moreno Franco, Quintero Manzano, & López Cuevas, 2010).

El estado trófico de un cuerpo de agua da cuenta de su grado de eutrofización, el cual es originado a partir del enriquecimiento de las aguas superficiales con nutrientes (nitrógeno y fósforo principalmente) y estimula el desarrollo de las plantas, las algas y las cianobacterias (Cunha, Calijuri, & Lamparelli, 2013).

El estado trófico se puede medir mediante diversos índices como: Carlson, Aizaki, Karydis etc.

2.1.2.2. Factores que influyen en la calidad de las aguas y sedimentos de las playas del Pacífico sur de Nicaragua, El Ostional y San Juan del Sur

a) Factores físicos

pH: El pH es una medida relativa de la acidez o alcalinidad del agua, esta acidez natural es producida principalmente por el dióxido de carbono (CO_2) y ocurre cuando el pH está entre 4.5 y 8.5. Valores de pH más bajos de 4.5 son debidos a la acidez mineral producida por ácidos fuertes como el Ácido Sulfúrico (H_2SO_4), el Ácido Clorhídrico (HCL) y el Ácido Nítrico (HNO_3); la alcalinidad natural es producida por carbonatos y bicarbonatos y puede llevar los valores de pH hasta 8.3 (Jaramillo, 2005). El agua oceánica es ligeramente alcalina, y el valor de su pH está entre 7.50 y 8.50 y varía en función de la temperatura; si ésta aumenta, el pH disminuye y tiende a la acidez; también puede variar en función de la salinidad, de la presión o profundidad y de la actividad vital de los organismos marinos (Cienfuentes Lemus, Tórrez García, & Frías, 1997).

Conductividad: La conductividad es una medida de la propiedad que poseen las soluciones acuosas para conducir la corriente eléctrica. Esta propiedad depende de la presencia de iones, su concentración, movilidad, valencia y de la temperatura de la medición. Las soluciones de la mayor parte de los compuestos inorgánicos son buenas conductoras. Las moléculas orgánicas, al no disociarse en el agua conducen la corriente en muy baja escala (Suárez, 2006).

Alcalinidad: Es la habilidad del agua para neutralizar los ácidos; la alcalinidad de las aguas naturales se debe principalmente a la presencia de sales de ácidos débiles, en ambientes extremos también pueden contribuir las bases fuertes, por ejemplo, el Hidróxido (OH^-), en agua de mar la alcalinidad es importante ya que ayuda a estabilizar los niveles de pH en el agua (Dunnivant, 2012).

Temperatura: Es uno de los parámetros más importantes de la calidad de agua, por ser un factor que afecta la química del agua y las funciones de los organismos acuáticos. Así mismo, la radiación solar determina la calidad y cantidad de luz y, además, afecta la temperatura del agua. Vertimientos con temperaturas mayores a las del cuerpo de agua receptor interrumpen los procesos biológicos

y reproductivos de las especies acuáticas; ya que pueden acelerar las reacciones químicas, reducir los niveles de oxígeno e influir en la precipitación de muchos compuestos, acelerando la eutrofización del cuerpo de agua (Rentería & Clavijo, 2016).

Oxígeno Disuelto (OD): Es el oxígeno gaseoso disuelto en el agua y es fundamental para la vida de los peces, plantas, algas, y otros organismos; por eso, siempre, se ha considerado como un indicador de la capacidad de un cuerpo de agua para mantener vida acuática (GUEMISA, 2008). Según la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense (NTON) para la clasificación de los recursos hídricos, el OD debe estar por encima de los 4 mg/L, concentración mínima necesaria para sustentar la vida (NTON 05 007-98, 2000).

Potencial Redox: Es una medida efectiva para medir la energía química de oxidación-reducción mediante un electrodo, convirtiéndola en energía eléctrica, se expresa en mili voltios (mV) y nos informa sobre el potencial de oxidación o de reducción (Valls, 2019).

Salinidad: Conceptualmente, la salinidad es la cantidad de sal disuelta del agua. Las sales son compuestos como cloruro de sodio, sulfato de magnesio, nitrato de potasio y bicarbonato de sodio que se disuelven en iones, en agua de mar es un factor importante en la determinación de muchos aspectos de la química de las aguas saladas naturales y de los procesos biológicos dentro de ella (AQUAE, 2013).

Granulometría: Es la distribución por tamaños de las partículas de un suelo o sedimento. Para conocer la distribución de tamaños de las partículas que componen una muestra, se utilizan cedazos o tamices para separarlas. (García Andreu, Saval Pérez, Baeza Brotons, & Tenza Abril, 2009). Mediante la granulometría se determina la textura del sedimento y aporta al tamaño de las partículas (arena, limo o arcilla), normalmente las arenas se miden por su diámetro de tamizado, mientras que los limos y arcillas por su diámetro de sedimentación (Caballero Y. , 2021).

b) Factores químicos

Nutrientes: El incremento de las FANs es provocado por el exceso de nutrientes en el agua, principalmente nitrógeno (N) y fósforo (P), procedentes mayoritariamente de la actividad del

hombre (Iagua, 2018). El Nitrógeno es el componente principal de las proteínas, este es un nutriente esencial para el crecimiento de las plantas y protistos, especialmente de algas. De igual manera, el fósforo, es otro nutriente esencial para el crecimiento de algas y es determinante en el proceso de eutrofización, pues algunas algas pueden suplir la ausencia de N en el agua fijándolo de la atmósfera (Orozco, 2005).

Nitratos: Son compuestos químicos inorgánicos, formados por tres átomos de oxígeno y uno de nitrógeno, no tienen color ni sabor y se encuentran en los suelos y disueltos en agua; las aguas de mar se ven afectadas por la contaminación por nitratos, el vertido de aguas residuales directo al mar a través de cauces o mediante descargas de aguas subterráneas aumenta el exceso de estos en el agua y genera una serie de problemas para el entorno y la biodiversidad de la zona afectada por esa contaminación (Green Peace, 2021).

Nitritos: Son sales que se forman por la unión del ácido nitroso con una base; el nitrito es bastante tóxico para algunos grupos de peces (Nordin & Pommen, 2009).

Nitrógeno amoniacal: Es el nitrógeno presente en forma de amoníaco, el nitrógeno amoniacal se origina de la degradación del nitrógeno orgánico y, este a su vez, por acción bacteriana, se va oxidando gradualmente a nitritos y finalmente a nitratos (González, 2016).

Fósforo Reactivo Disuelto (PRD): Es una medida de la concentración del fósforo biológicamente disponible y por ende de la calidad del cuerpo de agua. Los fosfatos presentan una característica química del agua, que tiene consecuencias directas e indirectas sobre la vida acuática (IDEAM, 2007).

Hierro total: Es el cuarto elemento más abundante en peso que forman la corteza terrestre, en el agua puede estar presente en cantidades variables, dependiendo de la geología del área y otros componentes químicos de la vía fluvial, además, es un elemento esencial requerido para las plantas y animales, y puede ser un factor limitante para el crecimiento de las algas (Office of Water Regulations and Standards Washington, DC, 1986).

Sílice reactivo disuelto: Informa la concentración total de silicio en un cuerpo de agua, sin embargo, puede presentarse como un problema en el agua de mar ya que puede disolverse o quedar suspendido en pequeñas partículas de diámetro pequeño que pueden afectar a la vida acuática, la

cantidad de sílice reactivo disuelto depende fuertemente del pH y su solubilidad es directamente proporcional a la temperatura (Carbotecnia, 2022).

Dióxido de carbono libre: Es el dióxido de carbono que existe en el medio ambiente. Está presente en el agua en forma de gas disuelto. En aguas más profundas, la concentración de CO₂ aumenta a medida que la respiración excede la fotosíntesis, y la descomposición de la materia orgánica agrega CO₂ adicional al agua. Al igual que con el oxígeno, a menudo hay más CO₂ a profundidad porque el agua fría del fondo contiene más gases disueltos, y las altas presiones aumentan la solubilidad (Webb, 2022).

Carbono Orgánico Disuelto (COD): Comprende la porción disuelta de carbón orgánico en el agua (Canadian Natural Resources Limited, 2011).

Materia orgánica: La materia orgánica en los ecosistemas acuáticos brinda información sobre la composición de los sedimentos en los ecosistemas, ya que su presencia revela la actividad de las bacterias, así como la disponibilidad de metales acumulados, los cuales pueden entrar en sus estados más tóxicos debido a la actividad bacteriana, entre ellos porque están relacionados con el aporte de organismos bentónicos y planctónicos al ecosistema (Jacome de Solorzano & Llanos de Bonilla, 1990).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): Se define como la cantidad de oxígeno necesario que los microorganismos, bacterias, hongos y plancton consumen para descomponer la materia orgánica presente en el agua. La DBO también es un indicador de la contaminación en las aguas, ya que cuanto mayor es la DBO más contaminada está el agua (Labomersa, 2021).

Sólidos Suspendedos Totales (SST): Se refieren a pequeñas partículas sólidas que permanecen en suspensión en agua, el tipo y concentración de materia en suspensión controla la turbidez y transparencia del agua, los SST en altas concentraciones restringe el paso de la luz en una columna de agua (CWQG, 2008).

c) Factores biológicos

Bacterias coliformes: El grupo de microorganismos coliformes es adecuado como indicador de contaminación fecal, debido a que estos forman parte del microbiota normal del tracto gastrointestinal, tanto del ser humano como de los animales homeotermos y están presentes en grandes cantidades. Los microorganismos coliformes constituyen un grupo heterogéneo de amplia diversidad en términos de género y especie (Larrea Murrell, Rojas Badía, Romeu Álvarez, Rojas Hernández, & Heydrich Pérez, 2013).

Los coliformes termo tolerantes, denominados así porque soportan temperaturas hasta de 45 °C, comprenden un número muy reducido de microorganismos, los cuales son indicadores de calidad por su origen, en su mayoría están representados por *E. coli*, pero se pueden encontrar de forma menos frecuente las especies *Citrobacter freundii* y *Klebsiella pneumoniae*. Estas últimas forman parte de los coliformes termotolerantes, pero su origen normalmente es ambiental (fuentes de agua, vegetación y suelos) y solo ocasionalmente forman parte del microbiota normal (Sotil Flores, 2017).

Clorofila a: Es un pigmento fotosintético presente en el fitoplancton que le da un color verdoso, la concentración de clorofila a oceánica permite una estimación de la concentración de fitoplancton y, por tanto, de la actividad biológica (Costa, 2014).

Fitoplancton: Son organismos microscópicos que constituyen el primer nivel trófico de los océanos, es decir, son la base que sustenta de manera directa o indirecta la vida del resto de los organismos marinos, además de tener una participación fundamental en el ciclo del carbono. Al ser organismos autótrofos, se encuentran en la zona superficial de los océanos y hasta la región donde penetran los rayos solares; para su supervivencia, estos organismos dependen de diversos procesos fisicoquímicos como son las corrientes marinas, salinidad, disponibilidad de nutrientes o luz, entre otros. Cuando las condiciones son ideales para su desarrollo, el fitoplancton tiende a incrementar su abundancia, causando el fenómeno conocido como florecimiento algal, estos pueden llegar a ser nocivos cuando proliferan especies que producen compuestos de amonio, mucílago, alelopáticos y toxinas marinas (López Magaña, y otros, 2016).

Un Florecimiento Algal Nocivo (FANs), es un incremento explosivo de organismos fotosintéticos, mixótrofos o heterótrofos susceptibles de afectar a otros organismos (incluyendo al hombre) que utilizan el ambiente acuático. Pueden causar intoxicaciones a través de la producción de sustancias químicas (toxinas), alterando la fisiología de los organismos afectados (Delgado, 2016).

Asimismo, (Marampouti, Buma, & de Boer, 2020) describen que: las Floraciones De Algas Nocivas (FANs) son principalmente floraciones de fitoplancton que tienen efectos ambientales y socioeconómicos perjudiciales.

Especies fitoplanctónicas potencialmente tóxicas o nocivas.

De acuerdo con (Edvardsen, Dittami, Groben, Brubak, & Escalera, 2012), las mareas rojas tóxicas son discoloraciones de microalgas productoras de potentes venenos o toxinas endocelulares. Se trata de mareas rojas ictiotóxicas que liberan al medio exotoxinas con propiedades hemolíticas o neurotóxicas, que causan mortandades de peces y otros organismos marinos, como ocurre con las floraciones de *Prymnesium* y *Chrysochromulina polylepis*.

El programa de investigación internacional sobre Ecología Global y Oceanografía de floraciones de algas nocivas, afirma que es prioritario que la composición y abundancia de especies del fitoplancton sean investigadas como un elemento de la calidad del agua en estudios ambientales, ecológicos, oceanográficos y sanitarios. En el primer panel intergubernamental se consideró que el “Bloom” de algas nocivas es un problema global con implicaciones regionales y locales (GEOHAB, 2012).

Los grupos más importantes formadores de FANs son los dinoflagelados, las diatomeas, crisófitas y las cianobacterias. Las especies productoras de las sustancias más tóxicas y con mayor variedad pertenecen al grupo de los dinoflagelados, afortunadamente, se trata de un número reducido de especies. Entre ellas: *Alexandrium catenella*, *Alexandrium excavata*, *Alexandrium tamarense*, *Lingulodinium polyedrum*, *Alexandrium monilatum*, *Gymnodinium catenatum*, *Pyrodinium bahamense*, y *Karenia brevis* (Calvo Vargas & Arguedas Rodríguez, 2012).

Las especies pertenecientes a los géneros *Pseudo-nitzschia* H., *Peragallo*, *Amphora coffeaeformis* y *Nitzschia navis-varingica* han sido reportadas como nocivas toxígenas. Los géneros *Pseudo-*

nitzschia y *Amphora* son los que producen el ácido domóico (AD) que puede causar intoxicaciones humanas y ha sido reportada como causal de muerte de personas, mamíferos y aves marinas, y el vector más común son los moluscos filtradores que tienen la capacidad de acumularla (Sunesen, Bárcena, & Sar, 2009).

2.1.2.3. Estructura comunitaria de fitoplancton

a) Riqueza de especies

La riqueza taxonómica de especies es la medida más simple de la estructura de una comunidad, el recuento del número de especies que existen dentro de ella (Smith & Smith, 2007).

b) Abundancia relativa

La abundancia relativa es descrita como una medida que cuenta todos los individuos de cada especie en una serie de muestras dentro de la comunidad y determina el porcentaje que cada una aporta al número total de individuos de todas las especies, ya que dentro del conjunto de especies que la componen no todas son igualmente abundantes (Smith & Smith, 2007).

c) Índice de diversidad y similitud de especies

Los índices de diversidad son considerados como medidas de la varianza de la distribución de la abundancia de especies (Espinosa, 2019). En cambio, los índices de similitud son una medida de la semejanza de la estructura de dos comunidades (Washington, 1984).

Índice de diversidad de Simpson

El índice de Simpson (D), mide la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar de una muestra pertenezcan a la misma especie. El valor de D oscila entre 0 y 1. En ausencia de diversidad, donde hay solo una especie presente, el valor de D es 1. Cuando la riqueza y la equitatividad de la especie se incrementan, el valor se aproxima a 0, dado que cuanto mayor sea el valor de D , menor es la diversidad (Smith & Smith, 2007).

Índice de diversidad de Shannon-Wiener

El índice de Shannon-Wiener considera que los individuos se muestrean al azar a partir de una población indefinidamente grande en donde todas las especies que componen la comunidad están representadas en la muestra, este índice se representa normalmente como H' y se expresa con un número positivo, que en la mayoría de los ecosistemas naturales varía entre 0.5 y 5, aunque su valor normal está entre 2 y 3; valores inferiores a 2 se consideran bajos en diversidad y superiores a 3 son altos en diversidad de especies (Shannon & Weaver, 1964).

Índice de diversidad de Margalef

Señala la relación entre el número de las especies y el número de individuos. Se basa en la supuesta relación lineal entre el número de especies y el logaritmo del área o el número de individuos (Washington, 1984).

Índice de Similitud de Sorensen

Este índice está basado en la presencia o ausencia de las especies. Se utiliza una lista de especies de los dos sitios de muestreo que serán comparadas (Smith & Smith, 2007).

Índice de similitud % PSC

Este índice compara el número de especies y la abundancia relativa de A y B. El %PSC puede señalar las diferencias estructural-funcionales entre comunidades mejor que Pinkham y Pearson (Washington, 1984).

Índice de similitud de Pinkham and Pearson's (B2)

Pinkham y Pearson, afirman que los índices que examinan la abundancia de especies o las ocurrencias de especies son inadecuados para encuestas de contaminación. Sugieren que al comparar las composiciones de especies simultáneamente, se proporciona un análisis de datos más confiable. Definen X y X_{ib} como el número de individuos en el i -ésimo taxón para las estaciones a y b respectivamente (Washington, 1984).

2.1.3. Marco legal

La región del Pacífico de Nicaragua representa el 15% del territorio nacional, siendo una de las regiones más desarrollada y la más densamente poblada (97 hab/km²), en este litoral se extienden 352 km de costa, donde cada una de las actividades realizadas están en reflejadas en la legislación ambiental de Nicaragua, para fines de este estudio se destacan las siguientes en la tabla 1.

Tabla 1. *Legislación vinculada a la protección de los ecosistemas marino-costeros en Nicaragua*

Ley o Decreto	Nombre de la Ley o Decreto	Número de Gaceta	Fecha de publicación	Artículo de referencia
	Constitución Política de Nicaragua	16	19 de noviembre de 1986	Artículo 60
Ley 217	Ley General del Medioambiente con sus reformas incorporadas	105	6 de junio de 1996	Artículos 98, 99 y 100
Ley 690	Ley para el Desarrollo de las Zonas Costeras	141	4 de junio de 2009	Artículos 1 y 2
Ley 559	Ley especial de delitos contra el medioambiente y los recursos naturales	225	21 de noviembre de 2005	Artículos 7, 20, 21 y 26

Fuentes: (Constitución Política de Nicaragua, 1986), (LEY N. 217, "Ley General del Medio Ambiente con sus reformas Incorporadas", 1996), (LEY No. 690 "Ley para el Desarrollo de las Zonas Costeras", 2009), (Asamblea Nacional, 2005)

2.2. Hipótesis

H1:

La calidad de las aguas y sedimentos de los ecosistemas marinos de las playas de El Ostional y San Juan del Sur, ha sido modificada debido a la presencia de contaminantes físicos, químicos y biológicos, producidos por las actividades humanas.

H2:

La calidad de las aguas y sedimentos de los ecosistemas marinos de las playas de El Ostional y San Juan del Sur, no ha sido modificada por la presencia de contaminantes físicos, químicos y biológicos, producidos por las actividades humanas.

Capítulo III

3.1. Diseño metodológico

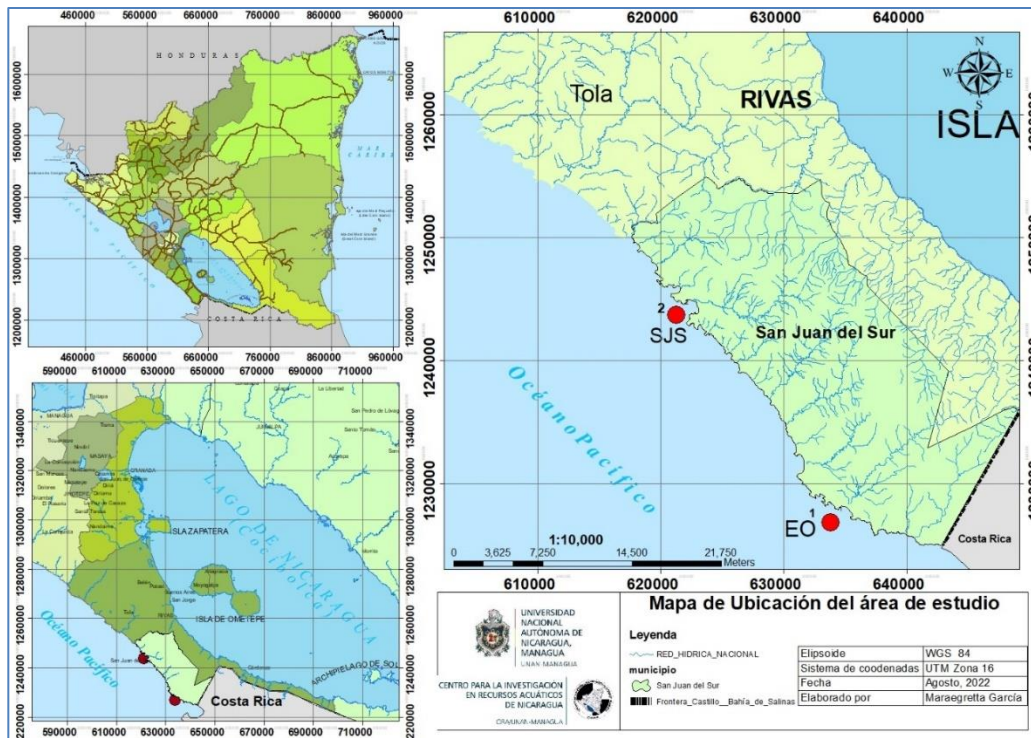
3.1.1. Tipo de estudio

El tipo de estudio es experimental y analítico, de corte espacial y temporal con enfoque cuali-cuantitativo.

3.1.2. Área de estudio

El área de estudio es el pacífico sur (San Juan del Sur, Rivas) comprende dos puntos de muestreo ubicados en la bahía de El Ostional, con las coordenadas 1226814N, 633801E y la bahía de San Juan del Sur, con las coordenadas 1243648N, 621258E (Fig. 1).

Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio y de los puntos de muestreos



3.1.3. Población y muestra

La población está representada por las 60 playas de la costa pacífica sur nicaragüense y la muestra correspondió a la bahía El Ostional y bahía de San Juan del Sur, ambas localizadas en el municipio de San Juan del Sur, departamento de Rivas (Fig. 1).

3.2. Definición y operacionalización de variables (MOVI)

La variable es una propiedad o característica que puede darse o no en ciertos sujetos o fenómenos de estudio, así como mayor o menor grado de presencialidad en los mismos y, por tanto, con susceptibilidad de medición, debe traducirse del nivel conceptual (abstracto) al nivel operativo (concreto), para que sea observable y medible (López S. I., 2000). Operacionalizar una variable, es definir claramente la manera como se observará y medirá cada característica del estudio (Freire, 2019).

3.2.1. Matriz de operacionalización de variables

Tabla 2. Matriz de operacionalización de variables

Objetivos Específicos	Variable	Tipo de variable	Variable Conceptual	Sub variables o Dimensiones	Variable Operativa	Indicador	Técnicas de Recolección de Datos e Información
Objetivo específico 1: Medir la calidad físico-química de las aguas de los ecosistemas de las playas de El Ostional y San Juan del Sur.	Parámetros físico-químicos	Cuantitativa Continua	Parámetros para medir la calidad física del agua Parámetros para medir la calidad química del agua en los ecosistemas marinos de El Ostional y San Juan del Sur	Parámetros físicos y químicos	Medición de los parámetros físico-químicos	Concentraciones de los parámetros fisicoquímicos en agua	Captación de muestras de agua Análisis de parámetros físico-químicos en el laboratorio: pH, conductividad, alcalinidad, Sílice, Hierro Total, NT, nitrato, nitrito, N amoniacal, PT, PRD, DBO, SST CO ₂ , COD, Cl-a,
Objetivo específico 2: Caracterizar la estructura y abundancia fitoplanctónica de los ecosistemas de las playas de El Ostional y San Juan del Sur.	Composición y abundancia de la comunidad del fitoplancton	Cuantitativa Continua	Composición fitoplanctónica en los ecosistemas marinos de las playas El Ostional y San Juan del Sur.	Poblaciones de microalgas existentes	Identificación de las especies fitoplanctónicas existentes en las aguas marinas.	N.º de especies en las muestras	Captación de muestras de agua. Análisis de laboratorio: Fitoplancton: cualitativo y cuantitativo
Objetivo específico 3: Analizar la composición físicoquímica en el sedimento de los ecosistemas marinos de las playas de El Ostional y San Juan del Sur.	Parámetros fisicoquímicos	Cuantitativa Continua	Parámetros para medir la calidad física de los sedimentos Parámetros para medir la calidad química en sedimentos en los ecosistemas marinos de El Ostional y San Juan del Sur	Parámetros físicos y químicos Composición físicoquímica de los sedimentos en los ecosistemas	Medición del grado de contaminantes existentes en los sedimentos marinos	Concentraciones de los parámetros fisicoquímicos.	Captación de muestras de sedimentos Análisis de laboratorio: Granulometría, PT, NT, Materia Orgánica, Porcentaje de Humedad

3.3. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

En este estudio, se utilizó el método cuali-cuantitativo, ya que se recolectaron muestras y analizaron datos que se expresan en forma numérica.

El proceso de investigación incluyó la toma de muestras en dos puntos, durante los dos periodos estacionarios (lluvioso y seco), en diferentes fechas, durante estas actividades se capturaron muestras de agua marina de 5m e Integral de zona fótica para los análisis físico-químicos y biológicos. También se tomaron muestras de sedimentos para análisis físico-químicos. Se aplicaron técnicas propias de la investigación cuantitativa como son la observación directa y el análisis de datos.

Los instrumentos que se utilizaron en campo se describen en la tabla 3 y los utilizados en laboratorios en la tabla 4.

Tabla 3. Instrumentos utilizados en campo

Instrumento	Uso
Sonda Multiparamétrica Water Quality YSI modelo 45 Thermo Scientific	Medición de parámetros fisicoquímicos <i>In situ</i>
GPS Marca Garmin	Ubicación geográfica de los puntos de muestreo UTM
Envases de plástico y vidrio de diferentes volúmenes	Guardar las muestras
Draga Van Veen Capacidad de 2 kg	Extracción de sedimentos
Hielera portátil	Almacenamiento de muestras
Botella de Van Dorn Vertical	Toma de muestra de agua
Balde (5 gal)	Toma de muestra de agua
Formatos de campo	Anotar datos <i>In situ</i>
Preservantes (Lugol y H ₂ SO ₄)	Conservación de muestras
Guantes	Seguridad e higiene
Lapiceros	Etiquetado
Libreta de anotación	Registro de datos
Cámara fotográfica	Fotos de colecta de las muestras y el entorno ambiental

Tabla 4. *Instrumentos utilizados en laboratorio*

Instrumento	Uso
pHmetro	Medición de pH y Alcalinidad
Espectrofotómetro Perkin Elmer Modelo Lambda 365	Medición de Nitrito, Amonio, Fósforo reactivo disuelto y Fósforo total
Cromatógrafo de Iones Thermo Scientific Dionex Modelo ICS 900	Medición de Nitrato
Espectrofotómetro UV-Visible	Determinación de Hierro total, Sílice reactivo disuelto, Dióxido de carbono libre, Clorofila-a, Fósforo total
Medidor electroquímico avanzado Marca Thermo Orion Modelo Versa Star	Determinación de Dióxido de carbono libre
Microscopio compuesto	Fitoplancton cualitativo
Microscopio invertido	Fitoplancton cuantitativo
Tamices	Determinación de textura de sedimentos
Digestor y Destilador	Determinación de Nitrógeno total Kjeldahl
Horno desecador	Análisis de porcentaje de humedad y materia orgánica
Balanza analítica	Peso de muestra para su posterior análisis
Cabinas de Seguridad Biológica LABCONCO 36204/36205M Type A/B3,	Coliformes termotolerantes
Incubadoras Precisión/Lab-line/ Imperial	Determinación de DBO ₅
Conductímetro	Medir Conductividad eléctrica
Cristalería	Procesos analíticos

3.4. Procedimientos para la recolección de datos e información

3.4.1. Recolección de muestras

La recolección de muestras se realizó en dos puntos de interés, se realizaron cuatro muestreos, dos en el periodo seco y dos en el periodo lluvioso, en los meses de septiembre y noviembre de 2021 y de enero y mayo de 2022, respectivamente.

Las muestras se recolectaron siguiendo los métodos y técnicas según lo establecido en los Manuales de Procedimientos Operativos del Control de Calidad de los Laboratorios del CIRA/UNAN-Managua.

La recolección de muestras de agua se realizó utilizando una botella de Van Dorn, almacenando las muestras de agua en recipientes de plástico y vidrio, para la recolección de sedimentos se hizo uso de una draga Van Veen, con capacidad de 2 kg, las muestras se almacenaron en bolsas plásticas, un aproximado de 1.5 kg de sedimento.

Para la colecta de muestras de fitoplancton, se colectaron tres submuestras por sitio las cuales fueron preservadas con lugol. Todas las muestras fueron conservadas en refrigeración para su posterior análisis en los laboratorios.

3.4.2. Recolección, preservación y almacenamiento de las muestras

En la tabla 5 se indica el tipo de recipientes que se utilizaron en la recolección de las muestras, así como el volumen de muestra que se captó y la preservación adecuada para ser trasladadas al laboratorio.

Tabla 5. *Recipientes utilizados para la recolección y conservación de muestras*

Tipo de análisis	Tipo de recipiente	Volumen mínimo de muestra (ml)	Preservación ($\leq 6^{\circ}\text{C}$)
pH	Plástico	50	Refrigerar
Conductividad	Plástico	500	Refrigerar
Alcalinidad total	Plástico	100	Refrigerar
Nitrato	Plástico	500	Analizar lo antes posible, refrigerar
Nitrito	Plástico	500	Analizar lo antes posible, refrigerar
Fosfato	Plástico	100	Analizar el mismo día o almacenar en lo oscuro hasta 24 h; refrigerar
Sílice reactiva disuelta	Plástico	200	Refrigerar, no congelar
DBO ₅	Plástico	1000	Refrigerar
Sólidos Suspendidos Totales	Plástico	1000	Refrigerar
Amonio	Plástico	500	Analizar tan pronto como sea posible o agregar 1ml de H ₂ SO ₄
Nitrógeno Total	Plástico	500	Refrigerar
Fósforo Total	Plástico	500	Refrigerar
Hierro Total	Vidrio	500	Agregar 1 ml de HNO ₃ por cada litro de muestra hasta pH <2, refrigerar
Dióxido de Carbono libre	Vidrio	200	Refrigerar
Carbono Orgánico disuelto	Vidrio	500	Refrigerar
Coliformes termo tolerantes	Plástico	1000	Refrigerar
Clorofila-A	Plástico	100	Refrigerar
Fitoplancton Cualitativo	Plástico	100	Refrigerar
Fitoplancton Cuantitativo	Plástico	500	Agregar 3 ml de Lugol Refrigerar

3.4.3. Procedimientos analíticos

Los análisis físico-químicos, hidrobiológicos y microbiológicos fueron realizados en los laboratorios del CIRA/UNAN-Managua, de acuerdo con los procedimientos establecidos en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA; AWWA; WEF, 2017a).

3.4.3.1. Metodología analítica fisicoquímica y biológica utilizada en los análisis de calidad de agua

En la tabla 6 se muestran los métodos de análisis fisicoquímicos y biológicos realizados en las muestras de agua.

Tabla 6. *Parámetros y métodos de análisis fisicoquímicos y biológicos realizados en las muestras de agua*

Análisis	Métodos analíticos	Referencias
pH	Potenciometría	4500-H B ¹
CE	Conductimetría	2510 B ¹
Alcalinidad total	Potenciometría	2320.B ¹
Nitrógeno Total	Segunda derivada de espectroscopia UV	Segunda Derivada ²
Nitrato	Cromatografía Iónica	4500-NO ₃ .B ¹
Nitrito	Espectrofotometría UV-Vis	4500-NO ₂ .B ¹
Amonio	Método del Fenato	4500 NH ₃ .F ¹
Fósforo total	Ácido Ascórbico	4500-P B.E ¹
Fósforo reactivo disuelto	Ácido Ascórbico	4500-P.B1-E ¹
Hierro Total	Espectrofotometría UV-Vis	3500-Fe B ¹
SST	Gravimetría	2540.D ¹
Sílice reactivo disuelto	Espectrofotometría UV-Vis	4500-SiO ₂ C ¹
DBO ₅	Prueba de 5 días	5210.B ¹
Dióxido de Carbono libre	Potenciometría	4500-CO ₂ C ¹
Carbono orgánico disuelto	Espectrofotometría UV-Vis	UV 254 nm ¹
Coliformes tolerantes	Termo NMP/100ml	9221 B ¹
Clorofila-a	Espectrofotometría UV-Vis	10200 Cl-a ¹
Fitoplancton cualitativo y cuantitativo	Método de Observación directa y método de Abundancia Numérica y Biomasa (Biovolumen) y Biomasa Peso-Húmedo	10200 – Plancton ¹

¹ (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2017)

² (Nitrate and Organic N Analyses with Second-Derivative Spectroscopy, 1992)

Procedimientos analíticos para la determinación de:

- *pH*

Método: Potenciométrico

Equipo: pH-metro portátil marca OAKON modelo Test R30

Procedimiento: Se calibró el electrodo con las soluciones buffers de pH 4.00, 7.00 y 10.00.

Una vez calibrado el pH-metro, se sumergió aproximadamente 2 cm del electrodo en cada una de las muestras de agua, al estabilizarse la lectura se anotaron los valores.

- *Conductividad eléctrica*

Método: Conductimetría

Equipo: Conductímetro marca Termo Orion modelo 150 A+

Procedimiento: Para realizar la lectura de la conductividad eléctrica, se hizo uso de un conductímetro, posteriormente se calibró el equipo con una solución de Cloruro de Potasio (KCl) 0.01N, hasta llegar a una lectura de 1419 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Una vez calibrado, se sumergió el electrodo en cada una de las muestras de agua, al estabilizarse la lectura se anotaron los respectivos valores.

- *Alcalinidad*

Método: Titulación Potenciométrica

Equipo: pH metro portátil marca OAKON modelo Test R30, agitador magnético

Procedimiento: Se calibró el electrodo con las soluciones de los buffers de pH 4.00, 7.00 y 10.00.

En beakers de 250 ml se agregaron fracciones de las diferentes muestras, luego se agregó 0.1 ml de indicador verde de bromocresol a cada muestra. Acto seguido se sumergió el electrodo del pH-metro dentro de las muestras.

A continuación, se titularon las muestras con la solución estándar de Ácido Sulfúrico. Se utilizó un agitador magnético durante la valoración de las muestras. Se anotó el valor de H_2SO_4 gastado en la titulación de cada muestra.

Seguidamente, se agregaron dos gotas del indicador de fenolftaleína a las muestras contenidas en los beakers, se titularon nuevamente con solución de H_2SO_4 0.02N, hasta que viraron de color rosado a incoloro, se registró el valor de ácido gastado en cada muestra.

- *Sílice reactivo disuelto*

Método: Espectrofotometría UV-Vis

Equipo: Espectrofotómetro UV-Vis

Procedimiento: 50 ml de las muestras fueron previamente filtradas, posteriormente se vertieron en tubos Nessler de 50 ml. Seguidamente, se agregaron 1 ml de HCl concentrado y 2.0 ml de Heptamolibdato de amonio a cada muestra y se procedió a mezclar por inversión dos veces.

Posteriormente, se agregaron 2.0 ml de ácido oxálico y se mezcló por inversión dos veces. Se dejó reposar por dos minutos e inmediatamente se realizaron las lecturas en el espectrofotómetro UV-Vis a una longitud de onda de 410 nm con un trayecto de luz de 1 cm como mínimo.

- *Nitrógeno total (NT):*

Método: Método de la Segunda Derivada con digestión previa.

Equipo: Espectrofotómetro Perkin Elmer Modelo Lambda 365.

Procedimiento: Se vertieron 10 ml de las muestras en tubos de ensayo de 25 ml con tapones de rosca o teflón, seguidamente se agregaron 0.5 ml de hidróxido de sodio (NaOH) 1N a las muestras.

Seguidamente, se añadieron 1.5 ml de reactivo oxidante de persulfato de potasio al 6 % a los tubos de ensayo, se cerraron y se agitaron.

Las muestras se digestaron hasta alcanzar una temperatura de 120 °C, hasta que la presión alcanzó aproximadamente 247-250 °F y se dejaron enfriar para leerlas a continuación.

Después de que las soluciones estuvieran frías, se acidificaron con 0,2 ml de ácido clorhídrico concentrado y se mezclaron bien.

Se procedió a realizar las lecturas en el espectrofotómetro Perkin Elmer, con el método SCAN en el archivo de N-total.

- ***Nitrógeno amoniacal:***

Método: Método del Fenato.

Equipo: Espectrofotómetro Perkin Elmer Modelo Lambda 365.

Procedimiento: Se calibró el pH de las muestras entre 7.6 a 7.8 unidades, haciendo uso de Hidróxido de Sodio 0.1N o Ácido Sulfúrico 0.1N según corresponda.

Seguidamente, se pipetearon 25 ml de la muestra y se colocaron en Erlenmeyers de 50 ml. Posteriormente, se agitaron haciendo uso de un agitador magnético, para que las muestras se mezclaran completamente con los reactivos. Seguidamente, se agregó a cada muestra 1 ml de la solución alcohólica de fenol y 1 ml de la solución de Nitroprusiato de Sodio. Luego se agregaron 2.5 ml de solución oxidante y se cubrieron los Erlenmeyer con parafina.

Se dejó desarrollar el color a temperatura ambiente, protegido de la luz por una hora. Se efectuó la lectura en el espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 365 a 640 nm de longitud de onda.

- ***Nitrato (NO_3^-)***

Método: Cromatografía iónica con supresión química.

Equipo: Cromatógrafo de iones Thermo Scientific Dionex Modelo ICS 900.

Procedimiento: Se estableció el equilibrio del sistema del cromatógrafo de iones, bajo este principio se calibró el equipo y se inyectaron las muestras. Se procedió a realizar las lecturas.

Para el análisis de Nitratos no es necesario realizar un pretratamiento de las muestras.

- ***Nitrito (NO_2^-)***

Nombre del método: Método colorimétrico.

Equipo utilizado: Espectrofotómetro Perkin Elmer Modelo Lambda 365.

Procedimiento: Se pipetearon 50 ml de las muestras y se depositaron en Erlenmeyers de 125 ml. Seguidamente, se añadieron 2 ml de reactivo de color y se mezclaron, se dejaron reaccionar entre 15 minutos y 2 horas como máximo.

Posteriormente, se efectuaron las lecturas en el espectrofotómetro, a una longitud de onda de 543 nm, con un trayecto de luz de 1 cm para obtener la lectura de nitrito.

- ***Fósforo total***

Método: Ácido ascórbico.

Equipo: Espectrofotómetro Perkin Elmer Modelo Lambda 365.

Pretratamiento de la muestra: Se agregaron 50 ml de las muestras en matraces Erlenmeyer y se les adicionó 1 ml de ácido sulfúrico concentrado y 5 ml de ácido nítrico concentrado.

Procedimiento: Se colocaron los Erlenmeyer en platos de calentamiento (bajo campana) a digerir. Se dejaron hasta que la solución se decoloró por la remoción de ácido nítrico.

Se dejaron enfriar y luego se les agregaron 5 ml de agua destilada. Posteriormente, se añadieron 0.05 ml de Fenolftaleína e hidróxido de Sodio 6N, hasta que se produjo un color rosado débil. Se titularon con ácido sulfúrico concentrado manteniéndolo en agitación. Se agregó agua destilada hasta la marca de 50 ml.

Seguido, se vertieron las muestras digeridas y neutralizadas en tubos Nessler de 50 ml hasta la marca y se añadieron 8 ml de reactivo combinado. Las muestras se tornaron de color azul.

Se procedió a efectuar las lecturas en el espectrofotómetro Perkin Elmer Modelo Lambda 365.

- ***Fósforo reactivo disuelto (PO_4^{3-})***

Método: Método del ácido ascórbico.

Equipo: Espectrofotómetro Perkin Elmer Modelo Lambda 365.

Procedimiento: Se vertieron las muestras previamente filtradas en tubos Nessler de 50 ml hasta la marca. Seguidamente, se añadieron 8 ml de reactivo combinado. Se colocaron los tapones de hule y se mezclaron invirtiendo el tubo de dos a tres veces. Se procedió a realizar las lecturas.

- *Hierro total*

Método: Método de la Fenantrolina

Equipo: Espectrofotómetro UV-Vis

Procedimiento: Se midieron 50 ml de las muestras, previamente agitadas, y se colocaron en matraces Erlenmeyers de 125 ml. Seguido, se agregaron 2 ml de ácido clorhídrico concentrado y 1 ml de solución de Hidroxilamonio cloruro.

Se añadieron perlas de ebullición y se colocaron las muestras a hervir hasta que el volumen se redujo de 15 a 20 ml. Se dejaron enfriar las muestras a temperatura ambiente, y luego se transfirieron a un matraz volumétrico de 100 ml. Se vertieron 10 ml de solución tampón y 4 ml de solución de fenantrolina hasta que se diluyó. Se mezclaron bien las muestras y se dejaron en reposo por 10 minutos hasta que se desarrolló el color al máximo.

Se procedió a realizar la lectura en el espectrofotómetro a una trayectoria de luz de 510 nm para realizar la medición fotométrica. Se leyeron los estándares con el agua ajustada a absorbancia cero y se trazó una curva de calibración incluido un blanco. Se utilizaron los blancos preparados para ajustar el fotómetro a absorbancia cero y se procedió a leer el hierro total en las muestras.

- *Demanda bioquímica de oxígeno*

Método: DBO₅ Incubación de cinco días

Equipo: Botellas de incubación para DBO₅, Incubadora

Procedimiento: Se preparó el agua de la dilución y se colocó la cantidad de agua necesaria en una botella, se agregó por cada litro 1 ml de las soluciones tampones de Fosfato de Magnesio, Cloruro de Calcio y Cloruro de Hierro (III).

Se llenaron las muestras de DBO con agua de dilución, se determinó el OD inicial, luego se procedió a incubar la muestra por 5 días a 20 °C en la oscuridad. Se midió la concentración de OD

antes y después de la incubación, es importante medir el OD, ya que el consumo de OD corresponde a la demanda bioquímica de oxígeno.

- ***Carbono orgánico disuelto***

Método: Espectrofotometría UV-Vis

Equipo: Espectrofotómetro UV-Vis

Procedimiento: Se filtraron 100 ml de la muestra utilizando un filtro de fibra de vidrio Whatman 934 AH de 1.5 μm y se depositaron en un frasco de vidrio color ámbar, para protegerlo de la luz, cerrado cuidadosamente.

Se efectuó la lectura en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 254 nm.

- ***Sólidos Suspendedos Totales (SST)***

Nombre del método: Gravimetría

Procedimiento: Se agitaron las muestras con un agitador magnético hasta que se homogeneizaron, siempre en agitación se pipeteó un volumen medido de las muestras sobre un filtro de fibra de vidrio asentado. Se lavó el filtro tres veces con 10 ml de agua de grado reactivo, permitiendo un drenaje completo entre lavados. Se continuó aspirando durante tres minutos aproximadamente, después de que se completó la filtración.

Se retiró el filtro con cuidado y se colocó sobre una bandeja de pesaje de aluminio como apoyo. Se retiró el crisol, posteriormente, se dejó secar en una estufa a una temperatura de 103 a 105 °C por 1 hora, seguidamente, se dejó enfriar en un desecador para equilibrar la temperatura y pesar. El ciclo de secado y pesaje se repitió hasta obtener un peso constante.

- ***Coliformes Termo tolerantes (CTT)***

Método: Número más probable

Equipo: Cabinas de Seguridad Biológica LABCONCO 36204/36205M Type A/B3, Unidad de Filtración Sartorius, Incubadoras Precision/Lab-line/ Imperial.

Procedimiento: Se agitaron suavemente los tubos de fermentación utilizando una gasa estéril de 3 cm de diámetro y se transfirió el crecimiento de cada tubo de fermentación presuntual al caldo EC.

Posteriormente, se incubaron los tubos de caldo EC inoculados en un baño de agua dentro de los 30 minutos posteriores a la inoculación.

Se mantuvo una profundidad del agua deficiente en la profundidad del agua de la incubadora para sumergir los tubos hasta el nivel superior del medio.

Luego, se procedió a realizar el conteo.

- ***Fitoplancton***

Análisis Cualitativo del fitoplancton

Método: Método de observación directa.

Equipo: Microscopio compuesto.

Procedimiento: Se colocó una gota de las muestras de fitoplancton en portaobjetos. Se taparon con un cubreobjeto.

Posteriormente, se pusieron cada una de las muestras sobre la platina del microscopio compuesto y se realizó la observación directa e identificación de menor a mayor magnificación.

Se prepararon los montajes necesarios, hasta identificar todas las taxas existentes. Para identificar las taxas se utilizaron claves y guías actualizadas con fotos, dibujos e información ecológica.

Análisis cuantitativo del fitoplancton.

Método: Biovolumen.

Equipo: Microscopio invertido

Procedimiento: Se sedimentó la muestra y se trasladó a la cámara de sedimentación del microscopio invertido. Posteriormente, se procedió a contar los microorganismos contenidos en el transecto, deslizando de arriba hacia abajo y de derecha a izquierda.

- *Clorofila-a*

Método: Espectrometría UV-VIS

Equipo utilizado: Espectrofotómetro UV-Visible

Procedimiento: Se filtraron las muestras en filtros de fibra de vidrio a partir de un volumen conocido de las muestras que fueron extraídas con etanol (96 %) en un período de 6 a 24 horas.

Posteriormente, se colocaron las muestras en agitación y luego fueron centrifugadas y decantadas. Seguidamente, los extractos clarificados se depositaron en tubos de ensayo, protegidas de la luz.

Se procedió a efectuar la lectura en el espectrofotómetro UV-Vis a 665 nm y 750 nm antes y después de la etapa de acidificación.

3.4.3.2. Análisis fisicoquímicos en sedimentos

En la tabla 7 se muestran los análisis fisicoquímicos realizados en los sedimentos.

Tabla 7. Análisis fisicoquímicos en sedimentos

Parámetro	Método	Límite o rango de detección
Porcentaje de Humedad	Gravimétrico ¹	0.1 % a 99 %
Granulometría	Norma Austriaca L - 1061 – 88 ²	0. % 100 %
Materia orgánica	Walkey y Black ³	0.1 % a 13.13 %
Fósforo total	Ácido Ascórbico ⁴	0.01 mg. g
Nitrógeno total	Kjeldhal ⁵	0.028 %

¹ (Procedimiento Operativo Normalizado de Determinación de Porcentaje de Humedad en Suelos y Sedimentos mediante el Método Gravimétrico, 2013)

² (Procedimiento Operativo Normalizado para Análisis de Granulometría de Suelos y Sedimentos según la Norma Austriaca L-1061 - 88, 2008)

³ (Procedimiento Operativo Normalizado para la Determinación de Materia Orgánica por el método de Walkey y Black, 2022)

⁴ (Procedimiento Operativo Normalizado de Determinación de Fósforo Total en Sedimentos mediante el Método del Ácido Ascórbico, 2011)

⁵ (Procedimiento Operativo Normalizado de Determinación de Nitrógeno Total en suelos y sedimentos por el método Kjeldahl, 2011)

Procedimientos

- ***Porcentaje de humedad***

Método: Gravimétrico

Equipo: Tamiz de 0.200 mm, Balanza analítica, cápsulas de porcelana

Procedimiento: Se pesaron las cápsulas de porcelana limpias y secas en una balanza analítica y se anotó el valor de su masa. Seguidamente, se pesaron 20 g de las muestras de sedimento.

Se colocaron las cápsulas con las muestras en un horno a 105 °C durante 24 horas. Se sacaron del horno utilizando pinzas y se colocaron en un desecador hasta que se enfríen.

Se pesaron nuevamente las cápsulas con las muestras en la balanza analítica a peso constante. Se llevaron nuevamente las cápsulas al horno por un periodo de 6 horas a 105°C, y se pesaron nuevamente.

Se calculó el porcentaje de humedad por diferencia de peso.

Para los análisis de granulometría, materia orgánica, nitrógeno total y fósforo se realizó el siguiente pretratamiento:

Se colocaron las muestras de sedimento en bandejas y se dejaron secar completamente, una vez secas se trituraron haciendo uso de un mortero y pilón. Posteriormente, se colocaron en bolsas con su respectivo código para proceder a realizar los análisis.

- ***Granulometría***

Nombre del método: Norma Austriaca L - 1061 – 88

Equipo: Tamices de 0.60 mm, 0.20 mm y 0.063 mm, Pipeta Köhn

Procedimiento: Se pesaron 10 g de las muestras de sedimentos y se colocaron en beakers de 600 ml, se humedecieron las muestras con agua desionizada. Seguidamente, se añadieron 50 ml de peróxido de hidrógeno al 15 % evitando la formación de espuma.

Seguidamente, las muestras fueron llevadas a evaporación a baño María, a una temperatura de 80 °C a, hasta sequedad, luego se le añadieron 25 ml de pirofosfato de sodio decahidratado y se dejaron en reposo una noche.

Posteriormente, se agitaron las muestras con un agitador de partículas por 3 minutos, luego se dejó en reposo por un minuto y nuevamente agitación por 3 minutos.

Se procedió a pasar las muestras por tamices de 0.600, 0.200 y 0.063 mm para conocer el porcentaje de arena gruesa, media y fina. Las muestras de fracciones de arena gruesa, media y fina se colocaron en cápsulas y se llevaron al horno por una noche.

y se colocó el restante de las muestras mezclada con agua destilada en probetas de 1 litro, y se aforaron con agua destilada. Es importante mencionar que los restantes de las muestras mezclada con agua destilada no excedieron el litro en las probetas.

Para medir el porcentaje de limo grueso, medio, fino y arcilla se utilizó la pipeta Kohn.

Se pipeteó 3 veces, 50 ml de las muestras y se colocaron en cápsulas, estas se llevaron al horno una noche.

Por último, se colocaron todas las muestras de arena, limo y arcilla en un desecador hasta que enfriaron y se procedió a pesar en una balanza analítica. Se procedió a realizar los cálculos.

- ***Materia orgánica***

Método: Walkley-black

Equipo: Erlenmeyers, campana extractora de gases, bureta.

Procedimiento: Se pesaron 0.5 g de las muestras de sedimentos en matraces Erlenmeyer de 500 ml, seguido, se añadieron 10 ml de Dicromato de potasio 1N a las muestras.

Bajo campana se agregaron 20 ml de ácido sulfúrico concentrado a las muestras par posterior agitación. Se dejaron en reposo por 30 minutos.

Después de reposo, se añadieron 200 ml de agua desionizada a las muestras, así como 10 ml de ácido fosfórico concentrado y 0.2 g de fluoruro de sodio; se procedió a valorar la solución con

Sulfato ferroso amoniacal, haciendo uso de una bureta de 50 ml, mientras la muestra estaba en agitación.

Seguido, se agregó 1 ml de indicador de difenilamina a las muestras, estas cambiaron de color anaranjado a azul oscuro, se valoraron nuevamente hasta que viraron de color azul oscuro a verde oscuro.

Se anotó el porcentaje de ácido gastado en ml de Sulfato ferroso amoniacal y se procedió a realizar los cálculos.

- ***Nitrógeno total***

Nombre del método: Kjeldahl

Equipo: Digestor, Destilador

Procedimiento: Se pesaron 0.5 g de las muestras de sedimento secado y molido y se les agregó 0.01 g de mezcla de selenio radioactivo más 15 ml de ácido sulfúrico 1:1N.

Se llevaron las muestras a digestión por 7 horas en un digestor para nitrógeno total.

Después de la digestión, se colocaron las muestras en tubos de ensayo Nessler y se llevaron a un destilador de nitrógeno total Kjeldahl, y se recogió el hidróxido de amonio liberado durante la destilación en matraces Erlenmeyer de 250 ml, en los cuales se agregaron 50 ml de ácido bórico y 4 gotas de indicador mixto. Las muestras tomaron un color verde esmeralda.

Posteriormente, se valoró la solución con ácido sulfúrico concentrado 0.02 N hasta que las muestras cambiaron de color verde esmeralda a rosado bajo. Se anotó el valor de ácido gastado y se procedió a realizar el cálculo.

- ***Fósforo total***

Método: Ácido Ascórbico

Equipo: Espectrofotómetro UV-Visible

Procedimiento: Se pesaron 2.5 g de las muestras de sedimentos previamente y molidos en matraces Erlenmeyer de 125 ml, seguido, se agregaron 50 ml de bicarbonato de sodio 0.5 N.

Las muestras se colocaron a agitación mecánicamente durante 30 minutos, inmediatamente acabó el tiempo de agitación se filtraron en matraces Erlenmeyer de 50 ml.

Seguido, se le añadió a cada muestra filtrada 15 ml de molibdato de amonio y ácido ascórbico, y se agitaron para expulsar el dióxido de carbono.

Se procedió a realizar la lectura en el espectrofotómetro UV-Vis a una longitud de onda de 880 nm.

3.4.3.3. Índices de estado trófico utilizadas

Para determinar el estado trófico de las bahías de El Ostional y San Juan del Sur se utilizaron los siguientes índices:

Índice de Carlson o índice de estado trófico (IET): El modelo de Carlson propuesto en 1977 emplea la concentración de fósforo total y clorofila-A para obtener la ecuación que determina el Índice de Estado Trófico IET (Orquera & Cabrera, 2020). La escala de valores de eutrofización se muestra en la Tabla 8.

Las ecuaciones para determinar el estado trófico según Carlson son:

Fósforo Total (*PT*):

$$TSI_{Pt} = 14.42 \ln (Pt) + 4.15 \quad (\text{Ecuación 1})$$

Clorofila-a (*Clorf-a*):

$$TSI_{ClorfA} = 9.81 \ln (Clorfa) + 30.6 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Índice de Aizaki: Este modelo fue propuesto en 1981 y es una modificación al IET planteado por Carlson donde incluye coeficientes específicos para los elementos que integran la ecuación de estado trófico (Orquera & Cabrera, 2020) y la escala de valores de eutrofización se muestran en la Tabla 8.

Fósforo Total (*PT*):

$$TSI_{Pt} = 10 * \left(2.46 + \left(\frac{6.68 - 1.15 \ln(Pt)}{\ln 2.5} \right) \right) \quad (\text{Ecuación 3})$$

Clorofila-a (*Clorf-a*):

$$TSI_{Pt} = 10 * (2.46 + \left(\frac{\ln(\text{Clorofa})}{\ln 2.5}\right)) \quad (\text{Ecuación 4})$$

Tabla 8. Escala de Valores del estado trófico en los cuerpos de agua según Carlson y Aizaki

Estado de Eutrofia	TSI	Ds (m)	PT (mg/m3)	Clorf-a (mg/m3)
	0	64	0.75	0.04
	10	32	1.5	0.12
Oligotrófico (ITP < 30)	20	16	3	0.34
	30	8	6	0.94
	40	4	12	2.6
Mesotrófico (30 < IET < 60)	50	2	24	6.4
	60	1	48	20
Eutrófico (60 < IET < 90)	70	0.5	96	56
	80	0.25	192	154
	90	0.12	348	427
Hipereutrófico (90 < IET < 100)	100	0.06	768	1183

Fuente: Carlson (1977; 1980) y Aizaki (1981)

3.4.3.4. Ecuaciones de los índices de diversidad y similitud aplicadas

Los índices que se aplicaron en esta investigación fueron:

Índice de diversidad de Simpson

$$D = \frac{\sum_{i=1}^S n_i(n_i-1)}{N(N-1)} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

S = Número de especies

N = Total de organismos presentes (o unidades cuadradas)

n = Número de ejemplares por especie

Índice de diversidad de Shannon-Wiener

$$H' = \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i \text{ (Ecuación 6)}$$

Donde:

S = Número de especies

p_i = Abundancia relativa de cada especie

i = Número de individuos de la especie

Índice de Margalef

$$D = \frac{S-1}{\ln N} \text{ (Ecuación 7)}$$

Donde:

S = Número de especies

N = Número de individuos de todas las especies

Índice de Similitud de Sorensen

$$CC = \frac{2C}{(A+B)} \text{ (Ecuación 8)}$$

Donde:

C = Número de especies en común para las dos comunidades

A = Número de especies de la comunidad 1

B = Número de especies de la comunidad 2

Índice de similitud % PSC

$$\%PSC = 100 - 0.5 \sum_{i=1}^K |a - b| \text{ (Ecuación 9)}$$

Donde:

a y b son para una especie dada, porcentajes de las muestras totales que representa esa especie

El valor absoluto de su diferencia se suma sobre todas las especies

Índice de similitud de Pinkham and Pearson's (B2)

$$B_2 = \frac{1}{K} \sum \frac{\min(X_{ia}X_{ib})}{\max(X_{ia}X_{ib})} = \left[\frac{\left(\frac{X_{ia} \cdot X_{ib}}{N_a \cdot N_b} \right)}{2} \right] \text{ (Ecuación 10)}$$

Donde

X_{ia} y X_{ib} , son, el número de individuos en común de cada sitio,

N_a y N_b , es el número total de Individuos de cada sitio

K , es el número de especies en común

3.5. Plan de tabulación y análisis

Todos los datos de campo y análisis de laboratorio fueron registrados en una base de datos de Excel 2013. Una vez realizados todos los análisis y teniendo todos los resultados, se procesaron los datos con las fórmulas mencionadas a continuación:

Los resultados numéricos se obtuvieron a partir de la forma *media ± intervalo de confianza*. Todos los intervalos de confianza, así como la media y la desviación estándar se calcularon de la siguiente manera:

a) La media \bar{x} representada por la ecuación: $\bar{x} = \frac{\sum xi}{n}$ (Ecuación 11)

- b) Donde x_i es cada uno de los valores y n el número de valores.
- c) La desviación estándar S es un indicador de la dispersión de las variables, representada por la ecuación: $S = \sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 / (n - 1)}$ (Ecuación 12)

El intervalo de confianza se define como el rango de valores entre los cuales los posiblemente se encuentre un parámetro desconocido, representado por la ecuación: $\mu = \bar{x} \pm \frac{t.s}{\sqrt{n}}$ (Ecuación 13)

Capítulo IV

4.1. Análisis y discusión de resultados

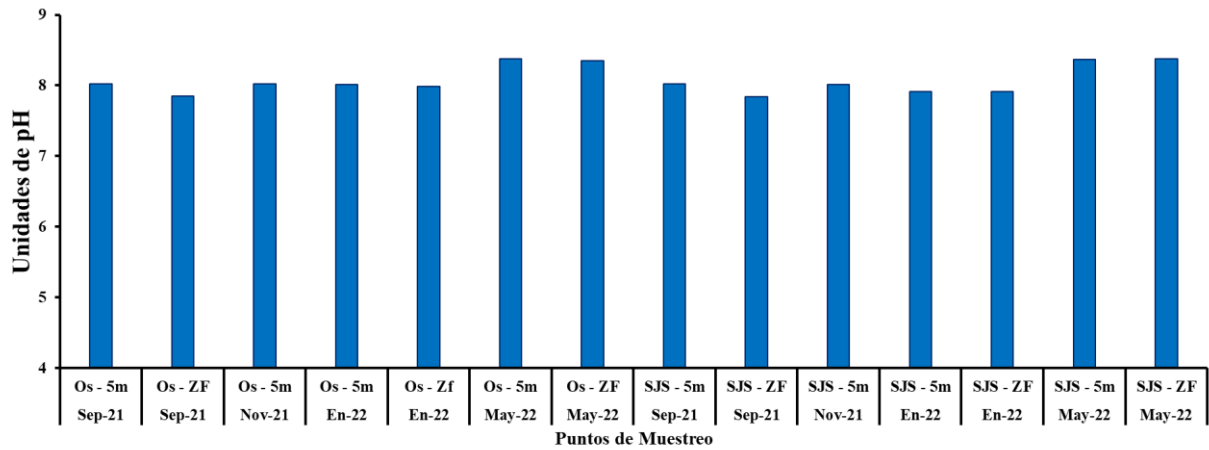
4.1.1. Calidad de las aguas de las bahías de El Ostional y San Juan del Sur

4.1.1.1. Parámetros fisicoquímicos

a) pH

Los valores de pH registrados estuvieron en el rango de 7.84 a 8.38 unidades, registrándose el menor valor en el punto San Juan del Sur Zf (septiembre-2021) y el mayor valor en los puntos El Ostional 5m y San Juan del Sur 5m (mayo-2022). Cabe destacar que los valores de pH reportados están dentro del rango óptimo de 7.50 a 8.50 unidades para aguas marinas, por ende, se puede afirmar que tienen un pH ideal para la vida acuática (Jaramillo, 2005). En la Figura 2 se muestra un comportamiento bastante homogéneo del pH tanto en el tiempo como en el espacio. (Anexo Tabla 1).

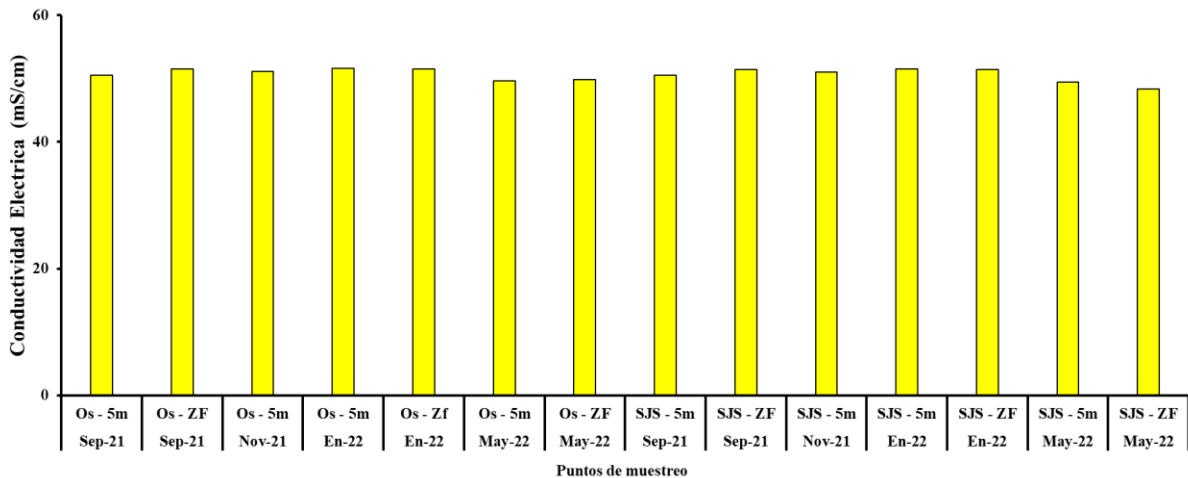
Figura 2. Valores de pH registrados en los monitoreos realizados en los años 2021-2022 en las playas del El Ostional y San Juan del Sur



b) Conductividad

Los valores de conductividad estuvieron en el rango de 48.90 a 51.60 mS/cm⁻¹, registrándose el valor más bajo en San Juan del Sur Zf (mayo-2022) y el más alto en El Ostional 5m (enero-2022). (Anexo Tabla 2). Los valores de conductividad se encuentran dentro de los valores permisibles o normales en agua marina de 50 mS/cm⁻¹ aproximadamente (Dardel, 2016). Los valores de conductividad al igual que el pH tuvieron similar comportamiento, siendo homogéneos tanto en el tiempo como en el espacio (Figura 3).

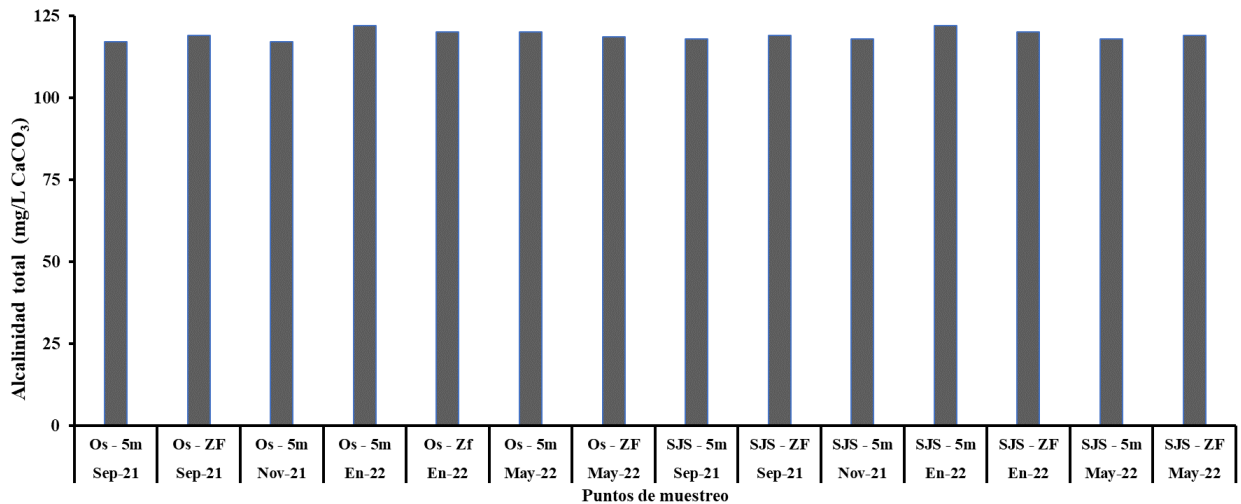
Figura 3. Valores de conductividad eléctrica registrados en los monitoreos realizados en los años 2021-2022 en las playas del El Ostional y San Juan del Sur



c) Alcalinidad

Los valores de alcalinidad total estuvieron en el rango de 117 a 122 mg/L, el valor más bajo se registró en el punto de El Ostional 5m (noviembre-2021) y el más alto en el punto de El Ostional 5m (enero-2022), (Anexo Tabla 3). Los valores reportados, se encuentran por encima del valor de alcalinidad para agua marina que es de 100 ppm (Custodio & LLamas, 2001), según (Caballero Y. S., 2021), la alcalinidad depende esencialmente de las concentraciones de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos, esos componentes estabilizan el pH en los cuerpos de agua. En la Figura 4, se observa una homogeneidad tanto espacial como temporal de la alcalinidad que le permite al cuerpo de agua soportar o amortiguar cambios de pH, lo cual se refleja en la homogeneidad del pH.

Figura 4. Valores de alcalinidad registrados en los monitoreos realizados en los años 2021-2022 en las playas del El Ostional y San Juan del Sur

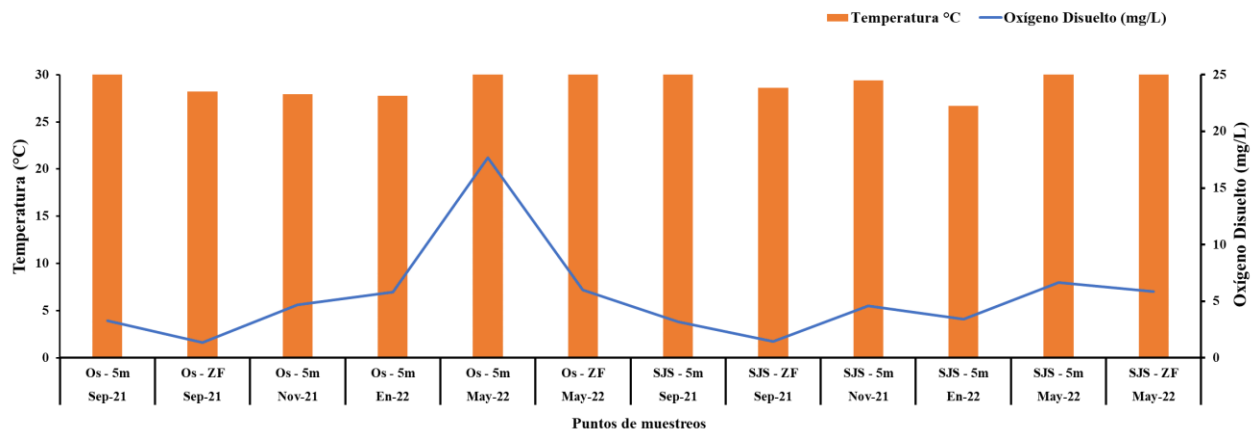


d) Temperatura y Oxígeno Disuelto

En la Figura 5 se muestra el comportamiento de la temperatura, los valores estuvieron en el rango de 22.24 a 29.27 °C en San Juan del Sur 5m y San Juan del Sur Zf, respectivamente. El valor medio registrado en los muestreos fue de 25.7 °C, siendo un valor aceptable para el desarrollo de la vida acuática (CCME, 2008). Asimismo, en la Figura 5 se muestran las concentraciones del OD, los valores estuvieron en el rango de 1.63 a 21.20 mg/L registrado en el punto de El Ostional Zf

(septiembre-2021) y El Ostional 5m (mayo-2022), respectivamente. Cabe señalar que en septiembre del 2021 los valores registrados fueron menores que el valor mínimo (4.0 mg.l^{-1}) apto para la vida acuática (NTON 05 007-98, 2000), esto probablemente se debió a la influencia de las precipitaciones, el arrastre de MO y nutrientes por la escorrentía durante la época lluviosa (Anexo Tabla 4).

Figura 5. Valores de temperatura y concentraciones de OD registrados en los monitoreos realizados en los años 2021-2022 en las playas del El Ostional y San Juan del Sur



e) Salinidad

En la tabla 9 se muestran los valores de salinidad, los cuales variaron de 26.95 a 32.11‰, el valor más bajo fue reportado en el punto de San Juan del Sur 5m (mayo 2022) y el valor más alto se registró en el punto de San Juan del Sur Zf (septiembre 2021) y una salinidad media de 30.28‰. Es importante destacar la influencia de la época lluviosa sobre los ecosistemas, ya que fue en época seca cuando se registraron valores más bajos de salinidad. Se observa que la salinidad de los puntos estudiados es menor por 5‰ respecto al valor promedio de los océanos que es de 35‰ (Lugo, 2011).

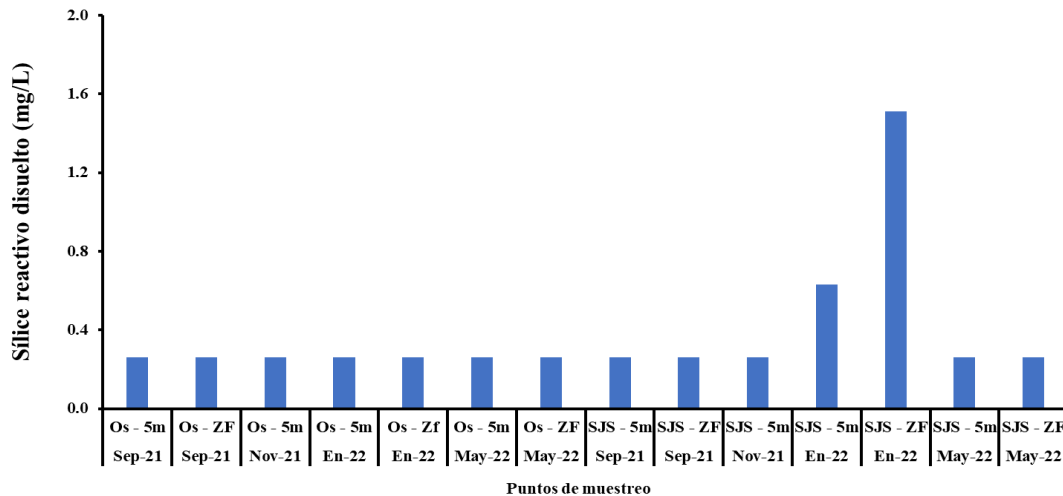
Tabla 9. Valores de Salinidad de los puntos muestreados

Fecha	Punto	Salinidad
Sep-21	Os - 5m	31.75
Sep-21	Os - ZF	32.00
Nov-21	Os - 5m	32.11
En-22	Os - 5m	30.53
May-22	Os - 5m	30.54
May-22	Os - ZF	27.10
Sep-21	SJS - 5m	31.80
Sep-21	SJS - ZF	31.85
Nov-21	SJS - 5m	31.16
En-22	SJS - 5m	30.54
May-22	SJS - 5m	26.95
May-22	SJS - ZF	27.04

f) Sílice reactivo disuelto

En la Figura 6 se presentan las concentraciones de sílice reactivo disuelto, los valores de sílice fueron menores al límite de detección hasta 1.51 mg/L, el único lugar donde se registraron valores altos de sílice fue en el punto de San Juan del Sur 5m y Zf (enero-2022). Los valores de sílice aquí registrados son normales para agua de mar, ya que son menores que el valor de 6.4 mg/L, (Anexo Tabla 5), lo anterior se respalda con la ausencia de diatomeas (Capítulo fitoplancton) (HANNA Instruments, 2022).

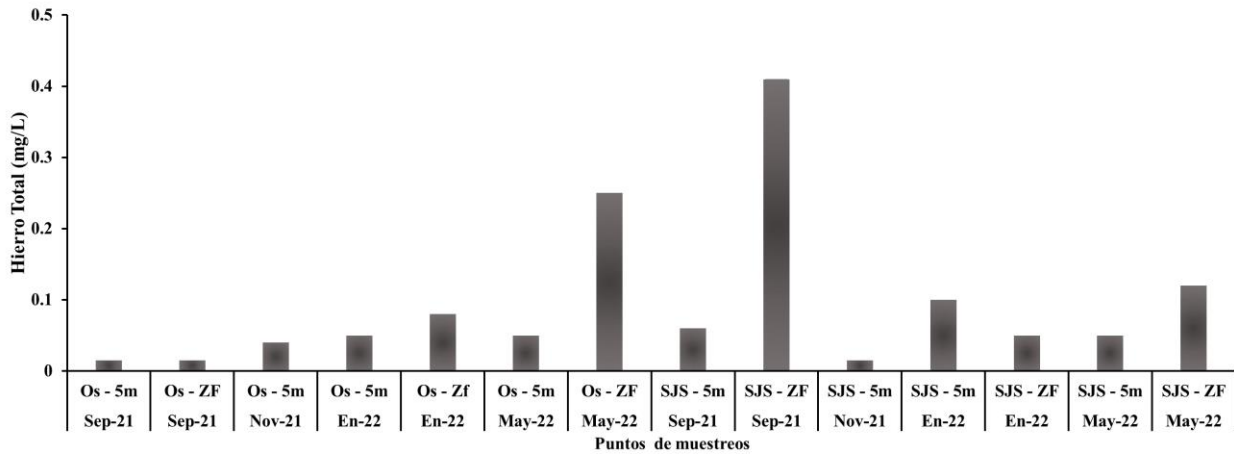
Figura 6. Concentraciones de sílice reactivo disuelto registrados en las muestras de agua de las playas de El Ostional y San Juan del Sur durante los muestreos 2021-2022



g) Hierro total

Los valores de hierro total reportados fueron relativamente bajos, el valor más alto se reportó en el punto de San Juan del Sur Zf (septiembre-2021) en época lluviosa con una concentración de 0.41 mg/L, esto probablemente se dio por la influencia de las precipitaciones (Anexo Tabla 6). Todas las concentraciones de FeT reportadas están por debajo del rango normal de 1 a 3 mg/L para aguas marinas, rango óptimo para la conservación de la vida acuática (Lenntech, 2020). En la Figura 7 se muestra el comportamiento heterogéneo del FeT en tiempo y espacio, donde se observa que las mayores concentraciones se reportaron en época lluviosa (sep-2021 y mayo 2022) debido a la influencia de la escorrentía que llega desde el continente.

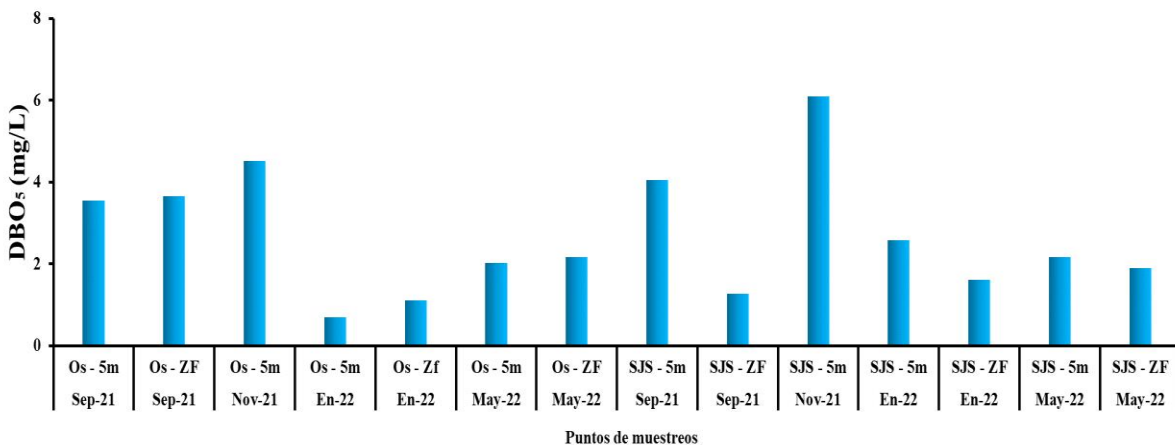
Figura 7. Concentraciones de Hierro total registrados en las muestras de agua de las playas de El Ostional y San Juan del Sur durante los muestreos 2021-2022



h) Demanda Bioquímica de Oxígeno

Los valores de DBO₅ estuvieron en el rango de 0.70 a 6.10 mg/L, registrándose el menor valor en el punto de El Ostional 5m (enero-2022) y el valor más alto en el punto de San Juan del Sur 5m (noviembre-2021). En la Figura 8 se muestra el comportamiento heterogéneo de la DBO₅ en espacio y tiempo. Conviene enfatizar, que en septiembre y noviembre del 2021 los puntos monitoreados excedieron el valor permisible de DBO para agua marina de 2 mgO₂/L (Simon, Penru, Guastalli, Llorens, & Baig, 2011). El aumento de la DBO₅ probablemente se debió al arrastre de materia orgánica a causa de la escorrentía que llega desde el continente en época lluviosa. (Anexo Tabla 7). Es importante mencionar que las concentraciones bajas de DBO pueden causar eutrofización y dañar la vida acuática, por otro lado, concentraciones muy altas provocan la disminución del oxígeno disponible para las formas de vida acuática.

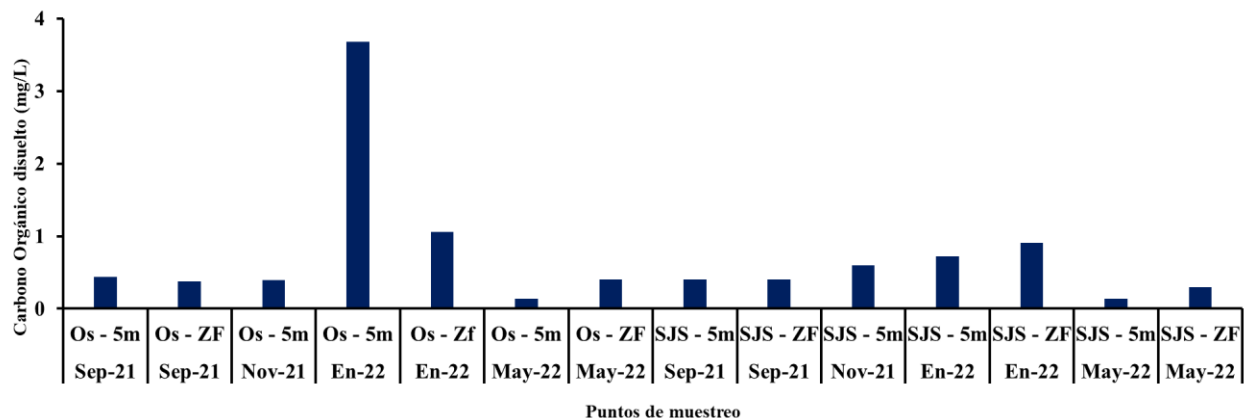
Figura 8. Concentraciones de DBO₅ registrados en las muestras de agua de las playas de El Ostional y San Juan del Sur durante los muestreos 2021-2022



i) Carbono Orgánico Disuelto

Las concentraciones de COD variaron de 0.14 a 3.68 mg/L, los valores más bajos se registraron en los puntos de El Ostional y San Juan del Sur 5m (mayo-2022) y el más alto en el punto de El Ostional 5m (enero-2022). Los valores reportados no exceden el valor óptimo para la vida acuática, el cual es de 30 mg/L (Canadian Natural Resources Limited, 2011). En la Figura 9, se observa que el COD presentó un comportamiento heterogéneo en el tiempo y el espacio. (Anexo Tabla 8).

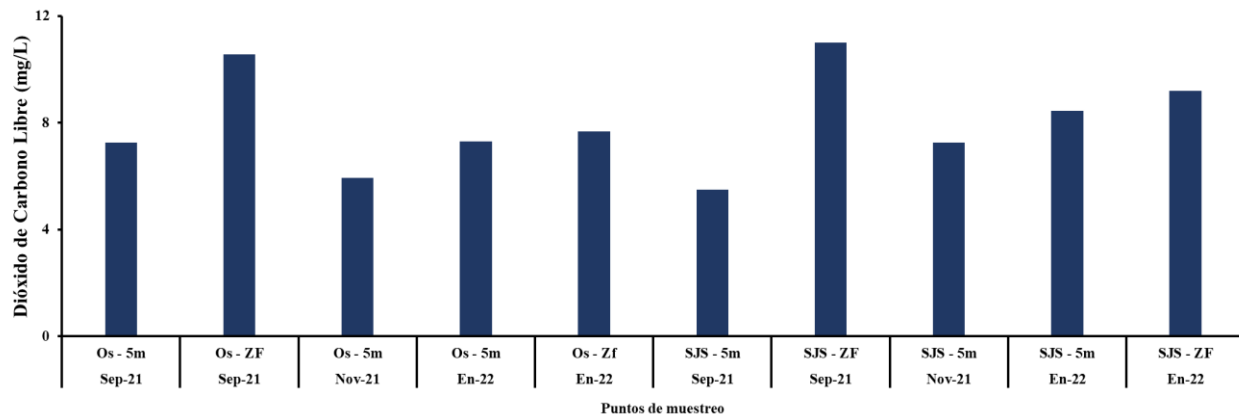
Figura 9. Concentraciones de COD registrados en las muestras de agua de las playas de El Ostional y San Juan del Sur durante los muestreos 2021-2022



j) Dióxido de Carbono Libre

Las concentraciones de CO₂ libre variaron de 7.26 a 11 mg/L, los valores más bajos se registraron en los puntos de El Ostional 5m (septiembre-2021) y San Juan del Sur 5m (noviembre-2021) y el más alto se registró en el punto de San Juan del Sur Zf (septiembre-2021). El CO₂ libre es sumamente dependiente de los valores de pH en agua, (Anexo Tabla 9). En la Figura 10 se muestra el comportamiento del CO₂ libre en tiempo y espacio, donde se observa la variabilidad de las concentraciones. Los bajos valores de CO₂ se deben a los valores de pH que van de 7.84 a 8.38 unidades (Siqueira, Cescani, & Iglesias, 2018).

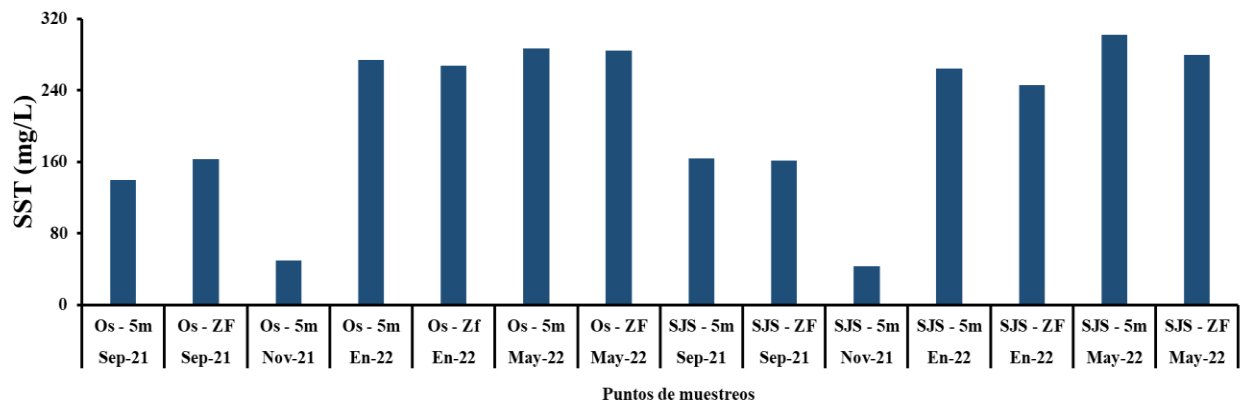
Figura 10. Dióxido de Carbono libre registrados en las muestras de agua de las playas de El Ostional y San Juan del Sur durante los muestreos 2021-2022



k) Sólidos Suspendidos Totales

Los valores de SST en los puntos muestreados variaron de 43 a 302 mg/L, el punto que presentó la menor concentración fue San Juan del Sur 5m (noviembre-2021). Por otro lado, el punto que evidenció la mayor concentración fue San Juan del Sur 5m (mayo-2022). En la Figura 11 se presenta el comportamiento de las concentraciones de SST, en donde se evidencia que algunos puntos exceden el valor permisible de 100 mg/L (CWQG, 2008) (Anexo Tabla 10). El aumento de los SST probablemente se debió al arrastre de materia a causa de las precipitaciones y escorrentía que viene desde la cuenca.

Figura 11. Concentraciones de SST registrados en las muestras de agua de las playas de El Ostional y San Juan del Sur durante los muestreos 2021-2022



4.1.1.2. Parámetros biológicos

a) Coliformes termotolerantes

En la tabla 10 se presentan los valores de coliformes termotolerantes, los cuales fueron relativamente bajos, en época seca estuvieron en el rango de <1.8 a $4.00E+00$ y en época lluviosa de <1.8 a $2.30E+01$. Cabe señalar, que las muestras del punto El Ostional (5m y Zf) durante los cuatro muestreos tuvieron concentraciones <1.8 NMP/100 ml, lo cual nos indica que no hay contaminación de origen fecal. Los valores más altos se encontraron en los puntos de San Juan del Sur Zf (septiembre-2021 y mayo-2022). Es preciso señalar que los resultados aquí obtenidos no

excedieron los valores máximos permisibles de 1000 y 200 NMP de CT y CTT, respectivamente, por lo cual se considera las aguas de estos puntos como agua tipo 4A (Aguas destinadas a balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia) según la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense para la clasificación de los recursos hídricos (Asamblea Nacional, 2000).

Tabla 10. Valores de coliformes termotolerantes en las muestras de agua de El Ostional y San Juan del Sur

Fecha	Punto	CCT NMP/100 ml
Sep-21	Os - 5m	<1.8
Sep-21	Os – ZF	<1.8
Nov-21	Os - 5m	<1.8
En-22	Os - 5m	<1.8
En-22	Os – Zf	<1.8
May-22	Os - 5m	<1.8
May-22	Os – ZF	<1.8
Sep-21	SJS - 5m	2.00E+00
Sep-21	SJS – ZF	2.30E+01
Nov-21	SJS - 5m	<1.8
En-22	SJS - 5m	1.40E+01
En-22	SJS – ZF	4.00E+00
May-22	SJS - 5m	<1.8
May-22	SJS – ZF	2.30E+01

4.1.1.3. Nutrientes

a) Nitrógeno total, nitratos, nitritos y nitrógeno amoniacal

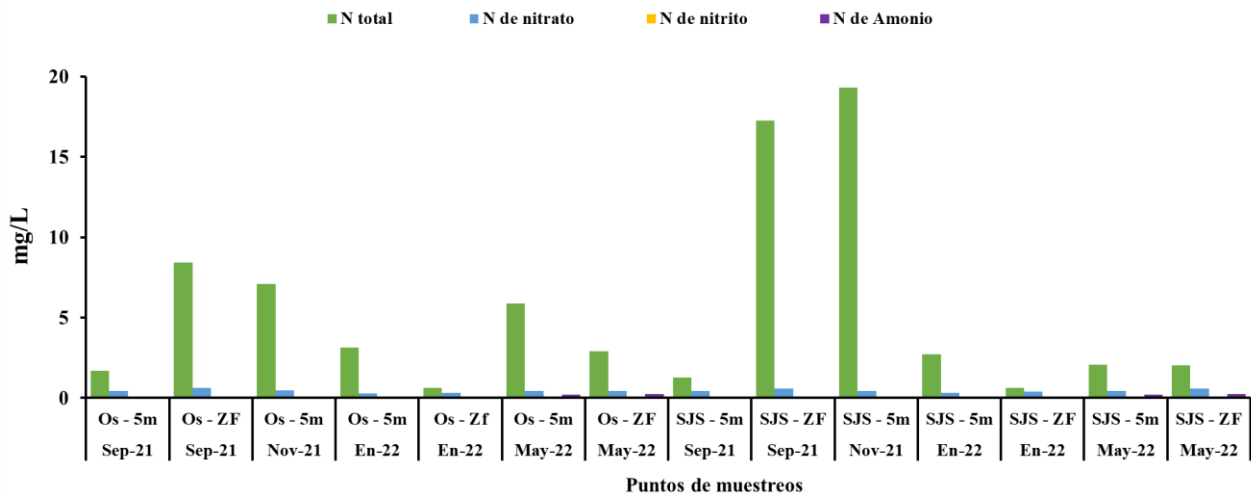
Los valores de NT estuvieron en el rango de 0.61 a 19.32 mg/L, registrándose los más bajos en los puntos de El Ostional y San Juan del Sur Zf (enero-2022) y el más alto en el punto de San Juan del Sur 5m (noviembre-2021) (Fig. 12). Cabe señalar que en septiembre y noviembre del 2021, se registraron concentraciones mayores al valor mínimo de 11.5 mg.l⁻¹ apto para la vida acuática (CCO, 2013). Es importante mencionar que las variaciones en las concentraciones de NT probablemente se debieron a los cambios de temperatura, salinidad, precipitaciones y la circulación de los procesos de mezcla donde los nutrientes salen a la superficie por corrientes ascendentes, principalmente en la época lluviosa (Caballero Y. S., 2021).

Con respecto a las concentraciones de N-nitrato, estas estuvieron en el rango de 0.27 a 0.62 mg/L, registrándose el menor valor en el punto de El Ostional 5m (enero-2022) y el mayor valor en el punto de El Ostional Zf (septiembre-2021). Es necesario resaltar que los valores de N-nitrato registrados están dentro del valor máximo permisible para agua de mar de 32.8 mg/L de N (R. N. & L.W. , 2009), así mismo, se consideran que aguas con concentraciones menores de 40 mg/L son seguras para la vida acuática cualquier valor superior puede causar efectos desde estrés hasta toxicidad (Lenntech , 2015).

En relación con las concentraciones de N-nitrito, la mayoría de los puntos registraron concentraciones menores de 0.009 mg/L y el punto que registró el mayor valor fue San Juan del Sur, Zf (septiembre-2021) con 0.35 mg/L. Es importante señalar que los valores de nitrito están dentro del valor permisible de 0.75 mg/L de N, cualquier valor superior pueden ser tóxicos para la vida acuática (Lenntech, 2015).

Referente a las concentraciones de nitrógeno amoniacal, estas estuvieron en el rango de 0.008 a 0.25 mg/L, las concentraciones más bajas se registraron en los puntos de El Ostional 5m y Zf (septiembre 2021) y los mayores valores en El Ostional Zf y San Juan del Sur Zf (mayo 2022). En general, todas las concentraciones de nitrógeno amoniacal aquí obtenidas no excedieron el valor permisible de 6.08 mg/L de N-NH₄ (R. N. & L.W. , 2009). (Anexo Tabla 11).

Figura 12. Concentraciones de Nitrógeno total, N-nitrato, N-nitrito y N-amoniaco registrados en las muestras de agua de las playas de El Ostional y San Juan del Sur durante los muestreos 2021-2022



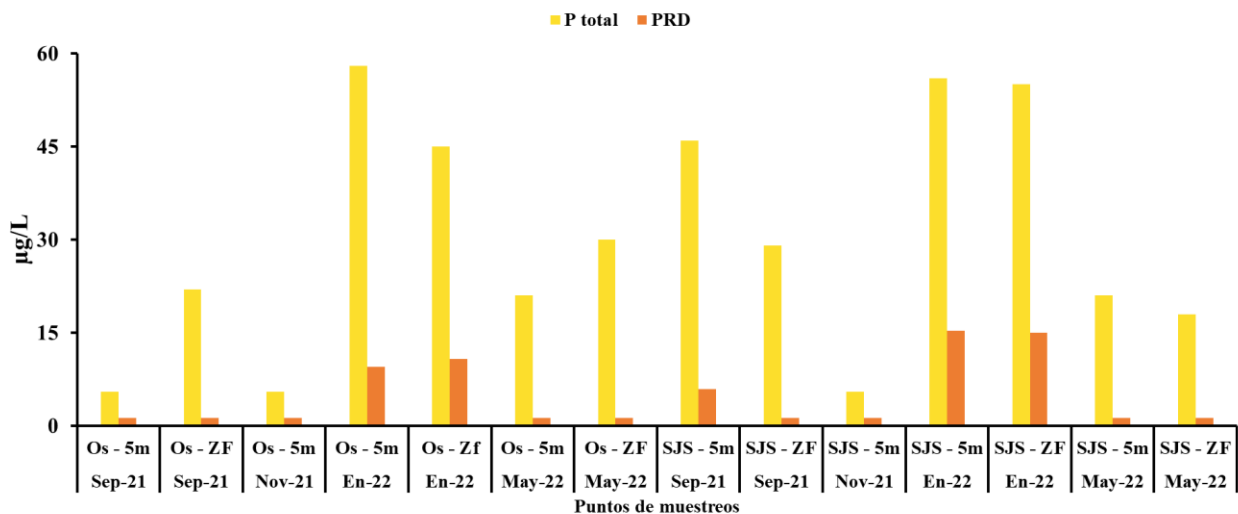
b) Fósforo total y fósforo reactivo disuelto

Las concentraciones de PT estuvieron en el rango de 11 a 58 $\mu\text{g/L}$, reportándose los más bajos en los puntos de El Ostional 5m (septiembre y nov-2021) y San Juan del Sur 5m (noviembre 2021) y el valor más alto se registró en el punto de El Ostional 5m (enero-2022) (Fig. 13).

Es importante observar que en el muestreo de enero-2022, correspondiente a la época seca, se registraron valores de PT que excedieron los 30 $\mu\text{g/L}$, apto para la preservación de la vida acuática (Ej. Corales) (Hanna Instruments, 2021). El aumento del PT en los puntos muestreados posiblemente se debe al fenómeno del afloramiento a la superficie de aguas más profundas, el cual consiste en el desplazamiento de masas de agua desde niveles profundos hacia la superficie, este fenómeno ocurre con mayor intensidad principalmente en los meses en primavera y verano, que en otoño e invierno (Pérez, 2018).

Con respecto al PRD, las concentraciones reportadas estuvieron en el rango de 1.31 a 15.36 $\mu\text{g/L}$, el punto donde se reportó la concentración más alta fue San Juan de Sur 5m (enero-2022). Cabe resaltar, que las concentraciones reportadas no excedieron el valor permisible de fosfato en agua de mar que es de 500 $\mu\text{g/L}$ (IDEAM, 2007). (Anexo Tabla 12).

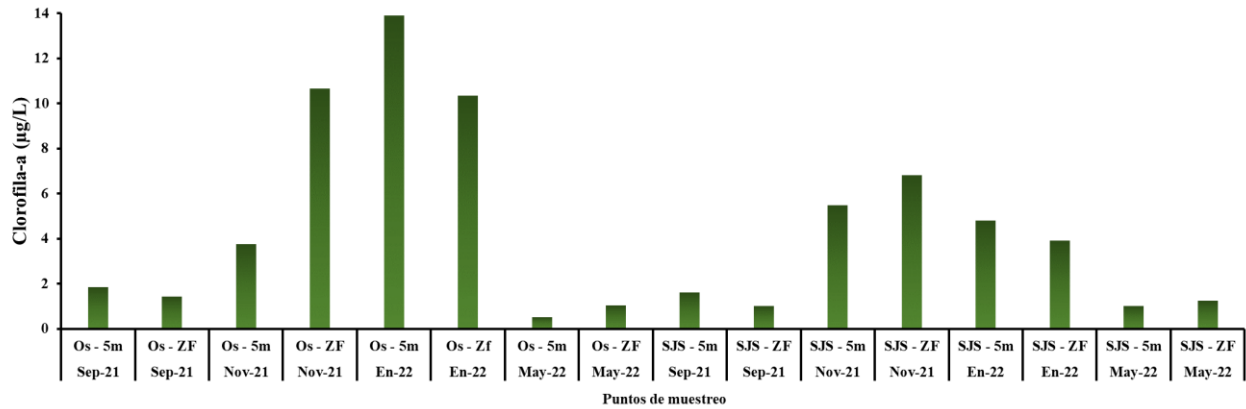
Figura 13. Concentraciones de Fósforo total y Fósforo reactivo disuelto registradas en las muestras de agua de las playas de El Ostional y San Juan del Sur durante los muestreos 2021-2022



c) Clorofila-a

Las concentraciones registradas de Clorofila- a estuvieron en el rango de 0.5 a 13.9 $\mu\text{g/L}$, el valor más bajo se registró en el punto de El Ostional 5m (mayo-2022) y el más alto en el punto de El Ostional 5m (enero-2022), (Anexo Tabla 13). En la Figura 14, se observa el comportamiento heterogéneo de las concentraciones de Cl-a en el tiempo y el espacio. Se observa que los valores registrados no excedieron el rango permisible de Cl-a en agua de mar, que es de 10 a 20 $\mu\text{g/L}$ (OSPESCA, 2018).

Figura 14. Concentraciones de Clorofila-a registrados en las muestras de agua de las playas de El Ostional y San Juan del Sur durante los muestreos 2021-2022



d) Relación de N total, P total y DBO₅ en los puntos de muestreo

El Nitrógeno Total, el Fósforo Total y la DBO₅, indican la presencia de materia orgánica en los cuerpos de agua, ya que en concentraciones muy altas pueden ocasionar eutrofización por el aporte de nutrientes y la disminución del oxígeno debido a la oxidación de la materia orgánica y la posible transformación del nitrógeno a nitrato, que podrían afectar la vida acuática (Arenas, 2018). En la Tabla 11 se muestran los resultados de las concentraciones de NT, PT y DBO presentadas en los puntos de muestreo estudiados en los meses de septiembre y noviembre de 2021, enero y mayo de 2022. Se observa, desde el punto de vista ambiental, que los puntos más afectados fueron: San Juan del Sur 5m (noviembre - 2021) y El Ostional Zf (septiembre - 2021) ya que estos presentaron concentraciones altas de NT, PT y DBO, lo que conllevó a la disminución del OD en el agua. El aumento de las concentraciones de NT, PT y DBO se debió al arrastre de materia orgánica y nutrientes provocados por las precipitaciones en época lluviosa.

Tabla 11. *Relación de los parámetros NT, PT y DBO₅ en los puntos de muestreo*

Fecha	Punto	N total (VP= 11.5 mg/L)	P total (VP= 0.030 mg/L)	DBO ₅ (VP= 2 mgO ₂ /L)	OD Rango min 4 mg/L
Sep-21	Os - 5m	1.70	0.0055	3.54	3.91
Sep-21	Os - ZF	8.42	0.022	3.66	1.63
Nov-21	Os - 5m	7.08	0.0055	4.51	3.80
En-22	Os - 5m	3.12	0.58	0.70	1.72
En-22	Os - Zf	0.61	0.045	1.10	5.63
May-22	Os - 5m	5.89	0.021	2.02	6.98
May-22	Os - ZF	2.92	0.030	2.17	21.20
Sep-21	SJS - 5m	1.28	0.046	4.04	7.22
Sep-21	SJS - ZF	17.24	0.029	1.26	3.80
Nov-21	SJS - 5m	19.32	0.0055	6.10	1.72
En-22	SJS - 5m	2.71	0.056	2.57	5.52
En-22	SJS - ZF	0.61	0.055	1.60	4.08
May-22	SJS - 5m	2.08	0.021	2.17	7.96
May-22	SJS - ZF	2.03	0.018	1.89	7.04

4.1.1.4. Estado trófico

De acuerdo con los resultados obtenidos y tomando en consideración la escala de valores de estado trófico (Tabla 8), con los resultados de fósforo total y clorofila-a, se deduce que las bahías de El Ostional y San Juan del Sur se encuentran en estado mesotrófico, ya que registran valores de $30 < IET < 60$, según los índices de según Carlson (Tabla 12) y Aizaki (Tabla 13).

a) Índice de estado trófico Carlson (Modificado)

En la Tabla 12 se muestran los resultados obtenidos del IET según Carlson para Fósforo total y Clorofila-a los cuales tuvieron una media de 51.3 mg/m^3 de PT y 40.5 mg/m^3 de Cl-a, ubicándose en la escala de valores de $30 < IET < 60$, por lo cual los puntos de estudios se clasifican o clasifican a las playas del pacifico sur de Nicaragua en condiciones mesotróficas (Tabla 8). (Anexo Figura 1).

Tabla 12. Valores de IET según Carlson para los puntos de estudio El Ostional y San Juan del Sur

Fecha	Sitio	Pt (mg/m^3)	Cl-a (mg/m^3)
Sep-21	OS-5m	38.7	36.6
Sep-21	OS-Zf	48.7	34.0
Sep-21	SJS-5m	59.4	35.2
Sep-21	SJS-Zf	52.7	30.7
Nov-21	OS-5m	38.7	43.5
Nov-21	OS-Zf	-	53.8
Nov-21	SJS-5m	38.7	47.3
Nov-21	SJS-Zf	-	49.4
Ene-22	OS-5m	62.7	56.4
Ene-22	OS-Zf	59.0	53.5
Ene-22	SJS-5m	62.2	46.0
Ene-22	SJS-Zf	61.9	44.1
May-22	OS-5m	48.1	24.1
May-22	OS-Zf	53.2	30.9
May-22	SJS-5m	48.1	30.7
May-22	SJS-Zf	45.8	32.7
Promedio		51.3	40.5

b) Índice de estado trófico - Aizaki

Al aplicar el modelo de Aizaki (Tabla 13) para Fósforo total y Clorofila- a, se registró un valor medio de 50.3 mg/m³ de PT y 35.6 mg/m³ de Cl-a, ubicando los resultados en el rango de valores de 30<IET<60 lo que clasifica al cuerpo de agua en condiciones de mesotrofia. (Anexo Figura 2).

Tabla 13. Valores de IET según Aizaki para los puntos de estudio El Ostional y San Juan del Sur

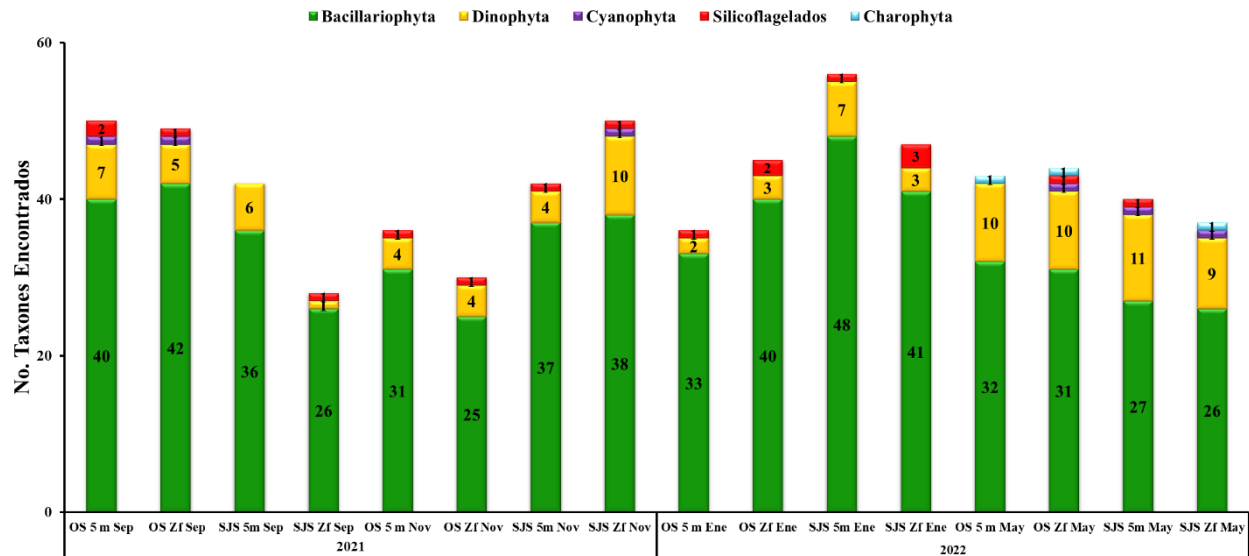
Fecha	Sitio	Pt (mg/m3)	Cl-a (mg/m3)
Sep-21	OS-5m	61.3	31.2
Sep-21	OS-Zf	52.6	28.4
Sep-21	SJS-5m	43.3	29.7
Sep-21	SJS-Zf	49.1	24.7
Nov-21	OS-5m	61.3	39.0
Nov-21	OS-Zf	-	50.4
Nov-21	SJS-5m	61.3	43.2
Nov-21	SJS-Zf	-	45.5
Ene-22	OS-5m	40.4	53.3
Ene-22	OS-Zf	43.6	50.1
Ene-22	SJS-5m	40.9	41.8
Ene-22	SJS-Zf	41.1	39.6
May-22	OS-5m	53.2	17.4
May-22	OS-Zf	48.7	25.0
May-22	SJS-5m	53.2	24.7
May-22	SJS-Zf	55.1	27.0
Promedio		50.3	35.6

4.1.1.5. Fitoplancton

a) Riqueza y taxones presentes

En la Figura 15, se presenta el número de taxones de fitoplancton identificados en los puntos El Ostional y San Juan del Sur en los muestreos de septiembre - noviembre del 2021, y enero - mayo del 2022. En orden decreciente de importancia, estos pertenecían a los grupos Bacillariophytas (25-48 taxones), Dinophyta (1-11), Silicoflagelados (No detectado - 3 taxones), Cyanophyta (No detectado - 1 taxón) y Charophyta (No detectado -1 taxón). En los cuatro muestreos el grupo predominante fue el de las Bacillariophytas (diatomeas) que fue detectado en todos los puntos y las menos detectados fueron las Cyanophytas (septiembre 2021 y mayo 2022) y Charophytas (mayo 2022). (Anexo Tabla 14).

Figura 15. Número de taxones de fitoplancton identificados por phylum en las muestras de los puntos El Ostional y San Juan del Sur, en el período de muestreo realizado de septiembre 2021 a mayo 2022



b) Abundancia total y relativa

La abundancia total de las especies fitoplanctónicas en las muestras de agua estuvieron en el rango de 39 406 a 2 672 090 cel/L, presentándose el mayor número de individuos en el punto de El Ostional Zf (nov-2021), con la especie *Chaetoceros socialis* con un valor de 2 672 090 cel/L, es importante mencionar que este valor indica una floración algal nociva ya que esta especie forma masas gelatinosas globulares, provoca déficit de oxígeno disuelto, obstrucción de branquias en peces y malos olores (Hallegraeff, Anderson, & Cembella, 1995) (Tabla 14).

Tabla 14. Abundancias totales de especies de las bahías de El Ostional y San Juan del Sur en los muestreos de 2021-2022

Fecha	Punto	Abundancia Total (cel/L)
Sep-21	El Ostional 5 m	100 125
Sep-21	El Ostional Zf	98 517
Sep-21	San Juan del Sur 5 m	66 348
Sep-21	San Juan del Sur Zf	39 406
Nov-21	El Ostional 5 m	123 652
Nov-21	El Ostional Zf	2 672 090
Nov-21	San Juan del Sur 5 m	127 674
Nov-21	San Juan del Sur Zf	2 491 133
Ene-22	El Ostional 5 m	367 940
Ene-22	El Ostional Zf	472 490
Ene-22	San Juan del Sur 5 m	297 573
Ene-22	San Juan del Sur Zf	286 851
May-22	El Ostional 5 m	147 779
May-22	El Ostional Zf	155 821
May-22	San Juan del Sur 5 m	165 877
May-22	San Juan del Sur Zf	164 868

En las Figuras 16 y 17 se muestran las abundancias relativas de organismos fitoplanctónicos encontrados en las muestras de agua colectadas en los puntos EO y SJS 5m y Zf en los muestreos de 2021-2022. En el muestreo correspondiente al mes de septiembre 2021, la especie predominante en ambos puntos fue *Chaetoceros sp* con 34, 54, 26 y 22 %, esta diatomea se caracteriza porque puede producir eventos de floraciones no tóxicos (Sunesen, Hernández Becerril, & Sar, 2008).

En el muestreo de noviembre 2021, predominaron *Schoroderella delicatula* en los puntos de EO 5m y SJS 5m con 41 y 37 % respectivamente y la especie *Chaetoceros socialis* en los puntos EO Zf– SJS Zf con 93%, respectivamente. Es preciso señalar que *C. socialis* de la división Bacillariophyta

Con respecto a la abundancia relativa correspondiente al muestreo de enero 2022, la especie predominante fue la *Guinardia striata* con 52 – 21 % seguida de *Chaetoceros sp* con 21 % al igual que las especies reportadas en los muestreos anteriores, estas especies de diatomeas son no tóxicas (Guillén, 2019).

Por último, en el muestreo del mes de mayo se reportaron abundancias relativas de 22 – 28 % para *Pseudonitzschia* sp en los puntos de EO 5m y SJS 5m y de 31 – 39 % para *Chaetoceros* sp en los puntos de EO Zf y SJS Zf. Los géneros *Pseudo-nitzschia* son los que producen el ácido domóico que puede causar intoxicaciones humanas y ha sido reportada como causal de muerte de personas, mamíferos y aves marinas (Sunesen, Bárcena, & Sar, 2009). Hay que resaltar que el número de individuos encontrados no supera el rango permisible de 50,000 a 100,000 cel/L (COERIS, 2016).

Figura 16. Abundancias relativas de organismos fitoplanctónicos encontrados en las muestras de agua colectadas durante los muestreos del 2021 en los puntos a) EO 5m Sep, b) EO Zf Sep, c) SJS 5m Sep, d) SJS Zf Sep, e) EO 5m Nov, f) EO Zf Nov, g) SJS 5m Nov, h) SJS Zf Nov

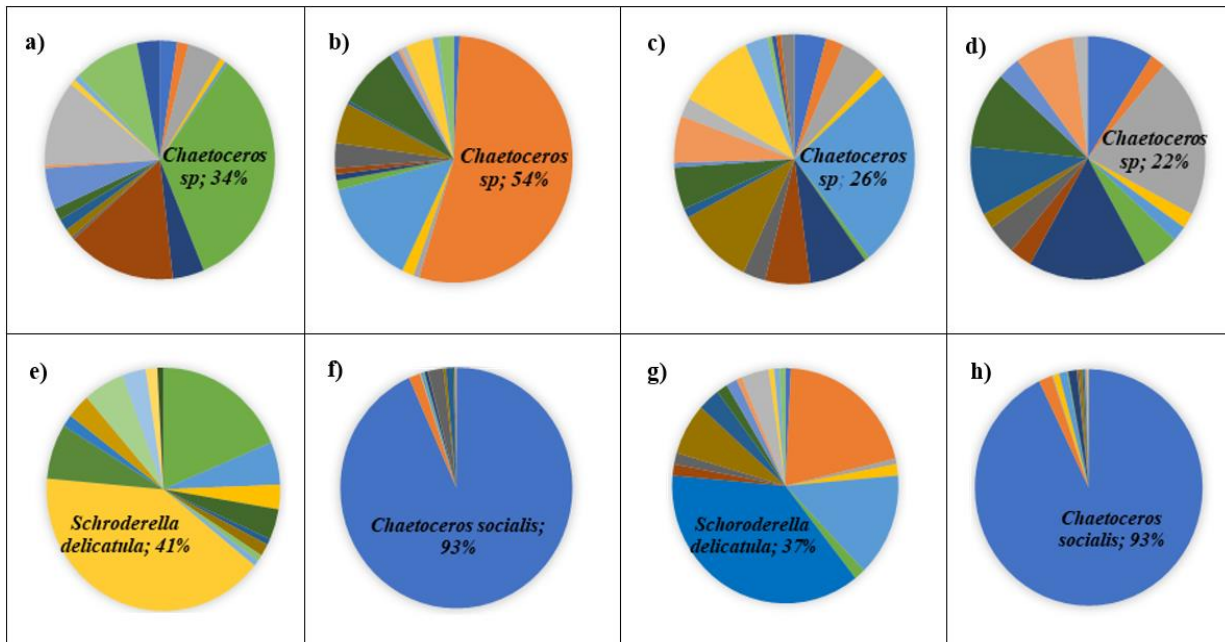
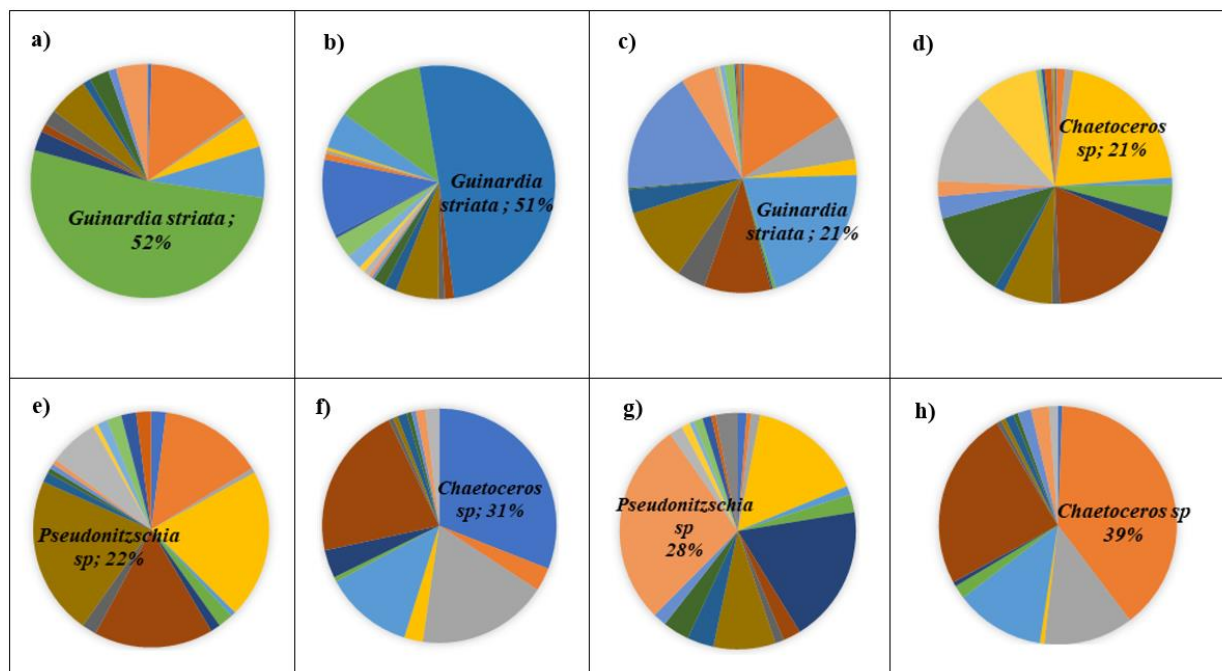


Figura 17. Abundancias relativas de organismos fitoplanctónicos encontrados en las muestras de agua colectadas durante los muestreos del 2022 en los puntos a) EO 5m Ene, b) EO Zf Ene, c) SJS 5m Ene, d) SJS Zf Ene, e) EO 5m May, f) EO Zf May, g) SJS 5m May, h) SJS Zf May



c) Índices de diversidad y similitud

En la tabla 15 se presentan los valores de los índices de diversidad de Simpson ($1/D$), Shannon-Wiener (H') y Margalef, calculados a partir de los datos de abundancia y de riqueza de las comunidades de organismos fitoplanctónicos encontrados en los puntos de El Ostional y San Juan del Sur en 5 m y en Zona fótica respectivamente, durante los muestreos de septiembre y noviembre de 2021 y enero y mayo de 2022.

El punto con mayor diversidad en septiembre 2021 fue San Juan del Sur 5 m, según los índices de Simpson ($1/D$), Shannon-Wiener (H') y Margalef con valores de 8.75, 2.54 y 1.8, los cuales fueron los mayores según se muestra en la tabla 15. Con respecto al muestreo del mes de noviembre de 2021, se observa que, según Simpson ($1/D$) y Margalef el punto más diverso es San Juan del Sur 5 m con valores de 4.80 y 1.45 sin embargo, Shannon-Wiener (H') identifica al punto de El Ostional 5 m con el de mayor diversidad con un valor de 2.02, por una mínima diferencia al punto de San Juan del Sur 5m que tuvo un valor de 2.01. (Anexo Figura 3).

Para el muestreo correspondiente al mes de enero de 2022, el punto con mayor diversidad fue San Juan del Sur Zona fótica con 8.02, 2.37 y 1.67 según Simpson (1/D), Shannon-Wiener (H') y Margalef, ya que fueron los valores más altos según muestra la tabla 15. En el muestreo de mayo 2022, Simpson (1/D) y Margalef señalan que el punto con mayor diversidad es El Ostional Zona fótica con valores de 6.94 y 1.60 sin embargo, Shannon-Wiener (H') muestra que el más diverso es San Juan del Sur 5m con un valor de 2.31. (Anexo Figura 4).

De los cuatro muestreos, el punto que presentó mayor equidad fue el de San Juan del Sur Zona fótica del muestreo de septiembre 2021 con un valor de 0.88 y el punto que presentó la mayor dominancia fue El Ostional Zona fótica del muestreo noviembre de 2021 con un valor de 0.87.

Tabla 15. Datos de diversidad de organismos fitoplanctónicos en las aguas de las bahías El Ostional y San Juan del Sur, muestreos 2021-2022

Fecha	Punto	1/D Simpson	H'	Margalef	J (Equidad)	D
Sep-2021	El Ostional 5 m	5.90	2.21	1.56	0.75	0.17
Sep-2021	El Ostional Zf	3.10	1.74	1.48	0.60	0.32
Sep-2021	San Juan del Sur 5 m	8.75	2.54	1.8	0.83	0.11
Sep-2021	San Juan del Sur Zf	8.71	2.4	1.32	0.88	0.11
Nov-2021	El Ostional 5 m	4.59	2.02	1.28	0.73	0.22
Nov-2021	El Ostional Zf	1.15	0.38	0.88	0.14	0.87
Nov-2021	San Juan del Sur 5 m	4.80	2.01	1.45	0.70	0.21
Nov-2021	San Juan del Sur Zf	1.16	0.15	1.02	0.15	0.86
Ene-2022	El Ostional 5 m	3.27	1.73	1.01	0.65	0.30
Ene-2022	El Ostional Zf	3.43	1.82	1.38	0.62	0.29
Ene-2022	San Juan del Sur 5 m	7.76	2.29	1.59	0.75	0.13
Ene-2022	San Juan del Sur Zf	8.02	2.37	1.67	0.77	0.12
May-2022	El Ostional 5 m	6.94	2.27	1.60	0.76	0.14
May-2022	El Ostional Zf	5.18	1.94	1.66	0.72	0.18
May-2022	San Juan del Sur 5 m	6.60	2.31	1.17	0.76	0.15
May-2022	San Juan del Sur Zf	4.11	1.76	1.17	0.65	0.24

En la tabla 16 se muestran los valores de los índices de similitud de % PSC, Sorensen y Pinkham and Pearson (B2) calculados para los organismos fitoplanctónicos de los puntos El Ostional y San Juan del Sur 5m y Zf de los muestreos realizados en septiembre y noviembre de 2021 y enero y mayo de 2022.

En el muestreo de septiembre de 2021, el % PSC y Sorensen revelaron que las comunidades son muy similares entre sí. Para el muestreo de noviembre de 2021, el % PSC presentó valores de 99% indicando que las comunidades son muy similares, sin embargo, Sorensen revela que los puntos de EO-SJS 5m no son ni símiles ni disímiles entre ellos, en cambio, los puntos de EO-SJS Zf si presentan similitud.

Para el muestreo correspondiente al mes de enero de 2022, % PSC y Sorensen, revelaron que los puntos tienen valores con mucha similitud. Con respecto a los datos pertenecientes al muestreo de mayo de 2022, el % PSC indica que los puntos son muy similares, pero Sorensen revela que en los puntos OS-SJS 5m no se puede diferenciar si son símiles o disímiles, ya que el valor está un poco por debajo de 0.5. Con respecto a la similitud de los puntos OS-SJS Zf, Sorensen revela que presentan similitud.

Cabe mencionar, que en los puntos comparados en los cuatro muestreos el índice de B2 discrimina un poco más que los otros índices utilizados, ya que este índice compara las composiciones de especies simultáneamente y proporciona un análisis de datos más confiable por ello, muestra que todos los puntos son disímiles y de todos ellos los que menos se parecen son las de EO-SJS 5m del muestreo de noviembre de 2021 (Washington, 1984).

Tabla 16. Datos de similitud de organismos fitoplanctónicos en las aguas de las bahías El Ostional y San Juan del Sur, muestreos 2021-2022

Fecha	Puntos	Sorensen	%PSC	B2
Sep-2021	El Ostional 5m - San Juan del Sur 5 m	0.75	99.0	0.282
Sep-2021	El Ostional Zf - San Juan del Sur Zf	0.67	98.5	0.224
Nov-2021	El Ostional 5m - San Juan del Sur 5 m	0.41	99.0	0.085
Nov-2021	El Ostional Zf - San Juan del Sur Zf	0.60	99.0	0.181
Ene-2022	El Ostional 5m - San Juan del Sur 5 m	0.51	96.5	0.138
Ene-2022	El Ostional Zf - San Juan del Sur Zf	0.68	98.5	0.234
May-2022	El Ostional 5m - San Juan del Sur 5 m	0.44	99.5	0.096
May-2022	El Ostional Zf - San Juan del Sur Zf	0.80	100	0.32

4.1.2. Calidad de los sedimentos de las bahías de El Ostional y San Juan del Sur

4.1.2.1. Parámetros fisicoquímicos

a) Porcentaje de humedad

En la tabla 17 se muestran los resultados del porcentaje de humedad en los sedimentos, se observa que tienen un bajo contenido de humedad, el valor mínimo corresponde al punto de la bahía El Ostional (noviembre-2021) con 20.25% de humedad y el máximo correspondió al punto bahía El Ostional (enero-2022) con 49.22% de humedad.

Tabla 17. Valores de porcentaje de humedad en las muestras de sedimentos de El Ostional y San Juan del Sur

Lugar / Comunidad	Fecha	Contenido de Humedad (%)
Bahía El Ostional, El Ostional	30/11/2021	20.25
Bahía San Juan del Sur, San Juan del Sur	30/11/2021	20.26
Bahía El Ostional-El Ostional	25/1/2022	49.22
Bahía San Juan del Sur	25/1/2022	42.38
Bahía El Ostional, El Ostional	19/5/2022	44.00
Bahía de San Juan del Sur, San Juan del Sur.	19/5/2022	36.37
Promedio		35.41
Mínimo		20.25
Máximo		49.22

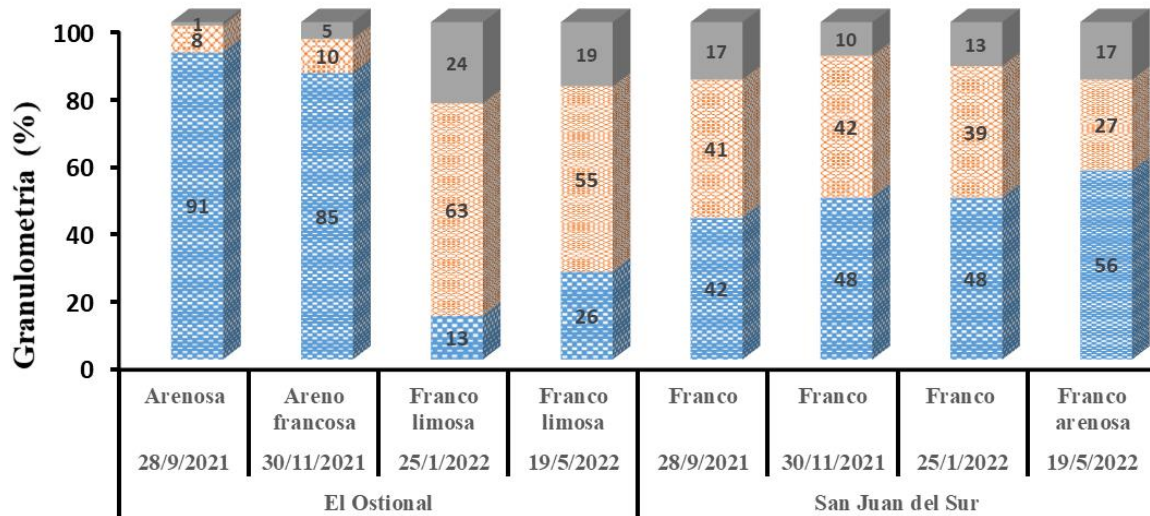
b) Granulometría

La composición granulométrica registrada en el punto El Ostional en época lluviosa fue mayoritariamente arena (91 y 85 %), sin embargo, en época seca su composición varió a Franco limosa con (63 y 55%) de limo, esto podría deberse a la cantidad de sedimento que llegan desde el continente a través del río El Ostional.

En el caso del caso del punto San Juan del Sur este se caracterizó por tener sedimentos Francos con un porcentaje de arena entre (42 y 56%) y limo (27 y 41%) teniendo un comportamiento ligeramente homogéneo, esta composición se debe al aporte de sedimento desde la cuenca debido

al aporte de los ríos Escameca, Escamequita, La Flor, El Naranjo y Marsella (Fig.18). (Anexo Tabla 15).

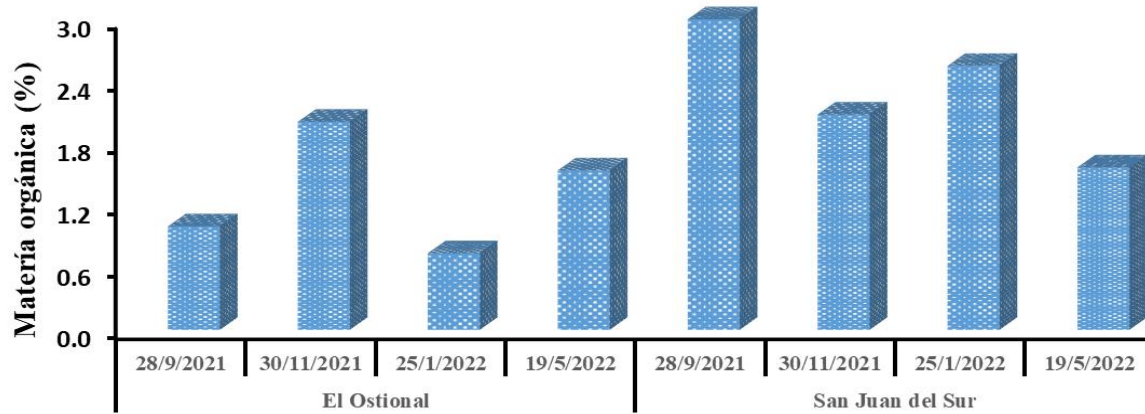
Figura 18. Comportamiento de la granulometría en las muestras de sedimentos de El Ostional y San Juan del Sur



c) Materia orgánica

Los valores reportados de materia orgánica fueron de 0.74 a 3.15 % en El Ostional y de 1.54 a 2.08 % en San Juan del Sur, (Anexo Tabla 16). Cabe mencionar, que los valores de materia orgánica en los sedimentos son relativamente bajos y no indican contaminación, ya que se plantea que las concentraciones en los sedimentos marinos son normales cuando el porcentaje de MO oscila entre 0.1 y 10 (Establier, Blasco, Gómez, & Escobar, 1984).

Figura 19. Porcentaje de materia orgánica en las muestras de sedimentos de El Ostional y San Juan del Sur



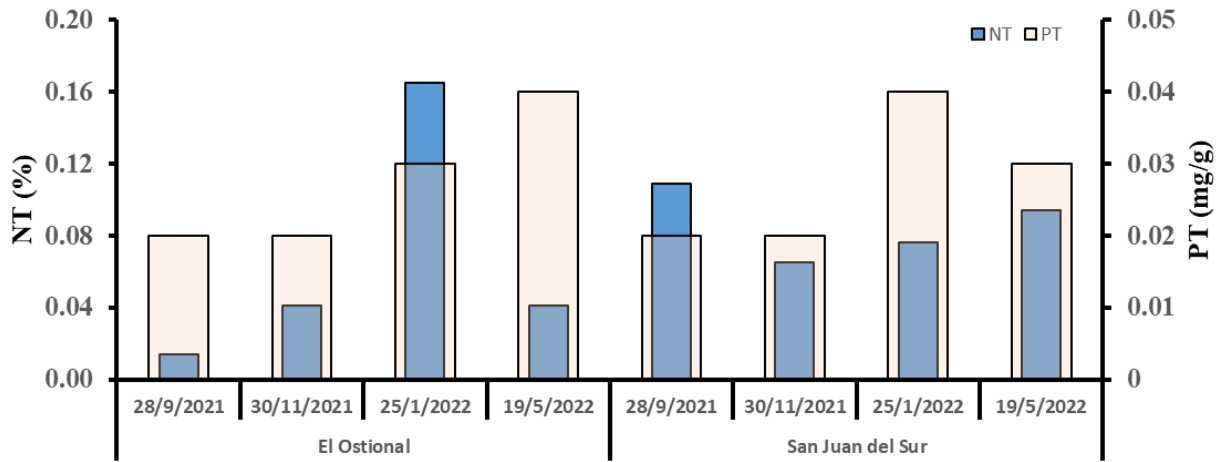
d) Nitrógeno y Fósforo total

Los valores de nitrógeno total en los sedimentos variaron de < 0.028 a 0.165% en El Ostional y entre 0.065 y 0.109% en San Juan del Sur, el valor más bajo se reportó en el punto de El Ostional (septiembre-2021) y el más alto en el punto de El Ostional (enero-2022). Los valores de NT fueron muy bajos, indicando que hay poca presencia de nutrientes en los sedimentos. (López M. P., 2009). (Anexo Tabla 17).

Por otro lado, las concentraciones de fósforo total en los sedimentos estuvieron en el rango de 0.02 y 0.04 mg/g en ambos puntos. Se destaca que las concentraciones más altas fueron registradas en época seca. En la Figura 20, se evidencia un comportamiento heterogéneo de los nutrientes en el tiempo y espacio y podrían indicar que las actividades que se desarrollan en los puntos de estudios

no están afectando los sedimentos, ya que los valores reportados son relativamente bajos y no contribuyen a la eutrofización (López M. P., 2009). (Anexo Tabla 18).

Figura 20. Comportamiento del porcentaje de NT y PT en las muestras de sedimentos de El Ostional y San Juan del Sur



Capítulo V

5.1. Conclusiones

1. El estudio midió que la calidad físico-química de las aguas de los ecosistemas de las playas de El Ostional y San Juan del Sur aún es buena, a pesar de los impactos tanto naturales como antropogénicos que experimentan, ya que la mayoría de los parámetros analizados fisicoquímicos y microbiológicos, no exceden los valores o rangos permisibles para el desarrollo de la vida acuática. Sin embargo, al ser clasificados los puntos de estudio en condiciones mesotróficas, es una alerta de que las condiciones pudieran deteriorarse en algún momento debido a la actividad que se hace desde el continente.
2. La composición fitoplanctónica en los puntos de estudio demostró la dominancia de las Bacillariophytas, siendo la especie más predominante *Chaetoceros socialis*, una especie de diatomea no tóxica para los humanos, pero que es nociva para peces e invertebrados. Es importante destacar, que se registraron especies tóxicas como *Pseudonitzschia*, pero en cantidades no predominantes, pero esto es una alerta que se debe tener presente. Por otro lado, los índices utilizados demostraron que el sitio con mayor diversidad fue San Juan del Sur y que las comunidades son muy parecidas entre sí.
3. Los análisis fisicoquímicos de los sedimentos en los puntos estudiados revelaron que hay poca contaminación ya que presentan muy bajas concentraciones de contaminantes sobre todo de materia orgánica. Sin embargo, se evidenció un mayor impacto de la cuenca en la zona de San Juan del Sur.
4. Basados en los resultados obtenidos a través del uso de los indicadores físico-químicos y biológicos se puede afirmar que la calidad de agua y sedimentos en los ecosistemas marinos costeros de las bahías de El Ostional y San Juan del Sur localizadas en el Pacífico sur de Nicaragua ha sido ligeramente modificada debido a la presencia de contaminantes físicos, químicos y biológicos, comprobando la hipótesis planteada.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda a los tomadores de decisiones implementar medidas o planes que contribuyan a mitigar los impactos ocasionados por las actividades antropogénicas en aras de la sostenibilidad de los recursos marinos de El Ostional y San Juan del Sur.
- Se recomienda a las autoridades competentes implementar un sistema de monitoreo y vigilancia para prevenir o evitar daños a la flora y fauna del ecosistema y a la población debido a los FANs que pudieran devenir en contaminación y proteger la fauna marina y salud humana.

5.3. Bibliografía

- Alcaldía Municipal de San Juan del Sur. (2020). *Alcaldia de San Juan del Sur* . Obtenido de Alcaldia de San Juan del Sur:
<https://www.facebook.com/SJSAlcaldiaDelPoderCiudadano/>
- American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Vol. 23). Washington D.C, Washington D.C, Estados Unidos: American Public Health Association.
- AQUAE. (2013). *AQUAE Foundation*. Obtenido de AQUAE Foundation:
<https://www.fundacionaquae.org/wiki/la-ancestral-salinidad-del-mar/amp/>
- Arenas, J. (2018). *Informe Ejecutivo de Muestreo y Análisis: Comparación entre Nitrógeno total, Fósforo total y DBO en cuerpos de agua*. Los Patios: CORPONOR.
- Asamblea Nacional. (19 de 11 de 1986). *Constitución Política de Nicaragua*. Managua, Nicaragua, Nicaragua: La Gaceta Diario Oficial. Obtenido de <https://www.lagaceta.gob.ni/>
- Asamblea Nacional. (6 de Junio de 1996). LEY N. 217, "Ley General del Medio Ambiente con sus reformas Incorporadas". *LEY N. 217, "Ley General del Medio Ambiente con sus reformas Incorporadas"*. Managua, Managua, Nicaragua: La Gaceta Diario Oficial. Obtenido de <https://www.lagaceta.gob.ni/>
- Asamblea Nacional. (11 de Febrero de 2000). *NORMA TÉCNICA OBLIGATORIA NICARAGÜENSE NORMA PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS N°. NTON 05 007-98*. Managua: La Gaceta. Obtenido de <http://legislacion.asamblea.gob.ni/>:
[http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/\(\\$All\)/1A3A99B77290B980062573DF00594022?OpenDocument](http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/($All)/1A3A99B77290B980062573DF00594022?OpenDocument)
- Asamblea Nacional. (21 de Noviembre de 2005). *Ley Especial de delitos contra el medio ambiente y los recursos naturales. Ley Especial de delitos contra el medio ambiente y los recursos naturales*. Managua, Managua, Nicaragua: La Gaceta.
- Asamblea Nacional. (4 de Junio de 2009). LEY No. 690 "Ley para el Desarrollo de las Zonas Costeras". *LEY No. 690 "Ley para el Desarrollo de las Zonas Costeras"*. Managua, Nicaragua, Nicaragua: La Gaceta Diario Oficial. Obtenido de <https://www.lagaceta.gob.ni/>

- Baylón, M., Advíncula, O., Loyola, O., Norabuena, Á., & Hernández Becerri, D. (2019). Variación espacial y temporal del fitoplancton con énfasis en las floraciones algales frente a la playa de pescadores artesanales de Chorrillos / Lima / Perú. *Ecología aplicada*, 133-143.
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2022). *Calidad de agua vertida al mar: coliformes fecales*. Santiago: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.
- Caballero, Y. (20 de junio de 2011). Procedimiento Operativo Normalizado de Determinación de Nitrógeno Total en suelos y sedimentos por el método Kjeldahl. *Procedimiento Operativo Normalizado-RQA-07 CIRA/UNAN-Managua*. Managua, Managua, Nicaragua: Aseguramiento y Control de la Calidad CIRA/UNAN-Managua.
- Caballero, Y. (2021). Sedimentos. *Presentación Power Point*. Managua, Managua, Nicaragua: CIRA/UNAN-Managua.
- Caballero, Y. (16 de Julio de 2022). Procedimiento Operativo Normalizado para la Determinación de Materia Orgánica por el método de Walkey y Black. *Procedimiento Operativo Normalizado-RQA-13 CIRA/UNAN-Managua*. Managua, Managua, Nicaragua: Área Técnica, Aseguramiento y Control de Calidad CIRA/UNAN-Managua.
- Caballero, Y. S. (2021). Fluctuaciones del pH, alcalinidad, oxígeno disuelto y nutriente en Cayos Miskitos, municipio de Puerto Cabezas, Región Autónoma del Atlántico Norte (RAAN). *Torreón Universitario*, 10(29), 164-165. doi:<https://doi.org/10.5377/rtu.v10i29.12743>
- Calderón, H., Chow, M., Pérez, J. E., & Bautista Reyna, J. (2021). Índice de Posición Topográfica (TPI) para identificar áreas inundables y zonificación de especies vegetales en un manglar del Pacífico Sur de Nicaragua. *Torreón Universitario*, 9(26), 124-146. doi:<https://doi.org/10.5377/torreon.v9i26.10264>
- Calero, S. (19 de mayo de 2011). Procedimiento Operativo Normalizado de Determinación de Fósforo Total en Sedimentos mediante el Método del Ácido Ascórbico. *Procedimiento Operativo Normalizado-RQA-06 CIRA/UNAN-Managua*. Managua, Managua, Nicaragua: Aseguramiento y Control de Calidad CIRA/UNAN-Managua.
- Calvo Vargas, E., & Arguedas Rodríguez, M. d. (2012). Muestreo de las Floraciones Algales Nocivas (FANs) en el Golfo de Nicoya, Puntarenas, Costa Rica. *Observatorio Ambiental*, 5-13.
- Canadian Natural Resources Limited. (2011). *SURFACE WATER QUALITY BASELINE REPORT FOR THE CANADIAN NATURAL KIRBY IN SITU OIL SANDS EXPANSION PROJECT*. Canadá: Golder Associates .

- Carbotecnia. (25 de Marzo de 2022). *Carbotecnia.info*. Obtenido de Carbotecnia.info:
<https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/quimica-del-agua/que-es-el-silice-y-como-afecta-en-el-agua/>
- CCME. (2008). *TEMPERATURE (Marine)*. Canadá: Canadian Council of Ministers of the Environment.
- CCO. (2013). El Océano Maravilla Terrestre. En C. C. Océano, *El Océano Maravilla Terrestre* (págs. 281-282). Bogotá: Editorial Comisión Colombiana del Océano.
- CCO. (2013). *El Océano Maravilla Terrestre*. Bogotá: Editorial Comisión Colombiana del Océano.
- Chow, N. (2016). *Procedimiento Operativo Normalizado para el Análisis Cualitativo del Fitoplancton por el Método de Observación Directa*. Área técnica, Aseguramiento y Control de Calidad CIRA/UNAN-Managua.
- Chow, N. (2018). *Procedimiento Operativo Normalizado para el Análisis Cuantitativo del Fitoplancton: Abundancia Numérica y Biomasa Peso-Húmedo*. Área Técnica, Aseguramiento y Control de Calidad CIRA/UNAN-Managua.
- Cienfuentes Lemus, J. L., Tórrez García, M. d., & Frías, M. (1997). *EL OCÉANO Y SUS RECURSOS. II. LAS CIENCIAS DEL MAR: OCEANOGRAFÍA GEOLÓGICA Y OCEANOGRAFÍA QUÍMICA*. Ciudad de México: FONDO DE CULTURA ECONOMICA .
- CIRA/UNAN-Managua (Dirección). (2021). *Floraciones Algales Nocivas en Nicaragua* [Película]. Nicaragua. Obtenido de <https://youtu.be/KP2N594YIo4>
- COERIS. (2016). *coepris.michoacan.gob*. Obtenido de *coepris.michoacan.gob*:
<https://coepris.michoacan.gob.mx/marea-roja/>
- Costa, L. S. (2014). *Variabilidad de la clorofila a en las aguas costeras de la Península Ibérica entre 1998 y 2007 usando datos de SeaWifs*. Madrid: Coordinadora Estatal de Ciencias Ambientales (CECCAA).
- Crumpton, W., Isenhardt, T., & Paul, M. (1992). Nitrate and Organic N Analyses with Second-Derivative Spectroscopy. *Limnology and Oceanography*, 37(4), 907-913.
doi:<http://dx.doi.org/10.4319/lo.1992.37.4.0907>
- Cruz Gutiérrez, E. I., López Huembes, Z. I., & Barrios Mairena, N. A. (Mayo de 2015). Incidencia ambiental, cultural y socioeconómica de las empresas aglomeradas en el clúster turístico, en el casco urbano del municipio de San Juan del Sur. *Incidencia ambiental, cultural y socioeconómica de las empresas aglomeradas en el clúster*

- turístico, en el casco urbano del municipio de San Juan del Sur. Managua, San Juan del Sur, Nicaragua: UNAN-Managua.*
- Cunha, D., Calijuri, M. d., & Lamparelli, M. (2013). A trophic state index for tropical/subtropical reservoirs . *Ecological Engineering*, 126-134.
- Custodio, E., & LLamas, M. R. (2001). *Hidrología Subterranea*. Barcelona: Ediciones Omega, S. A.
- CWQG. (2004). *PHOSPHORUS: CANADIAN GUIDANCE FRAMEWORK FOR THE MANAGEMENT OF FRESHWATER SYSTEMS*. Ottawa: Canadian Council of Ministers of the Environment.
- CWQG. (2008). *TOTAL PARTICULATE MATTER Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life*. Canadá: Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente.
- Dardel, F. d. (6 de Noviembre de 2016). *dardel.info*. Obtenido de *dardel.info*: http://dardel.info/IX/other_info/sea_water
- Delgado, C. A. (2016). Florecimientos algales nocivos en las costas de Campeche, Golfo de México. *Investigación y Ciencia*, 24(68), 91-96.
- DelValls, T. (1999). MEDIDAS EN CONTINUO DE pH EN CONDICIONES DE AFLORAMIENTO: LA CORRIENTE DE CALIFORNIA. *Ciencias marinas*, 25(3), 345-365. doi:<http://dx.doi.org/10.7773/cm.v25i3.719>
- Díaz Domínguez, J. M., & Sarria Sacasa, K. d. (21 de Noviembre de 2019). Microplásticos en las costas del Pacífico de Nicaragua. *COMPROMISO SOCIAL. Revista de la UNAN-Managua, Extensión Universitaria*, 1(2), 51-59.
- Dunnivant, F. (2012). *Alcalinidad del Agua*. Clemson: S.E.
- Edvardsen, B., Dittami, S., Groben, R., Brubak, S., & Escalera, L. (2012). Molecular probes and microarrays for the detection of toxic algae in the genera *Dinophysis* and *Phalacroma* (Dinophyta). *MOLECULAR TOOLS FOR MONITORING HARMFUL ALGAL BLOOMS*, 6734-6750.
- ENACAL. (2018). *Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de Nicaragua*. Managua: ENACAL.
- ENACAL. (2022). *Proyecto de Ampliación y Mejoramiento de Alcantarillado Sanitario y de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de San Juan del Sur*. Managua: ENACAL.

- Espinosa, C. I. (2019). *Medidas de Alpha Diversidad*. S.E.
- Espinoza Vallejos, S. V., & García Vásquez, R. J. (2018). Antropología del turismo de San Juan del Sur . *Revista Raíces*, 2(3), 13-24. doi:0000-0003-3239-7615
- Establier, R., Blasco, J., Gómez, A., & Escobar, D. (1984). Materia Orgánica en los sedimentos de la bahía de Cádiz y sus zonas de marismas y salinas. *Investigación pesquera*, 48(2), 285-301.
- Freire, E. E. (2019). Las variables y su operacionalización en la investigación educativa. *Revista pedagógica de la Universidad de Cienfuegos*, 15(69), 171-180. doi:1990-8644
- García Andreu, C., Saval Pérez, J. M., Baeza Brotons, F., & Tenza Abril, A. J. (2009). *Determinación de la granulometría de un árido*. Alicante: Universidad de Alicante.
- García, I. L. (2019). Calidad físicoquímica, microbiológica y de nutrientes de las aguas de las bahías de El Ostional, La Flor, Escameca y San Juan del Sur, Pacífico nicaragüense. *Calidad físicoquímica, microbiológica y de nutrientes de las aguas de las bahías de El Ostional, La Flor, Escameca y San Juan del Sur, Pacífico nicaragüense*. Managua, Managua, Nicaragua: CIRA/UNAN-Managua.
- GEOHAB. (2012). *Ecología global y oceanografía de las floraciones algales nocivas*. Paris,Francia: IOC y SCOR.
- González, L. (2016). *Nitrógeno amoniacal, importancia de su determinación*. Panamá: Laboratorio de Análisis Industriales y Ciencias Ambientales.
- Green Peace. (Abril de 2021). *Sin agua no hay pueblos. El agua limpia es un derecho. Contaminación del agua por nitratos en España*. Madrid: Habla rural Green Peace. Obtenido de greenpeace.org.
- GUEMISA. (2008). *Guemisa.ls*. Obtenido de Guemisa.ls: https://guemisa.com/articulos/que%20es%20oxigeno_disuelto.pdf
- Guillén, A. (08 de Febrero de 2019). *Biodiversidad virtual.org*. Obtenido de Biodiversidad virtual.org: <https://www.biodiversidadvirtual.org/micro/Guinardia-striata-img3587.html>
- Guíñez, M., Valdés, J., & Siffedine, A. (2010). Variabilidad espacial y temporal de la materia orgánica sedimentaria, asociada a la Zona de Mínimo Oxígeno (ZMO), en un ambiente costero del norte de la corriente de Humboldt, bahía de Mejillones, Chile. *Lat. Am. J. Aquat. Res*, 32(8), 242-253. doi:10.3856/vol38-issue2-fulltext-9
- Hallegraeff, G. M., Anderson, D. M., & Cembella, A. D. (1995). Manual on Harmful Marine Microalgae. En G. M. Hallegraeff, D. M. Anderson, & A. D. Cembella, *Manual on Harmful Marine Microalgae* (págs. 465-499). UNESCO Publishing.

- Hanna Instruments. (3 de Febrero de 2021). *hannainst.com*. Obtenido de hannainst.com.: <https://hannainst.com.mx/blog/control-de-fosforo-en-los-acuarios-de-agua-salada/>
- HANNA Instruments. (18 de Enero de 2022). <https://hannainst.com.mx/>. Obtenido de <https://hannainst.com.mx/>: <https://hannainst.com.mx/blog/por-que-es-importante-medir-la-silice-en-acuacultura>
- Herrera, D. (28 de octubre de 2013). Procedimiento Operativo Normalizado de Determinación de Porcentaje de Humedad en Suelos y Sedimentos mediante el Método Gravimétrico. *Procedimiento Operativo Normalizado-RQA-01 CIRA/UNAN-Managua*. Managua, Managua, Nicaragua: Aseguramiento y Control de Calidad CIRA/UNAN-Managua.
- Iagua. (4 de Abril de 2018). *iagua.es*. Obtenido de iagua.es: <https://www.iagua.es/noticias/sewervac-iberica/eutrofizacion-causas-consecuencias-y-soluciones>
- IDEAM. (2007). *Fósforo Reactivo Disuelto*. Bogotá: Laboratorio de Calidad Ambiental.
- INETER. (2020). *INETER*. Obtenido de INETER: <https://www.ineter.gob.ni/geoportales/variabilidadclimatica/index.html>
- INPESCA. (2008). *Guía Indicativa Nicaragua y el Sector Pesquero y Acuícola*. Managua: Centro de Investigaciones Pesqueras y Acuícolas/CIPA.
- INTUR. (8 de Octubre de 2020). *Mapa Nicaragua*. Obtenido de Mapa Nicaragua: <https://www.mapanicaragua.com/naturaleza-de-san-juan-del-sur/>
- INTUR. (23 de Julio de 2021). *Mapa Nacional de Turismo*. Obtenido de Mapa Nacional de Turismo: <https://www.mapanicaragua.com/municipio-de-san-juan-del-sur/>
- INVEMAR . (2011). *Glosario de la Operación Estadística Índice de Calidad de Aguas Marinas y Costeras – OE ICAM*. INVEMAR.
- Jacome de Solorzano, M., & Llanos de Bonilla, L. (1990). Estudio de la materia orgánica en los sedimentos del río Jubones, en el área comprendida entre el puente la Iberia hasta su desembocadura. *Acta Oceanográfica del pacífico*, 6(1), 96-102.
- Jaramillo, Á. O. (2005). Bioingeniería de aguas residuales. En Á. O. Jaramillo, *Bioingeniería de aguas residuales* (págs. 21-22). Bogotá: Comunicación sin Esquemas.
- Jaramillo, Á. O. (2005). *Bioingeniería de aguas residuales*. Medellín, Colombia: Comunicación SIN ESQUEMAS.

- Labomersa. (14 de Septiembre de 2021). *Labomersa.com*. Obtenido de Labomersa.com: <https://labomersa.com/2021/09/14/por-que-es-importante-dqo-demanda-quimica-de-oxigeno-y-dbo-demanda-biologica-de-oxigeno-en-analisis-de-aguas/>
- Lanzén, A., Abad, I., & Garate, L. (10 de Octubre de 2015). *AZTI.es*. Obtenido de AZTI.es: <https://www.azti.es/analisis-sedimentos-marinos-para-gestion-ecosistemas/>
- Larrea Murrell, J. A., Rojas Badía, M. M., Romeu Álvarez, B., Rojas Hernández, N. M., & Heydrich Pérez, M. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 44(3), 24-34. doi:181229302004
- Lenntech . (2015). *lenntech.es*. Obtenido de lenntech.es: <https://www.lenntech.es/nitratos-y-nitritos.htm>
- Lenntech. (2015). *lenntech.es*. Obtenido de lenntech.es: <https://www.lenntech.es/nitratos-y-nitritos.htm>
- Lenntech. (2020). <https://www.lenntech.com/>. Obtenido de <https://www.lenntech.com/>: <https://www.lenntech.com/periodic/water/iron/iron-and-water>
- Lobus, N., Kulikovskiy, M., & Maltsev, Y. (2021). Multi-Element Composition of Diatom Chaetoceros spp. from Natural Phytoplankton Assemblages of the Russian Arctic Seas. *Biology*, 10(10), 2-19. doi:<https://doi.org/10.3390/biology10101009>
- López, M. P. (2009). Los sedimentos y su incidencia en la eutrofización de los embalses. *Ingeniería del Agua*, 16(4), 273-283.
- López, S. I. (2000). *Operacionalización de Variables*. Universidad de Caldas.
- López Magaña, J. L., Manzano Sarabia, M. M., Hurtado Oliva, M. Á., Piña Valdez, P., Hernández Almeida, Ó. U., Guzón Zatarain, O., & Hernández, F. E. (2016). Fitoplancton: pequeños centinelas del océano. *Comunicaciones libres*, 1, 1-9.
- Lugo, C. Á. (2011). *Factores abióticos (parámetros físico-químicos)*. Lima: Universidad Nacional Federico Villareal.
- Marampouti, C., Buma, A. G., & de Boer, K. (17 de Agosto de 2020). Mediterranean alien harmful algal blooms: origins and impacts. *Environ Sci Pollut Res Int.*, 28(4), 3837-3851. doi:10.1007/s11356-020-10383-1
- MARENA. (1997). *Zonas Costeras de Nicaragua*. Dirección General del Ambiente.
- MARENA. (2001). *GEO Nicaragua*. Obtenido de GEO Nicaragua: <http://mapas.centrogeo.org.mx/unep/documentos/Nicaragua/NICARAGUAcostymar.pdf>

- Martinez, V. (11 de julio de 2008). Procedimiento Operativo Normalizado para Análisis de Granulometría de Suelos y Sedimentos según la Norma Austriaca L- 1061 - 88. *Procedimiento Operativo Normalizado-RQA-03 CIRA/UNAN-Managua*. Managua, Managua, Nicaragua: Aseguramiento y control de Calidad CIRA/UNAN-Managua.
- MINSA. (2022). *Ministerio de Salud, Nicaragua*. Obtenido de Ministerio de Salud, Nicaragua: <https://mapasalud.minsa.gob.ni/mapa-de-padecimientos-de-salud-municipio-san-juan-del-sur/>
- Moreno Franco, D. P., Quintero Manzano, J., & López Cuevas, A. (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *Contactos*, 78, 25-33.
- Nómada, R. (10 de Marzo de 2020). *Mujeres Nomadas*. Obtenido de Mujeres Nomadas: <http://www.mujeresnomadas.com/el-ostional-nicaragua-para-amantes-del-ecoturismo-y-turismo-responsable/>
- Nordin, R., & Pommen, L. (2009). *Pautas de calidad del agua para nitrógeno (nitrate, nitrite y amoníaco)*. Columbia Británica: División de Administración del Agua.
- NTON 05 007-98. (11 de Febrero de 2000). NORMA TÉCNICA OBLIGATORIA NICARAGÜENSE NORMA PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS. *NORMA TÉCNICA OBLIGATORIA NICARAGÜENSE NORMA PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS*. Managua, Managua, Nicaragua: La Gaceta Diario Oficial.
- Office of Water Regulations and Standards Washington, DC. (1986). *Quality Criteria for Water*. Washington DC: united States Environmental Protection Agency.
- Orozco, Á. (2005). Bioingeniería de aguas residuales. En Á. Orozco, *Bioingeniería de aguas residuales* (págs. 21-22). Bogotá: Comunicación Sin Esquemas.
- Orquera, E., & Cabrera, M. (2020). CARACTERIZACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO DE LA LAGUNA DE YAMBO. *InfoANALÍTICA*, 8(1), 99-111. doi:10.26807/ia.v8i1.119
- OSPESCA. (24 de Agosto de 2018). *climapesca.org*. Obtenido de climapesca.org: <https://climapesca.org/clorofila/>
- Pérez, L. M. (2018). *Afloramiento de aguas profundas entre las islas canarias orientales y la costa africana*. Lanzarote: Agrolanzarote.
- R. N. , N., & L.W. , P. (2009). *Water Quality Guidelines for Nitrogen (Nitrate, Nitrite, and Ammonia)*. Province of British Columbia: Water Stewardship Division Ministry of Environment.

- REMARCO. (07 de Octubre de 2019). *remarco.org*. Obtenido de *remarco.org*:
<https://remarco.org/floraciones-algales-nocivas-fan/>
- Rentería, J. X., & Clavijo, M. A. (2016). *Estudio de la calidad del agua de la quebrada Acuata en Tocaima Cundinamarca, mediante la relación de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y biológicos*. . Tocaima: Universidad de Cundinamarca.
- Rodriguez, H. R. (2005). Contaminación por sedimentos del río Anioia por metales pesados. *UPB - INVESTIGACIÓN & DESARROLLO*, 1(5), 103-116. doi:10.23881/idupbo.005.1-8i
- Saravia, S. B. (2020). *Características físico-químicas del agua de mar asociadas a las floraciones algales en la Bahía "El Ferrol" en los años 2015 y 2016*. Nuevo Chimbote: Universidad Nacional del Santa.
- Secretaría de Estado de Aguas y Costas del Ministerio de Medio Ambiente. (2000). Libro Blanco del Agua. En *Secretaría de Estado de Aguas y Costas del Ministerio de Medio Ambiente* (págs. 196-198). España: Centro de Publicaciones Secretaría general Técnica Ministerio de Medio Ambiente.
- Shannon , C. E., & Weaver, W. (1964). *THE MATHEMATICAL THEORY OF COMMUNICATION*. Umvorsity of Illinois. doi:49-11922.
- SIMA. (2013). *Nitrógeno total*. Sistema de Información del Medio Ambiente. Lima: Sistema de Información del Medio Ambiente.
- Simon, X., Penru, Y., Guastalli, A., Llorens, J., & Baig, S. (2011). Improvement of the analysis of the biochemical oxygen demand (BOD) of Mediterranean seawater by seeding control. *Talanta*, 85(1), 527-532. doi:https://doi.org/10.1016/j.talanta.2011.04.032
- Siqueira, T. d., Cescani, V. K., & Iglesias, R. S. (2018). *EXPERIMENTAL MODELING FOR pH VERIFICATION IN CO2-BRINE-ROCK INTERACTIONS*. Brasilia: 4º Congresso Brasileiro de CO2 na Indústria do Petróleo, Gás e Biocombustíveis.
- Smith, T. M., & Smith, R. L. (2007). *Ecología* (6ta Edición ed.). (M. M. Romo, Ed.) Madrid, Madrid, España: Pearson Education. doi:978-84-7829-084-0
- Sotil Flores , H. D. (2017). *ANÁLISIS DE INDICADORES DE CONTAMINACIÓN BACTERIOLÓGICA (COLIFORMES TOTALES Y TERMOTOLERANTES) EN EL LAGO DE MORONACOA*. UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ.
- Suárez, D. S. (2006). *Conductividad Eléctrica en Agua*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Sunesen, I., Bárcena, A., & Sar, E. (2009). Diatomeas potencialmente nocivas del Golfo San Matías (Argentina). *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 44(1), 67-88.

- Sunesen, I., Hernández Becerril, D., & Sar, E. (2008). Marine diatoms from Buenos Aires coastal waters (Argentina). V. Species of the genus *Chaetoceros*. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 303-326.
- TNC; MARENA. (2010). *Análisis de vacíos de conservación de los ecosistemas marino-costeros de Nicaragua*. The Nature Conservancy Nicaragua; Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. Managua: Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (MARENA).
- Váldez, J., & Castillo, A. (2014). Evaluación de la calidad ambiental de los sedimentos marinos en el sistema de bahías de Caldera (27°S), Chile. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 42(3), 497-513. doi: 103856
- Valerio, M. Q. (2020). *Identificación taxonómica y distribución espacial de quistes de resistencia de dinoflagelados nocivos, en el Golfo de Nicoya, Puntarenas, Costa Rica*. Heredia: Universidad Nacional de Costa Rica.
- Valls, J. L. (Octubre de 2019). *Revista aviNews*. Obtenido de Revista aviNews: <https://avinews.com/potencial-redox-de-oxidacion-reduccion-orp-para-la-bioseguridad-de-nuestras-granjas>
- Washington, H. G. (1984). DIVERSITY, BIOTIC AND SIMILARITY INDICES. *Water Res*, 18(6), 653-694. doi:0043-1354/8453.00 + 0.00
- Washington, H. G. (1984). DIVERSITY, BIOTIC AND SIMILARITY INDICES. *Water Research*, 18(6), 653-694. doi:[https://doi.org/10.1016/0043-1354\(84\)90164-7](https://doi.org/10.1016/0043-1354(84)90164-7)
- Webb, P. (30 de Octubre de 2022). *LibreText Español*. Obtenido de LibreText Español: [https://espanol.libretexts.org/Geociencias/Oceanograf%C3%ADa/Libro%3A_Introducci%C3%B3n_a_la_Oceanograf%C3%ADa_\(Webb\)/05%3A_Oceanograf%C3%ADa_Qu%C3%ADmica/5.05%3A_Di%C3%B3xido_de_Carbono%2C_pH_y_Acidificaci%C3%B3n_Oce%C3%A1nica](https://espanol.libretexts.org/Geociencias/Oceanograf%C3%ADa/Libro%3A_Introducci%C3%B3n_a_la_Oceanograf%C3%ADa_(Webb)/05%3A_Oceanograf%C3%ADa_Qu%C3%ADmica/5.05%3A_Di%C3%B3xido_de_Carbono%2C_pH_y_Acidificaci%C3%B3n_Oce%C3%A1nica)

5.4. Anexos

Tablas

Tabla 1. Valores de pH en los muestreos realizados en El Ostional y San Juan del Sur, muestreos 2021-2022

Fecha	Punto	pH (unidades de pH)
Sep-21	Os - 5m	8.02
Sep-21	Os - ZF	7.85
Nov-21	Os - 5m	8.02
En-22	Os - 5m	8.01
En-22	Os - Zf	7.99
May-22	Os - 5m	8.38
May-22	Os - ZF	8.35
Sep-21	SJS - 5m	8.02
Sep-21	SJS - ZF	7.84
Nov-21	SJS - 5m	8.01
En-22	SJS - 5m	7.91
En-22	SJS - ZF	7.91
May-22	SJS - 5m	8.37
May-22	SJS - ZF	8.38

Tabla 2. Valores de Conductividad eléctrica en los muestreos realizados en El Ostional y San Juan del Sur, muestreos 2021-2022

Fecha	Punto	CE (100-1413 mS/cm)
Sep-21	Os - 5m	50.50
Sep-21	Os - ZF	51.50
Nov-21	Os - 5m	51.10
En-22	Os - 5m	51.60
En-22	Os - Zf	51.50
May-22	Os - 5m	49.60
May-22	Os - ZF	49.80
Sep-21	SJS - 5m	50.50
Sep-21	SJS - ZF	51.40
Nov-21	SJS - 5m	51.00
En-22	SJS - 5m	51.50
En-22	SJS - ZF	51.40
May-22	SJS - 5m	49.40
May-22	SJS - ZF	48.40

Tabla 3.

Concentraciones de alcalinidad en los muestreos realizados en El Ostional y San Juan del Sur, muestreos 2021-2022.

Fecha	Punto	Alcalinidad total CaCO3 mg/L
Sep-21	Os - 5m	117.00
Sep-21	Os - ZF	119.00
Nov-21	Os - 5m	117.00
En-22	Os - 5m	122.00
En-22	Os - Zf	120.00
May-22	Os - 5m	120.00
May-22	Os - ZF	118.50
Sep-21	SJS - 5m	118.00
Sep-21	SJS - ZF	119.00
Nov-21	SJS - 5m	118.00
En-22	SJS - 5m	122.00
En-22	SJS - ZF	120.00
May-22	SJS - 5m	118.00
May-22	SJS - ZF	119.00

Tabla 4. *Valores de temperatura y concentraciones de oxígeno disuelto en El Ostional y San Juan del Sur, muestreos 2021-2022*

Fecha	Punto	Temperatura °C	Oxígeno Disuelto (mg/L)
Sep-21	Os - 5m	26.52	3.91
Sep-21	Os - ZF	23.53	1.63
Nov-21	Os - 5m	23.26	5.63
En-22	Os - 5m	23.12	6.98
May-22	Os - 5m	28.73	21.20
May-22	Os - ZF	28.41	7.22
Sep-21	SJS - 5m	25.54	3.80
Sep-21	SJS - ZF	23.84	1.72
Nov-21	SJS - 5m	24.51	5.52
En-22	SJS - 5m	22.24	4.08
May-22	SJS - 5m	29.22	7.96
May-22	SJS - ZF	29.27	7.04

Tabla 5. Concentraciones de Sílice reactivo disuelto de las muestras de aguas captadas en El Ostional y San Juan del Sur 2021-2022

Fecha	Punto	Sílice reactivo (SiO₂ mg/L) < 0.52 mg/L
Sep-21	Os - 5m	< 0.52
Sep-21	Os - ZF	< 0.52
Nov-21	Os - 5m	< 0.52
En-22	Os - 5m	< 0.52
En-22	Os - Zf	< 0.52
May-22	Os - 5m	< 0.52
May-22	Os - ZF	< 0.52
Sep-21	SJS - 5m	< 0.52
Sep-21	SJS - ZF	< 0.52
Nov-21	SJS - 5m	< 0.52
En-22	SJS - 5m	0.63
En-22	SJS - ZF	1.51
May-22	SJS - 5m	< 0.52
May-22	SJS - ZF	< 0.52

Tabla 6. Concentraciones de Hierro Total de las muestras de aguas captadas en El Ostional y San Juan del Sur 2021-2022

Fecha	Punto	Fe total Rango 0.03 (mg/L)
Sep-21	Os - 5m	0.015
Sep-21	Os - ZF	0.015
Nov-21	Os - 5m	0.04
En-22	Os - 5m	0.05
En-22	Os - Zf	0.08
May-22	Os - 5m	0.05
May-22	Os - ZF	0.25
Sep-21	SJS - 5m	0.06
Sep-21	SJS - ZF	0.41
Nov-21	SJS - 5m	0.015
En-22	SJS - 5m	0.1
En-22	SJS - ZF	0.05
May-22	SJS - 5m	0.05
May-22	SJS - ZF	0.12

Tabla 7. Concentraciones de DBO en las muestras de aguas captadas en El Ostional y San Juan del Sur 2021-2022

Fecha	Punto	DBO5 Rango min 0.1 (mg/L)
Sep-21	Os - 5m	3.54
Sep-21	Os - ZF	3.66
Nov-21	Os - 5m	4.51
En-22	Os - 5m	0.70
En-22	Os - Zf	1.10
May-22	Os - 5m	2.02
May-22	Os - ZF	2.17
Sep-21	SJS - 5m	4.04
Sep-21	SJS - ZF	1.26
Nov-21	SJS - 5m	6.10
En-22	SJS - 5m	2.57
En-22	SJS - ZF	1.60
May-22	SJS - 5m	2.17
May-22	SJS - ZF	1.89

Tabla 8. Concentraciones de COD en las muestras de aguas captadas en El Ostional y San Juan del Sur 2021-2022

Fecha	Punto	Carbono Orgánico Disuelto 0.13/0.28 (mg/L)
Sep-21	Os - 5m	0.44
Sep-21	Os - ZF	0.38
Nov-21	Os - 5m	0.39
En-22	Os - 5m	3.68
En-22	Os - Zf	1.06
May-22	Os - 5m	0.14
May-22	Os - ZF	0.40
Sep-21	SJS - 5m	0.40
Sep-21	SJS - ZF	0.40
Nov-21	SJS - 5m	0.60
En-22	SJS - 5m	0.72
En-22	SJS - ZF	0.91
May-22	SJS - 5m	0.14
May-22	SJS - ZF	0.3

Tabla 9. Concentraciones de dióxido de carbono libre en las muestras de aguas captadas en El Ostional y San Juan del Sur 2021-2022

Fecha	Punto	CO ₂ libre mg/L
Sep-21	Os - 5m	7.26
Sep-21	Os - ZF	10.56
Nov-21	Os - 5m	5.94
En-22	Os - 5m	7.29
En-22	Os - Zf	7.67
Sep-21	SJS - 5m	5.50
Sep-21	SJS - ZF	11.00
Nov-21	SJS - 5m	7.26
En-22	SJS - 5m	8.44
En-22	SJS - ZF	9.2

Tabla 10. Valores de Sólidos Suspendedos Totales en las muestras de aguas captadas en El Ostional y San Juan del Sur 2021-2022

Fecha	Punto	Sólidos suspendidos totales Rango < 20000 mg/L
Sep-21	Os - 5m	140.00
Sep-21	Os - ZF	163.00
Nov-21	Os - 5m	50.00
En-22	Os - 5m	274.00
En-22	Os - Zf	267.00
May-22	Os - 5m	287.00
May-22	Os - ZF	284.00
Sep-21	SJS - 5m	164.00
Sep-21	SJS - ZF	161.00
Nov-21	SJS - 5m	43.00
En-22	SJS - 5m	264.00
En-22	SJS - ZF	246.00
May-22	SJS - 5m	302.00
May-22	SJS - ZF	279.50

Tabla 11. Concentraciones de Nitrogeno total, N de nitrato, N de nitrito y N amoniacal en las muestras de aguas captadas en El Ostional y San Juan del Sur 2021-2022

Fecha	Punto	N total (mg/L)	N de nitrato (mg/L)	N de nitrito (mg/L)	N de Amonio (mg/L)
Sep-21	Os - 5m	1.70	0.43	0.0090	0.0082
Sep-21	Os - ZF	8.42	0.62	0.0090	0.0082
Nov-21	Os - 5m	7.08	0.46	0.0090	0.0227
En-22	Os - 5m	3.12	0.27	0.0090	0.0250
En-22	Os - Zf	0.61	0.30	0.0219	0.0477
May-22	Os - 5m	5.89	0.44	0.0090	0.2102
May-22	Os - ZF	2.92	0.45	0.0090	0.2547
Sep-21	SJS - 5m	1.28	0.44	0.0090	0.0195
Sep-21	SJS - ZF	17.24	0.57	0.0359	0.0082
Nov-21	SJS - 5m	19.32	0.44	0.0313	0.0219
En-22	SJS - 5m	2.71	0.32	0.0211	0.0219
En-22	SJS - ZF	0.61	0.38	0.0250	0.0234
May-22	SJS - 5m	2.08	0.45	0.0090	0.2102
May-22	SJS - ZF	2.03	0.58	0.0090	0.2547

Tabla 12. Concentraciones de Fósforo total y P de Fosfato en las muestras de aguas captadas en El Ostional y San Juan del Sur 2021-2022

Fecha	Punto	P total (µg/L)	PRD (µg/L)
Sep-21	Os - 5m	5.5	1.31
Sep-21	Os - ZF	22	1.31
Nov-21	Os - 5m	5.5	1.31
En-22	Os - 5m	58	9.48
En-22	Os - Zf	45	10.78
May-22	Os - 5m	21	1.31
May-22	Os - ZF	30	1.31
Sep-21	SJS - 5m	46	5.88
Sep-21	SJS - ZF	29	1.31
Nov-21	SJS - 5m	5.5	1.31
En-22	SJS - 5m	56	15.36
En-22	SJS - ZF	55	15.03
May-22	SJS - 5m	21	1.31
May-22	SJS - ZF	18	1.31

Tabla 13. Valores de Clorofila-a en las muestras de aguas captadas en El Ostional y San Juan del Sur 2021-2022

Fecha	Punto	Clorofila - a $\mu\text{g/L}$
Sep-21	Os - 5m	1.8
Sep-21	Os - ZF	1.4
Nov-21	Os - 5m	3.7
Nov-21	Os - ZF	10.7
En-22	Os - 5m	13.9
En-22	Os - Zf	10.3
May-22	Os - 5m	0.5
May-22	Os - ZF	1.0
Sep-21	SJS - 5m	1.6
Sep-21	SJS - ZF	1.0
Nov-21	SJS - 5m	5.5
Nov-21	SJS - ZF	6.8
En-22	SJS - 5m	4.8
En-22	SJS - ZF	3.9
May-22	SJS - 5m	1.0
May-22	SJS - ZF	1.2

Tabla 14. Número de taxones de fitoplancton identificados en muestras de agua de 5 m e integral de zona fótica (Zf) de las Bahías El Ostional y San Juan del Sur en cuatro muestreos realizados en el período desde septiembre 2021 hasta mayo 2022

Fecha	Sitio	Riqueza Total					Total
		Bacillariophyta	Dinophyta	Cyanophyta	Silicoflagelados	Charophita	
Sep-2021	EO 5m	40	7	1	2		50
Sep-2021	EO Zf	42	5	1	1		49
Sep-2021	SJS 5m	36	6				42
Sep-2021	SJS Zf	26	1		1		28
Nov-2021	EO5 m	31	4		1		36
Nov-2021	EO Zf	25	4		1		30
Nov-2021	SJS 5m	37	4		1		42
Nov-2021	SJS Zf	38	10	1	1		50
Ene-2022	EO 5m	33	2		1		36
Ene-2022	EO Zf	40	3		2		45
Ene-2022	SJS 5m	48	7		1		56

Ene-2022	SJS Zf	41	3		3		47
May-2022	EO 5 m	32	10			1	43
May-2022	EO Zf	31	10		1	1	44
May-2022	SJS 5m	27	11	1	1		40
May-2022	SJS Zf	26	9	1		1	37

Tabla 15. Granulometría de los sedimentos de El Ostional y San Juan del Sur

Lugar / Comunidad	Fecha	Granulometría				Textura
		Arena	Limo	Arcilla		
Bahía El Ostional, El Ostional	28/9/2021	91	8	1		Arenosa
Bahía San Juan del Sur, San Juan del Sur	28/9/2021	42	41	17		Franco
Bahía El Ostional, El Ostional	30/11/2021	85	10	5		Areno Francosa
Bahía San Juan del Sur, San Juan del Sur	30/11/2021	48	42	10		Franco
Bahía El Ostional-El Ostional	25/1/2022	13	63	24		Franco limosa
Bahía San Juan del Sur	25/1/2022	48	39	13		Franco
Bahía El Ostional, El Ostional	19/5/2022	26	55	19		Franco Limoso
Bahía de San Juan del Sur, San Juan del Sur	19/5/2022	56	27	17		Franco Arenoso

Tabla 16. Valores de Materia Orgánica en las muestras de sedimentos

Lugar / Comunidad	Fecha	MO (%)
Bahía El Ostional, El Ostional	28/9/2021	1.00
Bahía San Juan del Sur, San Juan del Sur	28/9/2021	2.01
Bahía El Ostional, El Ostional	30/11/2021	0.74
Bahía San Juan del Sur, San Juan del Sur	30/11/2021	1.54
Bahía El Ostional-El Ostional	25/1/2022	3.15
Bahía San Juan del Sur	25/1/2022	2.08
Bahía El Ostional, El Ostional	19/5/2022	2.55
Bahía de San Juan del Sur, San Juan del Sur	19/5/2022	1.57

Tabla 17. *Valores de Nitrógeno total en las muestras de sedimentos*

Lugar / Comunidad	Fecha	NT (%)
Bahía El Ostional, El Ostional	28/9/2021	<0.028
Bahía San Juan del Sur, San Juan del Sur	28/9/2021	0.109
Bahía El Ostional, El Ostional	30/11/2021	0.041
Bahía San Juan del Sur, San Juan del Sur	30/11/2021	0.065
Bahía El Ostional-El Ostional	25/1/2022	0.165
Bahía San Juan del Sur	25/1/2022	0.076
Bahía El Ostional, El Ostional	19/5/2022	0.041
Bahía de San Juan del Sur, San Juan del Sur	19/5/2022	0.094

Tabla 18. *Valores de PT en las muestras de sedimentos*

Lugar / Comunidad	Fecha	PT (mg.g⁻¹)
Bahía El Ostional, El Ostional	28/9/2021	0.02
Bahía San Juan del Sur, San Juan del Sur	28/9/2021	0.02
Bahía El Ostional, El Ostional	30/11/2021	0.02
Bahía San Juan del Sur, San Juan del Sur	30/11/2021	0.02
Bahía El Ostional-El Ostional	25/1/2022	0.03
Bahía San Juan del Sur	25/1/2022	0.04
Bahía El Ostional, El Ostional	19/5/2022	0.04
Bahía de San Juan del Sur, San Juan del Sur	19/5/2022	0.03

Figuras

Figura 1. Relación de IET PT-Clorf a según Carlson

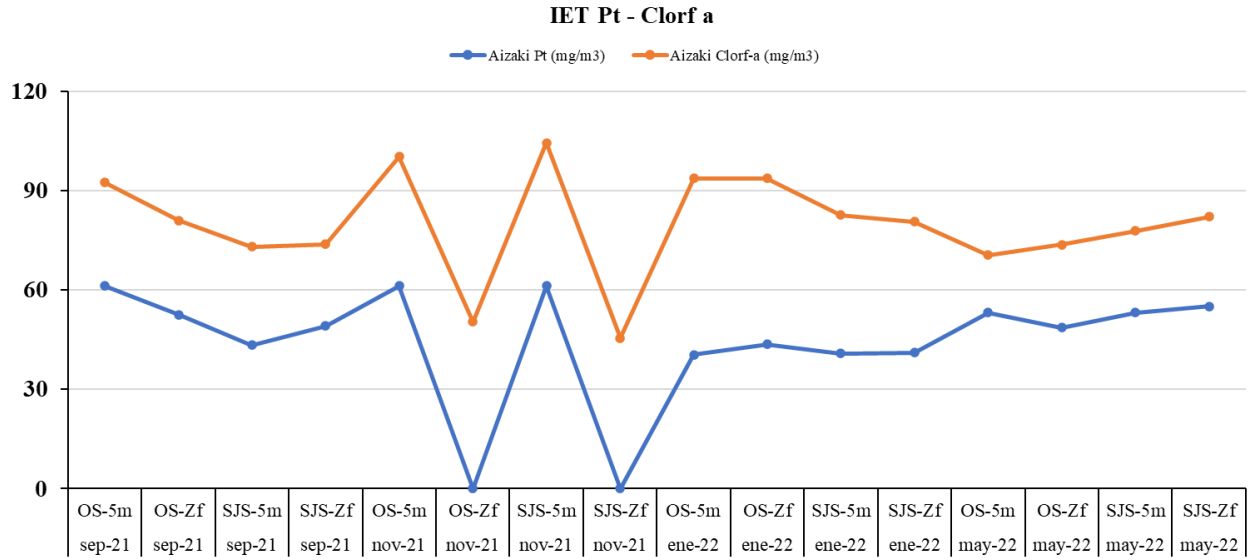


Figura 2. Relación de IET PT-Clorf a según Aizaki

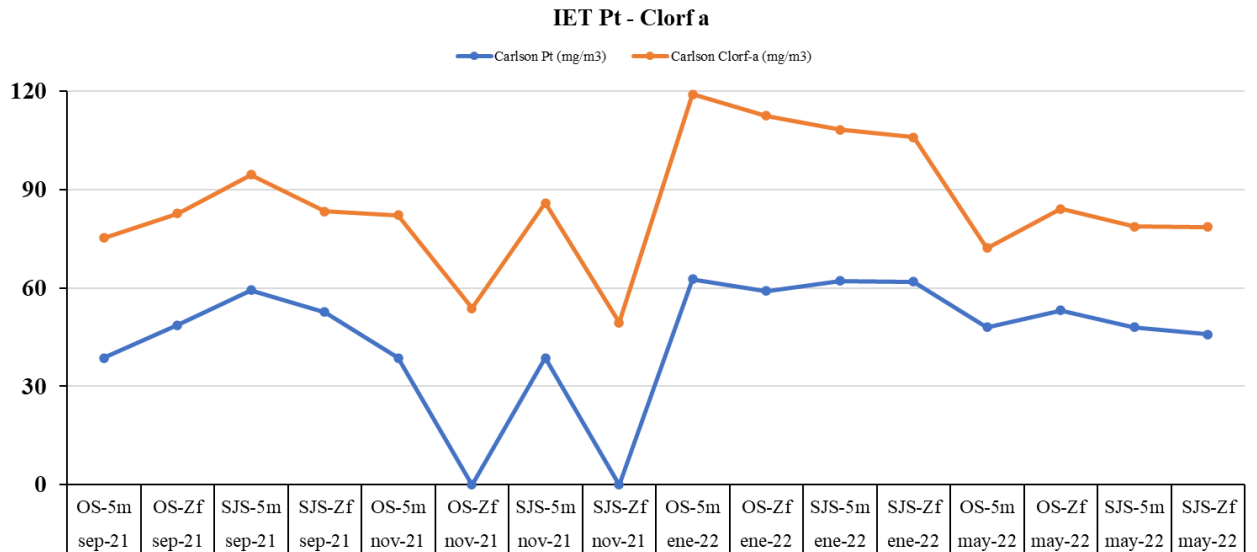


Figura 3. Índices de diversidad y similitud, junto con el porcentaje de abundancia relativa en las muestras de agua de las bahías de El Ostional y San Juan del Sur en los dos muestreos realizados en 2021

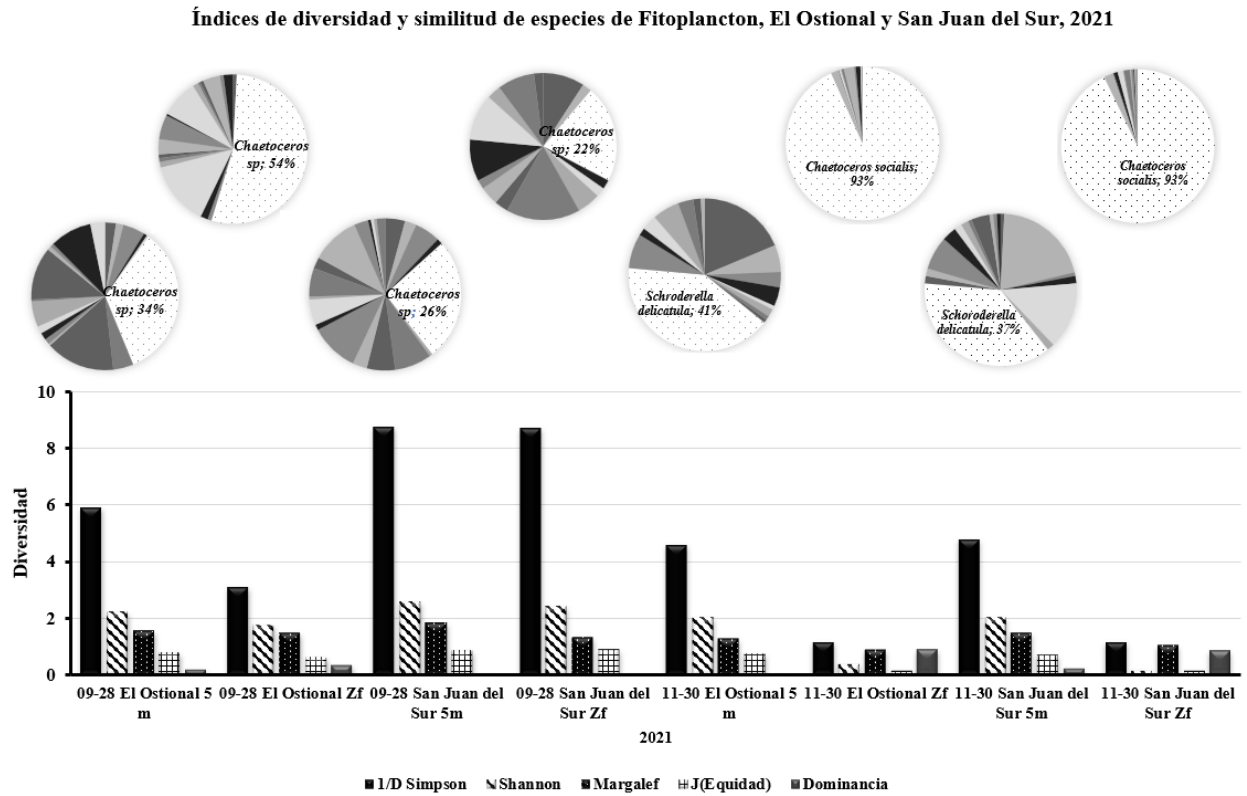
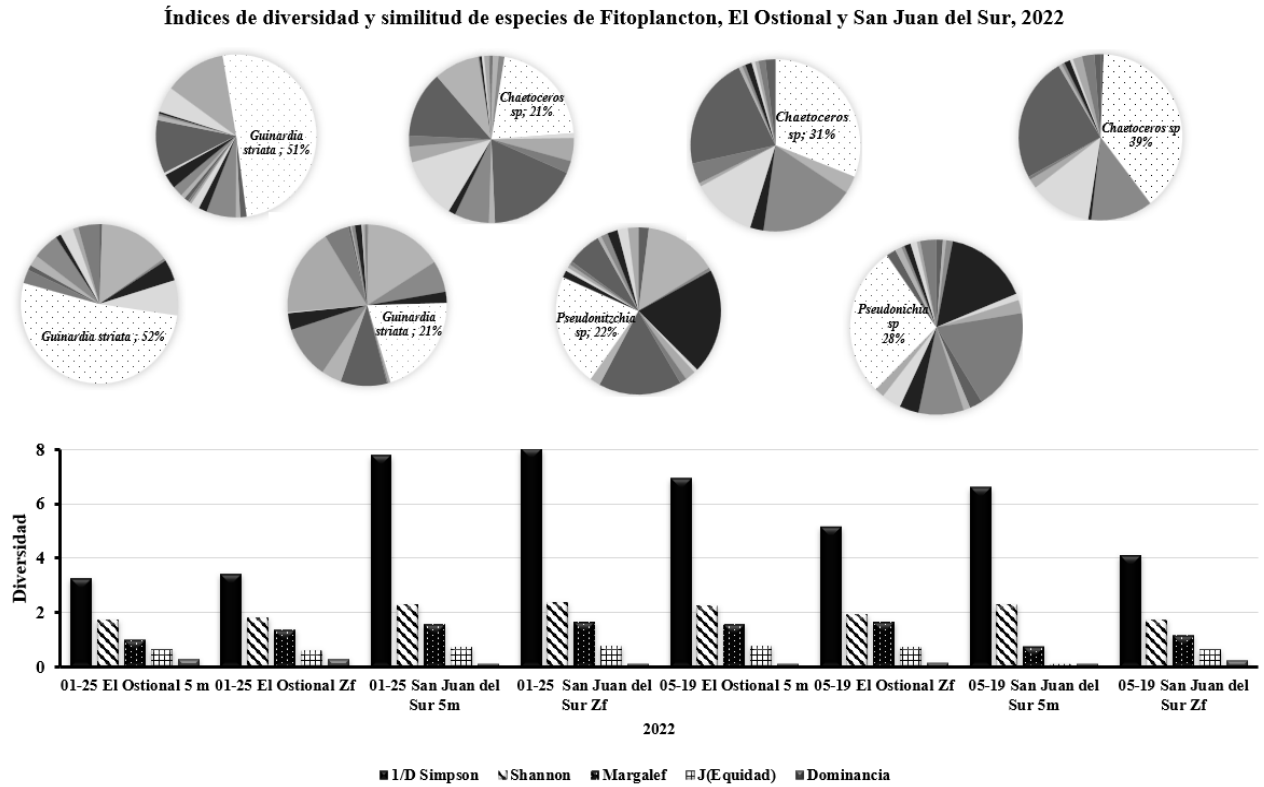


Figura 4. Índices de diversidad y similitud, junto con el porcentaje de abundancia relativa en las muestras de agua de las bahías de El Ostional y San Juan del Sur en los dos muestreos realizados en 2022



Fotos

Foto 1. Formatos de campo

The form is titled 'INFORMACIÓN GENERAL DE LA MUESTRA' and contains the following sections:

- INFORMACIÓN GENERAL DE LA MUESTRA:** Includes fields for 'NOMBRE DE LA MUESTRA' (Muestra de agua de la zona de la playa), 'LUGAR DONDE SE TOMA LA MUESTRA' (Playa de la zona de la playa), 'FECHA DE TOMA DE LA MUESTRA' (2022-01-05), and 'HORA DE TOMA DE LA MUESTRA' (11:00).
- COORDINADAS GEOGRÁFICAS:** Fields for 'LATITUD' (10° 30' 00" N) and 'LONGITUD' (75° 30' 00" W).
- TIPO DE MUESTRA:** A section with checkboxes for 'AGUA', 'SEDIMENTO', 'BIOTA', 'SUELO', 'AIRE', 'OTRO'.
- INSTRUMENTOS Y EQUIPO:** Fields for 'EQUIPO UTILIZADO PARA LA TOMA DE MUESTRA' (Dredge Van Meer) and 'OBSERVACIONES' (Profundidad total: 4 m).
- INSTRUCTIVO O PROCEDIMIENTO DE MUESTREO UTILIZADO:** 'Pesc-004-02-Pesc-CO-04'.
- PERSONAL:** Fields for 'NOMBRE DE LA PERSONA QUE TOMÓ LA MUESTRA' (Vanessa) and 'NOMBRE DE LA PERSONA QUE AYUDÓ' (Diana Herrera).
- FIN DEL DOCUMENTO:** A section for signatures and dates of the field staff.

Foto 2. Materiales utilizados durante los muestreos



Foto 3. Toma de muestras de arena



Foto 4. Toma de coordenadas geográficas



Foto 5. Preparación para iniciar la toma de muestras



Foto 6. Medición de OD in situ



Foto 7. Recolección de muestras para fitoplancton



Foto 8. Medición de parámetros pH, Conductividad y Salinidad in situ



Foto 9. Almacenamiento de las muestras



Foto 11. Preparación para análisis de granulometría



Foto 10. Preparación de muestras de sedimentos



Foto 12. Agitador magnético de sedimentos



Foto 13. Tamizado



Foto 14. Pipeta Konh para determinación de limo y arcilla



Foto 15. Pesaje de muestras de sedimentos



Foto 16. Medición de pH, conductividad y alcalinidad en muestras de agua



Foto 17. Determinación de Nitrógeno Total

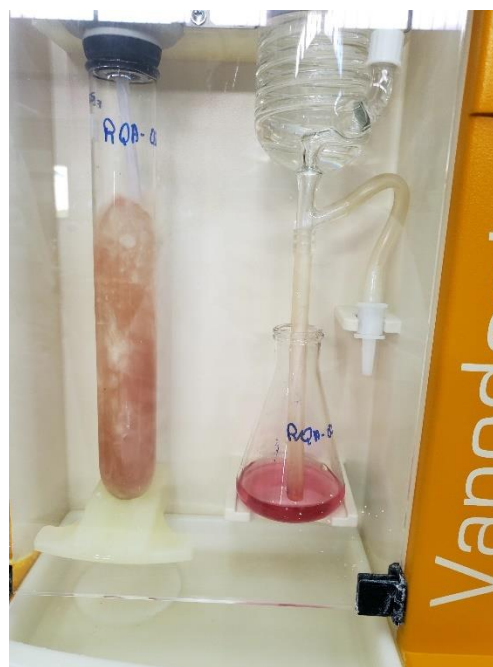


Foto 18. Pretratamiento de muestras para análisis de PT



Foto 19. Determinación de materia orgánica en sedimentos



Foto 20. Colocación de muestras de sedimentos en el horno desecador



Foto 21. Titulación de muestras para determinar materia orgánica

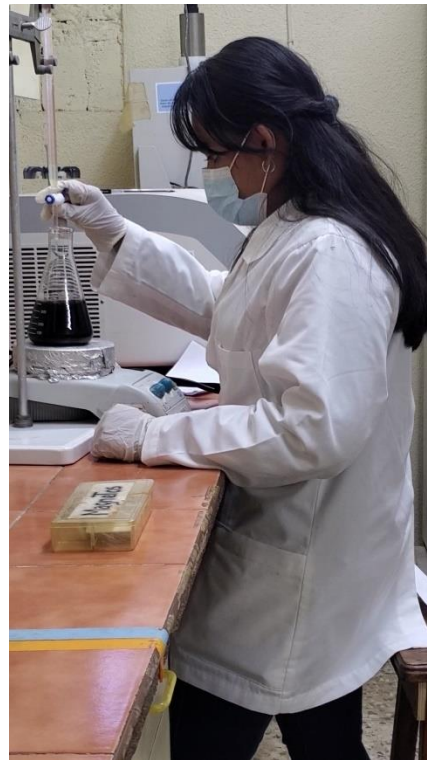


Foto 22. Revisión de muestras de agua para determinación de fitoplancton cuantitativo y cualitativo



