

2025

Informe final

FIPA N° 2023-17:

“Evaluación de las biotoxinas marinas
en la zona norte de Chile”

Mayo, 2025.





Informe final

FIPA 2023-17

Evaluación de las biotoxinas marinas en la zona norte de Chile

Subsecretaría de Pesca y Acuicultura / Mayo 2025.

Requirente

**Fondo de Investigación Pesquera y
de Acuicultura**

Subsecretario de Pesca y Acuicultura

Julio Salas Gutiérrez

Ejecutor

Instituto de Fomento Pesquero, IFOP

Director Ejecutivo
Gonzalo Pereira Puchy

Jefe División Investigación en Acuicultura
Gastón Vidal Santana

Jefe de Proyecto
Javier Paredes Mella

Equipo de trabajo

Oscar Espinoza González
Jorge Mardones Sánchez
Luis Norambuena Subiabre
Ana Flores Leñero
Sebastián Torres Campos
Claudia Valenzuela Araya
Bianca Zubicueta Olivares
Julia Cáceres Chamizo

ÍNDICE GENERAL

I. ÍNDICE DE TABLAS	5
II. ÍNDICE DE FIGURAS	7
III. RESUMEN	11
IV. ABSTRACT	13
V. ABREVIATURAS	15
1) NOMBRE DE LA PROPUESTA	17
2) ANTECEDENTES GENERALES	17
3) OBJETIVOS GENERALES	31
4) OBJETIVOS ESPECÍFICO	31
5) METODOLOGÍA	32
5.1 OBJETIVOS ESPECÍFICO 1	32
5.1.1 Recopilación de información respecto a las biotoxinas marinas más relevantes a nivel nacional e internacional.	32
5.1.2 Generación de resúmenes con los artículos científicos más relevantes relacionados con biotoxinas marinas en Chile.	32
5.1.3 Generación de fichas de las especies nocivas más relevantes en Chile que contengan información biológica, ecológica y efectos nocivos.	32
5.1.4 Recopilación de información referente a detecciones históricas de biotoxinas en la zona de estudio.	33
5.1.5 Identificación de áreas geográficas afectadas por biotoxinas marinas en la zona de estudio.	33
5.1.6 Muestreo de mariscos quincenales en 9 localidades entre las regiones de Arica y Parinacota a Coquimbo.	33
5.1.7 Análisis de biotoxinas en mariscos muestreados quincenalmente.	33
5.1.8 Evaluaciones de biotoxinas en mariscos en caso de potenciales eventos de floración de microalgas nocivas en el transcurso del periodo del proyecto.	33
5.2 OBJETIVO ESPECÍFICO 2.....	36
5.2.1 Recopilación de información respecto a microalgas nocivas presentes en la zona norte del país.	36
5.2.2 Generación de resumen de artículos científicos relacionados con microalgas nocivas presentes en la zona norte del país.....	36
5.2.3 Síntesis y generación de información respecto a microalgas que potencialmente puedan causar eventos nocivos en la zona norte en el tiempo que se desarrollará este proyecto.....	36
5.2.4 Muestreo quincenal de fitoplancton en 9 localidades entre las regiones de Coquimbo y Arica y Parinacota e identificación y cuantificación.	37
5.2.5 Aislamiento de cepas en caso de eventos de floración.	40
5.2.6 Cultivo y mantenimiento de cepa(s), y su caracterización morfológica, toxicológica y genética.....	40
5.2.7 Análisis temporal-espacial de la variación de la comunidad fitoplanctónica de la zona norte.	41
5.2.8 Correlación de biotoxinas y fitoplancton.....	41
5.3 OBJETIVO ESPECÍFICO 3.....	42
5.3.1 Realización de mini talleres presenciales o virtuales con la comunidad en la zona de estudio y generación	



de material de difusión.	42
5.3.2 Participación en el Festival Puerto de ideas Antofagasta 2024.	42
6) RESULTADOS.....	44
6.1 OBJETIVO ESPECÍFICO 1.....	44
6.1.1 Recopilación de información respecto a las biotoxinas marinas más relevantes a nivel nacional e internacional.	44
6.1.2 Generación de resúmenes con los artículos científicos más relevantes relacionados con biotoxinas marinas en Chile.	44
6.1.3 Generación de fichas con información biológica, ecológica, y efectos nocivos de las especies nocivas más relevantes.	44
6.1.4 Recopilación de información referente a detecciones históricas de biotoxinas en la zona de estudio.	54
6.1.5 Identificación de áreas geográficas histórica afectadas por biotoxinas marinas en la zona de estudio.....	61
6.1.6 Muestreo de mariscos quincenales en 9 localidades entre las regiones de Arica y Parinacota y Coquimbo.	65
6.2 OBJETIVO ESPECÍFICO 2.....	75
6.2.1 Recopilación de información respecto a microalgas nocivas presentes en la zona norte del País.	75
6.2.2 Generación de resumen de artículos científicos relacionados con microalgas nocivas presentes en la zona norte del país.	83
6.2.3 Síntesis y generación de información respecto a microalgas que potencialmente puedan causar eventos nocivos en la zona norte en el tiempo que se desarrolló este proyecto.	88
6.2.4 Muestreo quincenal de fitoplancton en 9 localidades entre las regiones de Arica y Parinacota a Coquimbo. Biotoxinas, identificación y cuantificación.	94
6.2.5 Aislación de cepas en caso de eventos de floración.....	101
6.2.6 Cultivo y mantenimiento de cepa(s), caracterización morfológica, toxicológica y genética.	101
6.3 OBJETIVO ESPECÍFICO 3.....	138
6.3.1 Realización de mini talleres presenciales o virtuales con la comunidad en la zona de estudio y generación de material de difusión.	138
7) DISCUSIÓN.....	146
8) CONCLUSIONES.....	154
9) REFERENCIAS.....	158
VI. ANEXOS.....	174

I. ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. ESCALA DE ABUNDANCIA RELATIVA SEGÚN ESPECIE.....	39
TABLA 2. PRINCIPALES BIOTOXINAS PRODUCIDAS POR MICROALGAS A NIVEL MUNDIAL, SÍNDROME ASOCIADO, EFECTOS NOCIVOS, ESTRUCTURA QUÍMICA Y LÍMITES DE REGULACIÓN INTERNACIONAL.....	46
TABLA 3. PRINCIPALES BIOTOXINAS Y LAS ESPECIES QUE LAS PUEDEN PRODUCIR DETECTADAS A NIVEL MUNDIAL...	51
TABLA 4. BIOTOXINAS DETECTADAS EN CHILE Y LAS ESPECIES QUE LAS PRODUCEN.	53
TABLA 5. DETECCIÓN DE TOXINAS MARINAS EN ZONA NORTE DE CHILE POR PARTE DEL PSMB.	58
TABLA 6. DETECCIÓN HISTÓRICA DE TOXINAS EN LA REGIÓN DE ATACAMA POR PARTE DEL MINSAL.....	58
TABLA 7. DETECCIÓN HISTÓRICA DE TOXINAS EN LA REGIÓN DE COQUIMBO POR PARTE DEL MINSAL.....	59
TABLA 8. TABLA DE LA OBTENCIÓN DE MARISCOS DURANTE EL MONITOREO EN 9 SITIOS DEL NORTE DE CHILE.....	65
TABLA 9. RESULTADOS DE BIOTOXINAS DE MARISCOS SSL DE LA REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA. SOLO SE MUESTRAN RESULTADOS DONDE AL MENOS SE DETECTÓ UNA TOXINA.	67
TABLA 10. RESULTADOS DE BIOTOXINAS DE MARISCOS SSL DE LA REGIÓN DE TARAPACÁ. SOLO SE MUESTRAN RESULTADOS DONDE AL MENOS SE DETECTÓ UNA TOXINA.....	67
TABLA 11. RESULTADOS DE BIOTOXINAS DE MARISCOS SSL DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA. SOLO SE MUESTRAN RESULTADOS DONDE AL MENOS SE DETECTÓ UNA TOXINA.....	67
TABLA 12. RESULTADOS DE BIOTOXINAS DE MARISCOS SSL DE LA REGIÓN DE ATACAMA. SOLO SE MUESTRAN RESULTADOS DONDE AL MENOS SE DETECTÓ UNA TOXINA.....	68
TABLA 13. RESULTADOS DE BIOTOXINAS DE MARISCOS SSL DE LA REGIÓN DE COQUIMBO. SOLO SE MUESTRAN RESULTADOS DONDE AL MENOS SE DETECTÓ UNA TOXINA.....	69
TABLA 14. RESULTADOS DE BIOTOXINAS DE MARISCOS DE LA REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA (CREAN). SOLO SE MUESTRAN RESULTADOS DONDE AL MENOS SE DETECTÓ UNA TOXINA.	71
TABLA 15. RESULTADOS DE BIOTOXINAS DE MARISCOS DE LA REGIÓN DE TARAPACÁ (CREAN). SOLO SE MUESTRAN RESULTADOS DONDE AL MENOS SE DETECTÓ UNA TOXINA.....	71
TABLA 16. RESULTADOS DE BIOTOXINAS DE MARISCOS DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA (CREAN). SOLO SE MUESTRAN RESULTADOS DONDE AL MENOS SE DETECTÓ UNA TOXINA.	72
TABLA 17. RESULTADOS DE BIOTOXINAS DE MARISCOS DE LA REGIÓN DE ATACAMA (CREAN). SOLO SE MUESTRAN RESULTADOS DONDE AL MENOS SE DETECTÓ UNA TOXINA.....	72
TABLA 18. RESULTADOS DE BIOTOXINAS DE MARISCOS DE LA REGIÓN DE COQUIMBO (CREAN). SOLO SE MUESTRAN RESULTADOS DONDE AL MENOS SE DETECTÓ UNA TOXINA.....	74
TABLA 19. ESPECIES DE MICROALGAS NOCIVAS REPORTADAS EN LOCALIDADES DEL NORTE DE CHILE. SE PRESENTA LA ESPECIE, LOCALIDAD, CONCENTRACIÓN CELULAR O PRESENCIA, FECHA DEL REPORTE, POTENCIALES TOXINAS ASOCIADAS (EN NEGRITA SE INDICAN LAS TOXINAS INFORMADAS POR EL ESTUDIO) Y LA CITA BIBLIOGRÁFICA CORRESPONDIENTE.....	77
TABLA 20. NÚMERO DE TRABAJOS ASOCIADOS A LAS ESPECIES FORMADORAS DE FLORACIONES ALGALES MÁS RELEVANTES, Y ESPECIES POTENCIALMENTE NOCIVAS RECIENTEMENTE IDENTIFICADAS DE CHILE.	82
TABLA 21. RESUMEN ESPECIES FORMADORAS DE FLORACIONES ALGALES NOCIVAS CON Y SIN PRESENCIA DE TOXINAS DETECTADAS EN EL NORTE DE CHILE.....	87



TABLA 22. ESPECIES DOMINANTE EN LA MUESTRA CUALITATIVA.	92
TABLA 23. TOTAL DE MUESTRAS DE COLUMNA DE AGUA OBTENIDAS PARA ANÁLISIS DE TOXINA Y ESPECIES FITOPLANCTÓNICAS.	94
TABLA 24. RESULTADOS DE TOXINAS EN FITOPLANCTON ARICA Y PARINACOTA (CREAN). SOLO SE MUESTRAN RESULTADOS DONDE AL MENOS SE DETECTÓ UNA TOXINA.	96
TABLA 25. RESULTADOS DE TOXINAS EN FITOPLANCTON TARAPACÁ (CREAN). SOLO SE MUESTRAN RESULTADOS DONDE AL MENOS SE DETECTÓ UNA TOXINA.	97
TABLA 26. RESULTADOS DE TOXINAS EN FITOPLANCTON ANTOFAGASTA (CREAN). SOLO SE MUESTRAN RESULTADOS DONDE AL MENOS SE DETECTÓ UNA TOXINA.	97
TABLA 27. RESULTADOS DE TOXINAS EN FITOPLANCTON ATACAMA (CREAN). SOLO SE MUESTRAN RESULTADOS DONDE AL MENOS SE DETECTÓ UNA TOXINA.	97
TABLA 28. RESULTADO TOXINA REGIÓN DE COQUIMBO. SOLO SE MUESTRAN RESULTADOS DONDE AL MENOS SE DETECTÓ UNA TOXINA EN FITOPLANCTON COQUIMBO (CREAN).	99

II. ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. NÚMERO DE DETECCIONES DE BIOTOXINAS EN LA MACROZONA NORTE PARA GUANAQUEROS Y TONGOY. BAHÍA INGLESA Y BAHÍA COQUIMBO NO PRESENTAN IDENTIFICACIÓN DE TOXINAS. NO SE DETECTARON NIVELES DE TOXINAS SOBRE LO INDICADO POR LA REGULACIÓN CHILENA E INTERNACIONAL.	62
FIGURA 2. NÚMERO DE DETECCIONES DE BIOTOXINAS EN LA MACROZONA NORTE PARA LA REGIÓN DE ATACAMA. ..	63
FIGURA 3. NÚMERO DE DETECCIONES DE BIOTOXINAS EN LA MACROZONA NORTE PARA LA REGIÓN DE COQUIMBO. LAS TOXINAS LIPOFÍLICAS FUERON MONITOREADAS LOS AÑOS RECIENTES (2022-2024), ENCONTRANDO 2 MUESTRAS POSITIVAS EN LA LOCALIDAD DE PUNTA DE CHOROS, AUNQUE NO SE IDENTIFICA A QUE TIPO DE TOXINA CORRESPONDIÓ. LA BASE DE DATOS NO INCLUÍA LA EVALUACIÓN DE ANÁLOGOS COMO YTX, PTX.....	64
FIGURA 4. MAPA CON LA DISTRIBUCIÓN DE LAS ESPECIES DE MICROALGAS NOCIVAS EN LAS LOCALIDADES DE LAS REGIONES DE ARICA Y PARINACOTA Y TARAPACÁ. PARA CADA ESPECIE SE INDICA LA CITA BIBLIOGRÁFICA QUE LA REPORTA.	78
FIGURA 5. MAPA CON LA DISTRIBUCIÓN DE LAS ESPECIES DE MICROALGAS NOCIVAS EN LAS LOCALIDADES DE LAS REGIONES DE ANTOFAGASTA Y ATACAMA. PARA CADA ESPECIE SE INDICA LA CITA BIBLIOGRÁFICA QUE LA REPORTA.	79
FIGURA 6. MAPA CON LA DISTRIBUCIÓN DE LAS ESPECIES DE MICROALGAS NOCIVAS EN LAS LOCALIDADES DE LAS REGIONES DE ATACAMA Y COQUIMBO. PARA CADA ESPECIE SE INDICA LA CITA BIBLIOGRÁFICA QUE LA REPORTA.	80
FIGURA 7. MAPA CON LA DISTRIBUCIÓN DE LAS ESPECIES DE MICROALGAS NOCIVAS EN LAS LOCALIDADES DE LA REGIÓN DE COQUIMBO (CONTINUACIÓN). PARA CADA ESPECIE SE INDICA LA CITA BIBLIOGRÁFICA QUE LA REPORTA.	81
FIGURA 8. MORFOTIPO DE <i>ALEXANDIUM</i> CF. <i>CATENELLA</i> REGISTRADO EN EL NORTE DE CHILE. VP= PORO VENTRAL; SP= PLACA SULCAL POSTERIOR; 1´= PLACA UNO PRIMA; 6´´=PLACA SEIS PRIMA; PCP= PORO CONEXIÓN POSTERIOR. LA PRESENCIA DE PORO PUEDE SER UN CARÁCTER PLÁSTICO COMO SE HA OBSERVADO EN OTRAS LOCALIDADES DE CHILE (E.G. PAREDES-MELLA 2021). CÉLULAS TEÑIDAS CON CALCOFLUOR CON EXCEPCIÓN DE LA IMAGEN EN LA CIRCUNFERENCIA. BARRA DE LA ESCALA = 20 µM.	89
FIGURA 9. EFECTO DE DISTINTAS CONCENTRACIONES Y EXTRACCIÓN DE COMPUESTOS DE LA DIATOMEA <i>DETONULA PUMILA</i> SOBRE LA VIABILIDAD DE LÍNEAS CELULARES.	101
FIGURA 10. EFECTO DE DISTINTAS CONCENTRACIONES Y EXTRACCIÓN DE COMPUESTOS DE LA DIATOMEA DEL GRUPO <i>PSEUDO-NITZSCHIA SERIATA</i> SOBRE LA VIABILIDAD DE LÍNEAS CELULARES.	102
FIGURA 11. MUESTRA LA VARIACIÓN MORFOLÓGICA DE LA CEPA COQ_AO. CÉLULAS FUERON TEÑIDAS CON CALCOFLUOR Y OBSERVADA CON FLUORESCENCIA. LA PLACA 1 PRIMA MUESTRA LA PRESENCIA DEL PORO. .	104
FIGURA 12. VARIACIÓN MORFOLÓGICA DE <i>A. OSTENFELDII</i> . 1-9 VARIACIÓN DE CÉLULAS VEGETATIVAS. 10-13 CÉLULAS EN PROCESO DE ENQUISTAMIENTO. 14-15 QUISTES TEMPORALES. 18-19 QUISTES DE RESISTENCIA.	105
FIGURA 13. ANÁLISIS FILOGENÉTICO CON SECUENCIA AISLADA DE LA REGIÓN DE COQUIMBO. SECUENCIA SE AGREGA EN EL GRUPO DE <i>A. OSTENFELDII</i>	106

FIGURA 14. CROMATOGRAMA DEL ANÁLISIS DE LA CEPA DE <i>A. OSTENFELDII</i> MEDIANTE HPLC-MS. A Y C ESTÁNDAR DE STX Y GIMNODIMINA RESPECTIVAMENTE. B Y D RESULTADO DE LA MUESTRA.	107
FIGURA 15. ABUNDANCIA DEL GRUPO DINOFLAGELADOS (CÉLULAS/L) EN CADA UNO DE LOS SITIOS MUESTREADOS A LO LARGO DEL TIEMPO.	109
FIGURA 16. ABUNDANCIA DEL GRUPO DIATOMEAS (CÉLULAS/L) EN CADA UNO DE LOS SITIOS MUESTREADOS A LO LARGO DEL TIEMPO.	110
FIGURA 17. ABUNDANCIA DEL GRUPO SILICOFAGELADOS (CÉLULAS/L) EN CADA UNO DE LOS SITIOS MUESTREADOS A LO LARGO DEL TIEMPO.	111
FIGURA 18. ABUNDANCIA DEL GRUPO ZOOMASTIGOFOROS (CÉLULAS/L) EN CADA UNO DE LOS SITIOS MUESTREADOS A LO LARGO DEL TIEMPO.	112
FIGURA 19. ABUNDANCIA DEL GRUPO CILIADOS (CÉLULAS/L) EN CADA UNO DE LOS SITIOS MUESTREADOS A LO LARGO DEL TIEMPO.	114
FIGURA 20. ABUNDANCIA DEL GRUPO EUGLENOFÍCEAS (CÉLULAS/L) EN CADA UNO DE LOS SITIOS MUESTREADOS A LO LARGO DEL TIEMPO.	115
FIGURA 21. ABUNDANCIA DEL GRUPO PRYMNESIALES (CÉLULAS/L) EN CADA UNO DE LOS SITIOS MUESTREADOS A LO LARGO DEL TIEMPO.	116
FIGURA 22. DETECCIÓN DE 6 TAXONES NOCIVOS EN ANÁLISIS CUALITATIVOS DURANTE LOS MUESTREOS POR MES Y LOCALIDAD DE MUESTREO. EL COLOR ILUSTRAN LA PRESENCIA DE LA ESPECIE.	118
FIGURA 23. MAPA MUESTRA LA DETECCIÓN Y VARIACIÓN A NIVEL GEOGRÁFICO DE 6 TAXONES PRODUCTORES DE BIOTOXINAS DETECTADOS EN LOS MUESTREOS. LOS CÍRCULOS DE COLOR AL LADO IZQUIERDO DEL MAPA ILUSTRAN LA PRESENCIA DE LA ESPECIE EN LA COSTA.	119
FIGURA 24. VARIACIÓN TEMPORAL Y GEOGRÁFICA DE LA ABUNDANCIA RELATIVA DE LOS PRINCIPALES DINOFLAGELADOS PRODUCTORA DE BIOTOXINAS. QUINCENA: 1 Y 2, MES: 12 (DICIEMBRE 2023) 1-6 (ENERO HASTA JUNIO 2024). LOCALIDADES; ARICA: ARI. IQUIQUE: IQU. MEJILLONES: MEJ. PUNTA DE CHOROS: CHO. EL MORRO: MOR. BARRANQUILLA: BAR. BAHÍA COQUIMBO: COQ, GUANAQUEROS: GUA. TONGOY: TON.	122
FIGURA 25. VARIACIÓN TEMPORAL Y GEOGRÁFICA DE LA ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS PRINCIPALES DIATOMEAS PRODUCTORA DE BIOTOXINAS. QUINCENA: 1 Y 2, MES: 12 (DICIEMBRE 2023) 1-6 (ENERO HASTA JUNIO 2024). LOCALIDADES; ARICA: ARI. IQUIQUE: IQU. MEJILLONES: MEJ. PUNTA DE CHOROS: CHO. EL MORRO: MOR. BARRANQUILLA: BAR. BAHÍA COQUIMBO: COQ, GUANAQUEROS: GUA. TONGOY: TON.	123
FIGURA 26. RIQUEZA SE ESPECIES DE DIATOMEAS (BARRAS PLOMAS) Y DINOFLAGELADOS (BARRAS VERDES). QUINCENA: 1 Y 2, MES: 12 (DICIEMBRE 2023), 1-6 (ENERO HASTA JUNIO 2024). LOCALIDADES; ARICA: ARI. IQUIQUE: IQU. MEJILLONES: MEJ. PUNTA DE CHOROS: CHO. EL MORRO: MOR. BARRANQUILLA: BAR. BAHÍA COQUIMBO: COQ, GUANAQUEROS: GUA. TONGOY: TON.	126
FIGURA 27. BARRAS: AR DE <i>A. OSTENFELDII</i> (NARANJO) Y <i>A. CF. CATENELLA</i> (VERDE). PUNTOS: CONCENTRACIÓN DE TOXINA PARALIZANTES (CAFÉ) Y DETECCIÓN DE GIMNODIMINA BAJO EL LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN (<LC, AMARILLO BAJO EL EJE) EN MUESTRAS DE FITOPLANCTON.	129
FIGURA 28. CONCENTRACIÓN Y ANÁLOGOS DE TOXINAS PARALIZANTE ENCONTRADA EN MARISCOS. PUNTOS AMARILLOS BAJO EL EJE MUESTRAN DETECCIÓN DE GIMNODIMINA BAJO EL LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN (<LC). ASTERISCOS SOBRE LAS BARRAS MUESTRAN LOS VALORES OBTENIDOS POR LA SEREMI DE SALUD DE LA	

REGIÓN DE LOS LAGOS. LAS LETRAS BAJO LOS MESES MUESTRAN EL TIPO DE MARISCO QUE FUE MUESTREADO: <i>CHOROMYTIUS CHORUS</i> (Cc), <i>AULACOMYA ATRA</i> (Aa), <i>VENUS ANTIQUA</i> (Va), <i>GARI SOLIDA</i> (Gs), <i>MESODESMA DONACIUM</i> (Md), <i>ARGOPECTEN PURPURATUS</i> (Ap), <i>CONCHOLEPAS CONCHOLEPAS</i> (Cc), <i>PYURA CHILENSIS</i> (Pc), X: SIN MUESTRA.	131
FIGURA 29. PORCENTAJE DE CONTRIBUCIÓN DE LAS VARIABLES A LAS DIMENSIONES 1 Y 2 DEL ACP PARA LAS TOXINAS PARALIZANTES, GIMNODIMINA Y ESPECIES PRODUCTORAS.	132
FIGURA 30. ACP PARA LAS TOXINAS PARALIZANTES Y GIMNODIMINA Y ESPECIES PRODUCTORAS Y LOCALIDADES DONDE FUERON MUESTREADAS.	133
FIGURA 31. CORRELACIÓN ENTRE ABUNDANCIA RELATIVA DE <i>DINOPHYSIS ACUMINATA</i> Y TOXINAS ENCONTRADAS EN MUESTRAS DE FITOPLANCTON O AGUA, Y EN MARISCOS. B: CORRELACIÓN ENTRE ABUNDANCIA RELATIVA DE GRUPOS <i>PSEUDO-NITZSCHIA</i> Y TOXINA ENCONTRADA EN EL AGUA O FITOPLANCTON. C: CORRELACIÓN ENTRE ABUNDANCIA RELATIVA DE GRUPOS <i>PSEUDO-NITZSCHIA</i> Y TOXINA ENCONTRADA EN MARISCOS.	136
FIGURA 32. GRÁFICOS SUPERIORES: PORCENTAJE DE CONTRIBUCIÓN DE LAS VARIABLES A LAS DIMENSIONES 1 Y 2 DEL ACP PARA LAS TOXINAS LIPOFÍLICAS Y LAS ESPECIES PRODUCTORAS. GRÁFICO INFERIOR: ACP PARA LAS TOXINAS LIPOFÍLICAS LAS ESPECIES PRODUCTORAS Y LAS LOCALIDADES DONDE FUERON MUESTREADAS.....	137
FIGURA 33. PROGRAMA DE AMBAS ACTIVIDADES DEL PASEO POR LAS CIENCIAS DEL FESTIVAL PUERTO DE IDEAS.	139
FIGURA 34. IMÁGENES DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL FESTIVAL PUERTO DE IDEAS.....	140
FIGURA 35. IMAGEN UTILIZADA EN GIGANTOGRAFÍA (ESTILO PIBOX) UTILIZADO POR LOS EXPOSITORES PARA EXPLICAR LAS DIFERENTES TEMÁTICAS ASOCIADAS A LAS BIOTOXINAS PRODUCIDAS POR LA MAREA ROJA. ...	141
FIGURA 36. MUESTRA MATERIAL DE DIVULGACIÓN: POLIDÍPTICO.	142
FIGURA 37. MUESTRA MATERIAL DE DIVULGACIÓN: CALENDARIO.	143
FIGURA 38. A: ENTREGA DE MATERIAL DE DIVULGACIÓN EN UNA REUNIÓN DE LA FEPEMACH. B: SEMINARIO ONLINE DIRIGIDO A PROFESIONALES DE DISTINTAS INSTITUCIONES. C Y D. TRABAJOS PRESENTADOS EN EL CONGRESO DE ACUICULTURA 2024.	145



III. RESUMEN

Las floraciones algales nocivas (FAN) son fenómenos naturales que afectan todas las costas del mundo y se espera que en un escenario de cambio climático los eventos sean más recurrentes, abarquen mayores extensiones geográficas, y sean formados por una mayor diversidad de especies. En este contexto, el objetivo general del proyecto FIPA 2023-17 “Evaluación de biotoxinas en la zona norte de Chile” fue “Identificar las biotoxinas marinas y las microalgas nocivas presentes en las áreas de interés para la pesca extractiva, la acuicultura y la acuicultura a pequeña escala, en la zona norte de Chile, entre las regiones de Coquimbo y de Arica y Parinacota”. El estudio incluyó la evaluación bimensual de biotoxinas en mariscos; identificación de especies fitoplanctónicas totales y nocivas; análisis de la relación entre biotoxinas y especies productoras; desarrollo de actividades de divulgación en temas de FAN; entre otras. Los muestreos se extendieron desde diciembre del 2023 hasta junio del 2024 y las localidades estudiadas fueron Arica, Iquique, Mejillones, El Morro, Barranquilla, Punta de Choros, Coquimbo, Guanaqueros y Tongoy.

Los resultados mostraron 1) la detección de **toxinas paralizantes** en mariscos y de los análogos: dcSTX, STX, GTX1, GTX2, GTX3, GTX4. En general, una muestra de marisco no presentó más de tres análogos y la mayor diversidad de ellos y concentración se observó en la localidad de El Morro, Guanaqueros y Tongoy. 2) Se identificó por medio de microscopía óptica un morfotipo del género *Alexandrium* que consistentemente apareció en los análisis de fitoplancton cualitativo el que denominamos *A. cf. catenella*. 3) La aislación de una cepa de *Alexandrium ostenfeldii* desde la costa de Coquimbo, permitió conocer que la especie es capaz de producir STX y gimnodimina. 4) La presencia de *A. ostenfeldii* y su abundancia relativa fue mayor a través de las localidades en comparación con *A. cf. catenella*. Posiblemente, ambas especies actúan sinérgicamente en la producción de toxinas paralizantes encontradas en mariscos. 5) La evaluación de toxinas paralizantes en muestras de fitoplancton mostró la presencia de STX y gimnodimina. La producción de ambas toxinas estaría explicada en parte por *A. ostenfeldii*, mientras que *A. cf. catenella* también podría haber participado en la producción de la STX. No se detectó la presencia de toxinas diarreas **ácido okadaico** y **dinofisistoxina** tanto en mariscos como en muestras de fitoplancton. No obstante, la presencia de **pectenotoxinas** fue recurrente a lo largo de las localidades y la consistente detección de *Dinophysis acuminata* en las muestras fitoplanctónicas explica la presencia de esta toxina. Considerando la normativa chilena, las altas concentraciones y recurrencia de *D. acuminata* y PTX la convierten en una especie relevante para ser monitoreada en el norte de Chile. Respecto a las toxinas amnésicas los análisis realizados por el laboratorio de Salud de la Región de Los Lagos (SSL) y el CREAN revelaron la detección de **ácido domoico** (AD) en mariscos de forma esporádica y en bajas concentraciones; además la detección del AD mostró una rápida variación de la concentración a nivel temporal y espacial. Por su parte las **yesotoxinas** mostraron bajas concentraciones las que fueron consistentes con la baja AR y abundancia celular de una especie productora de la toxina como *Protoceratium reticulatum*. A pesar de que en este estudio no se encontró altas concentraciones de yesotoxinas, los eventos históricos ocurridos en el norte de Chile asociados a mortalidad de invertebrados, la convierten en una importante toxina para monitorear. No se registró la presencia de **azaspirácidos**, aunque los análisis cuantitativos de fitoplancton detectaron la presencia del género *Azadinium* spp, en cual, podría contener potenciales especies productoras de esta

toxina. Además, la presencia histórica de azaspirácidos y potenciales especies responsables de su producción indica que es necesario monitorear estas toxinas para garantizar la salud pública e inocuidad de mariscos exportados. No se registró la presencia **pinatoxinas, brevetoxinas y tetrodotoxina** tanto en mariscos como en fitoplancton. A pesar de ello, el registro de especies formadoras de floraciones del género *Karenia* y de pinatoxinas en otras localidades, hace necesario su monitoreo para prevenir el potencial incremento de distribución hacia el norte. Respecto a **taxones dominantes del fitoplancton** 1) se observó la presencia y alta abundancia de *Prorocentrum cf. minimum*, *Prorocentrum gracile*, *Prorocentrum* spp. y *Phaeocystis* spp. especies que pueden provocar descoloración del agua y afectar procesos costeros como la desalinización. 2) La presencia de *Prorocentrum micans* y *Akashiwo sanguinea* importantes especies que históricamente han generado floraciones en el norte de Chile no fue observada. 3) Se detectó una sorprendente floración de *Phaeocystis* spp. en la localidad de Barranquilla alcanzando una abundancia de 8.556.400 células/mL. Esta abundancia incluso fue más alta que la registrada en otros monitoreos realizados en el sur y centro de Chile. 4) Especies que pueden generar efectos en las características organolépticas de mariscos fueron recurrentemente detectadas y en alta abundancia como: *Rhizosolenia imbricata*, el ciliado *Mesodinium* y *Guinardia striata*. Es importante mencionar que si bien no se detectaron altas abundancias y/o concentraciones de toxinas de *P. reticulatum*, yesotoxinas, *P. micans* y *A. sanguinea*, entre otras, se necesitan monitoreos temporalmente más extensos para conocer su dinámica.

Finalmente, a pesar de que la concentración de biotoxinas no superó los límites regulatorios en el periodo de muestreo, la consistente presencia de ellas en mariscos y la persistente detección de microalgas nocivas, son una constante amenaza para la salud humana y actividades pesqueras y de acuicultura en el norte de Chile. En consecuencia, se deberían implementar monitoreos sistemáticos de fitoplancton como acciones preventivas. Además de incluir el monitoreo de variables meteorológicas y oceanográficas para entender la dinámica de las comunidades fitoplanctónicas con énfasis en las especies nocivas.

IV. ABSTRACT

Harmful algal blooms (HABs) are natural phenomena that affect coastlines worldwide. In the context of climate change, these events are expected to become more frequent, cover larger geographic areas, and involve a greater diversity of species. Within this context, the general objective of project FIPA 2023-17 “Evaluación de biotoxinas en la zona norte de Chile” was “To identify marine biotoxins and harmful microalgae present in areas of interest for extractive fisheries, aquaculture, and small-scale aquaculture in northern Chile, from the Coquimbo Region to the Arica and Parinacota Region.” The study included bimonthly evaluations of biotoxins in shellfish, identification of total and harmful phytoplankton species, analysis of the relationship between biotoxins and producer species, development of outreach activities on HAB-related topics, among others. Sampling was carried out from December 2023 to June 2024 in the following locations: Arica, Iquique, Mejillones, El Morro, Barranquilla, Punta de Choros, Coquimbo, Guanaqueros, and Tongoy.

The results showed 1) The detection of **paralytic shellfish toxins** (PSTs) in shellfish, including the analogs dcSTX, STX, GTX1, GTX2, GTX3, and GTX4. In general, no shellfish sample contained more than three analogs, with the highest diversity and concentration observed in El Morro, Guanaqueros, and Tongoy. 2) Through light microscopy, a morphotype of the genus *Alexandrium* was consistently identified in qualitative phytoplankton analyses, referred to as *A. cf. catenella*. 3) The isolation of a *Alexandrium ostenfeldii* strain from the coast of Coquimbo revealed that the species is capable of producing STX and gymnodimine. 4) *A. ostenfeldii* was more widely distributed and more abundant across sampling sites compared to *A. cf. catenella*. Both species may synergistically contribute to the production of paralytic toxins found in shellfish. The evaluation of paralytic toxins in phytoplankton samples showed the presence of STX and gymnodimine. The production of both toxins is likely partially attributed to *A. ostenfeldii*, with *A. cf. catenella* potentially contributing to STX production. No diarrhetic shellfish toxins, **okadaic acid and dinophysistoxins**, were detected in shellfish or phytoplankton samples. However, **pectenotoxins** were recurrent across locations, and the consistent detection of *Dinophysis acuminata* in phytoplankton samples explains the presence of this toxin. According to Chilean regulations, the high concentrations and recurrence of *D. acuminata* and PTX make it a relevant species to monitor in northern Chile. Regarding **amnesic toxins**, analyses conducted by the Los Lagos Region Public Health Laboratory (SSL) and CREAN detected domoic acid (DA) sporadically and at low concentrations in shellfish. DA levels showed rapid temporal and spatial variation. Meanwhile, yessotoxins were detected at low concentrations, consistent with the low abundance of toxin-producing species like *Protoceratium reticulatum*. Although this study did not detect high levels of yessotoxins, historical events of invertebrate mortality in northern Chile linked to this toxin highlight its importance for monitoring. **Azaspiracids** were not detected; however, quantitative phytoplankton analyses found the presence of the genus *Azadinium spp.*, which may include potential toxin-producing species. The historical presence of azaspiracids and their producers reinforces the need to monitor them to ensure public health and the safety of exported shellfish. No presence of **pinnatoxins, brevetoxins, or tetrodotoxin** was recorded in either

shellfish or phytoplankton. Nevertheless, the detection of bloom-forming species of the genus *Karenia* and pinnatoxins in other locations suggests the need for monitoring to prevent their potential spread northward. As for **dominant phytoplankton taxa**: 1) High abundances of *Prorocentrum cf. minimum*, *Prorocentrum gracile*, *Prorocentrum spp.*, and *Phaeocystis spp.* were observed—species capable of discoloring water and affecting coastal processes such as desalination. 2) *Prorocentrum micans* and *Akashiwo sanguinea*, historically important bloom-forming species in northern Chile, were not observed. 3) A surprising bloom of *Phaeocystis spp.* was detected in Barranquilla, reaching 8,556,400 cells/mL, a higher abundance than previously recorded in central and southern Chile. 4) Species that can affect the organoleptic properties of shellfish, such as *Rhizosolenia imbricata*, the ciliate *Mesodinium*, and *Guinardia striata*, were consistently detected at high abundances. Although high concentrations or abundances of *P. reticulatum*, yessotoxins, *P. micans*, and *A. sanguinea* were not observed, longer-term monitoring is necessary to understand their dynamics.

Finally, although biotoxin concentrations did not exceed regulatory limits during the sampling period, their consistent presence in shellfish and the persistent detection of harmful microalgae represent a continuous threat to human health and fisheries/aquaculture activities in northern Chile. As a result, systematic phytoplankton monitoring should be implemented as a preventive measure. This should include meteorological and oceanographic monitoring to understand the dynamics of phytoplankton communities, with emphasis on harmful species.

V. ABREVIATURAS

STX: saxitoxinas.

AO: ácido okadaico.

DTX: dinofisistoxinas.

PTX: pectenotoxinas.

AD: ácido domoico.

AZA: azaspirácidos.

YTX: yesotoxinas.

BTXs: Brevetoxinas.

BSXs: ácido brevisulcático.

KmTx: karlotoxinas.

CTXs: Ciguatoxinas.

SPX: espirolidos.

GYM: Gimnodimina.

PnTX-G: Pinatoxinas.

TTX: tetrodotoxina.

AR: abundancia relativa.

MINSAL: Ministerio de Salud de Chile.

SSL: Laboratorio de Salud Pública, Secretaría Regional Ministerial de Salud, Región de Los Lagos.

PSMB: programa de sanidad moluscos bivalvos (Sernapesca).

SERNAPESCA: Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (Chile).

SUBPESCA: Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.

FIPA: Fondo de Investigación de Pesquera y Acuicultura.

CREAN: Centro de Estudios de Algas Nocivas (Puerto Montt, Chile).

IFOP: Instituto de Fomento Pesquero.

FAN: Floración algal nociva.



1) NOMBRE DE LA PROPUESTA

Evaluación de las biotoxinas marinas en la zona norte de Chile

2) ANTECEDENTES GENERALES

ANTECEDENTES PARA LA ZONA NORTE

Diversidad de biotoxinas y amenaza para la salud humana

Actualmente, de las casi 5000 especies fitoplanctónicas marinas que existen alrededor de 200 pueden ser nocivas para la sociedad. Algunas de estas especies pueden producir toxinas que afectan la seguridad de los alimentos del mar y la salud humana (Hallegraeff et al., 2021). Las toxinas también son responsables de la muerte de mariscos y peces tanto de cultivo como naturales. Las especies marinas fitoplanctónicas que generan efectos nocivos son altamente diversas y son parte de distintos grupos y/o clases taxonómicas, así, aproximadamente 105 especies pertenecen a los dinoflagelados, 37 a cianobacterias, 31 especies a diatomeas, 8 especies a haptofitas, 6 especies a raphidofíceas, 3 especies a dictyochofíceas y 2 especies a pelagofíceas (<https://www.marinespecies.org/hab/>). La formación de floraciones algales nocivas (FAN) también se relaciona a especies no tóxicas que pueden producir una alta biomasa, pueden causar descoloración del agua, pueden generar anoxia, producen mucílago, etc (Hallegraeff et al 2021). Conocer la abundancia y distribución espacial-temporal de las especies formadoras de FAN y las biotoxinas que producen es fundamental para su manejo y para tomar acciones preventivas.

Las biotoxinas producidas por especies marinas fitoplanctónicas se han registrado en todas las costas del mundo afectando la salud de personas, la flora y fauna, y en casos severos provocando la mortalidad, entre otros efectos nocivos. Actualmente se conocen alrededor de 200 tipos de toxinas que son producidas naturalmente por organismos planctónicos o microalgas del grupo de los dinoflagelados, diatomeas y cianobacterias (Wang et al., 2024). Las toxinas afectan la salud de las personas debido al consumo de mariscos y peces contaminados. Esto se produce porque los mariscos filtradores constantemente consumen las microalgas presentes en la columna de agua y en consecuencia acumulan biotoxinas en sus tejidos. Además, algunos peces herbívoros también pueden acumular toxinas. Estas biotoxinas pueden alcanzar otros niveles tróficos como invertebrados carnívoros, mamíferos, aves, etc., llegando incluso a las personas donde generan distintas afecciones y en casos severos la muerte. Aunque la mayoría de las toxinas son producidas por las microalgas, los efectos más severos a la salud humana ocurren cuando se acumulan en los mariscos situación conocida como “veneno de mariscos” (shellfish poisons) (Wang et al., 2024).

Las biotoxinas marinas pueden dividirse en cuatro categorías en función de los distintos síntomas clínicos luego del envenenamiento de personas. Los envenenamientos por toxinas marinas más importantes son:

el envenenamiento paralítico por mariscos (paralytic shellfish poisoning, PSP) que es producido por las saxitoxinas y sus análogos; el envenenamiento diarreico por mariscos (diarrhetic shellfish poisoning, DSP) producida por el ácido okadaico y sus análogos; el envenenamiento amnésico por mariscos (amnesic shellfish poisoning, ASP) producido por el ácido domoico; el envenenamiento neurotóxico por mariscos (neurotoxic shellfish poisoning, NSP) producido por brevetoxinas; los azaspirácidos (AZAs), toxinas que pueden generar síntomas de toxicidad similares al envenenamiento diarreico de mariscos; envenenamiento por ciguatoxinas de peces (ciguatoxin fish poisoning, CFP), toxinas que se acumulan en peces herbívoros; y las tetrodotoxina (TTX), las cuales, aunque no son producidas por microalgas sino por bacterias son importantes ya que a través del tiempo se ha observado un incremento de su presencia en mariscos (Wang et al., 2024). No obstante, existen otras toxinas que son relevantes por sus potenciales efectos en humanos como las yesotoxinas, gimnodiminas, espirolidos, pinatoxinas, entre otras.

Las biotoxinas más importantes en Chile por sus efectos nocivos en humanos son las saxitoxinas o toxinas paralizantes. Las saxitoxinas son un grupo de 57 toxinas análogas, es decir, moléculas que tiene estructura similar a otra, pero difiere en algún componente (Wiese et al., 2020). Estas toxinas bloquean las corrientes de excitación de nervios y células musculares lo que puede generar la muerte de personas y animales. Las toxinas paralizantes son producidas por los generos de fitoplancton marino *Alexandrium*, *Gymnodinium* y *Pyrodinium*, además de algunas cianobacterias. La saxitoxina (STX) es una de las neurotoxinas naturales más potentes conocidas, de esta forma, una dosis de 1 mg de la toxina en un marisco es fatal para los humanos (Wiese 2010). Actualmente los análogos de saxitoxinas: STX, GTX1, dcSTX y NEO son los más tóxicos y tienen factor de equivalencia de toxicidad (FET) de 1. Los FET se utilizan para estimar la toxicidad equivalente de una muestra compuesta de distintos análogos de saxitoxinas (Turner et al., 2020). Otros importantes análogos y sus FET son C1 (0,01), C2 (0,1), GTX2(0,4), GTX3(0,6), GTX4(0,7), GTX5(0,1), GTX6(0,1), dcGTX2(0,2), dcGTX3(0,4), dcNeoSTX(0,4). Actualmente, en Chile el código alimentario establece que hay un límite de concentración de toxinas en mariscos de no debe ser mayor de los 80 µg STX equivalente por 100 gr de carne (MINSAL 2024).

Otro tipo de toxina comúnmente detectada en Chile y el mundo es el ácido okadaico (OA) y sus análogos las dinofisistoxinas 1 y 2 (DTX1, DTX2), responsables envenenamiento diarreico por mariscos. En humanos este envenenamiento puede causar síntomas como diarrea, náuseas, vómitos dolor abdominal que pueden ocurrir luego de 30 min o pocas horas desde de la ingestión de mariscos. Estas toxinas son producidas principalmente por las especies del género *Dinophysis*, las cuales también pueden producir pectexotoxinas (PTX). Hace algunos años las PTX eran consideradas como diarreicas, pero actualmente están desreguladas por parte de la Unión Europea debido a que no se conocen efectos en humanos asociados a ellas (ver Pardes-Mella et al., 2022). No obstante, en bioensayos con ratón pueden generar mortalidad al aplicar inyección intraperitoneal. En Chile *Dinophysis acuta* es capaz de producir ácido okadaico y dinofisistoxinas. Esta especie se distribuye a lo largo de la Patagonia preferentemente en zonas estuarinas. Por el contrario, el análisis toxicológico de cepas de *Dinophysis acuminata*, aisladas en la costa del océano Pacífico de Chiloé y sistema de fiordos, o de muestras de agua de distintas floraciones ocurridas en la costa

chilena, han mostrado consistentemente la producción de pectenotoxinas (ver Pardes-Mella et al., 2022). Hasta el momento, el único registro que se tiene de la producción de toxinas diarreicas por parte de *D. acuminata* fue realizado por Uribe et al., (2010) quien indica que en 1998 en un fiordo de Magallanes se detectó dinofisistoxina 1 asociado a la presencia de esta especie. *D. acuminata* habita a lo largo de la costa chilena tanto en la Patagonia como en la costa de océano Pacífico. Actualmente la normativa chilena indica que se debe monitorear las dinofisistoxinas, ácido okadaico y pectenotoxinas con un límite de concentración en mariscos no debe ser mayor que los 16 μg AO equivalente por 100 gr de carne de mariscos (MINSAL 2024).

El ácido domoico (AD) es producido por diatomeas del género *Pseudo-nitzschia*, especies distribuidas a lo largo de todas las costas del mundo y de Chile. Actualmente, se han descrito alrededor de 29 especies de este género que pueden producir toxinas (Pinto-Torres et al., 2022). En Chile se han identificado alrededor de 11 especies y 3 de ellas producen AD (von Dawsson et al., 2024). Debido a la alta diversidad de especies y lo complejidad para discriminar entre ellas cuando se analizan con microscopía óptica se ha adoptado un criterio de asignación de las especies a dos grupos, en función del ancho y largo de la valva, los cuales son: el grupo *Pseudo-nitzschia seriata* y *Pseudo-nitzschia delicatissima* (Pinto-Torres et al., 2022). El ácido domoico afecta el sistema nervioso de aves y mamíferos al unirse a los receptores del sistema nervioso central con mayor afinidad que el ácido glutámico. En los mamíferos, incluidos los humanos, esto resulta en daño al hipocampo, causando pérdida de memoria a corto plazo (por lo cual el envenenamiento por ácido domoico se conoce como intoxicación amnésica por mariscos). La intoxicación además provoca malestar gástrico (calambres, náuseas, diarrea), confusión, dolores de cabeza, dificultades para respirar, desorientación, mareos y pérdida de memoria, y en algunos casos, ha provocado coma y muerte de personas. Como es una toxina soluble en agua, el ácido domoico no se bioacumula fácilmente. Por lo que, muestra rápidas tasas de depuración en mariscos (Kudela 2018; Trainer et al., 2012; Wang et al., 2024). En Chile existe una regulación del AD cuyo límite de concentración en mariscos no debe ser mayor a 20 μg AD/g (MINSAL 2024).

Otras toxinas relevantes por su potencial para afectar la salud humana son las yesotoxinas (YTX), azaspirácidos (AZA), gimnodimina (GYM), espirolidos (SPT) y pinatoxinas (PnTX) aunque no se ha registrado mortalidad de personas asociada a ellas. La preocupación por estas toxinas se debe a que bioensayos con ratones han mostrado la generación de distintas afecciones e incluso provocar la muerte. Así, respecto a las YTX y sus análogos se ha observado que la inyección intraperitoneal es letal en concentraciones desde 0,1 a 0,5 mg/Kg. Los principales síntomas inducidos por YTX y homoYTX son inquietud, disnea, temblores, saltos y calambres. El órgano diana de estas toxinas parece ser el músculo cardíaco, donde inducen cambios ultraestructurales a nivel de mitocondrias y miofibrillas. Por otro lado, los órganos diana del di-desulfo-YTX son el hígado y el páncreas, donde induce degeneración grasa (Turbaro et al., 2010, Pitcher et al., 2019; Wang et al., 2024). En Chile existe una regulación cuyo límite de concentración permitido en mariscos no debe sobrepasar los 3,75 mg yesotoxinas-eq/kg (Minsal 2024).

En tanto que, estudios preliminares de azaspirácidos sugirieron que estos compuestos son altamente tóxicos. Así, pueden provocar daños en múltiples órganos en ratones y tienen potencial teratogénico para peces en desarrollo, junto con una amplia gama de efectos a nivel celular, que van desde citotoxicidad, apoptosis hasta efectos en el canal de potasio (Tillman et al., 2018; Wang et al., 2024). La producción de azaspirácidos la realizan especies del género *Azadinium* y *Amphidoma*. En Chile se ha registrado la presencia de las toxinas y especies no obstante su identificación es compleja por medio de microscopía óptica debido al pequeño tamaño que muestran las células. Hasta el momento, una de las pocas especies identificadas formalmente ha sido *Azadinium poporum*. Esta identificación se realizó en el 2014 por medio de la aislación de una cepa obtenida desde una muestra de la localidad de Chañaral, que se pudo identificar por medio de características genética y morfológica, registrándose la presencia de azaspirácidos (Tillmann et al., 2017a). En Chile la regulación actual indica que el límite de concentración permitida en mariscos no debe sobrepasar los 16 µg azaspirácidos-eq/ 100 g (Minsal 2024).

Por su parte el grupo de las iminas cíclicas también son importantes compuestos que son monitoreados y que pueden afectar la salud humana. La inyección de gimnodimina intraperitoneal en ratones es altamente tóxica a un LD₅₀ de 96 µg/Kg. También es tóxica por la administración con sonda con un LD₅₀ de 755 µg/Kg, pero es mucho menos tóxica cuando se administró con alimento (LD₅₀: acrónimo en inglés de dosis letal al 50%. Indica que el 50% de las muestras o individuos sufren mortalidad a una determinada concentración). Aunque, no se observó efecto en ratones alimentados con comida que contenía gimnodimina a un nivel de ~7.500 µg/Kg (Munday et al., 2004; Lamas et al., 2021; Stivala et al., 2015). En tanto que, los espirolidos (SPXs) han mostrado una alta variabilidad en la mortalidad que genera en ratones. Por ejemplo, en bioensayos produce la rápida muerte de ratones entre 3 a 20 min luego de aplicar la dosis, no obstante, los ratones que sobreviven a la aplicación de la toxina son capaces de recuperarse completamente luego de los 20 minutos (Stivala et al., 2015). Mientras que las pinatoxinas son producidas por la especie *Vulcanodinium rugosum* y se ha asociado a la generación de dermatitis en una floración de formada en Cuba. En ratones induce efectos neurotóxicos agudo luego de pocos minutos de ser administrado oralmente. En altas dosis los signos clínicos incluyen disminución de movilidad, parálisis pierna, temblores, saltos y dificultades respiratorias lo que conduce a la muerte por detención de la respiración (Arnich et al., 2020; Stivala et al., 2015). En el sur de Chile se ha registrado esta toxina en mariscos, pero hasta el momento, no se ha reportado la presencia de la especie productora que potencialmente es *V. rugosum* (Norambuena & Mardones 2023).

Otro importante grupo de toxinas son las brevetoxinas y sus análogos, producidos por las especies del género *Karenia* y que son responsables del envenenamiento neurotóxico de mariscos. Se ha demostrado que cuando se rompen las células fitoplanctónicas las toxinas se pueden quedar en estado de aerosol, en consecuencia, las personas pueden inhalar y sufrir tos, estornudo, lagrimeo, picazón de la garganta. Mientras que en las personas el consumo de mariscos contaminados puede causar dolor de cabeza, náuseas, diarrea, dolor abdominal, hormigueo en labios, inversión de la sensación térmica, vértigo, pérdida de coordinación, dificultad para hablar, baja presión, pupilas dilatadas, dolor muscular, problema respiratorio

(Mafra et al., 2023; Villac et al., 2020; Wang et al., 2004). En Chile se ha reportado la presencia de al menos 4 especies del género *Karenia* asociadas a zonas costeras del océano Pacífico. Aunque, la única descripción formal de una especie se realizó utilizando cepas aisladas desde la costa de la región del Bío-Bío en una severa floración formada el 2018. Esta identificación reveló la presencia de *Karenia selliformis*, la ausencia de brevetoxinas y gimnodimina, pero con un alto efecto citotóxico (Mardones et al., 2018).

Por su parte, ciguatoxinas (CTX) y tetrodotoxinas (TTX) pueden afectar severamente la salud humana, pero hasta el momento no se han detectado en Chile. Las ciguatoxinas se pueden acumular en peces provocando el envenenamiento por ciguatoxinas de peces en humanos. Estas toxinas entran a la red trófica a través de peces herbívoros o invertebrados bentónicos que consumen macroalgas que tienen microalgas tóxicas en la superficie (ej. Género *Gambierdiscus*). Los síntomas que provocan en humano son: alodinia (inversión de la percepción térmica), parestesia, agotamiento, dolor articular y muscular, vómitos y diarrea. Las especies que productoras de esta toxina tienen una distribución circumtropical lo que explicaría la ausencia en Chile (Li et al., 2023; Pearson et al., 2018; Wang et al., 2024). Respecto a las tetrodotoxinas, esta es producida por bacterias que incluyen los generos: *Vibrio*, *Bacillus*, *Aeromonas*, *Alteromonas* y *Pseudomonas*. Pueden provocar paralización muscular y en casos severos la muerte. Si bien es una toxina detectada en peces en el último tiempo también se ha detectado crecientemente en mariscos (Chekan et al., (2020). Algunos trabajos además indican que potencialmente pueden estar asociadas dinoflagelados como *Prorocentrum minimum* (Vladis et al., 2015).

Finalmente, fenómenos importantes de conocer respecto a las biotoxinas, es que ellas luego de ser consumidas por mariscos pueden transformarse, y que para una misma especie, la producción de toxinas puede variar entre cepas aisladas desde distintas zonas geográficas. Por una parte, la biotransformación es la capacidad de los mariscos de transformar una biotoxina producida en otras toxinas o compuesto, en consecuencia, es la modificación de la estructura química de una molécula que entra a un organismo. Hay biotransformaciones que no afectan sustantivamente las propiedades toxicológicas de un marisco como el cambio de PTX2 a PTX2sa (Díaz et al., 2022). No obstante, en ocasiones puede haber transformaciones que generen compuestos más o igualmente tóxicos como el caso de las toxinas paralizantes que pueden cambiar desde GTX2 a STX (Turner et al., 2020).

Por otro lado, aunque el estudio de biotoxinas marinas a través del mundo ha permitido identificar a las especies que las producen (Tabla 2), se ha reportado consistentemente que la producción puede variar entre poblaciones separadas a temporal-geográficamente y entre las células que se encuentran en una floración. Por ejemplo, en el hemisferio norte se ha observado que algunas cepas de *D. acuminata* pueden producir ácido okadaico, dinofisistoxinas y pectenotoxinas (Tabla 2, 3), en tanto que en Chile los estudios han revelado que esta especie produce preferentemente pectenotoxinas (Tabla 4). Para el caso, de *Karenia selliformis*, se ha observado que es capaz de producir gimnodimina (Tabla 2, 3) mientras que cepas aisladas de una severa floración ocurrida en la costa chilena el 2018 no produjeron esta toxina (Tabla 4). Por su parte, *A. ostenfeldii* puede producir toxinas paralizantes, espirolidos y gimnodimina (Tabla 2, 3), no obstante,

algunas cepas pueden producir dos de los tres tipos de toxinas. Para el caso de Chile Norambuena et al., (2024) encontró que cepas aisladas de la costa de la región del Bío-Bío producen toxinas paralizantes, y en el presente estudio encontramos que una cepa aislada de la región de Coquimbo es capaz de producir solamente saxitoxinas y gimnodimina. Estos ejemplos destacan la relevancia que tiene el monitoreo y estudio de las biotoxinas a nivel local y la evaluación de su variación a nivel geográfico y temporal, particularmente para un país como Chile que tiene una amplia costa que se extiende desde zonas bioclimáticas desérticas hasta una oceánica subantártica. También destaca la relevancia de aislar cepas nocivas y realizar su caracterización toxicológica e identificación formal a nivel de especie utilizando caracteres genéticos, morfológicos, entre otros.

Floraciones históricas en el norte de Chile

Históricamente en el norte de Chile se han desarrollado floraciones algales nocivas provocadas por distintas especies que pueden o no generar toxinas. Los registros más antiguos muestran que entre octubre de 1976 y enero de 1977 ocurrieron tres floraciones en la bahía de San Jorge en Antofagasta (23°S, 70°W) formadas por *Gymnodinium splendens* (actualmente conocida como *Akashiwo sanguinea*), *Mesodinium rubrum* y *Prorocentrum micans*. Estos eventos no estuvieron asociados a mortalidad de organismos marinos (Rodríguez et al., 1978). En tanto que un estudio llevado a cabo en la misma localidad entre 1981 a 1986, mostró en otoño de 1982 una nueva floración de *Prorocentrum micans* y en otoño de 1983 de *Gymnodinium splendens* (Rodríguez 1987). En invierno de 1982 se observó una floración de *P. micans* y *Gonyaulax catenella* (actualmente conocida como *Alexandrium catenella*). En la primavera de 1981 se detectó una floración de *P. micans* y *G. catenella* alcanzando concentraciones celulares de 381 y 339 cél/mL respectivamente. En la primavera de 1984 nuevamente se registraron floraciones de *M. rubrum* y *P. micans*. Consecuentemente en verano 1984 – 1985, *M. rubrum* y *P. micans* alcanzaron altas densidades llegando esta última a 2.290 cél/mL. En verano entre 1985 - 1986 *P. micans* formó una floración, pero la densidad fue menor llegando a 34 cél/mL. El estudio también reveló que especies fitoplanctónicas regularmente presentes en la zona fueron: *Cylindrotheca closterium*, *Chaetoceros curvisetus*, *Corethron criophilum*, *Chaetoceros peruvians*, *Eucampia zoodiacus*, *Detonula pumila*, *Grammatophora marina*, *Licmophora abbreviata*, *Leptocylindrus danicus*, *Nitzschia delicatissima* (actualmente conocida como *Pseudo-nitzschia delicatissima*), *Nitzschia pseudoseriata* (Actualmente *Pseudo-nitzschia australis*), *Rhizosolenia fragilissima* y *Skeletonema costatum* (Rodríguez 1987). Mientras que los dinoflagelados, más recurrentes fueron: *Ceratium furca*, *Ceratium fusus*, *Ceratium tripos*, *Gymnodinium splendens*, *Podolampas palmipes*, *Prorocentrum micans*, *Prorocentrum rostratum*, *Protoreridinium ovum* y *Protopteridinium pellucidum* (Rodríguez 1987). Interesantemente, se observó que el severo evento del Niño ocurrido entre 1982 y 1983 no generó variación en la composición fitoplanctónica y que los fenómenos de floración estuvieron asociados a la estación de otoño, primavera y ocasionalmente en verano (Rodríguez 1987).

Otras regiones del norte también han sido históricamente afectadas por floraciones. Así, en Arica se registraron eventos en 1956 de *Prorocentrum micans*, en 1976 de *Noctiluca scintillans* y *Gymnodinium sp.*;

en 1977 de *Glenodinium sp.*; en 1976-1977 de *Gonyaulax acatenella* y 1977 de *Gymnodinium splendens* (Actualmente *Akashiwo sanguinea*). Además, en 1955-1956 y 1958 se produjeron floraciones sin haberse identificado la especie causante (Rodríguez 1985). En Mejillones en 1966 se observó un evento de *P. micans*; y en 1976 de *Ceratium tripos* y *Ceratium furca*; en 1976 se produjo otra floración, aunque no se identificó la especie. En Antofagasta también se produjeron floraciones de *C. tripos* y *C. fusus* en 1978 y 1981 respectivamente. En Iquique se registró en 1956 y 1980 floraciones de *Prorocentrum micans* y *Prorocentrum gracile* respectivamente, y entre 1955-1956 se produjo otra floración, aunque la especie no fue identificada. Finalmente, para Chañaral hay un registro de floración en 1975 de *M. rubrum* (Rodríguez 1985). A pesar de que históricamente se han desarrollado eventos de floración en el norte de Chile en ninguno de los estudios mencionados anteriormente se realizó la evaluación de biotoxinas en mariscos o potenciales efectos nocivos a humanos.

Recientemente, entre noviembre del 2018 y febrero del 2019 se generó una severa floración en Antofagasta de *Prorocentrum micans*. El evento se extendió por más de 30 Km desde la costa hacia el océano y por alrededor de 1500 Km llegando a la costa de Perú cerca de la ciudad de Arequipa. Aunque la especie dominante de la floración fue *P. micans* también se observaron especies de los generos *Tripos*, *Peridinium*, *Dinophysis*, *Protoperidinium* y *Gymnodinium* (Avalos et al., 2019). El mismo año, en Antofagasta también se formó una floración de *Akashiwo sanguinea* que fue registrada durante la segunda semana de diciembre, observándose una alta fluorescencia con valores entre 177 $\mu\text{g chl-a L}^{-1}$ y 252 $\mu\text{g chl-a L}^{-1}$ equivalente una abundancia de 1.895 y 2.895 células/mL, y cuya composición fitoplanctónica estuvo dominada por de *A. sanguinea* (Hu et al., 2024).

Toxinas paralizantes en el norte de Chile

Hasta donde conocemos, uno de los pocos registros documentados de toxinas paralizantes y sus análogos fue detectados en una floración ocurrida en mayo del 2006 en la localidad de Mejillones. En esta localidad se reportó una floración de *Alexandrium* spp. afectando a mariscos de centros de cultivo. Los mariscos afectados con toxinas paralizantes fueron *Semimytilus algosus* y *Argopecten purpuratus* y mostraron la presencia de los análogos de saxitoxinas C2, GTX2, GTX3, y dcGTX2. Luego en el junio se detectaron dos nuevos episodios en Guanaqueros y la Bahía de Tongoy en ese momento los mariscos mostraron valores de toxinas paralizantes de 27 a 34 $\mu\text{g STX eq/100 g}$ y el perfil toxicológico estuvo caracterizado por la presencia de STX, GTX1, GTX2 y GTX3, dcGTX2, dcGTX3 y niveles traza de GTX5, C1 y C2 (Álvares et al., 2009).

Toxinas diarreas en el norte de Chile

Aun cuando las PTX no son consideradas como toxinas diarreas, en Chile es en una de las toxinas más recurrentes y actualmente la normativa indica un límite de regulación asociado al veneno diarreico de moluscos junto con las toxinas ácido okadaico y dinofisistoxinas (MINSAL 2024). En otoño del 2005 se formó una floración de *Dinophysis acuminata* lo que generó la veda extractiva de ostión en la localidad de

Bahía Inglesa. La evaluación toxicológica mostró la presencia de pectenotoxinas (PTX2) pero no se detectó la presencia de ácido okadaico y sus análogos. La floración se extendió a través de localidades costeras como Bahía Inglesa, Bahía Salada, Bahía de Coquimbo y Tongoy (Blanco 2007). Posteriormente, en el verano del 2007 y el 2008 se tomaron una serie de muestras de fitoplancton en la bahía de Arica. El análisis toxicológico mostró la presencia de pectenotoxinas y las especies *Dinophysis acuminata* y *Dinophysis rotundata* fueron identificadas como posibles especies productoras de las PTX2 (Krock et al., 2009). Luego en marzo del 2009 un muestreo de fitoplancton realizado desde el fiordo Isla Tierra del Fuego región de Magallanes hasta la localidad de Copiapó en la región de Atacama, reveló la presencia de PTX en Copiapó, aunque no se registró algún tipo de floración (Trefault et al., 2011). Entre mayo del 2009 y abril del 2010 se realizó un muestreo de *Mesodesma donacium* (almejas) y fitoplancton en la bahía de Coquimbo y se investigaron las características toxicológicas debido a la formación de una floración de *D. acuminata*. En ese evento solo se encontró la presencia de pectenotoxinas. Además, se estimó que estas toxinas aparentemente sufren una biotransformación desde PTX2 a PTX2sa debido a que esta última fue encontrada en concentraciones superiores a las pectenotoxinas. Mientras que la depuración de toxinas en la glándula digestiva fue más rápida para PTX que para PTX2sa (Blanco et al., 2018). Adicionalmente, se observaron máximos de toxinas que no coincidieron con la abundancia celular, indicando que hay diferencias en la cantidad de toxinas producidas por las células de la población (Blanco et al., 2018).

Hasta donde conocemos, la única detección de toxinas diarreas en el norte de Chile ha sido generada por *Prorocentrum lima*. En febrero del 2016 se observó una floración de esta especie en la Bahía Calderilla cerca de Bahía Inglesa, observándose células en la columna de agua, arena, rocas y en la superficie de diferentes macroalgas como *Codium fragile*, *Gracilaria chilensis*, *Ulva* sp. El análisis toxicológico reveló la presencia de ácido okadaico, dinofisistoxina (DTX1) y la ausencia de DTX2. La concentración de OA y DTX1 fue de 3,53 pg/célula y 0,012 pg/célula, respectivamente. También se detectó la presencia de esteroides C8 y C10. Aunque, aparentemente no se detectó la acumulación de toxinas diarreas en los mariscos en el área donde se desarrolló la floración, esta especie constituye un riesgo potencial para la salud humana (Uribe et al., 2018). Finalmente, en la Isla de Pascua se realizó la identificación de *Prorocentrum rathymum* y *Prorocentrum* cf. *consutum* y en ambas cepas se detectó la presencia de AO y DTX2 (Álvarez et al., 2021).

Toxinas amnésicas en el norte de Chile

Los registros más antiguos de presencia de toxinas amnésicas fueron asociadas a especies del género *Pseudo-nitzschia*. En muestreos realizados en la entre los años 2003 – 2006 se aislaron cepas de *Pseudo-nitzschia* desde la bahía de la Herradura, Bahía Inglesa y Bahía Tongoy. La identificación de las especies reveló la presencia de *P. australis*, *P. calliantha* y *P. subfraudulenta*. Al realizar los análisis toxicológicos de las cepas se observó la presencia de ácido domoico lo cual varió entre cepas ya que en algunas no se detectó la presencia de la toxina. Además, la única especie que consistentemente no mostró la presencia de AO fue *P. subfraudulenta* en las dos cepas analizadas (Álvarez et al., 2009). Posteriormente, en un muestreo de *Pyura chilensis* (piure) realizado en bahía Inglesa entre octubre y noviembre del 2004, luego

de una floración de *Pseudo-nitzschia*, reveló la presencia de ácido domoico. La distribución de la toxina fue heterogénea con 8,7-15,5 µg DA/g en tejido comestible, 14,9-17,9 µg DA/g en materia fecal y 13,6-32,7 µg DA/g en el contenido de las vísceras. Este trabajo mostró que los piures pueden acumular toxinas en consecuencia se propuso incluir esta especie en programas de vigilancia sanitaria (López-Rivera et al., 2009). Adicionalmente, se detectó la presencia de toxinas en los mitílidos *Mytilus chilensis*, *Aulacomya ater* y *Protothaca thaca* con 6,4, 5,4, y 4,7 µg DA/g, respectivamente (López-Rivera et al., 2009). En julio del 2017 ocurrió una floración de *Pseudo-nitzschia* en la bahía de Tongoy y se detectó la presencia de ácido domoico en *Argopecten purpuratus*. Un experimento implementado en esa ocasión, además reveló la capacidad de depuración de ostiones la cual ocurre luego de tres días siendo capaces de reducir un 50% la cantidad de toxina (Álvarez et al., 2020b). El estudio taxonómico más reciente, utilizando cepas de *Pseudo-nitzschia* obtenidas desde la localidad de Tongoy para su posterior identificación formal, reveló la presencia de *P. australis* y *P. bucculenta* detectándose la producción de AD solamente en la primera especie (von Dassow et al., 2024)

Yesotoxinas, azaspirácidos y gimnodimina en el norte de Chile

Actualmente, tanto las YTX como los AZA son monitoreados por mandato de la normativa del reglamento sanitario de los alimentos (MINSAL 2024). Las yesotoxinas han mostrado severos efectos en comparación con los azaspirácidos. En el verano del 2007 ocurrió una floración de *Protoceratium reticulatum* en la bahía de Mejillones y la evaluación toxicológica de fitoplancton colectadas con red reveló la presencia de YTX en concentraciones entre 0,2-0,4 pg/célula (Álvarez et al., 2011). Ese mismo año en febrero en la bahía de Chipana (120 Km al sur de Iquique) región de Tarapacá se realizó un muestreo intensivo de fitoplancton. Esa zona pertenece al sistema de surgencia de la corriente de Humboldt y es considerada muy productiva especialmente para la pesca de tipo artesanal. El muestreo reveló el dominio de *P. reticulatum* con un 60-80% del total de la abundancia fitoplanctónica en un rango de 55.000 a 384.000 células/L, aunque no se realizaron análisis toxicológicos para evaluar la presencia de toxinas (Rossi & Fiorillo et al., 2010). Luego, en el verano del 2007 y el 2008 se tomaron una serie de muestras de fitoplancton en la bahía de Arica y el análisis toxicológico mostró la presencia de yesotoxinas (Krock et al., 2009). Sin embargo, potenciales especies en fase vegetativa que podrían haber producido las YTX como *Protoceratium reticulatum*, *Lingulodinium polyedrum* y *Gonyaulax spinifera*, no fueron encontradas (Krock et al., 2009), y solamente se detectaron quistes cuya morfología indicaba ser de *P. reticulatum*. Posteriormente, el 2009 fue detectada en la bahía Mejillones una floración de una especie del género *Gonyaulax*, junto con la presencia de yesotoxinas. Posteriormente, la identificación formal de una cepa aislada reveló la presencia de *G. taylorii*, yesotoxinas (YTX) y homoyesotoxina (Homo-YTX) (Álvarez et al., 2016). El 2019 se produjo uno de los más severos eventos de floración asociados a la presencia de YTX y mortalidad de invertebrados marinos a lo largo de casi 1000 Km de costa. El 24 de enero en Pabellón de Pica, Región de Tarapacá se observó la mortalidad de invertebrado que incluyeron *Stichaster striatus*, *Loxechinus albus*, *Ameghinomya antiqua*, estrella de mar, erizo y almeja respectivamente. El análisis toxicológico reveló la presencia de YTX en un rango de 0,1-0,4 mg YTX/kg. Dos semanas después el 10 – 11 de febrero, en bahía Inglesa en la región de

Atacama ocurrió una mortalidad de *Dosidicus gigas* (Calamar). El análisis toxicológico de los individuos reveló la presencia de YTX en una concentración de 0,42 mg YTX/Kg. Para el fin de marzo una nueva mortalidad de calamares fue detectada en la bahía Puerto Aldea de la bahía de Coquimbo el análisis de individuos reveló la presencia de YTX en una concentración de 0,12 mg YTX/Kg (Álvarez et al 2020a).

Interesantemente, en el verano austral del 2016 en la localidad de Bahía Calderilla se asiló una cepa del género *Coolia* que fue identificada como *Coolia malayensis* y fue detectada en muestras de macroalgas. Se ha descrito que esta especie puede producir yesotoxinas, sin embargo, la cepa aislada en el norte de Chile no mostró la producción de ningún tipo de toxina (Uribe et al., 2023).

Los efectos de la YTX también se han evaluado en el primer estadio de bivalvos como *Argopecten purpuratus*. Así la exposición de larvas veliger a *P. reticulatum* a concentraciones de 500, 1000 y 2000 cel/mL y extractos de YTX produjo en promedio una sobrevivencia al 82% con la máxima concentración celular y de 32% con la máxima concentración de YTX (Nieves et al., 2024a). Además, en estadio adulto de ostiones la exposición a células de *P. reticulatum* provocó la reducción de la tasa de aclaramiento, tasa de ingestión orgánica e inorgánica y tasa de absorción. Además, los análisis histopatológicos mostraron que existió una correlación entre el daño del tejido branquial y glándula digestiva y la concentración de toxina, aunque no hubo un efecto en la sobrevivencia (Nieves et al., 2024b).

Respecto a los azaspirácidos, la primera detección en el norte de Chile ocurrió a fines de la primavera en el 2005. En noviembre 2005 y marzo del 2006 se realizó una evaluación de biotoxinas en *Argopecten purpuratus* y *Mytilus chilensis* aislados en la localidad de Bahía Inglesa. Los resultados mostraron por primera vez en Chile la contaminación de mariscos con azaspirácidos bajo el límite regulatorio. En consecuencia, se sugirió la implementación de monitoreo para salvaguardar la salud de las personas y seguridad de alimentos (López-Rivera et al., 2010). Similarmente, en un muestreo de *Mesodesma donacium* y *Mulinia edulis* realizado en la Bahía de Coquimbo entre marzo y septiembre del 2008 encontró la presencia de azaspirácidos (AZA-1). En todos los casos las concentraciones estuvieron bajo el límite de detección, no obstante, los autores indicaron que la presencia de estas toxinas sugiere que es necesario monitorear estas toxinas para garantizar la salud pública y mariscos exportados (Álvarez et al., 2010).

Finalmente, en marzo del 2009 un muestreo de fitoplancton realizado desde el fiordo isla tierra del fuego región de Magallanes hasta la región de Atacama, reveló en Copiapó la presencia de gimnodimina, aunque no se registró algún tipo de floración (Trefault et al., 2011).

Zonas de surgencia y FANs en el norte de Chile

Las zonas de surgencias del norte de Chile están asociadas a altos niveles de productividad primaria en consecuencia, conocer la dinámica de las especies formadoras de FAN en estos ecosistemas es fundamental. En la naturaleza se ha observado que la forzante del viento puede influenciar la abundancia y diversidad de fitoplancton. A pesar de que los vientos favorecen surgencias que proveen nutrientes para el crecimiento del fitoplancton, estos también pueden inducir el transporte de la biomasa y nutrientes hacia

el océano abierto a través del transporte de Ekman y remolinos, o dilución de poblaciones a través de mezcla vertical, lo que impacta negativamente en la abundancia. Estos procesos no son lineales y pueden interactuar sinérgicamente o antagonicamente en la acumulación total de la biomasa (Jacob et al., 2024). Así, productores y consumidores tienden a declinar sobre cierto límite de viento a pesar del ingreso de aguas ricas en nutriente. Por ejemplo, se observó en la bahía de Tongoy, a través del análisis de una serie de tiempo de fitoplancton (2000 – 2009), que la abundancia, diversidad de especies y equidad de diatomeas y dinoflagelados incrementaron luego del 2005 asociado con el cambio de la fase de la oscilación del decadal del pacífico (Pacific Decadal Oscillation, PDO) desde positivo (caliente) a negativo (frío) lo que también se asoció con una disminución en la actividad del viento intra-estacional (Jacob et al., 2024). El apogeo de abundancia de fitoplancton se observó luego del 2005 mientras que la mayor abundancia y frecuencia de FAN fue observada antes del 2005. Los autores sugieren que una baja frecuencia de la variación del estrés del viento promedio durante la transición de fases del PDO combinado con la reducción de la variación del viento intra-estacional después del 2005 provee una “ventana ambiental óptima” para el ecosistema (Jacob et al., 2024).

Por su parte, áreas donde existen de surgencias permanentes, que resultan en zonas con una alta productividad marina, como Lengua de Vaca y Punta de Choros también son afectadas recurrentemente por las floraciones algales nocivas. El análisis de series de tiempo obtenidas desde distintas bases de datos entre 2010 – 2018 muestra que la localidad de Guanaqueros tuvo 9 eventos de floración y 14 en Tongoy. Se observaron eventos simultáneos en ambas localidades de *Pseudo-nitzschia australis* y dos eventos simultáneos pero producidos por distintas especies uno por *Alexandrium* spp y *Dinophysis acuminata*. Antes de El Niño del 2015-2016 existieron más eventos de floración y de mayor duración de estas especies. Luego del este evento las floraciones fueron más reducidos y producidos por *P. australis*. La modelación de eventos de floración mostró su retención en bahías durante condiciones de relajación de surgencias, y una baja conectividad entre bahías, lo que explica la generación de floraciones simultáneas de dos tipos de especies (Rosales et al., 2024).

En tanto que, en la zona costera de Iquique entre Punta Cavancha y Bajo Molles se realizaron muestreos entre el 26 de agosto y 17 de septiembre del 1997 para evaluar la comunidad fitoplanctónica, periodo que coincidió con el severo evento del El Niño (97-98). Se observó que la comunidad estuvo definida por la presencia de *Thalassiosira subtilis*, además otras especies relevantes fueron *Detonula pumila* y *Leptocylindrus danicus*. En este estudio también se observó la presencia de especies nocivas del género *Chaetoceros*, *Pseudo-nitzschia*, *Rhizosolenia* y *Dinophysis* (Santander et al., 2003). Los resultados del estudio indican que la magnitud de la surgencia es un evento importante en la sucesión de especies fitoplanctónicas.

Floraciones al norte de la región de Arica y Parinacota

Al norte de la región de Arica y Parinacota también existen especies nocivas que han formado floraciones afectando severamente la salud humana y actividades acuícolas. Durante el invierno austral del 2017 una

floración de *Prorocentrum* ocurrió en la bahía de Paracas, Perú. Este evento coincidió con un proceso de surgencia que generó una gran biomasa fitoplanctónica y permitió el rápido crecimiento de *Prorocentrum cordatum* (sinónimo *Prorocentrum minimum*). Desde la floración se aisló una cepa y el análisis toxicológico mostró la ausencia de tetrodotoxinas (TTX). No obstante, los autores indicaron que, previos antecedentes de la presencia de TTX potencialmente asociada a floraciones de *P. minimum*, hace necesario incorporar el monitoreo preventivo de la especie y así salvaguardar la salud de las personas (Tenorio et al., 2022). En la misma localidad el análisis de bases de datos fitoplanctónicas y toxinas en mariscos obtenidas entre 2011 y 2019 reveló la presencia de densas floraciones de *Alexandrium ostenfeldii* asociados a la presencia de toxinas paralizantes en ostiones. Las floraciones ocurrieron al finalizar el verano y principios de la primavera, y estuvieron asociadas al incremento del aporte de ríos y condiciones de estratificación seguida de la disminución de la velocidad del viento (Cuellar-Martinez et al., 2021). Las mayores abundancias ocurrieron durante la presencia de masas de agua superficial calientes (18-27°C) y las máximas concentraciones de toxinas paralizantes ocurrieron incluso con baja abundancia de *A. ostenfeldii* (20.000 células/L) (Cuellar-Martinez et al., 2021). Además, la evaluación toxicológica de una cepa de *A. ostenfeldii* mostró presencia de toxinas paralizantes y espirolidos (Kremp et al., 2014). También se ha descrito la presencia de *Alexandrium minutum* en el litoral del Callao, especie que generó una floración en marzo del 2006 y febrero del 2009 (Baylón et al., 2015) aunque no se realizó análisis toxicológicos de muestras. En tanto que en 1998 se identificó a *Alexandrium affine* como responsable de las floraciones ocurridas en la costa central del Perú (Carquín, Huacho y Callao) (Vera et al., 1999).

Por su parte, el programa de monitoreo bio-oceanográfico en aguas costeras peruanas realizado frente a Chancay detectó en febrero de 2014 una densa floración de *Azadinium*. Este evento ocurrió con una temperatura 20,5 °C del agua y de una salinidad de 35 PSU. Hasta donde conocemos, este es el primer reporte de una floración de *Azadinium* en el océano Pacífico con densidades celulares de hasta un millón de células por litro que causó una decoloración del agua de mar (Tillmann et al 2017b).

En tanto que la presencia de toxinas diarreicas también ha sido detectada en la costa de Perú. En monitoreos realizados en mariscos se detectó la presencia de PTX y ácido okadaico tanto en muestras de células de *Dinophysis* (complejo *D. acuminata* y *D. caudata*) como en *Argopecten purpuratus*. El análisis toxicológico mostró dos patrones de toxinas en células del complejo *D. acuminata*, uno compuesto de PTX2 y AO y otro solo con PTX2. Mientras que la evaluación de toxinas en ostiones mostró la presencia de AO solo en las muestras de más al norte en la localidad de bahía Sechura. Este estudio fue el primero en confirmar la presencia de AO y PTX en mariscos en la costa de Perú (Alcántara-Rubira et al., 2018).

Problemáticas asociadas a las floraciones algales nocivas en el norte de Chile

La revisión de los eventos de floraciones algales nocivas en el norte de Chile ha demostrado que la detección de biotoxinas, y las especies (o potenciales) que pueden producirlas, ha sido registrada en distintas localidades a través del tiempo. Así, la detección de toxinas paralizantes, diarreicas, amnésicas, azaspirácidos, yesotoxinas, gimnodimina es relevante ya que el principal efecto nocivo asociado a ellas es

la acumulación en mariscos, y los peligros que conlleva para la salud humana y seguridad alimenticia. En el norte de Chile el cultivo de ostión es uno de los principales recursos (Bakir et al., 2022), además de la explotación de recurso como choritos, loco, almejas, machas, etc., por lo que la presencia de biotoxinas también es una constante amenaza a las actividades socioeconómicas. De manera similar, la generación de grandes mortalidades de invertebrados que, resultan en extensos varamientos de especies de comunidades naturales, también es un fenómeno que pone en riesgo e incerteza a las actividades económicas y dinámica de ecosistema.

La formación de floraciones de especies que no producen toxinas puede generar efectos en actividades de turismo y en consecuencia levantar falsas alarmas respecto a los efectos nocivos en la población. Las floraciones pueden ser producidas por una gran diversidad de especies fitoplanctónicas las cuales no necesariamente afectan la salud humana. Algunas floraciones pueden generar cambios de color del agua y producción de espuma siendo inocuas para las personas. No obstante, la generación de una gran biomasa en una floración y el consecuente decaimiento, puede provocar la disminución de oxígeno afectando peces e invertebrados marinos (Díaz et al 2025). Las grandes floraciones también pueden influir en las características organolépticas de mariscos ya que se ha observado que el sabor amargo de ostiones está asociada a la presencia de ciertas especies como *Mesodinium* y *Rhissolenia* (Uribe 2010).

La formación de floraciones de especies que producen o no toxinas también puede generar efectos nocivos en actividades como la desalinización de agua de mar, proceso que en el norte de Chile se ha utilizado históricamente para actividades mineras, y crecientemente, para la generación de agua potable para consumo humano y agrícola. Frente al problema de escasez hídrica forzada por el cambio climático en Chile, particularmente en la zona norte del país, se han instalado plantas desalinizadoras de distintos tamaños, y con varias más en proceso de estudio y evaluación (Vicuña et al., 2022). Hasta el 2022 existían en Chile 38 plantas operativas con una capacidad de desalinización de 8.558 y hay una capacidad proyectada a futuro que asciende a 38.7466 l/s, cuadruplicando la capacidad de tratamiento actual. La región de mayor crecimiento sería Antofagasta seguida de Atacama (Vicuña et al., 2022). Debido a que este proceso será cada vez más masivo se deberían investigar los posibles efectos asociados al vertimiento de aguas con alta salinidad (residuos de la desalinización) en la zona donde se instalan y como podrían actuar sinérgicamente con otros factores de cambio de ecosistemas como, la sobreexplotación de especies costeras (extracción de macroalga, extracción de invertebrados marinos), contaminación y vertido de fertilizantes procedentes de la agricultura, acidificación del océano, entre otros (Vicuña et al., 2022).

Estos cambios costeros eventualmente también podrían impactar las comunidades fitoplanctónica e influenciar floraciones. El efluente de salmuera desde las plantas desaladoras puede cambiar la salinidad favoreciendo cambios en la comunidad planctónica. Si bien hay estudios que han estimado que en ciertos lugares el aumento de la salinidad, sobre la salinidad natural en el área afectada por la descarga de salmuera, puede llegar a <5% en un radio de <100 m desde los puntos de descarga, ello se produce bajo

la combinación de condiciones oceanográficas favorables y difusores. Estas últimas características favorecen la rápida dilución de la descarga de salmuera en los ecosistemas costeros (Sola et al., 2024).

Por otro lado, en el proceso de desalinización la formación de floraciones genera problemas en la toma de agua salada y la osmosis reversa (Reverse osmosis: RO). La generación de floraciones puede producir una alta biomasa y algunas de las especies son capaces de producir mucilagos (polímeros) que resultan en el cambio de viscosidad del agua y agregación celular, que dan como resultado la obstrucción de la toma de agua salada. En la RO, se aplica una presión mayor que la osmótica sobre el agua de mar captada, con objeto de revertir el flujo, lo que resulta en el paso de agua pura a través de los poros de la membrana sintética, separándola de las sales y produciendo una solución de sales concentradas que es retenida para su eliminación (Saavedra et al., 2023). Uno de los principales problemas de la RO que utiliza agua de mar, tiene relación con la concentración de partículas suspendidas y los niveles de saturación de sales poco solubles, lo que afecta el funcionamiento de las membranas (Saavedra et al., 2023). Esto puede generar incrustaciones de sales poco solubles, bioincrustaciones (biofouling), cuando los polímeros secretados por microorganismos se adhieren a la superficie de la membrana, aglomeración y cultivo de coloides por interacción entre polímeros inorgánicos y orgánicos, así como incrustaciones de materia orgánica del agua de mar (Saavedra et al., 2023). Las algas microscópicas en los sistemas de captación constituyen una amenaza importante para el funcionamiento confiable de las plantas, por lo que se está evaluando los riesgos del aumento de floraciones de algas nocivas en el futuro (Saavedra et al., 2023).

Uno de los aspectos más relevantes asociados a las biotoxinas y la desalinización, para la generación de agua potable, se relaciona con la potencial persistencia de toxinas. Las especies formadoras de floraciones algales nocivas pueden generar toxinas que se encuentran en el interior de las células o son liberadas al ambiente. En el proceso de desalinización las células se pueden romper liberando las toxinas intracelulares además pueden haber remanentes en el agua de toxinas liberadas al medio. Debido a esto, es importante identificar especies productoras de toxinas cerca de la toma de agua de plantas desalinizadoras y conocer si las toxinas potencialmente podrían persistir luego del proceso de desalinización.

Finalmente, la introducción de especies nocivas a través de aguas lastre y el aporte de ríos son fenómenos que pueden influenciar formación de FAN no solo en el norte de Chile sino a través de toda su costa. Por un lado, el agua de lastre es actualmente un importante vector de intercambio de especies entre áreas geográficas que no están conectadas de forma natural. Los organismos descargados con el agua de lastre pueden desarrollarse en la zona receptora y posteriormente convertirse en especies invasoras que afectan al ecosistema, así como a las actividades y la salud humanas (Romero-Martínez et al., 2021). Entre las especies que pueden persistir en las aguas lastre están las microalgas nocivas, las cual incrementan su potencial de introducción exitosa en aquellas que pueden formar estados de quistes en condiciones ambientales adversas, y germinar en condiciones óptimas de crecimiento. Desde la región de Coquimbo hacia el norte existen al menos 8 puertos donde potencialmente pueden ingresar especies nocivas a través de aguas lastre. Por otro lado, el aporte de nutriente por parte de ríos es un factor que puede explicar en

parte la formaci3n de floraciones, como por ejemplo, las que ocurrieron en los eventos de *A. ostenfeldii* en 2011 y 2019 en la costa de Per3 (Cuellar-Mart3nez et al., 2021).

El conocimiento de los fen3menos de floraciones, la diversidad de especies que pueden provocarlas, y los variados efectos en la salud humana, flora, fauna y ecosistemas y procesos productivos, por parte de las personas que pueden ser afectadas, es primordial para convivir con estos fen3menos naturales particularmente en un escenario de cambio clim3tico. No obstante, para generar este conocimiento se deben implementar monitoreo sistem3tico que nos permitan en una primera instancia conocer la din3mica de las biotoxinas y especies productoras a nivel geogr3fico y a trav3s del tiempo. A continuaci3n, mostramos la metodolog3a y resultados del proyecto FIPA 2023-17 "Evaluaci3n de biotoxinas en la zona norte de Chile", el cual se estructur3 en tres objetivos espec3ficos y actividades por cada uno de ellos.

3) OBJETIVOS GENERALES

Identificar las biotoxinas marinas y las microalgas nocivas presentes en las 3reas de inter3s para la pesca extractiva, la acuicultura y la acuicultura a peque1a escala, en la zona norte de Chile, entre las regiones de Coquimbo y Arica y Parinacota.

4) OBJETIVOS ESPEC3FICO

4.1. Identificar las biotoxinas marinas presentes en los recursos hidrobiol3gicos de inter3s, la zona norte, entre las regiones de Coquimbo y Arica y Parinacota, y su posible agente causal.

4.2. Caracterizar el fitoplancton de la zona norte, entre las regiones de Arica y Parinacota y Coquimbo, identificando todas las posibles especies nocivas.

4.3. Realizar difusi3n a nivel de caletas y municipios de los riesgos del consumo de organismos varados y de los efectos de las biotoxinas marinas.

5) METODOLOGÍA

La metodología que se utilizó en la presente investigación se detalla a continuación y esta descrita concorde a los objetivos específicos y actividades establecidos en la propuesta:

5.1 OBJETIVOS ESPECÍFICO 1

Identificar las biotoxinas marinas presentes en los recursos hidrobiológicos de interés, la zona norte, entre las regiones de Arica y Parinacota a Coquimbo, y su posible agente causal.

Actividades

- 5.1.1 Recopilación de información respecto a las biotoxinas marinas más relevantes a nivel nacional e internacional.
- 5.1.2 Generación de resúmenes con los artículos científicos más relevantes relacionados con biotoxinas marinas en Chile.
- 5.1.3 Generación de fichas de las especies nocivas más relevantes en Chile que contengan información biológica, ecológica y efectos nocivos.

Metodología

Se buscó artículos científicos en bases de datos de como sciencedirect (<https://www.sciencedirect.com/>), web of science (<https://clarivate.com/products/scientific-and-academic-research/research-discovery-and-workflow-solutions/webofscience-platform/>) y scielo (<https://www.scielo.cl/>). Se buscaron publicaciones relacionadas con la generación de toxinas y especies productoras en Chile y el mundo. La búsqueda fue enfocada en especies que afectan a la salud humana e icitóticas como: *Pseudo_nitzschia cf. australis*, *Pseudo_nitzschia cf. pseudodelicatissima*, *Sundstroenia setigera*, *Rhizosolenia styliiformis*, *Akashiwo sanguinea*, *Alexandrium catenella*, *Alexandrium ostenfeldii*, *Dinophysis acuminata*, *Dinophysis acuta*, *Karenia selliformis*, *Protoceratium reticulatum*, *Heterosigma akashiwo*, *Pseudochatonella verruculosa*, entre otras. Con esta información se confeccionaron tablas y fichas que contienen la siguiente información: "Registro de floración", "Toxina producida", "Efecto de toxinas en humanos", "Limite de concentración de toxinas permitida en mariscos", "Efecto en animales", "Método detección toxinas". La bibliografía se entrega en la carpeta: bibliografía_compilado_biotoxinas.

Actividades

- 5.1.4 Recopilación de información referente a detecciones históricas de biotoxinas en la zona de estudio.
- 5.1.5 Identificación de áreas geográficas afectadas por biotoxinas marinas en la zona de estudio.

Metodología

Para cumplir con estas actividades se tomó contacto con entidades como el Sernapesca (PSMB) y MINSAL a los cuales se solicitó información histórica respecto a la formación de floraciones algales nocivas producidas por microalgas, detección de toxinas, mortalidad de moluscos y especies nocivas identificadas. Esta información fue sintetizada y se identificaron potenciales puntos geográficos en donde se hayan producido de forma recurrente eventos de floraciones nocivas.

Actividades

- 5.1.6 Muestreo de mariscos quincenales en 9 localidades entre las regiones de Arica y Parinacota a Coquimbo.
- 5.1.7 Análisis de biotoxinas en mariscos muestreados quincenalmente.
- 5.1.8 Evaluaciones de biotoxinas en mariscos en caso de potenciales eventos de floración de microalgas nocivas en el transcurso del periodo del proyecto.

Metodología

Para cumplir con estas actividades se realizaron muestreos de mariscos quincenales en 9 localidades distribuidas entre las regiones de Arica y Parinacota (XV) y Coquimbo (IV). Los muestreos se extendieron por 7 meses, entre los meses diciembre del 2023 hasta junio del 2024. Para la recolección de los mariscos en la Región de Coquimbo se seleccionaron 4 localidades: Guanaqueros, Tongoy, Bahía Coquimbo y Punta Choros. En la Región de Atacama se seleccionaron 2 localidades: El Morro y Barranquilla. En la región de Antofagasta se seleccionó la localidad de Mejillones; en la región de Tarapacá se seleccionó a la bahía de Iquique; y en la región de Arica y Parinacota se seleccionó la bahía de Arica. En cada localidad se extrajo un solo tipo de mariscos para hacer los análisis toxicológicos. Los mariscos extraídos fueron preferentemente ostiones y machas, u otra especie que pueda ser de interés productivo en cada región (ejemplo: el recurso loco). No obstante, en las localidades de más al norte también se recolectó muestras de Choro, ya que fue la especie que más se extrajo en ese momento por parte de pescadores. No fue posible extraer el mismo tipo de mariscos a través de todas las localidades debido a que la disponibilidad

de estos varia a nivel geográfico y temporal. En casos donde no se obtuvo mariscos por eventualidades como malas condiciones climáticas, temporada de desove, veda extractiva, se trató de obtener 2 recursos pesqueros en el siguiente monitoreo para hacer comparación entre recursos. Los mariscos recolectados fueron congelados y enviados hasta el Centro de Estudios de Algas Nocivas (CREAN) del Instituto de Fomento Pesquero donde se realizó la determinación de biotoxinas según lo descrito a continuación:

Determinación de biotoxinas en tejidos de mariscos

En cada localidad se recolectaron 600 gramos de mariscos sin concha. Luego fueron etiquetados y almacenados en bolsas de plástico y congelados para su envío. Periódicamente las muestras fueron enviadas en frío hacia el CREAN-IFOP donde se realizaron los análisis de biotoxinas. En el centro, las muestras fueron separadas en dos, donde 300 gramos fueron enviadas periódicamente al Laboratorio de Salud Pública, Secretaría Regional Ministerial de Salud, Región de Los Lagos (SSL), mientras que los otros 300 gramos fueron molidos y separados en tubos de 50 mL para la extracción en el CREAN-IFOP.

Toxinas lipofílicas

Para cada una de las muestras se analizó la presencia de las biotoxinas marinas lipofílicas de los grupos de ácido okadaico (AO), pectenotoxina (PTX), azaspirácido (AZA), espirólido (SPX1), gimnodimina (GYM), Pinatoxina (PnTx) y yesotoxina (YTX) en mariscos. La determinación cuantitativa de AO, PTX2, AZA1, AZA2, AZA3, DTX1, DTX2, YTX, homoYTX, Gym A, SPX1, PnTx G y DA se hizo directamente usando estándares de referencia disponibles comercialmente. Asumiendo un factor de respuesta equivalente, el procedimiento permite la cuantificación indirecta de PTX1 por medio del uso de PTX2, además la YTX fue utilizada para la cuantificación indirecta de 45-OH YTX; la homoYTX para la cuantificación de 45OH homo YTX; la SPX1 se utilizó para determinar 20 metil espirólido G; y la Gymnodimina A se usó para la cuantificación de 12 metil Gymnodimina A. Estos métodos se basan en la extracción de las toxinas de 2 gramos de tejido previamente homogeneizado con 9 mL de metanol al 100% (MeOH), según las metodologías propuestas por EU-RL-MB (2015) y Braña-Magdalena, et al. (2014). Los extractos analizados por HPLC-MS/MS fueron usados para determinar AO libre, DTX1 libre, DTX2 libre, PTX1, PTX2, AZA1, AZA2, AZA3, YTX, Homo YTX, 45 OH YTX, 45 OH Homo YTX, Gym A, 12 metil Gym A, SPX1, 20 metil espirólido G, PnTx G y DA. Adicionalmente, aunque es una toxina hidrofílica, se determinó toxina amnésica de los mariscos (TAM), es decir, ácido domoico (DA).

Toxinas paralizantes

Las mismas muestras analizadas para la detección de toxinas lipófilas, fueron analizadas para detectar la presencia de toxinas paralizantes. Para esto, se realizó una extracción a 5 gramos de tejido homogeneizado con 5 mL de ácido acético al 1 %, de acuerdo al protocolo descrito por Rodríguez y colaboradores (2018). Los extractos se analizaron por HPLC MS/MS para determinar C1, C2, GTX1, GTX2, GTX3, GTX4, GTX5, GTX 6, dc GTX2, dc GTX3, dc NeoSXT, dc STX, NeoSXT y SXT. Además, debido a que la metodología lo permite, incluimos la búsqueda de Tetrodotoxina (TTX).

Brevetoxinas

Se implementó la técnica de detección de Brevetoxina. Teniendo en cuenta que la FDA y la agencia de protección ambiental (EPA) de Estados Unidos definió un límite de 800 $\mu\text{g}/\text{Kg}$ de equivalentes de brevetoxina-2 en mariscos (EPA, 2015), se montó la técnica para lograr la mayor sensibilidad posible, pero que sean inferiores a ese límite.

En la extracción nos basamos en el trabajo de O'Neil y col. (2021), cuya extracción es similar a la que realizamos en este proyecto para toxinas lipofílicas. De ese modo podríamos utilizar los extractos de toxinas lipofílicas ya realizados y que mantuvimos congelados a -20°C .

Inicialmente trabajamos con soluciones estándar de referencia de brevetoxina 2 (PbTx-2) y brevetoxina 3 (PbTx-3) provenientes de LKT Laboratories, utilizando las mismas condiciones cromatográficas utilizadas para las toxinas lipofílicas. Se utilizaron las transiciones que aparecen en el trabajo de O'Neil y col (2021). Las señales no mostraron la sensibilidad esperada, se variaron diferentes parámetros del espectrómetro de masas (como la energía de colisión, por ejemplo), sin lograr los resultados esperados.

Posteriormente probamos cambiando en la fase móvil el acetonitrilo por metanol, logrando un aumento en la señal de PbTX-2 de más de 10 veces, y de PbTX-3 del doble.

Ochi y col (2024) probaron la detección de brevetoxinas con la misma fase móvil inicialmente utilizada por nosotros, con resultados similares. Ellos mejoraron la sensibilidad de ambos analitos eliminando el formiato de amonio, dejando solo un gradiente de agua y acetonitrilo, con 0.1 % de ácido fórmico. Probamos este cambio, logrando un aumento en las señales de PbTX-3 de casi 15 veces, y de PbTX-2 casi igual que con la fase móvil con metanol. Utilizamos finalmente esta fase móvil para realizar las muestras, con las transiciones de iones que aparecen en el trabajo de Ochi (2024).

Se realizaron curvas de calibración estándar de ambos analitos en el rango de 0.0195 a 5 $\mu\text{g}/\text{mL}$, lográndose una muy buena linealidad en el rango de estudio. Con las muestras de mariscos diluidas 10 veces podríamos ver muestras positivas desde 195 $\mu\text{g}/\text{Kg}$.

Evaluación de biotoxinas en eventos de floración

No se generaron severas floraciones algales nocivas de especies productoras de toxinas, por lo que, no se realizó la toma de muestras de mariscos y el análisis de las biotoxinas adicionales al monitoreo quincenal.

5.2 OBJETIVO ESPECÍFICO 2

Caracterizar el fitoplancton de la zona norte, entre las regiones de Arica y Parinacota a Coquimbo, identificando todas las posibles especies nocivas

Actividades

- 5.2.1** Recopilación de información respecto a microalgas nocivas presentes en la zona norte del país.
- 5.2.2** Generación de resumen de artículos científicos relacionados con microalgas nocivas presentes en la zona norte del país.
- 5.2.3** Síntesis y generación de información respecto a microalgas que potencialmente puedan causar eventos nocivos en la zona norte en el tiempo que se desarrollará este proyecto.

La presente actividad utilizó como metodología la revisión sistemática de literatura, que permite explorar y evidenciar lo que se ha producido en cuanto a los eventos FAN y especies de microalgas causantes en el Norte de Chile. La revisión sistemática de la información se centró en la identificación de reportes asociados a las distintas especies de microalgas, la localidad donde fue reportada y las potenciales toxinas producidas.

Para ello, se procedió, en primera instancia a realizar una búsqueda bibliográfica de artículos científicos sobre la temática FAN en las bases de datos Web Of Science (WOS), Scopus y Scielo.

Esta base de datos permitió identificar la producción científica existente en torno a la identificación y ocurrencia de microalgas nocivas y su potencial impacto en el norte de Chile.

Para sistematizar esta información se elaboró una tabla que recopila la información de la especie, localidad, concentración celular o presencia, fecha del reporte, potenciales toxinas asociadas (en negrita se indican las toxinas informadas por el estudio) y la cita bibliográfica correspondiente. Además, se elaboraron mapas regionales con la distribución geográfica de las microalgas reportadas.

Cada una de las citas revisadas en informadas en esta actividad se entregan en la carpeta de Referencias bibliográficas adjunta (carpeta: bibliografia_compilado_biotoxinas).

Actividad

5.2.4 Muestreo quincenal de fitoplancton en 9 localidades entre las regiones de Coquimbo y Arica y Parinacota e identificación y cuantificación.

Para cumplir con esta actividad se realizaron muestreos de fitoplancton quincenales en 9 localidades distribuidas entre las regiones de Arica y Parinacota y Coquimbo. Los muestreos se extendieron por 7 meses, entre diciembre del 2023 hasta junio del 2024. Para la colección de las muestras de fitoplancton en la región de Coquimbo se seleccionaron las mismas localidades descritas anteriormente para la toma de muestras de mariscos.

Adicionalmente, se tomaron muestras de fitoplancton con red (red de fitoplancton de aproximadamente 1 metro de largo, 40 cms de diámetro y 23 μm de abertura de poro) por medio de tres lances hasta 20 metros de profundidad. Esta muestra fue depositada en un frasco plástico de 125 mL y se guardó en frío. Esta muestra fue enviada junto con las muestras de mariscos para realizar los análisis de biotoxinas según la metodología que se describe a continuación. Solo en casos excepcionales se filtró la muestra utilizando un filtro GF/F que se congeló a -20°C .

Es importante mencionar que se incluyó el análisis de la abundancia relativa (AR) para las especies más importantes que afectan a la salud humana las cuales fueron *Alexandrium catenella*, *Alexandrium ostenfeldii*, *Dinophysis acuta*, *Dinophysis acuminata*, Grupo *Pseudo-nitzschia seriata* y Grupo *Pseudo-nitzschia delicatissima*. El análisis de la abundancia relativa es un resultado nuevo y que no estaba incluido en la propuesta original. Adicionalmente, se generó una base de datos cuantitativa (presencia ausencia) de especies fitoplanctónicas y un registro de las especies más abundantes que también son resultados nuevos no incluidos en la propuesta original.

Muestreo fitoplancton cuantitativo

La recolección del fitoplancton se realizó en cada localidad muestreando la columna de agua entre los 10 mts de profundidad y superficie, utilizando una manguera de 2,5 cm de diámetro. El agua contenida en la manguera fue traspasada a bidones limpios donde se homogenizó el contenido para obtener muestras representativas que fueron guardadas en frascos de 125 mL, las cuales fueron fijadas con Lugol para su posterior análisis en el laboratorio.

Muestreo fitoplancton cualitativo

El fitoplancton fue recolectado en cada localidad mediante arrastres verticales desde 20 mts de profundidad como máximo hasta la superficie o según profundidad del lugar, usando una red de trama de malla de 23 μm . Los arrastres fueron realizados en sextuplicado (6 réplicas) y se conformó una sola muestra por estación (i.e. muestra integrada de seis arrastres). Las muestras fueron fijadas con formalina neutralizada al 2-3%.

Tanto la red de fitoplancton utilizada en el muestreo cualitativo, como la manguera del muestreo cuantitativo, poseen un plomo o peso de 2 Kg en el extremo que se introduce primero al cuerpo agua, ayudando que el ingreso sea lo más vertical posible.

Análisis fitoplancton cuantitativo

Las muestras fueron contabilizadas a nivel específico en cámaras de sedimentación, cuyo volumen fue seleccionado de acuerdo a la concentración de la muestra. La cámara utilizada fue la de 10 mL. Para el recuento celular se aplicó la técnica de Utermöhl (1958), en microscopios invertidos complementados con equipo de contraste de fase y de epifluorescencia. La abundancia celular fue expresada finalmente como células/Litro.

Análisis fitoplancton cualitativo

Se utilizaron microscopios ópticos de campo luminoso, a 40x y 100x, dotados con condensador de contraste de fase y equipo de epifluorescencia. Se estimó la abundancia relativa (AR) para las siguientes especies: *Alexandrium catenella*, *A. ostenfeldii*, *Dinophysis acuminata*, *D. acuta*, *Protoceratium reticulatum*, *Pseudo-nitzschia* spp. (Grupo *Pseudo-nitzschia seriata* y Grupo *Pseudo-nitzschia delicatissima*), para lo cual se contabilizó el número de células en una alícuota de 0,1 mL tomada desde una muestra sedimentada por un periodo de 24 horas, bajo un cubre-objeto de 18 x 18 mm (3 réplicas). La dilución de las muestras de abundancia relativa se determinó de acuerdo a los siguientes criterios: 1) cuando la abundancia de especies nocivas es alta y hace que su recuento sea más lento (Ej. Especies del género *Pseudo-nitzschia* por sobre 500 células por campo con un aumento de 100X) y 2) cuando la abundancia fitoplanctónica total de la muestra es muy alta resultando que las especies se superpongan dificultando la observación. Sin perjuicio de lo anterior, se identificaron todas las microalgas contenidas en la muestra al nivel de especie, y en los casos que no fue posible hasta el menor nivel taxonómico. Con esta última revisión se confeccionó una base de datos de presencia/ausencia de especies.

Interpretación de la Abundancia Relativa (AR)

La Tabla 1 muestra las escalas de la AR, donde cada nivel, identificado por números entre 0 a 10, está asociado con su correspondiente denominación nominal que parte de “ausente” hasta llegar a “> mega abundante”, además de las abundancias relativas celulares (Número células/muestra) calculadas para cada especie nociva. Sumado a esto, se dispone de un sistema de colores análogo a un semáforo, donde cada uno de los colores indica niveles de precaución de la AR para una especie nociva. Es importante mencionar que las tablas no están asociadas a concentraciones de toxinas en mariscos, es decir, la tabla es útil como un sistema de alerta temprana, a partir de la cual, las entidades correspondientes podrían tomar medidas preventivas. Así, el color verde, indica una “situación normal”, el amarillo indica una “Precaución Moderada”, el naranja una “Alerta Temprana” y rojo como “Situación de Riesgo”. Finalmente, cada especie tiene asociada distintas escalas de abundancias relativas celulares (Número células/muestra) debido a que en condiciones naturales algunas especies alcanzan bajas abundancias como *A. ostenfeldii*, *Dinophysis*

acuminata, *D. acuta* que usan la escala 1; abundancias medias como *Alexandrium catenella* y *Protoceratium reticulatum* que usan la escala 2 y altas abundancias como los grupos de *Pseudo-nitzschia* spp que usan la escala 3.

Tabla 1. Escala de Abundancia Relativa según especie.

Escala 1: *Dinophysis acuta*, *Dinophysis acuminata*, y *Alexandrium ostenfeldii*

Escala 2: *Alexandrium catenella* y *Protoceratium reticulatum*

Escala 3: Grupo *Pseudo-nitzschia seriata* y Grupo *Pseudo-nitzschia delicatissima*

	ESCALA	Escala 1	Escala 2	Escala 3
AUSENTE	0	0	0	0
RARO	1	1 - 5	1 - 2	1 - 10
ESCASO	2	6 - 15	3 - 10	11 - 50
REGULAR	3	16 - 35	11 - 42	51 - 210
ABUNDANTE	4	36 - 75	43 - 170	211 - 850
MUY ABUNDANTE	5	76 - 155	171 - 682	851 - 3410
EXTREMADAMENTE ABUNDANTE	6	156 - 315	683 - 2730	3411 - 13650
HIPER ABUNDANTE	7	316 - 635	2731 - 10922	13651 - 54610
ULTRA ABUNDANTE	8	636 - 1275	10923 - 43690	54611 - 218450
MEGA ABUNDANTE	9	1276 - 2555	43691 - 174762	218.451 - 873.810
> MEGA ABUNDANTE	10	2556 - 5.115	174.763 - 699.050	873.811 - 3.495.250

Número de células promedio bajo un cubre objeto de 18x18 mm en 3 alicuotas de 0,1 ml cada una.

Procesamiento de muestra para extracción de biotoxinas desde muestra de fitoplancton.

Para la extracción de toxinas se homogeneizó la muestra y se agregó el contenido en 4 tubos tipo Falcon de 50 mL. Los tubos se centrifugaron a 5.000 rpm por 45 minutos. Luego, con la pipeta pasteur se eliminó cuidadosamente el sobrenadante (hasta dejar un volumen aproximado de 10 mL). Los tubos con el pellet se centrifugaron nuevamente y se eliminó 9 mL del sobrenadante. Se homogeneizó todos los pellets restantes y se añadió el homogeneizado en tubos eppendorf de 2 mL. Se centrifugó a 13.400 rpm por 10 minutos y se eliminó el sobrenadante de cada tubo. Los tubos con el pellet se rotularon para toxina lipofílica y paralizante congelan a -20°C hasta su posterior extracción y análisis con el HPLC-MS/MS

Extracción de toxinas desde muestra de fitoplancton

- **Toxinas Lipofílicas:**

A los tubos Eppendorf de 2.0 mL, se le agregó 1,0 mL de metanol. Se homogeneizó la muestra utilizando un homogeneizador Minibead Beater de Biospec products (1 vez por 45 segundos). Los tubos se centrifugan a 13.400 rpm en una centrífuga minispin de Eppendorf durante 10 minutos. El sobrenadante se filtró en

viales de HPLC utilizando filtros de jeringa de PVDF de 0,22 μm de poro y 3 mm de diámetro y se guardaron a -20°C hasta su posterior utilización.

- **Toxinas Paralizantes:**

A los tubos Eppendorf de 2.0 mL, se agregaron 500 μL de ácido acético 0,05 N. Se homogeneizó la muestra utilizando un homogeneizador Minibead Beater de Biospec products (1 vez por 45 segundos). Los tubos se centrifugaron a 13.400 rpm en una centrifuga minispin de Eppendorf durante 10 minutos. El sobrenadante se filtró con filtros de jeringa de PVDF de 0,22 μm de poro y 3 mm de diámetro. Finalmente, la muestra fue diluida 1:4 con Acetonitrilo (al 100%). El extracto diluido se guardó en refrigeración (4°C), hasta su posterior análisis.

Actividades

5.2.5 Aislamiento de cepas en caso de eventos de floración.

5.2.6 Cultivo y mantenimiento de cepa(s), y su caracterización morfológica, toxicológica y genética.

Metodología

A pesar de que no se observaron severas floraciones en el norte de Chile, el monitoreo de biotoxinas mostró la frecuente presencia de toxinas paralizantes tanto en muestras de mariscos como de agua. Respecto a la presencia de especies fitoplactónicas que pudieran explicar la presencia de estas toxinas se encontraron las del género *Alexandrium cf. catenella* y *Alexandrium ostenfeldii*. El monitoreo de fitoplancton mostró que la especie más abundante fue *A. ostenfeldii* en comparación con *A. cf. catenella* en consecuencia se realizó la aislación de una cepa de *A. ostenfeldii* que fue caracterizada a través de morfológica, toxinas y genética.

La cepa de *A. ostenfeldii* fue aislada desde la localidad de Coquimbo en mayo del 2024. Para esto, se depositaron células, una por pocillo en cámaras de cultivo celular, las que fueron aclimatadas progresivamente al medio de cultivo L1. Las condiciones de cultivo fueron 15°C temperatura, intensidad de luz 50 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{ seg}^{-1}$, fotoperiodo de 12:12 D:N, 35 PSU.

Actividades

- 5.2.7 Análisis temporal-espacial de la variación de la comunidad fitoplanctónica de la zona norte.
- 5.2.8 Correlación de biotoxinas y fitoplancton.

Metodología

Se realizaron distintas graficas para describir la variación temporal-espacial del fitoplancton total y de las especies nocivas más importantes que afectan la salud humana, y la variación de grupos de dinoflagelados y diatomeas.

Por otro lado, se realizó análisis de componentes principales (ACP) para evaluar la relación que existe entre las toxinas paralizantes encontradas en moluscos, las encontradas en las muestras de fitoplancton y las abundancias relativas de las especies que pueden generar este tipo de toxinas como *A. cf. catenella* y *A. ostenfeldii*. Además, se incluyó la gimnodimina como presencia/ausencia. Aunque esta no es una toxina paralizante, esta fue incluida debido a que la caracterización toxicológica de la cepa de *A. ostenfeldii* aislada desde la costa de Coquimbo revelo la presencia de gimnodimina y STX. Mas antecedentes se entregan en la sección de aislamiento y cultivo de cepas. Adicionalmente se evaluó diferencias entre poblaciones a través de un v test (Kassambara 2017)

Por otro lado, se realizó análisis de correlación y análisis de componentes principal para evaluar la relación entre las toxinas lipofilicas encontradas en moluscos, fitoplancton, las especies que pueden producir estas toxinas como *D. acuminata*, grupos *Pseudo-nitzschia seriata* y *delicatiissima*, *Dinophysis acuminata* y *Protoceratium reticulatum*. *D. acuta* no se incluyó en el análisis ya que no se registró la presencia de esta especie.

5.3 OBJETIVO ESPECÍFICO 3

Realizar difusión a nivel de caletas y municipios de los riesgos del consumo de organismos varados y de los efectos de las biotoxinas marinas.

Actividades

5.3.1 Realización de mini talleres presenciales o virtuales con la comunidad en la zona de estudio y generación de material de difusión.

5.3.2 Participación en el Festival Puerto de ideas Antofagasta 2024.

Metodología

En diciembre del 2023 se postuló al paseo por las ciencias del Festival Puerto de ideas Antofagasta con el fin de informar al mayor número de gente en el área de estudio distintos aspectos de las floraciones algales nocivas. Se postularon 2 tipos de actividades, (1) Stand permanente y (2) Talleres presenciales para niñas y niños. Para estos se diseñaron diferentes insumos y materiales a utilizar en ambas actividades definiendo las siguientes preguntas claves:

1. ¿Quién es el público objetivo de este festival?
2. ¿Qué edad tiene?
3. ¿A qué se dedica?
4. ¿Qué tipo de insumo llama su atención?

Stand: Se diseñó una gigantografía (estilo pibox) el cual tenía como objetivo mostrar de manera explicativa el flujo de toxinas marinas en la red trófica y sus impactos en el ecosistema y en las actividades antropogénicas. Para esto se trabajó con un diseñador la propuesta estética y con investigadores del CREAN-IFOP la propuesta de contenido. El tiempo de esta actividad fue de 8 horas cada día durante 4 días consecutivos.

Talleres presenciales para niñas y niños: Se realizó dos talleres para niñas y niños entre 7-10 años donde se contó un cuentacuentos sobre microalgas nocivas y posteriormente una actividad con microscopios de papel para observar diversidad de microalgas marinas. El tiempo de esta actividad fue de 1 hora cada taller.

Para esta actividad se contó con el apoyo de la Universidad de Antofagasta, a través de su académico Dr. Carlos Riquelme quien facilitó personas voluntarias y equipo de microscopía que nos permitió llevar a cabo los talleres y el stand.

Se confeccionaron dos tipos de material de divulgación: polidíptico y calendario. Ambos materiales fueron consensuados con SUBPESCA y MINSAL

Por otro lado, se realizaron:

Charla de capacitación a la Federación de Pescadores Artesanales y Buzos Mariscadores Independientes III y IV Región (FEPEMACH)

Se realizó una charla de capacitación a miembros de la directiva de FEPEMACH; Leonardo Ocares (presidente) y Enrique Altamirano (secretario) y profesionales asesores y trabajadores del “Centro Educativo y de Conservación Acuario-Hatchery Los Vilos”: el Biólogo Marino Francisco Ruiz Rojas y el técnico en Acuicultura Miguel Rivera Álvarez. A ellos se hicieron dos presentaciones relacionadas en general con los fenómenos de marea roja. Además, se los capacitó con las temáticas e información que hay en los materiales de divulgación generados en este proyecto “calendario” y “polidíptico”. Se les entregó material de divulgación de modo que puedan informar en las charlas que realiza la FEPEMACH acerca de temáticas de floraciones algales nocivas.

Entrega y distribución de material de difusión al Centro Educativo y de Conservación Acuario-Hatchery Los Vilos.

Se entregó material de divulgación a los profesionales asesores de la FEPEMACH los cuales fueron distribuidos a las personas que visitaron el centro en el tiempo que se desarrolló el proyecto.

Taller de capacitación en temáticas FAN, dirigido a profesionales y técnicos del servicio público de la región de Coquimbo

Se realizó el taller de forma online al cual asistieron 43 personas de distintas instituciones. La invitación fue extendida a distintos profesionales que trabajan en variadas instituciones del norte de Chile (Subpesca, Sernapesca, Seremi de Salud, Directemar, Seremi de Medio Ambiente, IFOP). Por otro lado, a los profesionales de IFOP se les entregó material de divulgación y se les realizó una capacitación presencial en la sede IFOP Coquimbo.

Participación en congreso

Se realizó la presentación de dos trabajos en formato poster en el congreso de Acuicultura, realizado en la Región de Coquimbo el 2024. Los nombres de los trabajos fueron: “Distribución y abundancia del fitoplancton del Pacífico norte de Chile, con énfasis en las especies asociadas a Floraciones Algales Nocivas (FAN). Presentado por el Dr. Oscar Espinoza-González” y el trabajo “Diversidad de biotoxinas y de especies formadoras de FAN en el norte de Chile: Implicancia para la acuicultura. Presentado por el Dr. Javier Paredes-Mella”. Además, se aprovechó la oportunidad para divulgar con estudiantes, profesores y público en general temas de floraciones algales nocivas.

6) RESULTADOS

6.1 OBJETIVO ESPECÍFICO 1

- 6.1.1 Recopilación de información respecto a las biotoxinas marinas más relevantes a nivel nacional e internacional.
- 6.1.2 Generación de resúmenes con los artículos científicos más relevantes relacionados con biotoxinas marinas en Chile.
- 6.1.3 Generación de fichas con información biológica, ecológica, y efectos nocivos de las especies nocivas más relevantes.

Las biotoxinas marinas son una importante amenaza para la salud de las personas y seguridad de los alimentos marinos a nivel mundial. Actualmente se conoce que alrededor de 200 tipos de toxinas son naturalmente producidas por organismos planctónicos o microalgas del grupo de los dinoflagelados, diatomeas y cianobacterias (Wang et al., 2024). Los mariscos filtradores consumen las microalgas constantemente y en consecuencia acumulan biotoxinas en sus tejidos (Tabla 2, 3). Estas biotoxinas pueden alcanzar otros niveles tróficos llegando a las personas donde generan distintas afecciones y en casos severos la muerte (Tabla 2, 3). La mayoría de las toxinas son producidas por las microalgas no obstante los efectos más severos a la salud ocurren cuando se acumulan en los mariscos situación conocida como “veneno de mariscos” (shellfish poisons). Las biotoxinas marinas pueden dividirse en cuatro categorías en función de los distintos síntomas clínicos tras el envenenamiento (Tabla 2, 3):

- Envenenamiento paralítico por mariscos (paralytic shellfish poisoning, PSP).
- Envenenamiento diarreico por mariscos (diarrhetic shellfish poisoning, DSP).
- Envenenamiento amnésico por mariscos (amnesic shellfish poisoning, ASP).
- Envenenamiento neurotóxico por mariscos (neurotoxic shellfish poisoning, NSP).
- Los azaspirácidos (AZAs) pertenecen a otro grupo, que presentan síntomas de toxicidad similares al DSP.
- Tetrodotoxina (TTX). Estas toxinas son producidas por bacterias y no por microalgas. A través del tiempo se ha observado un incremento de su presencia en mariscos por lo que son importante de mencionar.
- Envenenamiento por ciguatoxinas de peces (ciguatoxin fish poisoning, CFP).

Para el caso de Chile el REGLAMENTO SANITARIO DE LOS ALIMENTOS DTO. N° 977/96 (D.OF. 13.05.97) establece los límites de toxinas que pueden tener los mariscos para la presencia de toxina

paralizante, toxinas diarreicas y toxina amnésicas. Recientemente, se introdujo los límites de yesotoxinas y azaspirácidos (MINSAL 2024).

La identificación de las especies fitoplanctónicas que producen biotoxinas se realiza por medio de la caracterización de cepas aisladas desde muestras de agua, toma de muestras de agua en una floración e identificación de la especie predominante en el evento, y de manera indirecta por medio de análisis toxicológico de mariscos y la correlación con las especies planctónicas que podrían producir la toxina. Aunque el estudio de biotoxinas marinas ha permitido identificar a las especies que las producen a través del mundo (Tabla 2, 3), es importante tener en cuenta que la producción de toxinas por parte de una especie puede variar a nivel geográfico y entre las células que se encuentran en una floración. Por ejemplo, en el hemisferio norte se ha observado que algunas cepas de *D. acuminata* pueden producir ácido okadaico, dinophysistoxinas y pectenotoxinas (Tabla 2, 3), en tanto que en Chile los estudios han revelado que esta especie solo produce Pectenotoxinas (Tabla 4). Para el caso, de *Karenia selliformis*, se ha observado que es capaz de producir gimnodimina (Tabla 2, 3) mientras que cepas aisladas de una severa floración ocurrida en la costa chilena el 2018 no produjeron esta toxina (Tabla 4). Por su parte, *A. ostentfeldii* puede producir toxinas paralizantes, espirolidos y gimnodimina (Tabla 2, 3), no obstante, algunas cepas pueden producir dos de los tres tipos de toxinas. Para el caso de Chile, Norambuena et al., (2024) encontró que cepas aisladas de la costa de la región del Bío-Bío producen toxinas paralizantes y en este estudio encontramos que una cepa aislada de la región de Coquimbo es capaz de producir solamente saxitoxinas y gimnodimina. Estos ejemplos destacan la relevancia que tiene el monitoreo y estudio de las biotoxinas a nivel local y la evaluación de su variación a nivel geográfico y temporal, particularmente para un país como Chile que tiene una amplia costa extendiéndose desde zonas bioclimáticas desérticas hasta una oceánica subantártica. También destacan la relevancia de aislar cepas nocivas y realizar su caracterización toxicológica e identificación formal a nivel de especie utilizando caracteres genéticos y morfológicos.

Tabla 2. Principales biotoxinas producidas por microalgas a nivel mundial, síndrome asociado, efectos nocivos, estructura química y límites de regulación internacional.

Biotoxinas	Síndrome	Efectos humanos	Efectos naturaleza / bioensayo	Estructura química	Límite de regulación internacional	Límite nacional. (MINSAL 2024) / Método detección toxina	Referencias
Saxitoxinas STX	Envenenamiento paralizante por mariscos	Los síntomas incluyen náuseas, vómitos, dolor de cabeza, parestesia en los labios+C3:D7s, la lengua y las extremidades del cuerpo, debilidad muscular y dificultad para respirar, que en casos graves pueden llevar a la muerte por parálisis respiratoria.	Mortalidad y enfermedades de fauna marina (Peces, mamíferos, aves).	Tetrahidropurina saxitoxinas	800 µg STX-eq/kg (Unión Europea; Australia; Nueva Zelanda; Japón; Estados Unidos).	80 µg STX-eq/100 g / Bioensayo ratón, métodos analíticos (HPLC; HPLC MS/MS).	Cembella et al., (2018) Wang et al (2024)
Acido Okadaico	Envenenamiento diarreico por mariscos	Acido okadaico y sus análogos dinophysistoxinas son responsables del envenenamiento diarreico de mariscos. Los síntomas son: diarrea, náuseas, vómitos dolor abdominal que pueden ocurrir después de 30 minutos o pocas horas luego de la ingestión mariscos. La recuperación completa puede ocurrir luego de 3 días.	Reducción de la tasa de aclaramiento en chorito (<i>Mytilus edulis</i>) e inhibición de la alimentación a altas densidades de D. acuta.	compuesto de C38 ácidos grasos	160 µg OA-eq/kg (Unión Europea; Japón; Estados Unidos) 45 µg OA-eq/kg (EFSA) 200 µg OA-eq/kg (Australia; Canadá; Nueva Zelanda).	16 µg OA-eq/100 g / Bioensayo ratón, métodos analíticos (HPLC; HPLC MS/MS).	CODEX STAN 292-2008 Suzuki (2020) Nielsen et al., (2020) Wang et al., (2024)
Dinophysistoxinas	Envenenamiento diarreico por mariscos	Dinophysistoxinas son análogos del ácido okadaico responsables del envenenamiento diarreico de mariscos. Los síntomas son: Diarrea, náuseas, vómitos y dolor abdominal pueden ocurrir después de 30 min o pocas horas luego de la ingestión mariscos. La recuperación completa puede ocurrir luego de 3 días.	Reducción de la tasa de aclaramiento en chorito (<i>Mytilus edulis</i>) e inhibición de la alimentación a altas densidades de D. acuta	Poliéster lipofílico	160 µg OA-eq/kg (Unión Europea; Japón; Estados Unidos) 45 µg OA-eq/kg (EFSA) 200 µg OA-eq/kg (Australia; Canadá; Nueva Zelanda).	16 µg OA-eq/100 g / Bioensayo ratón, métodos analíticos (HPLC; HPLC MS/MS).	CODEX STAN 292-2008 Suzuki (2020) Nielsen et al.,(2020) Wang et al., (2024)
Pectenotoxinas	No registrado	No registrado	En bioensayos con ratones se ha observado que es severamente tóxico con inyecciones peritoneales (LD ₅₀ =219 µg/kg). Aunque no se registra toxicidad con una administración oral con una dosis de 5000 µg/kg. -Afecta la fertilización y gametos de <i>Crassostrea gigas</i> .	Poliéteres cíclicos	160 µg PTX2-eq/kg (Unión Europea) 120 µg PTX2-eq/kg (EFSA)	16 µg OA-eq/100 g / Bioensayo ratón, métodos analíticos (HPLC; HPLC MS/MS).	Miles et al., (2004) Gaillard et al (2020) Pease et al (2022) Wang et al., (2024)
Ácido domoico	Envenenamiento amnésico por marisco	El ácido domoico afecta el sistema nervioso de aves y mamíferos al unirse a los receptores del sistema nervioso central con mayor afinidad que el ácido glutámico o kainico. En los mamíferos, incluidos los humanos, esto resulta en daño al hipocampo, causando pérdida de memoria a corto plazo (por lo cual el envenenamiento por ácido domoico se conoce como intoxicación amnésica por mariscos. *La intoxicación provoca malestar gástrico (calambres, náuseas, diarrea), confusión, dolores de cabeza, dificultades para respirar, desorientación, mareos y pérdida de memoria. En algunos casos, provocó coma y muerte. No se conoce ningún antídoto. El envenenamiento humano es poco frecuente.	Es común el envenenamiento generalizado de mamíferos marinos y aves. El ácido domoico no parece afectar directamente (conductual o fisiológicamente) a los invertebrados (cangrejos, mariscos) o, los peces en concentraciones ambientales típicas, pero el ácido domoico se transfiere a través de la red alimentaria en escalas de tiempo relativamente cortas y, por lo general, a través de tres o menos transferencias tróficas. Como toxina soluble en agua, el ácido domoico no se bioacumula fácilmente, pero las tasas de depuración varían ampliamente, desde horas (<i>Mytilus edulis</i>) hasta meses (<i>Siliqua patula</i>).	El ácido domoico es un aminoácido soluble en agua de 311 Da, que contiene tres grupos carboxilo. Es un análogo del neurotransmisor L-ácido glutámico y del ácido kainico	20 mg DA-eq/kg (Unión Europea; Australia; Nueva Zelanda; Japón; Estados Unidos)	20 µg DA-eq/g / métodos analíticos (HPLC; HPLC MS/MS).	Kudela (2018) Trainer et al., (2012) Wang et al (2024)

Tabla 2. Continuación.

Biotoxinas	Síndrome	Efectos humanos	Efectos naturaleza / bioensayo	Estructura química	Actual límite de regulación internacional	Límite nacional. (MINSAL 2024) / Método detección toxina	Referencias
Brevetoxinas	Envenenamiento neurotóxico por mariscos	*Cuando se rompen las células las toxinas se pueden aerolizar, en consecuencia, las personas pueden sufrir tos, estornudo, lagrimeo, picazón en la garganta. *Mariscos pueden acumular toxinas en sus tejidos y causar envenenamiento neurotóxico por mariscos. Los síntomas incluyen dolor de cabeza, náuseas, diarrea, dolor abdominal, hormigueo en labios, inversión de la sensación térmica, vértigo, pérdida de coordinación, dificultad para hablar, baja presión, pupilas dilatadas, dolor muscular, problema respiratorio.	Mortalidad de peces, invertebrados, aves, tortugas, mamíferos.	Policétidos de poliéter cíclico soluble en lípidos	0.8 mg (BTX-2 eq.) / kg (Australia, Nueva Zelanda, Estados Unidos, México) 0.18 mg (BTX-3 eq.) / kg, (propuesto en Francia) 200 mg BTX-2-eq / Kg (intraperitoneal ratón).	No regulada. / métodos analíticos (HPLC; HPLC MS/MS).	Villac et al (2020) Mafra et al (2023) Wang et al (2004) CODEX STAN 292:2008
Brevisulcenaes	Envenenamiento neurotóxico por mariscos		Actividad hemolítica, citotóxica y alta toxicidad en inyección intraperitoneal de ratones.	Éteres policíclicos		No regulada. / métodos analíticos (HPLC; HPLC MS/MS).	Hort et al., (2021)
Ácido brevisulcático	Envenenamiento neurotóxico por mariscos		Brevisulcenaes y Ácido brevisulcático forman el complejo tóxico producido por K. brevisulcata.			No regulada. / métodos analíticos (HPLC; HPLC MS/MS).	Hort et al., (2021)
Brevental		Inhibidor natural de la acción de la brevetoxina en el ensayo de unión a receptores de canales de sodio. Antagónico a la acción de la brevetoxina.	*No es tóxico para peces.			No regulada. / métodos analíticos (HPLC; HPLC MS/MS).	Hort et al., (2021)
Azaspíracidos		Provocan malestares gastrointestinales. Síntomas similares al envenenamiento por toxinas diarreicas de moluscos como náuseas, vómitos, diarrea y calambres estomacales.	Los estudios preliminares de AZA sugirieron que estos compuestos son altamente tóxicos, con daño en múltiples órganos en ratones y potencial teratogénico para los peces en desarrollo, junto con una amplia gama de efectos a nivel celular, que van desde citotoxicidad hasta apoptosis y efectos en el canal de potasio hERG.	Poliéter lipofílicos	160 µg AZA-eq/kg (EU; Australia; Nueva Zelanda; Japón; US) 30 µg AZA-eq/kg (EFSA) 200 µg/kg (Australia) 120 µg/kg (Nueva Zelanda)	16 µg AZA-eq/100 g / métodos analíticos (HPLC; HPLC MS/MS).	Tillman et al., (2018) Wang et al., (2024)
Yesotoxinas		*No se ha reportado intoxicaciones de humanos.	*Inyecciones intraperitoneal son letales en concentraciones de YTX y sus análogos desde 0,1 a 0,5 mg/Kg. *Los principales síntomas inducidos por YTX y homoYTX son inquietud, disnea, temblores, saltos y calambres. El órgano diana de estas toxinas parece ser el músculo cardíaco, donde inducen cambios ultraestructurales a nivel de mitocondrias y miofibrillas. Por otro lado, los órganos diana del di-desulfu-YTX son el hígado y el páncreas, donde induce degeneración grasa. *Toxinas asociadas a la mortalidad de mariscos.	Éter policíclico estructuralmente relacionado con brevetoxinas y ciguatoxinas.	3.75 mg YTX-eq/kg (Union Europea; EFSA) 1 mg YTX-eq/kg (México; Asia; Nueva Zelanda) 0.2 mg YTX-eq/kg (Australia) 8 mg YTX-eq/kg (South Africa) 50 MU/kg (China)	3.75 mg YTX-eq/kg / métodos analíticos (HPLC; HPLC MS/MS).	Turbaro et al., (2010) Pitcher et al (2019) Wang et al., (2024)

Tabla 2. Continuación.

Biotoxinas	Síndrome	Efectos humanos	Efectos naturaleza / bioensayo	Estructura química	Actual límite de regulación internacional	Límite nacional. (MINSAL 2024) / Método detección toxina	Referencias
Gymnodiminas		Tiene baja toxicidad cuando es ingerida con comida lo que sugiere que el compuesto tiene un bajo riesgo para humanos. Hasta el momento no se ha reportado intoxicación en humanos.	En ensayos con ratones la inyección intraperitoneal es altamente tóxica a un LD ₅₀ de 96ug/Kg. También es tóxica por la administración con sonda con un LD ₅₀ de 755 ug/Kg, pero es mucho menos tóxica cuando se administra con alimento. No se observó efecto en ratones alimentados con comida que contenía gymnodimina a un nivel de ~7500 ug/Kg.	Imina cíclica. Compuesto lipofílico		No regulada. / métodos analíticos (HPLC; HPLC MS/MS).	Munday et al (2004) Lamas et al (2021) Stivala et al (2015)
Pinatoxinas		*No se ha registrado intoxicaciones en humanos hasta el momento. *Fueron asociadas a la generación de dermatitis en una floración de <i>V. rugosum</i> ocurrida en Cuba.	*En ratones induce efectos neurotóxicos agudo luego de pocos minutos de administrado oralmente. En altas dosis los signos clínicos incluyen disminución de movilidad, parálisis pierna, temblores, saltos y dificultades respiratorias lo que conduce a la muerte por detención de la respiración.	Imina cíclica. Compuesto lipofílico.		No regulada. / métodos analíticos (HPLC; HPLC MS/MS).	Stivala et al (2015) Arnich et al., (2020)
Espirolidos		*No se ha registrado intoxicación humanos.	*Provoca la rápida muerte de ratones (3 a 20 min luego de aplicar la dosis). Los ratones que sobrevivieron luego de los 20 min se recuperaron completamente.	Imina cíclica. Compuesto lipofílico. Estructuralmente parecida a las gymnodiminas.	25 MU/kg	No regulada. / métodos analíticos (HPLC; HPLC MS/MS).	Stivala et al (2015) EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (2010)
Pteriatoxinas PnTX		*No se ha registrado intoxicación humanos.	*Los signos clínicos de en ratones luego de una inyección intraperitoneal son similares a las pinatoxinas.	Imina cíclica. Compuesto lipofílico. *Se cree que derivan del metabolismo de la PnTX en mariscos		No regulada. / métodos analíticos (HPLC; HPLC MS/MS).	Takada et al (2001) Finch et al., (2024)
Portimina		*No se ha registrado intoxicación humanos.	*baja toxicidad en comparación con otras iminas cíclicas	Imina cíclica. Compuesto lipofílico.	No regulada.	No regulada. / métodos analíticos (HPLC; HPLC MS/MS).	Finch et al., (2024)
Prorocentridos		*No se ha registrado intoxicación humanos.	*Induce una rápida muerte de ratones por inyección intraperitoneal. Toxicidad moderada.	Imina cíclica. Compuesto lipofílico.	No regulada.	No regulada. / métodos analíticos (HPLC; HPLC MS/MS).	Torgoe et al 1988 Finch et al., (2024)
Spiro-prorocentrimina		*No se ha registrado intoxicación humanos.	*Induce la rápida muerte de ratones por inyección intraperitoneal. Baja toxicidad.	Imina cíclica. Compuesto lipofílico.	No regulada.	No regulada. / métodos analíticos (HPLC; HPLC MS/MS).	Lu et al 2001 Finch et al., (2024)
Karbirimida		*No se ha registrado intoxicación humanos.	sin datos	Imina cíclica. Compuesto lipofílico. *Relacionada estructuralmente a la portimina.	No regulada.	No regulada. / métodos analíticos (HPLC; HPLC MS/MS).	Finch et al., (2024)

Tabla 2. Continuación.

Biotoxinas	Síndrome	Efectos humanos	Efectos naturaleza / bioensayo	Estructura química	Actual límite de regulación internacional	Límite nacional. (MINSAL 2024) / Método detección toxina	Referencias
Karlotoxinas		*No se ha registrado intoxicación humanos.	Propiedades hemolíticas, citotóxicas e icliotóxica. *Incrementan la permeabilidad de la membrana convirtiendo a los peces susceptibles vía daño del epitelio branquial. *Toxico para peces, embriones, larvas y juveniles de ostras.	Policétido	No regulada	No regulada. / métodos analíticos (HPLC; HPLC MS/MS).	Cai et al (2016) in Li et al (2022)
Palytoxinas		*Asociada a intoxicaciones fatales por consumo de crustáceos, peces y cangrejos. *Los análogos de la palytoxinas se acumulan en mariscos y peces por lo que representan un riesgo para las personas. *la ovatoxina es un análogo se han detectado en aerosoles marinos durante floración de O. ovata.		*Tienen función hidrofílica e hidrofóbica.	No regulada	No regulada. / métodos analíticos (HPLC; HPLC MS/MS).	Parsons et al (2018) Boente-Juncal et al., (2020)
Ciguatoxinas CTXs	Envenenamiento por ciguatoxinas de peces	* Las CTXs entra a la red trófica a través de peces herbívoros o invertebrados bentónicos que consumen macroalgas que en tienen microalgas tóxicas (ej. Genero Gambierdiscus) en la superficie. *Los síntomas que provocan en humano son: alodinia (inversión de la percepción térmica), parestesia, agotamiento, dolor articular y muscular, vómitos y la diarrea.	Mortalidad de mamíferos marinos.	Polieter cíclico lipofílico	La "Europea Food Safety Authority (EFSA)", y "The United States Food and Drug Administration (US FDA)" consideran a CTX1B como la toxina más potente. Recomiendan un límite de consumo de 0.01 ng CTX1B eq/g tejido pez. 25 MU/kg (Japón; México).	No regulada. / métodos analíticos (HPLC; HPLC MS/MS).	Pearson et al., (2018) Li et al (2023) Wang et al., (2024)
Maitotoxinas MTX	Envenenamiento por ciguatoxinas de peces	Junto a las CTXs son el mayor grupo de toxinas. producidas por Gambierdiscus. Provocan envenenamiento por ciguatera.	Toxica en inyecciones intraperitoneales a ratones LD ₅₀ 0.05ug/Kg (MTX-1). Baja toxicidad cuando se administra oralmente. *Baja capacidad para acumularse en tejido de peces.	*toxina de polieter cíclico en forma de escalera soluble en agua. *Similar a un glicolípido. Tiene propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas (naturaleza anfifílica).	La "European Food Safety Authority (EFSA)", y "The United States Food and Drug Administration (US FDA)" consideran a CTX1B como las mas potente toxina. Recomiendan un límite de consumo de 0.01 ng CTX1B eq/g tejido pez. 25 MU/kg (Japón; México).	No regulada. / métodos analíticos (HPLC; HPLC MS/MS).	Pearson et al., (2018) Kohli et al., (2014) Wang et al., (2024)
Ácidos gambiericos	Envenenamiento por ciguatoxinas de peces	Toxinas provocan envenenamiento por ciguatera.	no hay datos			No regulada. / métodos analíticos (HPLC; HPLC MS/MS).	Liu et al (2023)

Tabla 2. Continuación.

Biotoxinas	Síndrome	Efectos humanos	Efectos naturaleza / bioensayo	Estructura química	Actual límite de regulación internacional	Límite nacional. (MINSAL 2024) / Método detección toxina	Referencias
Goniodomina GON		No se han asociado a intoxicación humana.	*Han generado mortalidad de peces	Macrolido polieter	No regulada		Cembella et al., (20
Toxina Pfiesteria			*Afectan a peces provocando la muerte. *Peces afectados muestran signos neurológicos dentro de minutos luego de la exposición, incluyendo depresión, pérdida de equilibrio, episodios de hiperexcitabilidad y disminución de la respiración.	*Complejos de cobre tóxicos ligados a compuestos orgánicos, que forman radicales.	No regulada	No regulada. / métodos analíticos (HPLC; HPLC MS/MS).	JoAnn et al., (2018)
Tetradotoxina TTX		*Toxina producida por bacterias que incluyen los géneros: Vibrio, Bacillus, Aeromonas, Alteromonas y Pseudomonas. *Provoca paralización muscular y en casos severos la muerte.	Toxina detectada en peces pero en el último tiempo también se ha encontrado en mariscos.	Características estructurales de dioxadamtano y guanidina cíclica.	Ausente en (EU) 44 µg TTX-eq/kg (EFSA) 10 MU/g (≈2 mg TTX-eq/kg) (Japón)	No regulada. / métodos analíticos (HPLC; HPLC MS/MS).	Chekan et al., (202

Tabla 3. Principales biotoxinas y las especies que las pueden producir detectadas a nivel mundial.

Biotoxinas	Pectenotoxinas	Acido Okadaico	Dinophysistoxinas	Brevetoxinas	Gymnodirinas	Brevisulcénales	Acido brevisulcénico	Brevetoxinas	Karlotoxinas	Ciguatoxinas	Maitotoxinas	Acidos gamberícos	Saxitoxinas	Espiróridos	Goniodoninas	Azaspíridos	Toxina Pfiesteria	Yesotoxinas	Acido domoico	Tetrodotoxina	Procentroloido	Portimina	Karbirimina	Referencia
Especies	PTX	AO	DTX	GYM	KBTs	BSXs	GMTx	CTXs	MTXs	Gas	STXs	SPX	GON	AZA	PstXs	DA	YTX	PnTX-G	TTX					
<i>Dinophysis acuminata</i>	x	x	x																					Suzuki (2020)
<i>Dinophysis acuta</i>	x	x	x																					Morton (2018)
<i>Dinophysis fortii</i>	x	x	x																					
<i>Dinophysis caudata</i>	x	x	x																					
<i>Dinophysis miles</i>			x																					
<i>Dinophysis norvegica</i>	x	x	x																					
<i>Dinophysis ovum</i>			x																					
<i>Dinophysis retundata</i>	x	x	x																					
<i>Dinophysis sacculus</i>			x																					
<i>Dinophysis infundibulus</i>	x																							
<i>Dinophysis mitra</i>	x																							
<i>Dinophysis tripos</i>	x		x																					
<i>Prorocentrum concavum</i>		x																						Suzuki 2020
<i>Prorocentrum belizeanum</i>		x																						Gilbert & Burkholder (2018)
<i>Prorocentrum maculosum</i>		x																						Torigoe et al (1988)
<i>Prorocentrum lima</i>		x																						*Vlamis et al 2015
<i>Protocentrum minimum</i>																								*potencial relación
<i>Karenia brevis</i>				x	x																			Villac et al (2020)
<i>Karenia concordia</i>				x																				
<i>Karenia papilionacea</i>				x																				
<i>Karenia selliformis</i>					x																			
<i>Karenia brevisulcata</i>						x	x																	
<i>Karlodinium veneficum</i>									x															Adolf et al., (2020)
<i>Fukuyoa paulensis</i>										x	x	x												Chinain et al., (2020)
<i>Fukuyoa ruetzleri</i>										x	x													
<i>Gambierdiscus australe</i>										x	x													Chinain et al., (2020)
<i>Gambierdiscus balechi</i>											x													Parson et al (2018)
<i>Gambierdiscus belizeanus</i>										x	x													
<i>Gambierdiscus caribaeus</i>										x	x													
<i>Gambierdiscus carolinianus</i>											x													
<i>Gambierdiscus carpenti</i>											x	x												
<i>Gambierdiscus cheloniae</i>											x	x												
<i>Gambierdiscus excentricus</i>												x												
<i>Gambierdiscus honu</i>											x	x												
<i>Gambierdiscus lapillus</i>											x	x												
<i>Gambierdiscus pacificus</i>											x	x												
<i>Gambierdiscus polynesiesis</i>											x	x												
<i>Gambierdiscus scabrosus</i>												x												
<i>Gambierdiscus silvae</i>												x												
<i>Gambierdiscus toxicus</i>											x	x	x											

Biotoxinas	Portimina	Procentrolido	Tetrotoxina	Pinatoxinas	Yeastoxinas	Acido domoico	Toxina Pfiesteria	Palytoxinas	Azaspirácidos	Goniodoninas	Espiróridos	Saxitoxinas	Ácidos gambiericos	Maitotoxinas	Ciguatoxinas	Karlotoxinas	Breveral	Acido brevisulcático	Brevissulcénales	Gymnodiminas	Brevetoxinas	Dinophysistoxinas	Acido Okadaico	Pectenotoxinas	Especies	Referencia
			TTX	PnTX-G	YTX	DA	PstXs		AZA	GON	SPX	STXs	GAS	MTXs	CTXs	KmTx		BSXs	KBTs	GYM	DTX	AO	PTX			
																									<i>Pyrodinium bahamense</i>	Lim et al., (2020)
																									<i>Alexandrium affine</i>	Cembella (2018)
																									<i>Alexandrium andersonii</i>	
																									<i>Alexandrium ngustitabulatum</i>	
																									<i>Alexandrium catenella</i>	
																									<i>Alexandrium fundyense</i>	
																									<i>Alexandrium hiranoi</i>	
																									<i>Alexandrium minutum</i>	
																									<i>Alexandrium monilatum</i>	
																									<i>Alexandrium ostenfeldii</i>	
																									<i>Alexandrium pseudogonyaulax</i>	
																									<i>Alexandrium amyavanichii</i>	
																									<i>Alexandrium taylori</i>	
																									<i>Azadinium spinosum</i>	Tillmann (2018)
																									<i>Azadinium poporum</i>	
																									<i>Azadinium dexteroporum</i>	
																									<i>Amphidoma languida</i>	Tillman (2018)
																									<i>Gymnodinium catenatum</i>	Cembella et al (2018)
																									<i>Ostreopsis siamensis</i>	
																									<i>Ostreopsis mascarenensis</i>	Parson et al (2018)
																									<i>Ostreopsis ovata</i>	
																									<i>Pfiesteria piscida</i>	Burkholder & Marshal (2018)
																									<i>Pfiesteria shumwayae</i>	
																									<i>Protoceratium reticulatum</i>	Alvares et al., (2011)
																									<i>Gonyaulax taylorii</i>	Alvares et al., (2016)
																									<i>Gonyaulax spinifera</i>	
																									<i>Lingulodinium polyedrum</i>	Paz et al., (2004)
																									<i>Centrodinium punctatum</i>	Ho Shim (2020)
																									<i>Volcanodinium rugosum</i>	Finch et al (2024)
																									<i>Coolia malayensis</i>	Hermawan et al (2019)
																									<i>Pseudo-nitzschia australis</i>	Grigoriyan et al., (2024)
																									<i>Pseudo-nitzschia brasiliana</i>	Trainer et al., (2012)
																									<i>Pseudo-nitzschia calliantha</i>	
																									<i>Pseudo-nitzschia cuspidata</i>	
																									<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i>	
																									<i>Pseudo-nitzschia fraudulenta</i>	
																									<i>Pseudo-nitzschia galaxiae</i>	
																									<i>Pseudo-nitzschia granii</i>	
																									<i>Pseudo-nitzschia multiseriata</i>	
																									<i>Pseudo-nitzschia multiestriata</i>	
																									<i>Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima</i>	
																									<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>	
																									<i>Pseudo-nitzschia seriata</i>	

"Evaluación de las biotoxinas marinas en la zona norte de Chile"

Tabla 4. Biotoxinas detectadas en Chile y las especies que las producen.

Biotoxinas											Referencia														
	Pectenotoxinas	Acido kadaico	Dinophysistoxinas	Brevetoxinas	Gymnodiminas	Brevisulcenas	Acido	Brevetoxinas	Karlotoxinas	Ciguatoxinas		Maitotoxinas	Acidos gambiericos	Gambieron	Gambieroxidos	Gambierones	Saxitoxinas	Espirolidos	Goniodoninas	Azspiracidos	Palytoxinas	Toxina Pfiesteria	Acido domoico	Yesotoxinas	Pinatoxinas
Especies	PTX	AO	DTX	GYM	KBTs	BSXs	KmTx	CTXs	(MTXs)	(GAs)				STXs	SPX	GON	AZA		PSTxs	DA	YTX	PnTX-G			
<i>Dinophysis acuminata</i>	x																							Paredes-Mella et al., (2022)	
<i>Dinophysis acuta</i>		x	x																						Baldrich et al., (2021)
<i>Azadinium poporum</i>																	x								Tillmann et al., (2017)
<i>Protoceratium reticulatum</i>																					x				Alvares et al., (2011)
<i>Pseudo-nitzschia australis</i>																					x				Von Dassow et al (2023)
<i>Pseudo-nitzschia plurisecta</i>																					x				Von Dassow et al (2023)
<i>Pseudo-nitzschia multistriata</i>																					x				Von Dassow et al (2023)
<i>Alexandrium ostenfeldii</i>					x										x	x									Norabuena et al., (2024), este estudio
<i>Alexandrium catenella</i>															x										Paredes-Mella et al., (2021)
<i>Volcanodinium rugosum</i> ¹																						x			Norabuena & Mardones (2023)
<i>Prorocentrum lima</i>		x	x																						Uribe et al., (2018)
<i>Gonyaulax taylorii</i>																						x			Alvares et al., (2016)
<i>Coolia malayensis</i> ²																									Uribe et al., (2023)
<i>Karenia selliformis</i> ³																									Mardones et al., (2020)

1: La toxina ha sido detectada en moluscos pero no la especie productora. Potencialmente puede ser *V. rugosum*.

2: Se ha reportado que algunas especies de este genero producen Yesotoxinas o sus análogos.

No obstante, en la cepa aislada por Uribe et al., (2023) no se detectaron toxinas.

3: Se aislaron cepas de *K. selliformis* pero no se detectaron toxinas

Fichas especies formadoras de FAN

Se confeccionaron fichas de especies formadoras de floraciones algales nocivas que contienen la siguiente información: “Registro de floración”, “Toxina producida”, “Efecto de toxinas en humanos”, “Límite de concentración de toxinas permitidas en mariscos”, “Efecto en animales”, “Método detección toxina”. Además, cada ficha tiene fotos originales de las especies formadoras de FAN para conocer en detalle la biodiversidad morfológica y tamaño. No obstante, para algunas especies no fue posible tomar un registro fotográfico en consecuencia no se proveen fotografías. Estas fichas se encuentran como anexo en formato PDF con el nombre de “Fichas_especies_FAN”.

6.1.4 Recopilación de información referente a detecciones históricas de biotoxinas en la zona de estudio.

Base datos histórica generada por el PSMB - SERNAPESCA.

La base de datos PSMB corresponde a resultados obtenidos en las localidades de Tongoy (muestras desde 2019 a 2024), B. Inglesa (entre 2020 y 2021), Guanaqueros (entre 2019 y 2024) y B. de Coquimbo (entre abril y septiembre de 2022). Las dos localidades donde hubo una mayor cantidad de detección fueron Tongoy y Guanaqueros (Tabla 5).

Toxina paralizante de mariscos (TPM): No hubo presencia de toxinas paralizantes en ninguna de las localidades. En cuanto a la toxina amnésica de mariscos (TAM), hubo presencia de DA en Tongoy (2 de los 650 análisis realizados) y en Guanaqueros (16 de 574 análisis), en cambio, en B. Inglesa y B. de Coquimbo no se registraron muestras positivas. Cabe señalar que las muestras positivas a DA no sobrepasaron el límite regulatorio de la Comunidad Económica Europea de 20 mg/Kg ya que el resultado más alto obtenido fue de 6,5 mg/Kg (B. Guanaqueros, julio 2021) (Tabla 5).

Toxinas Lipofílicas: En B. inglesa no hay datos de toxinas lipofílicas. Hubo presencia de toxinas lipofílicas en Tongoy (5 muestras de 249 análisis) y Guanaqueros (12 muestras de 230 análisis), ninguna sobrepasó el límite regulatorio que en su tiempo tenía la Comunidad Económica Europea (160 mg/Kg). La YTX es la toxina Lipofílica que más frecuentemente es detectada tanto en Tongoy (72 de 307 análisis) como en Guanaqueros (59 de 275 análisis) (Tabla 5). La concentración más alta de YTX detectada fue de 0,52 mg/Kg (Guanaqueros, Julio de 2021), muy lejos del límite regulatorio de la Comunidad Económica Europea de 3,75 mg/Kg.

Base datos histórica generada por el MINSAL para la región de Atacama.

La base de datos recibida por el MINSAL, corresponde a resultados obtenidos en la región de Atacama en tres comunas. La comuna de Caldera incluye las localidades de Bahía de Caldera, Calderilla, Bahía Inglesa, Caleta Chascos, El Morro, El Pulpo, Loreto, Punta Ester, Punta Francisco, Punta Lagarto Norte, Ramada, Rocas Negras y Rodillo. La comuna de Copiapó incluye Caleta Chascos y Playa Brava. La comuna de Chañaral incluye las localidades de Flamenco y Pan de Azúcar (Tabla 6).

Toxina paralizante de mariscos (TPM): Hubo detección de toxinas paralizantes en Bahía Inglesa (1 de 125 análisis realizados), El Morro (4 de 248 análisis realizados), Rocas Negras (1 de 138 análisis realizados) y Caleta chascos (3 de 57 análisis realizados). El valor más alto obtenido fue de 43 μg SXT eq / 100 g, bajo el límite regulatorio de 80 μg SXT eq / 100 g.

Toxina amnésica de mariscos (TAM): Hubo presencia de DA en Bahía Calderilla (4 de los 63 análisis realizados), B. Inglesa (9 de 123 análisis realizados), El Morro (15 de 248 análisis realizados), Punta Lagarto Norte (5 de 138 análisis realizados), Ramada (5 de 63 análisis realizados, Rocas Negras (9 de 136 análisis realizados, Caleta Chascos (5 de 56 análisis realizados), Playa Brava (5 de 52 análisis realizados) y Pan de azúcar (13 de 164 análisis realizados) (Tabla 6). Para esta toxina hubo muestras en que se superó la norma de 20 $\mu\text{g}/\text{g}$ (20 mg/Kg), como lo son el caso de Pan de azúcar en mayo y junio del 2009 y Ostión en el Morro en diciembre de 2023. El valor más alto obtenido fue en mayo 2009, con niveles que alcanzaron los 148,5 $\mu\text{g}/\text{g}$.

Toxina Diarreica de los Mariscos (TDM): En general se obtiene una gran cantidad de muestras positivas a TDM (realizada por la técnica del bioensayo del ratón), muchas de las cuales es posible que sean falsos positivos, ya que una gran cantidad de muestras positivas que fueron analizadas con HPLC MS para la detección de Toxinas Lipofílicas dieron como resultado “No Detectado” (Tabla 6).

Toxinas Lipofílicas: Al revisar la base de datos, las únicas toxinas lipofílicas que tienen resultados positivos son PTX y Yesotoxina. Como la base de datos aparece la toxicidad total de YTX y PTX, no podemos saber en cada grupo de toxinas que análogos había (Tabla 6).

PTX: Hubo muestras positivas en Bahía Inglesa (15 de 65 análisis realizados), El Morro (15 de 110 análisis), Punta Lagarto Norte (6 de 15 análisis), Rocas Negras (12 de 71) y Caleta Chascos (3 de 57 análisis) (Tabla 8). De todos los casos positivos en 5 ocasiones se sobrepasó el límite regulatorio de la Unión Europea (160 mg PTX/Kg), en la comuna de Caldera el 26 septiembre de 2018 (Punta Lagarto Norte y Rocas Negras) y el 20 de noviembre de 2019 (El Morro, Rocas Negras y Bahía Inglesa). Los valores más altos se obtuvieron el 2019, llegando a 405 mg PTX/Kg en Rocas Negras (Tabla 6).

YTX: De todos los análisis realizados, un gran porcentaje de estos son positivos a YTX, cercano al 70 %. Hay muestras positivas en Bahía Inglesa (57 de 66 análisis), El Morro (87 de 110), Punta Ester (1 de 1), Punta Lagarto Norte (8 de 15), Rocas Negras (57 de 71), Caleta Chascos (28 de 57) y en Pan de Azúcar

(6 de 28). El nivel más alto obtenido fue de 1.36 mg eq YTX/Kg, más bajo que el límite regulatorio de la comunidad económica europea de 3.75 mg eq YTX/Kg (Tabla 6).

Base datos histórica generada por el MINSAL para la región de Coquimbo.

La base de datos recibida por el MINSAL corresponde a resultados obtenidos en la región de Coquimbo. A continuación, se describen el número de detecciones registradas de las principales biotoxinas que afectan la salud humana en distintos años y localidades.

Toxina paralizante de mariscos (TPM). Hubo presencia de toxinas paralizantes en: Bahía Guanaqueros; 2 detecciones de 11 análisis realizados el primer semestre del 2010. Bahía de Tongoy 1 detección de 18 análisis realizados el primer semestre del 2010. Caleta Los Corrales 1 detección de 10 análisis realizados el 2013; y 1 detección de 17 análisis realizados el 2024. Caleta San Agustín 5 detecciones de 23 análisis realizados el 2015; 9 detecciones de 20 análisis realizados el 2016; 1 detección de 23 análisis realizados el 2022; y 2 detecciones de 10 análisis realizados el 2024 (Tabla 7). El valor más alto obtenido fue de 41 μg SXT eq / 100 g, en Bahía Guanaqueros en marzo del 2010.

Toxina amnésica de mariscos (TAM). Se registró la presencia de DA en: Bahía Coquimbo, 1 detección de 2 análisis realizados el segundo semestre del 2009; 4 detecciones de 9 análisis realizados el 2010; 1 detección de 10 análisis realizados el 2015; 1 detección de 16 análisis realizados el 2016; 1 detección de 22 análisis el 2022; 1 detección de 16 análisis realizados el 2023; y 9 detecciones de 20 análisis el 2024. Bahía de Tongoy, 3 detecciones de 24 análisis realizados el 2008; 7 detecciones de 23 análisis el 2009; 9 detecciones de 18 análisis el 2010; y 1 detección de 2 análisis el 2022. Caleta Peñuelas, 4 detecciones de 17 análisis realizados el 2009; y 2 detecciones de 7 análisis realizados el segundo semestre del 2010. Caleta Los Corrales, 5 detecciones de 15 el 2023; y 8 detecciones de 15 el 2024. Punta de Choros, 6 detecciones de 11 análisis realizados el 2009; 1 detección de 6 análisis realizados el primer semestre del 2010; 1 detección de 16 análisis realizados el 2016; 4 detecciones de 20 análisis realizados el 2018; 1 detección de 22 análisis realizados el 2022; 1 detección de 10 análisis realizados el 2023; y 5 detecciones de 10 análisis realizados el 2024. Totalillo Norte, 1 detección de 3 análisis realizados el 2019; Concesión acuícola TND Pescadores-Caleta Totalillo Norte-La Higuera, 2 detecciones de 7 análisis realizados el 2024; y en Sol Tardío-Tongoy, 1 detección de 9 análisis realizados el 2013 (Tabla 7). El valor más alto obtenido fue de 7.9 $\mu\text{g/g}$ en Punta de Choros en mayo del 2022, que no alcanza a superar la norma de 20 $\mu\text{g/g}$.

Toxina Diarreica de los Mariscos (TDM). Caleta San Pedro, 4 detecciones de 17 análisis realizados el 2023; Caleta Los Corrales, 1 detección de 4 análisis realizados el 2022; 2 detecciones de 15 análisis realizados el 2023; y 2 detecciones de 14 análisis realizados el 2024. Punta de Choros, 1 detección de 21 análisis realizados el 2018; 1 detección de 10 análisis realizados el 2023; y 2 detecciones de 10 analizadas el 2024. Caleta Totalillo Norte-La Higuera, 2 detecciones de 4 análisis realizados el 2023; y 4 detecciones de 6 análisis realizados el 2024. Caleta Tongoy, 2 detecciones de 3 análisis realizados el 2024 (Tabla 7).



Toxinas Lipofílicas: Desde el 2022, algunas muestras positivas a TDM fueron enviados al Laboratorio FAVET para la identificaci3n de Toxinas Lipofílicas. Las únicas muestras informadas como positivas son 2 en Caleta San Agustín en el 2022, donde se indica en la planilla original, que son sospechosas de Yesotoxinas, pero no está claro si efectivamente están positivas las muestra o son solo sospechosas de YTX. El ańo 2023 y 2024, efectivamente FAVET realiza análisis de TL a algunas muestras positivas a TDM, con resultados negativos para todas estas muestras (Tabla 7).

Tabla 5. Detección de Toxinas Marinas en zona Norte de Chile por parte del PSMB.

Localidad	TPM			TAM			Toxinas Lipofílicas								
							PTX-2			YTX			Otras TLM		
	N° ana.	N° dtec.	% dtec.	N° ana.	N° dtec.	% dtec.	N° ana.	N° dtec.	% dtec.	N° ana.	N° dtec.	% dtec.	N° ana.	N° dtec.	% dtec.
Tongoy	647	0	0	650	2	0,3	249	5	2	307	72	23,5	249	0	0
Bahía Inglesa	31	0	0	30	0	0	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Guañeros	554	0	0	574	16	2,8	230	12	5,2	275	59	21,5	230	0	0
Bahía de Coquimbo	40	0	0	40	0	0	40	0	0	40	0	0	40	0	0

S/D: sin datos.

N° ana: número análisis.

N° dtec: número detecciones.

% dtec: porcentaje detecciones.

Tongoy: resultados del 2019 al 2024

B. Inglesa: resultados de 2019 y 2020

Guañeros: resultados del 2019 al 2024

B. Coquimbo: resultados del 2020.

Tabla 6. Detección histórica de toxinas en la región de Atacama por parte del MINSAL.

Comuna	Localidad	Años	TDM			TPM			TAM			Toxinas Lipofílicas												
			N° ana.	N° dtec.	% dtec.	N° ana.	N° dtec.	% dtec.	N° ana.	N° dtec.	% dtec.	PTX-2			YTX			Otras TLM						
			N° ana.	N° dtec.	% dtec.	N° ana.	N° dtec.	% dtec.	N° ana.	N° dtec.	% dtec.	N° ana.	N° dtec.	% dtec.	N° ana.	N° dtec.	% dtec.	N° ana.	N° dtec.	% dtec.	N° ana.	N° dtec.	% dtec.	
Caldera	Bahía Caldera	2012 y 2013	3	0	0,0	3	0	0,0	3	0	0,0	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
	Bahía Calderilla	2009-2012	63	0	0,0	63	0	0,0	63	4	6,3	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
	Bahía Inglesa	2009-2024	145	40	27,6	125	1	0,8	123	9	7,3	66	15	22,7	66	57	86,4	66	0	0,0				
	Caleta Chascos	2022	1	0	0,0	1	0	0,0	1	0	0,0	1	0	0,0	1	1	100,0	1	0	0,0				
	El Morro	2009-2024	278	42	15,1	248	4	1,6	248	15	6,0	110	15	13,6	110	87	79,1	110	0	0,0				
	El Pulpo	2014	10	0	0,0	9	0	0,0	10	0	0,0	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
	Loreto	2015 y 2019	14	0	0,0	12	0	0,0	12	0	0,0	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
	Punta Ester	2018 y 2019	14	1	7,1	9	0	0,0	9	0	0,0	1	0	0,0	1	1	100,0	1	0	0,0				
	Punta Fransico	2014	4	0	0,0	4	0	0,0	5	0	0,0	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
	Punta Lagarto Norte	2009-2024	160	12	7,5	138	0	0,0	138	5	3,6	15	6	40,0	15	8	53,3	15	0	0,0				
Copiapo	Ramada	2009-2015	65	1	1,5	63	0	0,0	63	5	7,9	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
	Rocas Negras	2010-2024	152	30	19,7	138	1	0,7	136	9	6,6	71	12	16,9	71	57	80,3	71	0	0,0				
	Rodillo	2014	5	0	0,0	5	0	0,0	5	0	0,0	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
Copiapo	Caleta Chascos	2009-2012	56	12	21,4	57	3	5,3	56	5	8,9	57	3	5,3	57	28	49,1	57	0	0,0				
	Playa Brava	2020-2024	52	0	0,0	52	0	0,0	52	5	9,6	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
Chañaral	Flamenco	2014	1	0	0,0	1	0	0,0	1	0	0,0	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
	Pan de Azúcar	2009-20214	173	4	2,3	164	0	0,0	164	13	7,9	28	0	0,0	28	6	21,4	28	0	0,0				

Tabla 7. Detección histórica de toxinas en la región de Coquimbo por parte del MINSAL

Año	Localidad	TPM			TAM			TDM			Toxinas Lipofílicas		
		Análisis (N°)	Detecciones (N°)	Detección (%)	Análisis (N°)	Detecciones (N°)	Detección (%)	Análisis (N°)	Detecciones (N°)	Detección (%)	Análisis (N°)	Detecciones (N°)	Detección (%)
2024	San Pedro-Peñuelas-Coquimbo	21	0	0	20	9	45	20	0	0	3	0	0
	Caleta Los Corrales- La Higuera	17	1	6,6	15	8	53,3	14	2	14,2	2	0	0
	Caleta San Agustín S/N - Punta de Choros - La Higuera	10	2	20	10	5	50	10	2	20	2	0	0
	Concesión acuicola TND Pescadores-Caleta												
	Totalalillo Norte-La Higuera	6	0	0	7	2	28,5	6	4	67	6	0	0
	Caleta Tongoy - Coquimbo	3	0	0	3	1	33,3	3	2	33,7	0	0	0
2023	San Pedro-Peñuelas-Coquimbo	16	0	0	16	1	6,3	17	4	23,5	1	0	0
	Caleta Los Corrales -Punta de Choros - La Higuera	15	0	0	15	5	33,3	15	2	13,3	1	0	0
	Caleta San Agustín S/N - Punta de Choros - La Higuera	10	0	0	10	1	10	10	1	10	1	0	0
	Concesión acuicola STY Pescadores-Caleta												
	Totalalillo Norte-La Higuera	4	0	0	4	0	0	4	2	50	1	0	0
	Bahía Coquimbo Caleta San Pedro-Peñuelas	22	0	0	22	1	4,5	22	0	0	0	0	0
2022	Caleta Los Corrales - Punta de Choros	4	0	0	4	0	0	4	1	25	0	0	0
	Caleta San Agustín - Punta de Choros	23	1	4,3	22	1	4,5	20	0	0	2	2	100
	Caleta Tongoy -Cochrane N° 825 -Tongoy	2	0	0	2	1	50	2	0	0	0	0	0
	JUMBO La Serena	3	0	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0
	Bahía Coquimbo Caleta San Pedro-Peñuelas	17	0	0	17	0	0	17	0	0	0	0	0
	Caleta Los Corrales - Punta de Choros	26	0	0	26	0	0	26	0	0	0	0	0
2021	Tongoy - Sol Tardío	3	0	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0
	Bahía Coquimbo Caleta San Pedro-Peñuelas	8	0	0	10	0	0	8	0	0	0	0	0
	Caleta Los Corrales - Punta de Choros	12	0	0	12	0	0	12	0	0	0	0	0
2020	Tongoy - Sol Tardío	6	0	0	6	0	0	6	0	0	0	0	0
	Bahía Coquimbo Caleta San Pedro	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
	Bahía Coquimbo Caleta San Pedro-Peñuelas	10	0	0	10	0	0	10	0	0	0	0	0
2019	Caleta Los Corrales - Punta de Choros	11	0	0	11	0	0	11	0	0	0	0	0
	Caleta San Agustín - Punta de Choros	4	0	0	4	0	0	4	0	0	0	0	0
	Puerto Aldea- Coquimbo	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
	Supermercado JUMBO	5	0	0	5	1	20	5	0	0	0	0	0
	Tongoy - Sol Tardío	6	0	0	6	0	0	6	0	0	0	0	0
	Bahía Coquimbo Caleta San Pedro	3	0	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0
	Bahía Coquimbo Caleta San Pedro-Peñuelas	12	0	0	12	0	0	12	0	0	0	0	0
	Caleta Los Corrales - La Higuera	4	0	0	4	0	0	4	0	0	0	0	0
2018	Caleta San Agustín - Punta de Choros	20	0	0	20	4	20	21	1	4,8	0	0	0
	Tongoy - Sol Tardío	4	0	0	4	0	0	4	0	0	0	0	0
	Bahía Coquimbo Caleta San Pedro	14	0	0	14	0	0	14	0	0	0	0	0
	Caleta San Agustín - Punta de Choros	22	0	0	22	0	0	22	0	0	0	0	0
2017	Tongoy - Sol Tardío	4	0	0	4	0	0	4	0	0	0	0	0
	Tongoy- Pichasca 688-cultivo M-31	3	0	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0
	Bahía Coquimbo Caleta San Pedro	16	0	0	16	1	6,3	16	0	0	0	0	0
	Caleta San Agustín - Punta de Choros	20	9	45	16	1	6,3	16	0	0	0	0	0
2016	Tongoy - Sol Tardío	4	0	0	4	0	0	4	0	0	0	0	0
	Totalalillo Norte	3	0	0	3	1	33	3	0	0	0	0	0



Año	Localidad	TPM			TAM			TDM			Toxinas Lipofílicas	
		Análisis (N°)	Detecciones (N°)	Detección (%)	Análisis (N°)	Detecciones (N°)	Detección (%)	Análisis (N°)	Detecciones (N°)	Detección (%)	Análisis (N°)	Detección (%)
2015	Caleta de Peñuelas	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
	Caleta Los Corrales-La higuera	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
	Caleta San Agustín - Punta de Choros	23	5	22	22	0	0	22	0	0	0	0
	Tongoy - Sol Tardío	6	0	0	6	0	0	6	0	0	0	0
2014	Bahía Coquimbo Caleta San Pedro	10	0	0	10	0	0	10	0	0	0	0
	Caleta Corrales- Punta de Choros	14	0	0	14	0	0	14	0	0	0	0
	Tongoy - Sol Tardío	9	0	0	11	0	0	9	0	0	0	0
2013	Bahía Coquimbo Sector Toboganes	10	0	0	10	0	0	10	0	0	0	0
	Bahía Peñuelas	2	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0
	Bahía San Pedro	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
	Caleta Corrales- Punta de Choros	10	1	10	10	0	0	10	0	0	0	0
	Caleta San Agustín-Pla de Choros	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
	Pescadería El Pingaro-Los Vilos	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
	Pescadería Pichidanguí	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
	Tongoy - Sol Tardío	9	0	0	9	1	11,1	9	0	0	0	0
	Bahía Coquimbo Sector Pta Teatinos	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
2012	Bahía Coquimbo Sector Toboganes	11	0	0	11	0	0	11	0	0	0	0
	Bahía Coquimbo-Caleta San Pedro	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
	Caleta Corrales- Punta de Choros	17	0	0	17	0	0	16	0	0	0	0
	Tongoy - Sol Tardío	10	0	0	10	0	0	10	0	0	0	0
	2011											
2° semestre	Bahía Coquimbo Sector Toboganes	5	0	0	5	0	0	5	0	0	0	0
	Caleta Corrales- Punta de Choros	5	0	0	5	0	0	5	0	0	0	0
2011	bahía de coquimbo sector toboganes	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
2010												
2° semestre	Bahía de Tongoy 3'	2	0	0	6	6	100	2	0	0	0	0
	Caleta Los Corrales, Punta de Choros	2	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0
	Caleta Peñuelas	6	0	0	7	2	28,7	6	0	0	0	0
2010												
1° semestre	Bahía Coquimbo, Sector El Faro	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
	Bahía de Coquimbo, caleta de peñuelas	2	0	0	2	2	100	2	0	0	0	0
	Bahía de Tongoy	18	1	5,5	12	3	25	10	0	0	0	0
	Punta de Choros	6	0	0	6	1	16,7	6	0	0	0	0
	Caleta Peñuelas	5	0	0	6	0	0	5	0	0	0	0
	Bahía de Guanaqueros	11	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009												
2° semestre	BAHIA COQUIMBO	2	0	0	2	1	50	2	0	0	0	0
	BAHIA DE TONGOY	8	0	0	9	3	33,3	8	0	0	0	0
	CALETA DE PEÑUELAS	4	0	0	4	1	25	4	0	0	0	0
	CALETA HORNOS	3	0	0	3	0	0	3	0	0	0	0
	CALETA PUNTA DE CHOROS	6	0	0	7	3	42,8	6	0	0	0	0
2009												
1° semestre	BAHIA TONGOY	12	0	0	14	10	12	0	0	0	0	0
	CALETA DE PEÑUELAS	11	0	0	13	3	23	11	0	0	0	0
	PUNTA CHOROS	2	0	0	4	3	75	2	0	0	0	0
2008												
2008	BAHIA COQUIMBO	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
	BAHIA DE TONGOY	12	0	0	13	2	15,3	11	0	0	0	0
	CALETA PEÑUELAS	8	0	0	8	0	0	8	0	0	0	0
	PUNTA DE CHOROS	4	0	0	5	0	0	3	0	0	0	0
2008												
1° semestre	BAHIA TONGOY	11	0	0	11	1	9	11	0	0	0	0
	CALETA LOS CORRALES	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
	CALETA PEÑUELAS	9	0	0	9	0	0	9	0	0	0	0
	CALETA SAN PEDRO	2	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0
	PUNTA CHOROS	4	0	0	4	0	0	1	0	0	0	0

6.1.5 Identificación de áreas geográficas histórica afectadas por biotoxinas marinas en la zona de estudio

Con los datos de la Tabla 5 (PSMB) se confeccionó un mapa con el número de detecciones de biotoxinas en la macrozona norte (Figura 1). Las dos localidades con mayor número de detecciones fueron en Tongoy y Guanaqueros. Por su parte con los datos de la Tabla 6 (MINSAL) se confeccionó el mapa de detecciones para la región de Atacama (Figura 2). Este mapa muestra que la comuna de Caldera es la que tiene mayor cantidad de detecciones, aunque también tiene 13 localidades donde se realizan monitoreos, en comparación con la comuna de Chañaral y Copiapó con 2 localidades cada una. Finalmente, con los datos de la Tabla 7 (MINSAL, región Coquimbo) se observa que la localidad de Punta de Choros es la más afectada por toxinas, donde las paralizantes y amnésicas son las más importantes (Figura 3). Le siguen Coquimbo y Tongoy donde las toxinas diarreicas y amnésicas son relevantes por el número de detecciones. En la última localidad además existe 1 registro positivo de toxina paralizante (Figura 3).

La revisión de las bases de datos del PSMB y MINSAL mostró la histórica presencia de toxinas en la región de Atacama y Coquimbo. En estas regiones destacan por el número de registros positivos de distintas toxinas las localidades de Caldera, Copiapó, Punta de Choros, Coquimbo, Guanaqueros y Tongoy. Además, la detección de 19 muestras positivas en Punta de Choros de toxinas paralizantes y 32 de amnésica la convierte en un punto caliente de presencia de toxinas (Tabla 7).

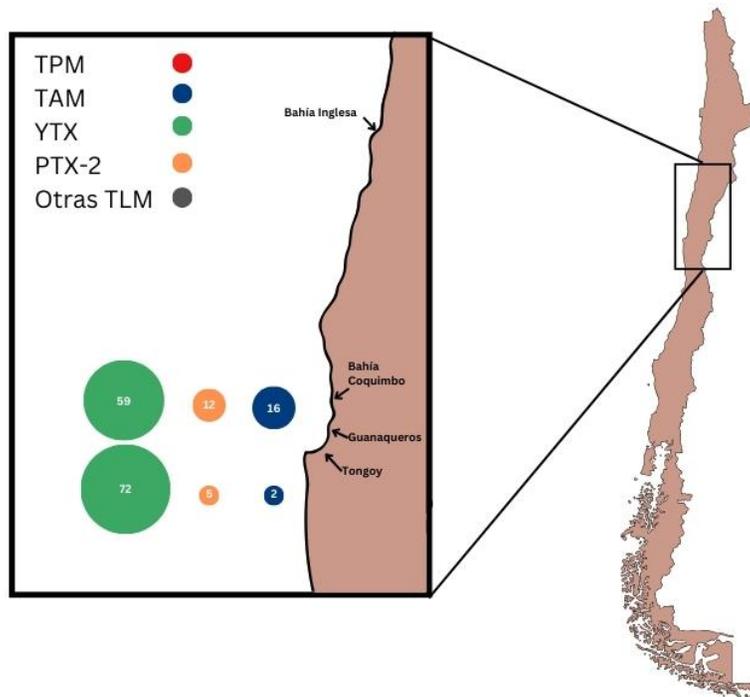


Figura 1. Número de detecciones de biotoxinas en la macrozona norte para Guanaqueros y Tongoy. Bahía Inglesa y Bahía Coquimbo no presentan identificación de toxinas. No se detectaron niveles de toxinas sobre lo indicado por la regulación chilena e internacional.

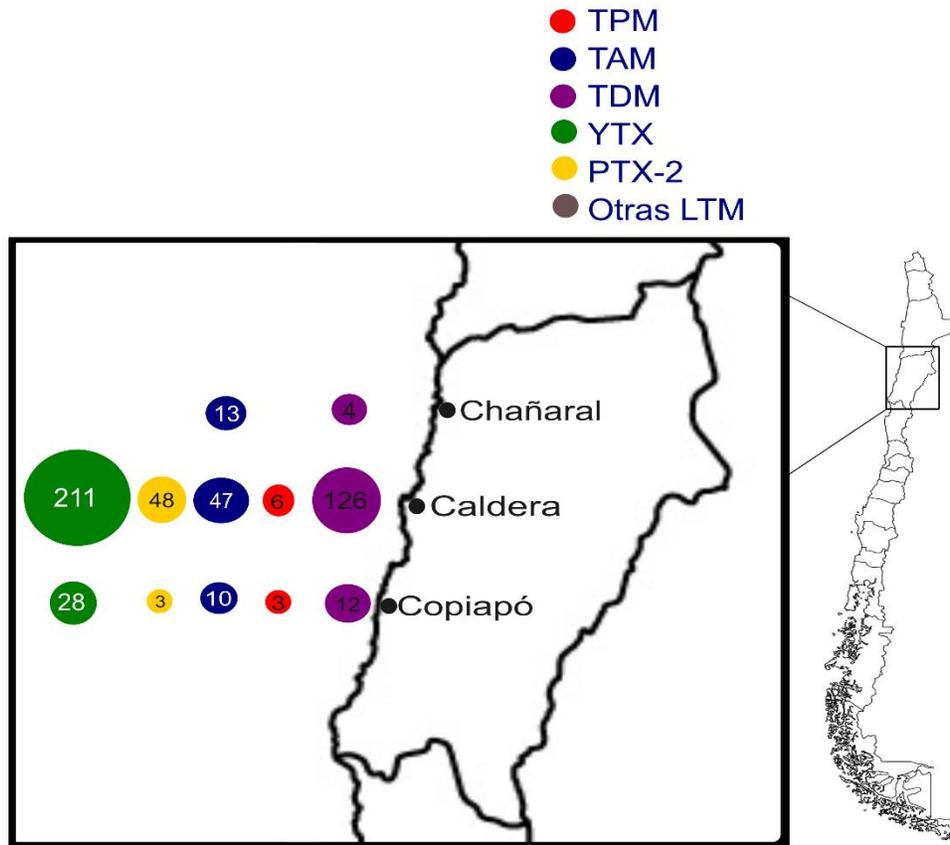


Figura 2. N3mero de detecciones de biotoxinas en la macrozona norte para la regi3n de Atacama.

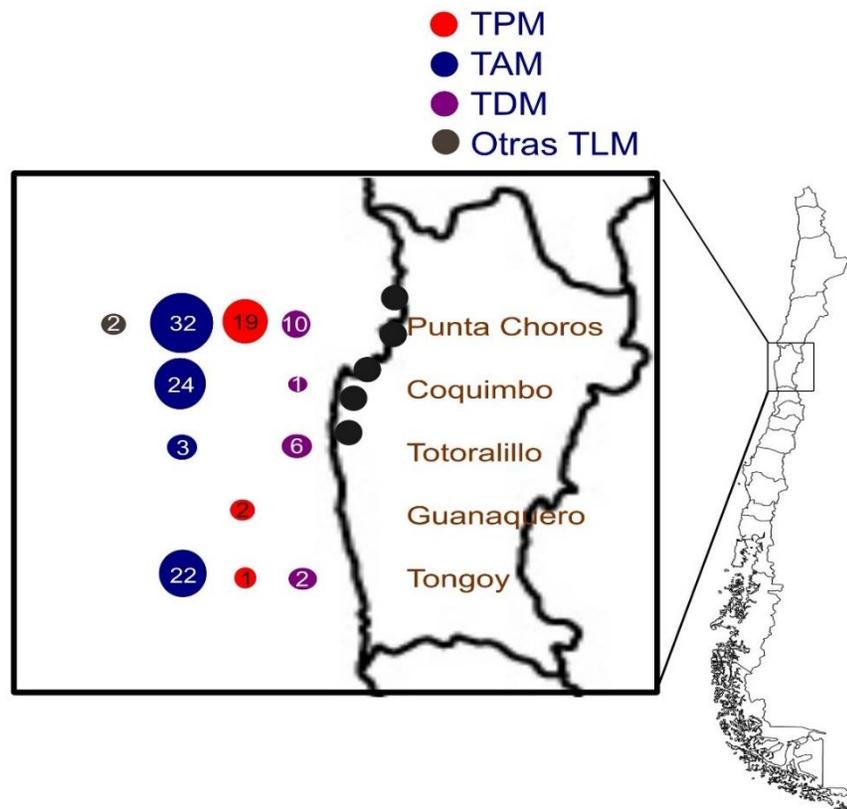


Figura 3. Número de detecciones de biotoxinas en la macrozona norte para la región de Coquimbo. Las toxinas lipofílicas fueron monitoreadas los años recientes (2022-2024), encontrando 2 muestras positivas en la localidad de Punta de Choros, aunque no se identifica a que tipo de toxina correspondió. La base de datos no incluía la evaluación de análogos como YTX, PTX.

6.1.6 Muestreo de mariscos quincenales en 9 localidades entre las regiones de Arica y Parinacota y Coquimbo.

Se obtuvieron diferentes mariscos para realizar an3lisis de biotoxinas y en distintas localidades. Tres localidades fueron en centros de cultivo y 6 en sitios de libre extracci3n. Estos recursos variaron segun su disponibilidad (ej. vedas) y en casos de no obtener mariscos debido a eventos de fuerza mayor (ej. marejadas) se obtuvieron a la siguiente semana dos recursos diferentes. En la Tabla 8 se muestran detalles de las localidades desde donde fueron colectados y las eventualidades que no permitieron realizar la colecci3n de ellos.

Tabla 8. Tabla de la obtenci3n de mariscos durante el monitoreo en 9 sitios del norte de Chile.

LUGAR	¿COMO SE OBTUVO?	DICIEMBRE		ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO		OBSERVACI3N
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	Quincena		
ARICA	Área de libre acceso															
IQUIQUE	Área de libre acceso															Marejadas
MEJILLONES	Área de libre acceso															Marejadas
LOS MORROS/ CALDERA	Centro de cultivo															
BARRANQUILLA	Centro de cultivo															
PUNTA DE CHORO	Área de manejo															Puerto cerrado
B. COQUIMBO	Área de libre acceso															
GUANAQUEROS	Centro de cultivo															Desove (Unico centro de cultivo)
TONGOY	Centro de cultivo															

6.1.7 Análisis de biotoxinas en mariscos muestreados quincenalmente.

Se presentan los resultados de los análisis HPLC-MS de los análisis realizados desde diciembre 2023 hasta junio 2024. Al principio del proyecto y debido a un desperfecto que presentó nuestro el HPLC-MS/MS, se contactó con Cristina Hernández, Jefe Departamento Laboratorios Salud Pública de la Seremi de Salud Región de Los Lagos (SSL) quien realizó análisis de toxina paralizantes de los mariscos (TAM), toxina amnésica de los mariscos (TAM) y toxinas lipofílicas de los mariscos (TLM) con sus técnicas oficiales. A fines del mes de marzo el equipo HPLC-MS/MS del CREAN-IFOP fue reparado, por lo que realizamos los análisis comprometidos. Finalmente se generaron dos bases de datos con análisis de ambas instituciones. A continuación, se describen los resultados obtenidos a través del análisis del SSL.

-TPM: mediante el Bioensayo del Ratón las únicas positivas fueron una muestra de ostión proveniente Tongoy del primer muestreo de febrero del 2024, y de dos muestras de Ostión provenientes de Guanaqueros en el segundo muestreo de mayo y el primer muestreo de junio, respectivamente (Tabla 13). El nivel máximo detectado fue de 52 µg SXT eq/100g.

-TAM: todas las muestras analizadas por el SSL fueron ND, es decir, no se pudo observar la presencia de AD.

-Toxinas lipofílicas: se detectó en algunas muestras PTX2 y algunos análogos de YTX, mientras que toxinas diarreicas no fueron detectadas (dinofisistoxina y Acido okadaico. Tablas 9-13).

-PTX2: No fue detectada en la región de Arica y Parinacota (Tabla 9) ni en la en la región de Tarapacá (Tabla 10). En la región de Antofagasta se detectó PTX2 en cholga de la quincena 2 de marzo de 2024, la cual es informada como detectado (DT) (Tabla 11). En la región de Atacama, PTX2 sólo se detectó en El Morro en la segunda quincena de enero (Tabla 12). Finalmente, en la región de Coquimbo (Tabla 13), PTX2 se detectó en la primera quincena de febrero (Tongoy), primera quincena de marzo (Guanaqueros), segunda semana de marzo (Tongoy y Guanaqueros) y primera semana de abril (B. de Coquimbo, Tongoy y Guanaqueros). El nivel máximo detectado fue de 24.4 µg/Kg (Tabla 13).

-YTXs: En la región de Arica y Parinacota (Tabla 9), se detectaron YTXs en la segunda quincena de diciembre de 2023 (solo YTX), la segunda quincena de enero de 2024 (YTX y homo YTX), y en la segunda quincena de mayo de 2024 (YTX y homo YTX). En la región de Tarapacá solo se detectó YTX en la primera y segunda quincena de diciembre del 2023 (Tabla 10). En la región de Antofagasta (Tabla 11), también solo se detectó la presencia de YTX en la primera quincena de febrero de 2024. En la región de Atacama (Tabla 12) se detectó YTX en Bahía Loreto (primera quincena de 2023), Barranquilla (segunda quincena de abril) y en El Morro (segunda quincena de enero de 2023 a la segunda quincena de marzo de 2024 y en la primera quincena de junio). Además, en la región de Atacama se detectó 45 OH YTX en el Morro (desde la primera quincena de enero de 2024 a la segunda quincena de marzo y en la segunda quincena de abril. Homo YTX se detectó en B. Loreto (primera quincena de diciembre de 2023 y en El Morro (desde la primera quincena de enero de 2024 a la segunda quincena de marzo y en la primera semana de junio). 45 OH homo YTX se

detectó en el Morro (primera y segunda quincena de marzo). En la región de Coquimbo (Tabla 13), se detectó YTX en Guanaqueros (desde primera quincena de diciembre de 2023 a la segunda quincena de enero de 2024 y desde la primera quincena de mayo a la primera quincena de junio de 2024). La concentración más alta de cualquiera de los análogos de YTXs detectados fue de 0,06 mg/Kg, muy por debajo del Límite regulatorio de la comunidad económica europea (3,75 mg/Kg).

Tabla 9. Resultados de biotoxinas de mariscos SSL de la región de Arica y Parinacota. Solo se muestran resultados donde al menos se detectó una toxina.

FECHA MUESTRO	sector	Recurso	TPM (ug STX eq/100g)	TAM (mg AD/Kg)	PTX2 (µg/kg)	YTX (mg/kg)	45-OH- YTX (mg/kg)	HOMO- YTX (mg/kg)	45-OH- HOMO-YTX (mg/kg)
08-12-2023	ARICA	CHORO ZAPATO	NR	ND	ND	DT	ND	ND	ND
28-12-2023	ARICA	CHORO ZAPATO	ND	ND	ND	0,02	ND	ND	ND
23-1-2024	ARICA	CHORO ZAPATO	ND	ND	ND	0,01	DT	ND	ND
27-5-2024	ARICA	PIURE	ND	ND	ND	0,01	0,01	ND	ND

Tabla 10. Resultados de biotoxinas de mariscos SSL de la región de Tarapacá. Solo se muestran resultados donde al menos se detectó una toxina.

FECHA MUESTRO	sector	Recurso	TPM (ug STX eq/100g)	TAM (mg AD/Kg)	PTX2 (µg/kg)	YTX (mg/kg)	45-OH- YTX (mg/kg)	HOMO- YTX (mg/kg)	45-OH- HOMO-YTX (mg/kg)
12-12-2023	IQUIQUE	CHORO ZAPATO	NR	ND	ND	0,01	ND	ND	ND
27-12-2023	IQUIQUE	CHORO ZAPATO	ND	ND	ND	0,01	ND	ND	ND

Tabla 11. Resultados de biotoxinas de mariscos SSL de la región de Antofagasta. Solo se muestran resultados donde al menos se detectó una toxina.

FECHA MUESTRO	sector	Recurso	TPM (ug STX eq/100g)	TAM (mg AD/Kg)	PTX2 (µg/kg)	YTX (mg/kg)	45-OH- YTX (mg/kg)	HOMO- YTX (mg/kg)	45-OH- HOMO-YTX (mg/kg)
2-2-2024	MEJILLONES	CHORO	NR	ND	ND	DT	ND	ND	ND
26-03-2024	MEJILLONES	CHOLGA	ND	ND	DT	ND	ND	ND	ND

Tabla 12. Resultados de biotoxinas de mariscos SSL de la región de Atacama. Solo se muestran resultados donde al menos se detectó una toxina.

FECHA MUESTRO	sector	Recurso	TPM (ug STX eq/100g)	TAM (mg AD/Kg)	PTX2 (µg/kg)	YTX (mg/kg)	45-OH-	HOMO-	45-OH-
							YTX (mg/kg)	YTX (mg/kg)	HOMO-YTX (mg/kg)
5-12-2023	BARRANQUILLA	LOCOS	NR	ND	ND	ND	ND	ND	ND
6-12-2023	BAHÍA LORETO	OSTION	NR	ND	ND	0,01	ND	0,01	ND
21-12-2023	EL MORRO	OSTION	ND	ND	ND	0,02	ND	ND	ND
4-1-2024	EL MORRO	OSTION	ND	ND	ND	0,05	0,03	0,06	ND
24-1-2024	EL MORRO	OSTION	ND	ND	15,20	0,04	0,05	ND	ND
13-2-2024	EL MORRO	OSTION	ND	ND	ND	0,04	0,05	ND	ND
28-2-2024	EL MORRO	ALMEJA	ND	ND	ND	0,03	0,03	0,04	ND
13-3-2024	EL MORRO	OSTION	ND	ND	ND	0,01	0,04	0,02	<LD
27-3-2024	EL MORRO	OSTION	ND	ND	ND	0,02	0,02	0,03	<LD
23-4-2024	BARRANQUILLA	CHOLGA	ND	ND	ND	0,01	0,01	ND	ND
11-6-2024	BARRANQUILLA	CHOLGA	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
11-6-2024	EL MORRO	OSTION	ND	ND	ND	0,01	ND	0,01	ND

Tabla 13. Resultados de biotoxinas de mariscos SSL de la región de Coquimbo. Solo se muestran resultados donde al menos se detectó una toxina.

FECHA MUESTRO	sector	Recurso	TPM (ug STX eq/100g)	TAM (mg AD/Kg)	PTX2 (µg/kg)	YTX (mg/kg)	45-OH-	HOMO-	45-OH-
							YTX (mg/kg)	YTX (mg/kg)	HOMO-YTX (mg/kg)
4-12-2023	GUANAQUEROS	OSTION	NR	ND	ND	0,01	ND	ND	ND
4-12-2023	TONGOY	OSTION	NR	ND	ND	0,02	ND	ND	ND
19-12-2023	GUANAQUEROS	OSTION	ND	ND	ND	DT	ND	ND	ND
19-12-2023	TONGOY	OSTION	ND	ND	ND	DT	ND	ND	ND
2-1-2024	GUANAQUEROS	OSTION	ND	ND	ND	0,01	ND	ND	ND
2-1-2024	TONGOY	OSTION	ND	ND	ND	DT	ND	ND	ND
2-1-2024	B. COQUIMBO	MACHA	ND	ND	ND	ND	ND	DT	ND
23-1-2024	GUANAQUEROS	OSTION	ND	ND	ND	0,01	ND	ND	ND
12-2-24	TONGOY	OSTION	52	ND	6,20	ND	ND	ND	ND
12-2-2024	B. COQUIMBO	MACHA	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
11-03-2024	GUANAQUEROS	OSTION	ND	ND	16,30	ND	ND	ND	ND
25-03-2024	GUANAQUEROS	OSTION	ND	ND	5,80	ND	ND	ND	ND
25-03-2024	TONGOY	OSTION	ND	ND	24,40	ND	ND	ND	ND
08-04-2024	B. COQUIMBO	MACHA	ND	ND	6,45	ND	ND	ND	ND
09-04-2024	P. DE CHOROS	ALMEJA	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
08-04-2024	TONGOY	OSTION	ND	ND	9,00	ND	ND	ND	ND
08-04-2024	GUANAQUEROS	OSTION	ND	ND	8,40	ND	ND	ND	ND
13-05-2024	GUANAQUEROS	OSTION	ND	ND	ND	DT	ND	ND	ND
27-05-2024	TONGOY	OSTION	ND	ND	ND	DT	ND	ND	ND
27-05-2024	GUANAQUEROS	OSTION	42	ND	ND	DT	ND	ND	ND
10-06-2024	GUANAQUEROS	OSTION	37	ND	ND	DT	ND	ND	ND

Los resultados de los análisis realizados por el CREAN se resumen en las tablas 14 a la 18. Cabe señalar que las tablas presentan los resultados de las toxinas que tienen al menos una muestra positiva. Las demás toxinas, que no aparecen en las tablas, no fueron detectadas (ND). Es importante mencionar que el análisis de Brevetoxinas (análisis implementado en este estudio) no reveló la presencia de esta toxina en muestras de mariscos.

TPM: No se detectó la en la región de Tarapacá (Tabla 15). En la región de Antofagasta se detectó la presencia de SXT (Tabla 16) en la segunda quincena de Abril (2,5 µg STX eq/100 g). En la región de Atacama se detectaron en algunas quincenas de muestreo los análogos GTX 1, GTX2, GTX3, GTX4 y SXT en el Morro y de GTX1 y SXT en Barranquilla (Tabla 17). En todo caso si se suma la toxicidad de todos los análogos en las diferentes muestras positivas, ninguna supera los 15 µg STX eq/100 g. En la región de Coquimbo (Tabla 18) se detectó en Bahía de Coquimbo GTX3 (quincena 1 de mayo), y SXT (quincena 1 de febrero). En Guanaqueros se detectó en algunas quincenas GTX1, GTX2, GTX3, GTX4 y SXT. En Punta de Choros se detectó exclusivamente SXT, principalmente en las muestras entre diciembre de 2023 a febrero de 2024. En Tongoy se detectó en algunas muestras GTX1, GTX3, GTX4 y SXT. Las tres muestras

informadas como positivas por el SSL por medio del Bioensayo del ratón, también salieron positivas en nuestros resultados, pero con una concentración inferior. En Punta de Choros en tres quincenas se analizaron muestras de locos de dos formas, una con el organismo completo y otra con el sistema digestivo (glándula de la tinta- parte negra-), en todas las muestras se detectó SXT en la parte negra, y en dos ocasiones se detectó en el loco completo. Cabe señalar que la concentración fue un poco más alta en el sistema digestivo.

Ácido Domoico (DA): En la metodología implementada en el CREAN, pese a ser una toxina hidrofílica, medimos DA junto a las demás toxinas lipofílicas. Se detectó DA en la primera quincena de mayo de 2024 en la región de Arica y Parinacota (Tabla 14) y de Tarapacá (Tabla 15), con niveles de 0,09 y 0,14 mg/Kg, respectivamente. En la región de Antofagasta no se detectó la presencia de DA (Tabla 16). En la región de Atacama (Tabla 17) se detectó AD en Bahía Loreto (quincena 1 de diciembre de 2023), Barranquilla (quincena 1 de mayo) y en El Morro (desde enero a junio de 2024), nivel más alto medido fue de 0,67 mg/Kg. En la región de Coquimbo (Tabla 18) se detectó AD en Bahía de Coquimbo diciembre de 2023 (Quincenas 1 y 2), mayo de 2024 (quincena 1) y junio (quincena1). En Guanaqueros AD se detecta en diciembre de 2023 (quincenas 1 y 2), en mayo de 2024 (quincenas 1 y 2) y junio de 2024 (quincena 1). En Punta de Choros se detecta DA en diciembre de 2023 (quincena 1 y 2) y en la primera quincena de mayo de 2024. En Tongoy DA es detectado en diciembre de 2023 (quincenas 1 y 2), mayo de 2024 (quincenas 1 y 2) y en junio de 2024 (quincena 1). La concentración más alta detectada fue de 0,67 mg/Kg, lo que podría explicar el hecho que, en los análisis realizados por el SSL, no hayan sido detectados, ya que la metodología que utiliza tiene un límite de detección de 0,5 mg/Kg.

PTX-2: Se detectó la presencia de PTX-2 en Arica (Tabla 14), Mejillones (Tabla 16) y el Morro (Tabla 18), con una concentración de menor al LC (LC= 15 µg/Kg). La muestra positiva del SSL obtenida en Tongoy, no fue detectada por el análisis del CREAN-IFOP, además tuvimos detecciones de PTX2 positivas que no fueron detectadas por el SS Llanquihue.

YTX: Detectamos algunas muestras positivas a YTX (Regiones de Antofagasta, Atacama y Coquimbo) y homo YTX (región de Atacama) (Tablas 16, 17, 18). Todos con niveles similares a las concentraciones detectadas por el SS. El SSL detectó la presencia de YTXs en algunas muestras que nosotros no pudimos detectar, lo que podría explicarse las bajas concentraciones, los que en general están bajo el límite de cuantificación de los análisis realizados en el CREAN.

Gym: En la región de Arica (Tabla 14) se detectó Gym en diciembre de 2023 (quincenas 1 y 2), enero de 2024 (quincenas 1 y 2), febrero de 2024 (quincena 1) y mayo de 2024 (quincena 1). En la región de Tarapacá (Tabla 15) se detectó Gym en casi la totalidad de las muestras. En las regiones de Antofagasta (Tabla 16) y Atacama (Tabla 17), se detecta Gym en algunas de las muestras. La región de Coquimbo (Tabla 18), es extrañamente la única en que no se detectó la presencia de Gym (Tablas 15-19). Todos los resultados son con niveles bajo el límite de cuantificación. Esta situación es similar, a la que hemos podido observar en otras regiones de Chile.

Es importante mencionar que las diferencias en la cuantificación de toxinas entre el SSL y el CREAN-IFOP pueden deberse a: 1) el uso de distintos equipos analíticos, tipos de extracción de toxinas, metodologías de cualificación de toxinas; 2) la diferente capacidad que tienen los distintos individuos de una muestra de filtrar-asimilar fitoplancton y, en consecuencia, acumular toxinas.

Tabla 14. Resultados de biotoxinas de mariscos de la región de Arica y Parinacota (CREAN). Solo se muestran resultados donde al menos se detectó una toxina.

FECHA MUESTRO	sector	Recurso	HOMO-										
			PTX2 (µg/kg)	YTX (mg/kg)	YTX (mg/kg)	DA (mg/kg)	Gym (µg/kg)	GTX1 (ug STX eq/100g)	GTX4 (ug STX eq/100g)	GTX2 (ug STX eq/100g)	GTX3 (ug STX eq/100g)	SXT (ug STX eq/100g)	dc STX
08-12-2023	ARICA	C. ZAPATO	<LC	ND	ND	ND	<LC	ND	ND	ND	ND	ND	ND
28-12-2023	ARICA	C. ZAPATO	ND	ND	ND	ND	<LC	ND	ND	ND	ND	ND	ND
11-01-2024	ARICA	C. ZAPATO	ND	ND	ND	ND	<LC	ND	ND	ND	ND	ND	ND
23-1-2024	ARICA	C. ZAPATO	ND	ND	ND	ND	<LC	ND	ND	ND	ND	ND	ND
8-2-2024	ARICA	CHORO	ND	ND	ND	ND	<LC	ND	ND	ND	ND	ND	ND
09-04-2024	ARICA	PIURE	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2,20
7-5-2024	ARICA	PIURE	ND	ND	ND	0,09	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
28-5-2024	ARICA	C. ZAPATO	ND	ND	ND	ND	<LC	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Tabla 15. Resultados de biotoxinas de mariscos de la región de Tarapacá (CREAN). Solo se muestran resultados donde al menos se detectó una toxina.

FECHA MUESTRO	sector	Recurso	HOMO-										
			PTX2 (µg/kg)	YTX (mg/kg)	YTX (mg/kg)	DA (mg/kg)	Gym (µg/kg)	GTX1 (ug STX eq/100g)	GTX4 (ug STX eq/100g)	GTX2 (ug STX eq/100g)	GTX3 (ug STX eq/100g)	SXT (ug STX eq/100g)	
12-12-2023	IQUIQUE	C. ZAPATO	ND	ND	ND	ND	<LC	ND	ND	ND	ND	ND	ND
27-12-2023	IQUIQUE	C. ZAPATO	ND	ND	ND	ND	<LC	ND	ND	ND	ND	ND	ND
10-01-2024	IQUIQUE	C. ZAPATO	ND	ND	ND	ND	<LC	ND	ND	ND	ND	ND	ND
13-2-2024	IQUIQUE	C. MALTON	ND	ND	ND	ND	<LC	ND	ND	ND	ND	ND	ND
28-2-2024	IQUIQUE	C. MALTON	ND	ND	ND	ND	<LC	ND	ND	ND	ND	ND	ND
12-3-2024	IQUIQUE	C. ZAPATO	ND	ND	ND	ND	<LC	ND	ND	ND	ND	ND	ND
27-3-2024	IQUIQUE	C. ZAPATO	ND	ND	ND	ND	<LC	ND	ND	ND	ND	ND	ND
11-4-2024	IQUIQUE	C. ZAPATO	ND	ND	ND	ND	<LC	ND	ND	ND	ND	ND	ND
6-5-2024	IQUIQUE	C. ZAPATO	ND	ND	ND	ND	<LC	ND	ND	ND	ND	ND	ND
8-5-2024	IQUIQUE	CHOLGA	ND	ND	ND	0,14	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
29-5-2024	IQUIQUE	C. ZAPATO	ND	ND	ND	ND	<LC	ND	ND	ND	ND	ND	ND
10-6-2024	IQUIQUE	C. ZAPATO	ND	ND	ND	ND	<LC	ND	ND	ND	ND	ND	ND
26-6-2024	IQUIQUE	C. ZAPATO	ND	ND	ND	ND	<LC	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Tabla 16. Resultados de biotoxinas de mariscos de la región de Antofagasta (CREAN). Solo se muestran resultados donde al menos se detectó una toxina.

FECHA MUESTRO	sector	Recurso	HOMO-					GTX				
			PTX2 (µg/kg)	YTX (mg/kg)	YTX (mg/kg)	DA (mg/kg)	Gym (µg/kg)	GTX1 (ug STX eq/100g)	GTX4 (ug STX eq/100g)	GTX2 (ug STX eq/100g)	GTX3 (ug STX eq/100g)	SXT (ug STX eq/100g)
2-2-2024	MEJILLONES	MACHA	<LC	<LC	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2-2-2024	MEJILLONES	CHORO	<LC	ND	ND	ND	<LC	ND	ND	ND	ND	ND
29-02-2024	MEJILLONES	C. MALTON	ND	ND	ND	ND	<LC	ND	ND	ND	ND	ND
26-03-2024	MEJILLONES	CHOLGA	ND	ND	ND	ND	<LC	ND	ND	ND	ND	ND
14-04-2024	MEJILLONES	PIURE	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
15-04-2024	MEJILLONES	CHORO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2,50
19-06-2024	MEJILLONES	CHORO	ND	ND	ND	ND	<LC	ND	ND	ND	ND	ND

Tabla 17. Resultados de biotoxinas de mariscos de la región de Atacama (CREAN). Solo se muestran resultados donde al menos se detectó una toxina.

FECHA MUESTRO	sector	Recurso	HOMO-					Gym	GTX1	GTX4	GTX2	GTX3	SXT
			PTX2 (µg/kg)	YTX (mg/kg)	YTX (mg/kg)	DA (mg/kg)	DA (µg/kg)						
5-12-2023	BARRANQUILLA	LOCOS	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	4,80	
6-12-2023	BAHÍA LORETO	OSTION	ND	ND	ND	0,67	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
4-1-2024	EL MORRO	OSTION	ND	ND	ND	0,66	ND	ND	ND	0,70	ND	ND	
24-1-2024	EL MORRO	OSTION	<LC	<LC	ND	0,49	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
23-1-2024	BARRANQUILLA	CHOLGA	ND	ND	ND	ND	<LC	ND	ND	ND	ND	ND	
13-2-2024	EL MORRO	OSTION	ND	<LC	<LC	0,24	ND	ND	ND	ND	ND	6,10	
28-2-2024	EL MORRO	ALMEJA	ND	<LC	<LC	0,11	ND	ND	ND	ND	ND	2,90	
13-3-2024	EL MORRO	OSTION	ND	ND	ND	0,15	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
26-3-2024	BARRANQUILLA	CHOLGA	ND	ND	ND	ND	<LC	ND	ND	ND	ND	ND	
27-3-2024	EL MORRO	OSTION	ND	ND	ND	0,20	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
9-4-2024	BARRANQUILLA	CHOLGA	ND	ND	ND	ND	<LC	ND	ND	ND	ND	7,50	
10-4-2024	EL MORRO	OSTION	ND	ND	ND	ND	ND	ND	7,10	ND	1,00	2,00	
23-4-2024	EL MORRO	OSTION	ND	ND	ND	0,10	ND	4,80	ND	ND	ND	6,60	
23-4-2024	BARRANQUILLA	CHOLGA	ND	ND	ND	ND	<LC	3,90	ND	ND	ND	ND	
7-5-2024	BARRANQUILLA	CHOLGA	ND	ND	ND	0,07	<LC	ND	ND	ND	ND	ND	
6-5-2024	EL MORRO	OSTION	ND	ND	ND	0,12	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
28-5-2024	BARRANQUILLA	CHOLGA	ND	ND	ND	ND	<LC	ND	ND	ND	ND	ND	
28-5-2024	EL MORRO	OSTION	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2,70	ND	4,10	
11-6-2024	BARRANQUILLA	CHOLGA	ND	ND	ND	ND	ND	4,40	ND	ND	ND	4,80	
11-6-2024	EL MORRO	OSTION	ND	ND	ND	0,10	ND	8,20	ND	ND	1,10	5,30	
25-6-2024	EL MORRO	OSTION	ND	ND	<LC	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	

Tabla 18. Resultados de biotoxinas de mariscos de la región de Coquimbo (CREAN). Solo se muestran resultados donde al menos se detectó una toxina.

FECHA MUESTRO	sector	Recurso	HOMO-					GTX1	GTX4	GTX2	GTX3	SXT
			PTX2 (µg/kg)	YTX (mg/kg)	YTX (mg/kg)	DA (mg/kg)	Gym (µg/kg)					
4-12-2023	GUANAQUEROS	OSTION	ND	ND	ND	0,11	ND	ND	ND	ND	ND	ND
4-12-2023	TONGOY	OSTION	ND	ND	ND	0,16	ND	ND	ND	ND	ND	ND
4-12-2023	B. COQUIMBO	MACHA	ND	ND	ND	0,23	ND	ND	ND	ND	ND	ND
5-12-2023	P. DE CHOROS	LOCOS	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1,50
19-12-2023	GUANAQUEROS	OSTION	ND	<LC	ND	0,24	ND	ND	ND	ND	ND	ND
19-12-2023	TONGOY	OSTION	ND	ND	ND	0,40	ND	ND	ND	ND	ND	ND
18-12-2023	B. COQUIMBO	MACHA	ND	ND	ND	0,36	ND	ND	ND	ND	ND	ND
20-12-2023	P. DE CHOROS	LOCOS	ND	ND	ND	0,15	ND	ND	ND	ND	ND	3,00
20-12-2023	P. DE CHOROS	Parte negra	ND	ND	ND	0,15	ND	ND	ND	ND	ND	6,10
3-1-2024	P. DE CHOROS	LOCOS	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	5,20
3-1-2024	P. DE CHOROS	Parte negra	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	14,20
23-1-2024	P. DE CHOROS	Parte negra	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	6,00
22-1-2024	TONGOY	Ostion	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
13-2-2024	P. DE CHOROS	ALMEJA	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1,70
12-2-24	TONGOY	OSTION	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	32,40
12-2-2024	B. COQUIMBO	MACHA	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1,30
26-03-2024	P. DE CHOROS	OSTION	<LC	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
25-03-2024	GUANAQUEROS	OSTION	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1,50	ND
25-03-2024	TONGOY	OSTION	ND	ND	ND	ND	ND	3,90	ND	ND	1,10	ND
08-04-2024	B. COQUIMBO	MACHA	<LC	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
08-04-2024	TONGOY	OSTION	<LC	ND	ND	ND	ND	5,60	11,30	ND	2,00	ND
08-04-2024	GUANAQUEROS	OSTION	<LC	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1,70	1,30	2,20
22-04-2024	TONGOY	OSTION	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1,10	2,00
22-04-2024	GUANAQUEROS	OSTION	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3,30	ND	ND	ND
06-05-2024	B. COQUIMBO	MACHA	ND	ND	ND	0,16	ND	ND	ND	ND	2,00	ND
07-05-2024	P. DE CHOROS	ALMEJA	ND	ND	ND	0,07	ND	ND	ND	ND	ND	ND
06-05-2024	TONGOY	OSTION	ND	ND	ND	0,17	ND	ND	ND	ND	ND	ND
13-05-2024	GUANAQUEROS	OSTION	ND	ND	ND	0,30	ND	ND	ND	ND	ND	8,70
27-05-2024	TONGOY	OSTION	ND	ND	ND	0,30	ND	ND	ND	ND	ND	4,10
27-05-2024	GUANAQUEROS	OSTION	ND	ND	ND	0,30	ND	ND	4,40	ND	1,30	30,30
10-06-2024	B. COQUIMBO	MACHA	ND	ND	ND	0,30	ND	ND	ND	ND	ND	ND
10-06-2024	TONGOY	OSTION	ND	ND	ND	0,10	ND	ND	ND	ND	ND	7,50
10-06-2024	GUANAQUEROS	OSTION	ND	ND	ND	0,20	ND	4,40	3,80	ND	ND	18,00

6.2 OBJETIVO ESPECÍFICO 2

6.2.1 Recopilación de información respecto a microalgas nocivas presentes en la zona norte del País.

Floraciones Algales Nocivas (FAN) en el Norte de Chile

El presente estudio utilizó como metodología la revisión sistemática de la literatura disponible, como forma de identificar las microalgas nocivas, sector geográfico asociado y potencial impacto en la zona norte del país. Para el periodo comprendido entre los años 1976 y 2024, se encontraron 18 artículos que identifican en su conjunto un total de 17 microalgas nocivas o potencialmente nocivas distribuidas en 15 localidades ubicadas entre las regiones de Arica y Parinacota y Coquimbo (Tabla 19; Figuras 4 a 7).

Entre las microalgas nocivas del grupo de las diatomeas presentes en el norte de Chile se registraron las especies: *Pseudo-nitzschia australis*, *P. pseudodelicatissima*, *P. calliantha* y *P. plurisecta*, las cuales están ampliamente distribuidas entre las regiones de Atacama y Coquimbo, específicamente en las localidades de Bahía Inglesa, Coquimbo, Bahía Guanaqueros y Bahía Tongoy. Frecuentemente estas especies se han reportado en condición de floración, donde la concentración celular ($3,5 \times 10^6$ células L^{-1}) más alta fue reportada para la especie *P. pseudodelicatissima* durante el verano del año 2005 en la localidad de Bahía Inglesa, derivado de esta floración se constató la presencia en mariscos de toxinas amnésicas del tipo ácido domoico (Álvarez et al., 2009a). En la misma localidad de Bahía Inglesa la floración de *P. australis* ($1,7 \times 10^6$ células L^{-1}), generó un evento de acumulación de toxinas amnésicas (ácido domoico) durante la primavera de 2006 (Tabla 19). Se conoce que, los eventos asociados a estas especies son multi específicos y especies morfológicamente similares del complejo *P. delicatissima*, como *P. calliantha* y *P. pseudodelicatissima*, podrían ser potenciales productoras de estas toxinas.

Entre las microalgas nocivas del grupo de los dinoflagelados presentes en el norte de Chile, se registraron las especies: *Alexandrium spp*, *A. ostenfeldii*, *Dinophysis acuminata*, *D. caudata*, *D. ovum*, *D. rotundata*, *D. tripos*, *Protoceratium reticulatum*, *Prorocentrum lima*, *P. micans*, *Azadinium poporum*, *Coolia malayensis* y *Gonyaulax taylorii*.

En cuanto a las especies asociadas al género *Alexandrium*, los registros indican que su distribución está restringida a la región de Coquimbo, donde ha sido reportada en las localidades de Coquimbo, Bahía Guanaqueros, la Herradura, Bahía Tongoy, Los Vilos y Caleta Totoralillo (Tabla 19. Figuras 6 y 7). Las mayores concentraciones reportadas estuvieron asociadas a la floración de *Alexandrium spp*. ($2,5 \times 10^6$ células L^{-1}) durante el otoño de 2006 en la localidad de bahía Mejillones, asociada a esta floración se detectaron toxinas paralizantes del tipo C2, GTX2, GTX3, dcGTX2 (Álvarez et al., 2009b). Por su parte, la especie *Alexandrium ostenfeldii*, ha sido reportada, a partir de un monitoreo anual (junio 2011 a mayo de 2012) en las regiones de Antofagasta, Atacama y Coquimbo (Salgado et al., 2012).

Las especies del género *Dinophysis* presentaron una amplia distribución siendo reportada entre las regiones de Arica y Parinacota y Coquimbo. La especie más recurrente y con mayores concentraciones reportadas corresponde a *Dinophysis acuminata*. Esta especie fue habitualmente reportada en concentraciones promedio cercano a 1500 células L⁻¹, con una alta distribución en las localidades del norte de Chile y como productora de toxinas del tipo Pectenotoxinas (PTX-2) (Krock et al., 2009; Blanco et al., 2007) (Tabla 19 y Figuras 4 a 7). La mayor densidad reportada para esta especie (3000 células L⁻¹), fue reportada en la localidad de bahía Mejillones durante el verano de 2007.

Entre las otras especies de dinoflagelados nocivos, destacó la presencia de *Protoceratium reticulatum*, la cual fue reportada en altas concentraciones (3,0 x 10⁵ células Litro⁻¹), durante el verano de 2007 en la localidad de Bahía Mejillones en la región de Antofagasta, la cual presentó producción de toxinas lipofílicas del tipo Yesotoxinas (YTX) (Álvarez et al., 2011).

Durante la revisión bibliográfica realizada, llama la atención el reporte del dinoflagelado bentónico *Prorocentrum lima*, identificada durante los veranos de 2016 y 2017 en la localidad de bahía Calderilla en la región de Atacama (Uribe et al., 2018; Pino Selles et al., 2024). La presencia de esta especie en el norte de Chile es relevante ya que tendría la capacidad de producir toxinas del tipo Ácido Okadaico (AO) y Dinofisistoxina (DTX1) (Uribe et al., 2018) (Tabla 19). Estas microalgas tienen la capacidad de adherirse a organismos marinos, sustratos naturales e infraestructura pesquera, lo que representa un desafío de estudio, en cuanto a su potencial distribución y el manejo de la especie ante eventuales episodios FAN.

Recientemente, se identificó al dinoflagelado *Gonyaulax taylorii* como organismo productor de Yesotoxinas (YTX y homo-YTX), esta especie fue reportada en bahía Mejillones en el verano de 2006 (Tabla 19) en una alta concentración (6,3 x 10⁴ células Litro⁻¹) (Álvarez et al., 2016). Probablemente esta especie ha sido responsable de varazones masivas de invertebrados marinos (jibias, erizos, estrellas de mar) en el norte de Chile, por lo que, desde el manejo de estas FAN, se requiere de la confirmación de la presencia de la especie y su perfil de toxinas asociadas.

Respecto al estudio de las especies formadoras de FAN en Chile, la búsqueda en bases de datos mostró que la mayor cantidad de trabajos se ha realizado con la especie *Alexandrium catenella* y luego le siguen con una evidente menor cantidad de trabajos especies como *Dinophysis acuminata*, *Dinophysis acuta* y *Pseudo-nitzschia* spp. Estas especies, están relacionadas con efectos nocivos en la salud de las personas (Tabla 20). En relación a especies que generan efectos nocivos en otros animales, como peces, la mayor cantidad de trabajos encontrados fue para *Heterosigma akashiwo* y *Pseudochattonella verruculosa*. A pesar que en la costa de Chile habitan importantes especies que generan efectos nocivos en otros animales como por ejemplo *Chaetoceros convolutus*, *Sundstroenia setigera*, *Thalassiosira pseudonana*, *Phaeocystis globosa*, entre otras, con ellas se ha realizado poca o nula investigación (Tabla 20). Es importante mencionar que en Chile se han ido identificando nuevas especies y generos que son nocivas o potencialmente nocivas cuya abundancia y distribución en la costa puede estar subestimada. Esto se debe que sus características morfológicas como pequeño tamaño y ausencia de tecas hacen difícil su

identificación o su conservación de la muestra luego de utilizar sistemas de fijación, como por ejemplo *Karlodinium cf veneficum*, *Takayama helix* y *Gymnodinium aureolum*.

Tabla 19. Especies de microalgas nocivas reportadas en localidades del Norte de Chile. Se presenta la especie, localidad, concentración celular o presencia, fecha del reporte, potenciales toxinas asociadas (en negrita se indican las toxinas informadas por el estudio) y la cita bibliográfica correspondiente.

Región	Sector	Especie	Concentración (Células L ⁻¹)	Fecha	Potenciales toxinas asociadas	Cita
Arica y Parinacota	Bahía Arica	<i>Dinophysis acuminata</i>	2.400	nov-07	TDM/LIPOFILICAS (PTX2)	Krock et al., 2009
Arica y Parinacota	Bahía Arica	<i>Dinophysis rotundata</i>	200	nov-07	TDM/LIPOFILICAS (PTX2)	Krock et al., 2009
Arica y Parinacota	Bahía Arica	<i>Protoceratium reticulatum</i>	Quistes	nov-07	TDM/LIPOFILICAS (YTX)	Krock et al., 2009
Tarapacá	Iquique	<i>Dinophysis acuminata</i>	Cualitativo (presente)	sept-97	TDM/LIPOFILICAS	Santander et al., 2003
Tarapacá	Iquique	<i>Dinophysis caudata</i>	Cualitativo (presente)	oct-97	TDM/LIPOFILICAS	Santander et al., 2003
Tarapacá	Iquique	<i>Dinophysis ovum</i>	Cualitativo (presente)	ago-97	TDM/LIPOFILICAS	Santander et al., 2003
Tarapacá	Iquique	<i>Dinophysis tripos</i>	Cualitativo (presente)	nov-97	TDM/LIPOFILICAS	Santander et al., 2003
Antofagasta	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	Cualitativo (presente)	dic-18	TDM/LIPOFILICAS (PTX2)	Avalos et al., 2019
Antofagasta	Bahía Mejillones	<i>Alexandrium spp.</i>	2.500.000	may-06	TPM (C2, GTX2, GTX3, dcGTX2)	Alvarez et al., 2009b
Antofagasta	Bahía Mejillones	<i>Dinophysis acuminata</i>	3.000	feb-07	TDM/LIPOFILICAS	Alvarez et al., 2011
Antofagasta	Bahía Mejillones	<i>Dinophysis caudata</i>	Cualitativo (presente)	dic-75	TDM/LIPOFILICAS	Rodriguez L., 1976
Antofagasta	Bahía Mejillones	<i>Gonyaulax taylorii</i>	64.200	mar-09	TDM/LIPOFILICAS (YTX homo-YTX)	Alvarez et al., 2016
Antofagasta	Bahía Mejillones	<i>Protoceratium reticulatum</i>	335.000	feb-07	TDM/LIPOFILICAS (YTX)	Alvarez et al., 2011
Atacama	Bahía Calderilla	<i>Coccoloba malayensis</i>	Cualitativo (presente)	ene-16	S/I	Uribe et al., 2023
Atacama	Bahía Calderilla	<i>Prorocentrum lima</i>	Cualitativo (presente)	feb-16	TDM/LIPOFILICAS (AO, DTX1)	Uribe et al., 2018
Atacama	Bahía Calderilla	<i>Prorocentrum lima</i>	Cualitativo (presente)	dic-17	S/I	Pino Selles et al., 2024
Atacama	Bahía Inglesa	<i>Alexandrium ostenfeldii</i>	Cualitativo (presente)	jun-11 a may-12	TPM, SPX, GYM	Salgado et al., 2012
Atacama	Bahía Inglesa	<i>Dinophysis acuminata</i>	600	oct-05	TDM/LIPOFILICAS (PTX2)	Blanco et al., 2007
Atacama	Bahía Inglesa	<i>Pseudo-nitzschia australis</i>	1.700.000	oct-06	TAM (AD)	Alvarez et al., 2009a
Atacama	Bahía Inglesa	<i>Pseudo-nitzschia australis</i>	90000	oct-04	TAM (AD)	López-Rivera et al., 2009
Atacama	Bahía Inglesa	<i>Pseudo-nitzschia calliantha</i>	200.000	jun-06	TAM (AD)	Alvarez et al., 2009a
Atacama	Bahía Inglesa	<i>Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima</i>	3.500.000	ene-05	TAM (AD)	Alvarez et al., 2009a
Atacama	Bahía Salada	<i>Dinophysis acuminata</i>	Cualitativo (presente)	oct-05	TDM/LIPOFILICAS (PTX2)	Blanco et al., 2007
Atacama	Chañaral	<i>Azadinium poporum</i>	6840	mar-14	TDM/LIPOFILICAS (AZA-11)	Tillmann et al., 2017
Coquimbo	Bahía Coquimbo	<i>Alexandrium ostenfeldii</i>	Cualitativo (presente)	jun-11 a may-12	TPM, SPX, GYM	Salgado et al., 2012
Coquimbo	Bahía Coquimbo	<i>Dinophysis acuminata</i>	800	oct-05	TDM/LIPOFILICAS (PTX2)	Blanco et al., 2007
Coquimbo	Bahía Coquimbo	<i>Pseudo-nitzschia australis</i>	1.200.000	jun-09	TAM (AD)	Alvarez et al., 2015
Coquimbo	Bahía Coquimbo	<i>Pseudo-nitzschia calliantha</i>	115.000	jul-09	TAM (AD)	Alvarez et al., 2015
Coquimbo	Bahía Coquimbo	<i>Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima</i>	115.000	jul-09	TAM (AD)	Alvarez et al., 2015
Coquimbo	Bahía Guanaqueros	<i>Alexandrium ostenfeldii</i>	Cualitativo (presente)	jun-11 a may-12	TPM, SPX, GYM	Salgado et al., 2012
Coquimbo	Bahía Guanaqueros	<i>Alexandrium spp.</i>	Cualitativo (presente)	jun-11 a may-12	TPM, SPX, GYM	Salgado et al., 2012
Coquimbo	Bahía Guanaqueros	<i>Dinophysis acuminata</i>	1400	dic-14	TDM/LIPOFILICAS	Rosales et al., 2024
Coquimbo	Bahía Guanaqueros	<i>Pseudo-nitzschia australis</i>	290.000	sept-12	TAM (AD)	Rosales et al., 2024
Coquimbo	Bahía Guanaqueros	<i>Alexandrium spp.</i>	500	jun-06	TPM (C1, C2, GTX1, GTX2, GTX3, dcGTX2, dcGTX3, STX)	Alvarez et al., 2009b
Coquimbo	Bahía La Herradura	<i>Alexandrium ostenfeldii</i>	Cualitativo (presente)	jun-11 a may-12	TPM, SPX, GYM	Salgado et al., 2012
Coquimbo	Bahía Tongoy	<i>Alexandrium ostenfeldii</i>	Cualitativo (presente)	jun-11 a may-12	TPM, SPX, GYM	Salgado et al., 2012
Coquimbo	Bahía Tongoy	<i>Alexandrium spp.</i>	1.500	jun-06	TPM (C1, C2, GTX2, GTX3, dcGTX2, STX)	Alvarez et al., 2009b
Coquimbo	Bahía Tongoy	<i>Dinophysis acuminata</i>	300	oct-05	TDM/LIPOFILICAS (PTX2)	Blanco et al., 2007
Coquimbo	Bahía Tongoy	<i>Dinophysis acuminata</i>	1550	abr-13	TDM/LIPOFILICAS	Rosales et al., 2024
Coquimbo	Bahía Tongoy	<i>Pseudo-nitzschia australis</i>	250.000	mar-06	TAM (AD)	Alvarez et al., 2009a
Coquimbo	Bahía Tongoy	<i>Pseudo-nitzschia australis</i>	Cualitativo (presente)	nov-19	TAM (AD)	von Dassow et al., 2023
Coquimbo	Bahía Tongoy	<i>Pseudo-nitzschia australis</i>	396.363	ago-17	TAM (AD)	Rosales et al., 2024
Coquimbo	Bahía Tongoy	<i>Pseudo-nitzschia plurisetata</i>	Cualitativo (presente)	dic-19	TAM (AD)	von Dassow et al., 2024
Coquimbo	Bahía Tongoy	<i>Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima</i>	250.000	abr-06	TAM (AD)	Alvarez et al., 2009a
Coquimbo	Caleta Los Vilos	<i>Alexandrium ostenfeldii</i>	Cualitativo (presente)	jun-11 a may-12	TPM, SPX, GYM	Salgado et al., 2012
Coquimbo	Caleta Totoralillo	<i>Alexandrium ostenfeldii</i>	Cualitativo (presente)	jun-11 a may-12	TPM, SPX, GYM	Salgado et al., 2012

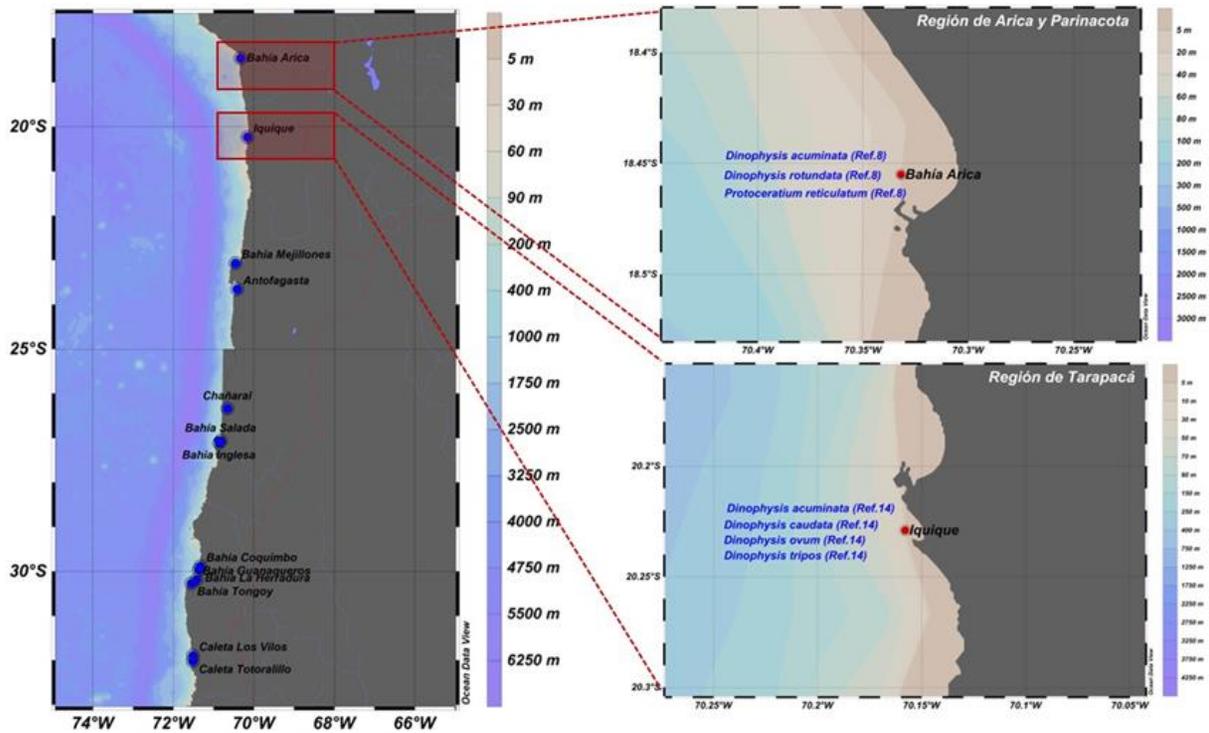


Figura 4. Mapa con la distribución de las especies de microalgas nocivas en las localidades de las regiones de Arica y Parinacota y Tarapacá. Para cada especie se indica la cita bibliográfica que la reporta.

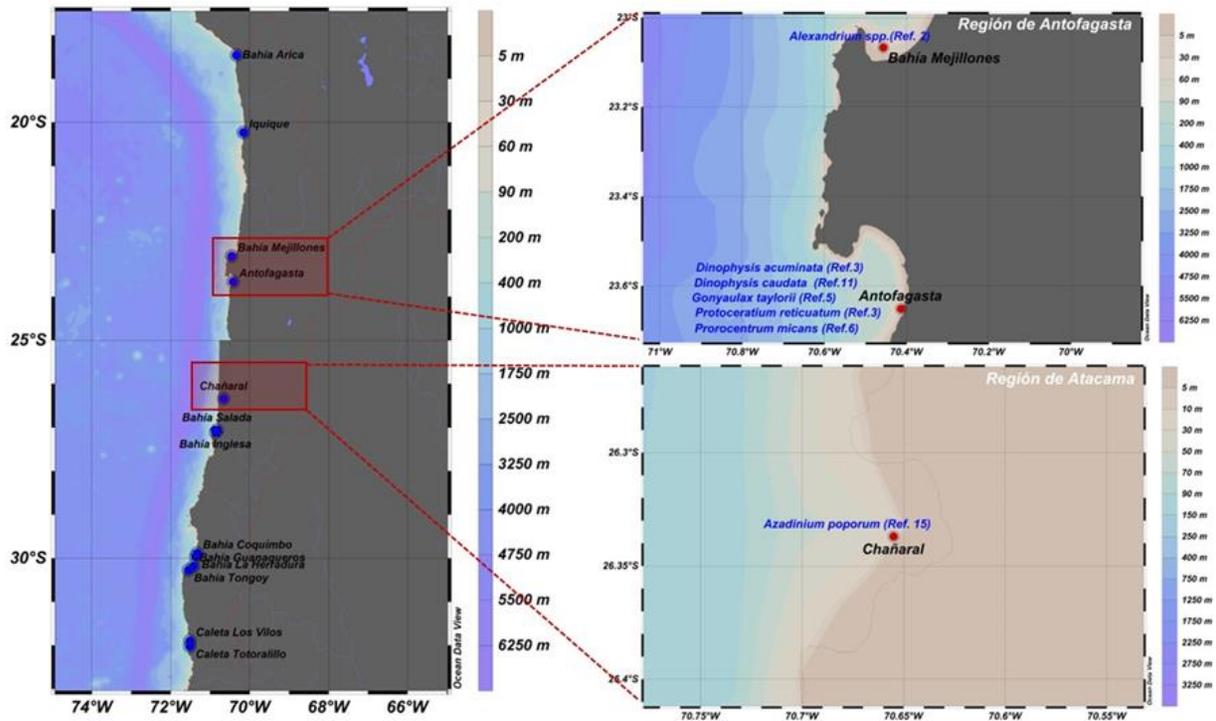


Figura 5. Mapa con la distribución de las especies de microalgas nocivas en las localidades de las regiones de Antofagasta y Atacama. Para cada especie se indica la cita bibliográfica que la reporta.

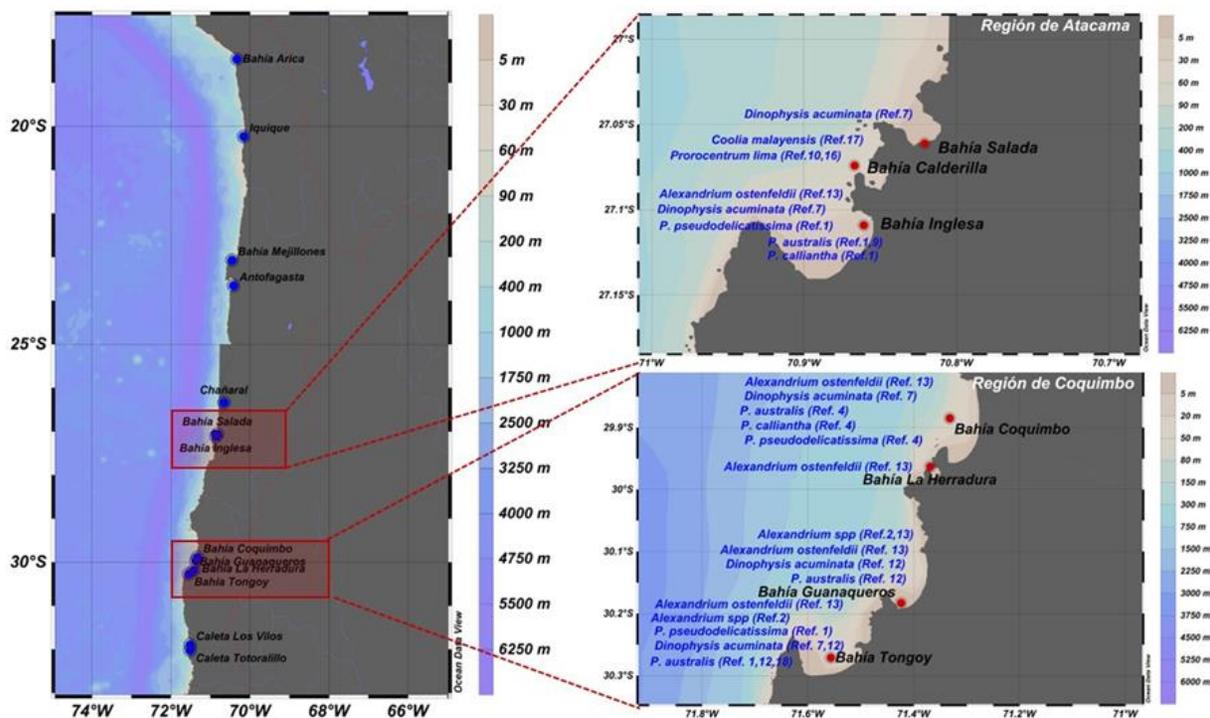


Figura 6. Mapa con la distribución de las especies de microalgas nocivas en las localidades de las regiones de Atacama y Coquimbo. Para cada especie se indica la cita bibliográfica que la reporta.

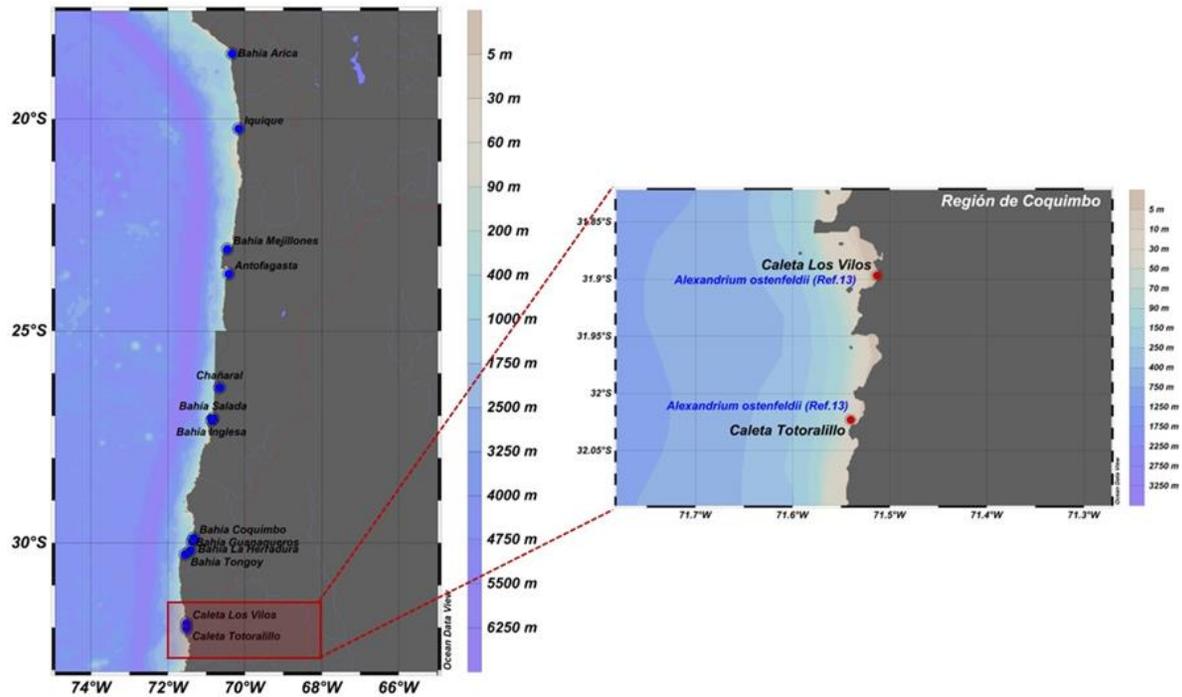


Figura 7. Mapa con la distribución de las especies de microalgas nocivas en las localidades de la región de Coquimbo (continuación). Para cada especie se indica la cita bibliográfica que la reporta.

Tabla 20. Número de trabajos asociados a las especies formadoras de floraciones algales más relevantes, y especies potencialmente nocivas recientemente identificadas de Chile.

Bases de datos		1) ScienceDirect (Busqueda general)	2) ScienceDirect (Busqueda especifica)	3) Web of science	4) Scielo
Grupo/clase	Especie	N° trabajos			
Diatomea	<i>Chaetoceros convolutus</i>	2	0	0	0
	Grupo <i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i>	14	1	5	1
	Grupo <i>Pseudo-nitzschia seriata</i>	15	1	5	1
	<i>Guinardia striata</i>	2	0	0	0
	<i>Sundstroenia setigera</i>	3	1	0	0
	<i>Thalassiosira pseudonana</i>	18	0	0	0
Dinoflagelado	<i>Alexandrium catenella</i>	130	4	21	8
	<i>Alexandrium ostenfeldii</i>	38	1	1	0
	<i>Dinophysis acuminata</i>	67	3	6	2
	<i>Dinophysis acuta</i>	48	3	4	3
	<i>Gymnodinium aureolum</i>	4	0	0	0
	<i>Karenia selliformis</i>	30	1	0	1
	<i>Karlodinium cf. veneficum</i>	21	0	0	0
	<i>Protoceratium reticulatum</i>	53	1	2	1
	<i>Takayama helix</i>	1	0	0	0
Haptophyta	<i>Phaeocystis globosa</i>	17	0	0	0
Raphidophyceae	<i>Akashiwo sanguinea</i>	22	0	0	0
	<i>Heterosigma akashiwo</i>	52	3	2	1
Dictyochophyceae	<i>Dictyocha speculum</i>	7	0	0	0
	<i>Pseudochattonella verruculosa</i>	25	4	5	0

1) ScienceDirect: Busqueda general. Palabras claves: "Nombre especie" AND "Chile" AND "HAB".

2) ScienceDirect: Busqueda especifica. Palabras claves (seccion: Title, abstract or author-specified keywords): "Chile" or "Patagonia" or "fjord" or "HA" AND "Nombre especie".

3) Web os Science: Busqueda con palabras claves: "Nombre especie" AND "Chile".

4) Scielo: Busqueda palabras claves: "Chile" AND "HAB" AND "Nombre especie".

6.2.2 Generación de resumen de artículos científicos relacionados con microalgas nocivas presentes en la zona norte del país.

Floraciones históricas en el norte de Chile

Históricamente en el norte de Chile se han desarrollado floraciones algales nocivas provocadas por distintas especies que pueden o no generar toxinas. Los registros más antiguos muestran que entre octubre de 1976 y enero de 1977 se formaron tres floraciones en la bahía San Jorge en Antofagasta (23°S, 70°W) de *Gymnodinium splendens* (actualmente conocida como *Akashiwo sanguinea*), *Mesodinium rubrum* y *Prorocentrum micans* (Rodríguez et al., 1978). En otoño de 1982 ocurrió una nueva floración de *Prorocentrum micans* y en otoño de 1983 de *Gymnodinium splendens* (Rodríguez 1987). En invierno de 1982 se observó una floración de *P. micans* y *Gonyaulax catenella* (actualmente conocida como *Alexandrium catenella*). En la primavera de 1981 detectó una floración de *P. micans* y *G. acatenella* alcanzando concentraciones celulares de 381 y 339 cél/mL respectivamente. En la primavera de 1984 nuevamente se registraron floraciones de *M. rubrum* y *P. micans*. Consecuentemente en verano 1984 - 1985 *M. rubrum* y *P. micans* alcanzaron una alta densidad llegando esta última a 2.290 cél/mL. En verano entre 1985 - 1986 *P. micans* formó una floración, pero la densidad fue menor llegando a 34 cél/mL. El estudio también reveló que especies fitoplanctónicas regularmente presentes fueron: *Cylindrotheca closterium*, *Chaetoceros curvisetus*, *Corethron criophilum*, *Chaetoceros peruvians*, *Eucampia zoodiacus*, *Detonula pumila*, *Grammatophora marina*, *Licmophora abbreviata*, *Leptocylindrus danicus*, *Nitzschia delicatissima* (actualmente conocida como *Pseudo-nitzschia delicatissima*), *Nitzschia pseudoseriata* (Actualmente *Pseudo-nitzschia australis*), *Rhizosolenia fragilissima* y *Skeletonema costatum* (Rodríguez 1987). Mientras que los dinoflagelados más recurrentes fueron: *Ceratium furca*, *Ceratium fusus*, *Ceratium tripos*, *Gymnodinium splendens*, *Podolampas palmipes*, *Prorocentrum micans*, *Prorocentrum rostratum*, *Protoperidinium ovum* y *Protoperidinium pellucidum* (Rodríguez 1987).

En Arica se registraron eventos en 1956 de *Prorocentrum micans*, en 1976 de *Noctiluca scintillans* y *Gymnodinium sp.*; en 1977 de *Glenodinium sp.*; en 1976-1977 de *Gonyaulax acatenella* y 1977 de *Gymnodinium splendens* (Actualmente *Akashiwo sanguinea*) (Rodríguez 1985). En Mejillones en 1966 se observó un evento de *P. micans*; y en 1976 de *Ceratium tripos* y *Ceratium furca*. En Antofagasta también se produjeron floraciones de *C. tripo* y *C. fusus* en 1978 y 1981 respectivamente. En Iquique se registró en 1956 y 1980 floraciones de *Prorocentrum micans* y *Prorocentrum gracile* respectivamente. Finalmente, para Chañaral hay un registro de floración en 1975 de *M. rubrum* (Rodríguez 1985).

Entre noviembre del 2018 y febrero del 2019 se generó una severa floración en Antofagasta de *Prorocentrum micans*. El evento se extendió por más de 30 Km desde la costa hacia el océano y por alrededor de 1500 Km llegando a la costa de Perú cerca de la ciudad de Arequipa. Aunque la especie dominante de la floración fue *P. micas* también se observaron especies de los generos *Tripes*, *Peridinium*,

Dinophysis, *Protoperidinium* y *Gymnodinium* (Avalos et al., 2019). En el mismo año, en Antofagasta también se formó una floración de *Akashiwo sanguinea* que fue registrada durante la segunda semana de diciembre, observándose una alta fluorescencia con valores entre 177 $\mu\text{g chl-a L}^{-1}$ y 252 $\mu\text{g chl-a L}^{-1}$ equivalente una abundancia de 1.895 y 2.895 células/mL, y cuya composición fitoplanctónica estuvo dominada por de *A. sanguinea* (Hu et al., 2024).

Toxinas paralizantes en el norte de Chile

Hasta donde conocemos uno de los pocos registros documentados de toxinas paralizantes y sus análogos fueron detectados en una floración ocurrida en mayo del 2006 en la localidad de Mejillones. En esta localidad se reportó una floración de *Alexandrium* spp. afectando a centros de cultivo. Los mariscos afectados en estos eventos con toxinas paralizantes fueron *Semimytilus algosus* y *Argopecten purpuratus*. Los mariscos mostraron la presencia de los análogos de saxitoxinas C2, GTX2, GTX3, y dcGTX2. Luego en el junio se detectaron dos nuevos episodios en Guanaqueros y la Bahía de Tongoy en ese momento los mariscos mostraron valores de toxinas paralizantes de 27 a 34 $\mu\text{g STX eq/100 g}$ y el perfil toxicológico estuvo caracterizado por la presencia de STX, GTX1, GTX2 y GTX3, dcGTX2, dcGTX3 y niveles traza de GTX5, C1 y C2 (Álvarez et al., 2009).

Toxinas diarreicas en el norte de Chile

En otoño del 2005 se formó una floración de *Dinophysis acuminata* lo que generó la veda extractiva de ostión en la localidad de Bahía Inglesa. La evaluación toxicológica mostró la presencia de pectenotoxinas (PTX2) pero no se detectó la presencia de ácido okadaico y sus análogos. La presencia de la floración se observó a través de la costa en localidades como Bahía Inglesa, Bahía Salada, Bahía de Coquimbo y Tongoy (Blanco 2007). Posteriormente, en el verano del 2007 y el 2008 se tomaron una serie de muestras de fitoplancton en la bahía de Arica. El análisis toxicológico mostró la presencia de pectenotoxinas y las especies *Dinophysis acuminata* y *Dinophysis rotundata* fueron identificadas como posibles especies productoras de las PTX2 (Krock et al., 2009). Luego en marzo del 2009 un muestreo de fitoplancton realizado desde el fiordo Isla Tierra del Fuego región de Magallanes hasta la localidad de Copiapó en la región de Atacama, reveló la presencia de PTX en Copiapó, aunque no se registró algún tipo de floración (Trefault et al., 2011). Entre mayo del 2009 y el 28 de abril del 2010 se realizó un muestreo de *Mesodesma donacium* (almejas) y fitoplancton en la bahía de Coquimbo y se investigaron las características toxicológicas debido a la formación de una floración de *D. acuminata*. Solo se encontró la presencia de pectenotoxinas.

Hasta donde conocemos, la única detección de toxinas diarreicas en el norte de Chile ha sido generada por *Prorocentrum lima*. En febrero del 2016 se observó una floración de esta especie en la Bahía Calderilla cerca de Bahía Inglesa, observándose células en la columna de agua, arena, rocas y superficie de diferentes macroalgas como *Codium fragile*, *Gracilaria chilensis*, *Ulva* sp. El análisis de biotoxinas reveló la presencia de ácido okadaico, dinofisistoxina (DTX1) pero la ausencia de DTX2. La concentración de estas

toxinas fue de 3,53 pg/célula y 0,012 pg/célula de OA y DTX1 respectivamente. También se detectó la presencia de esteroides C8 y C10. Aunque aparentemente no se detectó la acumulación de toxinas diarreicas en los mariscos en el área donde se desarrolló la floración, esta especie constituye un riesgo potencial para la salud humana (Uribe et al., 2018). Finalmente, en la Isla de Pascua se realizó la identificación de *Prorocentrum rathymum* y *Prorocentrum cf. consutum* y en ambas cepas se detectó la presencia de AO y DTX2 (Álvarez et al., 2021).

Toxinas amnésicas en el norte de Chile

Los registros más antiguos de presencia de toxinas amnésicas fueron asociadas a especies del género *Pseudo-nitzschia*. En muestreos realizados en la zona entre los años 2003 – 2006 se aislaron cepas de *Pseudo-nitzschia* desde la bahía de la Herradura, Bahía Inglesa y Bahía Tongoy. La identificación de las especies reveló la presencia de *P. australis*, *P. calliantha* y *P. subfraudulenta*. Al realizar los análisis toxicológicos de las cepas se observó la presencia de ácido domoico lo cual varió entre cepas ya que en algunas no se detectó la presencia de la toxina. Además, la única especie que consistentemente no mostró la presencia de la toxina fue *P. subfraudulenta* en dos cepas analizadas (Álvarez et al., 2009). Posteriormente, en un muestreo realizado en bahía Inglesa entre octubre y noviembre del 2004 de *Pyura chilensis* (piure), luego de una floración de *Pseudo-nitzschia*, reveló la presencia de ácido domoico. La distribución de la toxina fue heterogénea con 8,7-15,5 µg DA/g en tejido comestible, 14,9-17,9 µg DA/g en materia fecal y 13,6-32,7 µg DA/g en el contenido de las vísceras. Este trabajo mostró que los piures también pueden acumular toxinas en consecuencia se propuso incluir esta especie en programas de vigilancia sanitaria. Adicionalmente, se detectó la presencia de toxinas en los mitílidos *Mytilus chilensis*, *Aulacomya ater* y *Protothaca thaca* con 6,4, 5,4, y 4,7 µg DA/g, respectivamente (López-Rivera et al., 2009). En julio del 2017 ocurrió una floración de *Pseudo-nitzschia* en la bahía de Tongoy y se detectó la presencia de ácido domoico en *Argopecten purpuratus*. El estudio taxonómico más reciente, utilizando cepas de *Pseudo-nitzschia* obtenidas desde la localidad de Tongoy para su posterior identificación formal, reveló la presencia de *P. australis* y *P. bucculenta* detectándose la producción de AD solamente en la primera especie (von Dassow et al., 2024)

Yesotoxinas, azaspirácidos y gimnodimina en el norte de Chile

En el verano del 2007 ocurrió una floración de *Protoceratium reticulatum* en la bahía de Mejillones y la evaluación toxicológica de fitoplancton colectadas con red reveló la presencia de YTX en concentraciones entre 0,2-0,4 pg/célula (Álvarez et al., 2011). Ese mismo año en febrero en la bahía de Chipana (120 Km al sur de Iquique) región de Tarapacá se realizó un muestreo intensivo de fitoplancton. Esta área de estudio pertenece al sistema de surgencia de la corriente de Humboldt y es considerada muy productiva especialmente para la pesca de tipo artesanal. El muestreo reveló el dominio de *P. reticulatum* con un 60-80% del total de la abundancia fitoplanctónica en un rango de 55.000 a 384.000 células/L, aunque no se realizaron análisis toxicológicos para evaluar la presencia de toxinas (Rossi & Fiorillo et al., 2010). Luego, en el verano del 2007 y el 2008 se tomaron una serie de muestras de fitoplancton en la bahía de Arica y el análisis toxicológico mostró la presencia de yesotoxinas (Krock et al., 2009). Sin embargo, potenciales

especies en fase vegetativa que podrían haber producido las YTX como *Protoceratium reticulatum*, *Lingulodinium polyedrum* y *Gonyaulax spinifera*, no fueron encontradas (Krock et al., 2009), y solamente se detectaron quistes cuya morfología indicaba ser de *P. reticulatum*. Posteriormente, el 2009 fue detectada en la bahía Mejillones una floración de una especie del género *Gonyaulax*, junto con la presencia de yesotoxinas. Posteriormente, la identificación formal de una cepa aislada reveló la presencia de *G. taylorii*, yesotoxinas (YTX) y homoyesotoxina (Homo-YTX) (Álvarez et al., 2016).

El 2019 se produjo uno de los más severos eventos de floración asociados a la presencia de YTX y mortalidad de invertebrados marinos a lo largo de casi 1000 Km de costa. El 24 de enero en Pabellón de Pica, Región de Tarapacá se observó la mortalidad de invertebrado que incluyeron *Stichaster striatus*, *Loxechinus albus*, *Ameghinomya antiqua*, estrella de mar, erizo y almeja respectivamente. El análisis toxicológico reveló la presencia de YTX en un rango de 0,1-0,4 mg YTX/kg. Dos semanas después el 10 – 11 de febrero, en bahía Inglesa en la región de Atacama ocurrió una mortalidad de *Dosidicus gigas* (Calamar). El análisis toxicológico de los individuos reveló la presencia de YTX en una concentración de 0,42 mg YTX/Kg. Para el fin de marzo una nueva mortalidad de calamares fue detectada en la bahía Puerto Aldea de la bahía de Coquimbo el análisis de individuos reveló la presencia de YTX en una concentración de 0,12 mg YTX/Kg (Álvarez et al 2020a). Interesantemente, en el verano austral del 2016 se en la localidad de Bahía Carderilla se aisló una cepa del género *Coolia* que fue identificada como *Coolia malayensis* y fue detectada en muestras de macroalgas. Se ha descrito que esta especie puede producir yesotoxinas, sin embargo, la cepa aislada en el norte de Chile no mostró la producción de ningún tipo de toxina (Uribe et al., 2023).

Respecto a la detección de azaspirácidos, la primera detección en el norte de Chile ocurrió a fines de la primavera en el 2005. En noviembre 2005 y marzo del 2006 se realizó una evaluación de biotoxinas en *Argopecten purpuratus* y *Mytilus chilensis* aislados en la localidad de Bahía Inglesa. Los resultados mostraron por primera vez en Chile la contaminación de mariscos con azaspirácidos bajo el límite regulatorio (López-Rivera et al., 2010). Similarmente, en un muestreo de *Mesodesma donacium* y *Mulinia edulis* realizado en la Bahía de Coquimbo entre marzo y septiembre del 2008 se encontró la presencia de azaspirácidos (AZA-1, y 13-desmethyl C espirolido). En todos los casos las concentraciones estuvieron bajo el límite de detección (Álvares et al., 2010).

Finalmente, en marzo del 2009 un muestreo de fitoplancton realizado desde el fiordo isla tierra del fuego región de Magallanes hasta la región de Atacama, reveló en Copiapó la presencia de gimnodimina, aunque no se registró algún tipo de floración (Trefault et al., 2011).

El resumen de las algas nocivas presentes en el norte identificadas en la revisión bibliográfica se muestra en la Tabla 21.

Tabla 21. Resumen especies formadoras de floraciones algales nocivas con y sin presencia de toxinas detectadas en el norte de Chile.

Especie	Producción toxina	Efectos nocivos	Referencia
<i>Akashiwo sanguinea</i>	no	producción mucilagos, afecta proceso desalinización	Rodríguez 1987
<i>Mesodinium rubrum</i>	no	decoloración agua, cambios características organolépticas ostiones	Rodríguez 1987, Uribe et al., 2010
<i>Prorocentrum micans</i>	no	producción mucilagos, afecta proceso desalinización. una alta biomasa puede generar mortalidad de peces, disminución de oxígeno, generar cambios de acides del agua, atenúa la penetración de la luz, y la producción de sulfuro de dimetilo que puede generar irritación de ojos y piel incluso afectar el sistema nervioso central.	Díaz et al., 2025 Rodríguez 1988
<i>Guinardia striata</i>	no	decoloración agua, cambios características organolépticas ostiones.	Jacob et al., 2024,
<i>Rhizosolenia imbricata</i>	no	decoloración agua, cambios características organolépticas ostiones	Jacob et al., 2024
<i>Ceratium tripos</i>	no	Generación de alta biomasa	Rodríguez 1985
<i>Ceratium furca</i>	no	Generación de alta biomasa	Rodríguez 1985
<i>Prorocentrum gracile</i>	no	producción mucilagos, potencialmente puede afectar proceso desalinización	Rodríguez 1985).
<i>Gymnodinium sp</i>	no	Generación de alta biomasa	Rodríguez 1985).
<i>Noctiluca scintillans</i>		Generación de alta biomasa	Rodríguez 1985).
<i>Gonyaulax catenella</i> actualmente conocida como <i>Alexandrium catenella</i>	si	toxinas paralizantes. Aunque en ese registro no se evaluó la presencia de toxinas.	Rodríguez 1989
<i>Alexandrium</i> spp.	si	toxinas paralizantes	Álvarez et al., 2009
<i>Alexandrium ostenfeldi</i>		STX y gimnodimina	Este estudio
<i>Dinophysis acuminata</i>	si	PTX	Blanco 2007
<i>Dinophysis rotundata</i>	si	PTX	Krock et al., 2009
<i>Prorocentrum lima</i>	si	AO, DTX1	Uribe et al., 2018
<i>Prorocentrum rhathymum</i>	si	AO – detección en Isla Pascua	Álvarez et al., 2021
<i>Prorocentrum cf. consutum</i>	si	AO - detección en Isla Pascua	Álvarez et al., 2021
<i>Protoceratium reticulatum</i>		YTX	Álvarez et al., 2011
<i>Gonyaulax taylorii</i>	si	YTX	Álvarez et al., 2016
<i>Coolia malayensis</i>	***	Es una especie que potencialmente puede producir YTX. La cepa aislada no mostró YTX.	Uribe et al., 2023
<i>Azadinium poporum</i>	si	AZA	Tillman et al 2018
<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i>	***	sin dato	Rodríguez 1990
<i>Pseudo-nitzschia australis</i>	si	toxinas amnésicas	Álvarez et al., 2009
<i>Pseudo-nitzschia calliantha</i>	si	toxinas amnésicas	Álvarez et al., 2009
<i>Pseudo-nitzschia subfraudulenta</i>	no	sin toxina	Álvarez et al., 2009
<i>Pseudo-nitzschia bucculenta</i>	no	sin toxina	von Dassow et al., 2024

6.2.3 Síntesis y generación de información respecto a microalgas que potencialmente puedan causar eventos nocivos en la zona norte en el tiempo que se desarrolló este proyecto.

En este estudio se identificaron especies nocivas productoras de toxinas y otras que por su gran biomasa en la formación de floraciones pueden provocar distintos efectos en actividades productivas, procesos de desalinización, acuicultura, etc. A continuación, se presenta un resumen de las especies nocivas detectadas.

Microalgas asociadas a toxinas paralizantes

En este estudio se han identificado la presencia de al menos 2 especies del género *Alexandrium* por medio de microscopía óptica. Una de ellas es *A. ostenfeldii* que se identifica por medio de por sus distintivas características morfológicas como la presencia de un gran poro en la placa 1' (Figura 11). No obstante, existe otro morfotipo que apareció regularmente en las muestras que tiene algunas características morfológicas similares a *A. tamarense* y *A. catenella*. Este morfotipo, que se ha identificado sólo por medio de microscopía óptica, y lo hemos clasificado como *Alexandrium* cf. *catenella* (Figura 8), debido a que se necesitan más estudios para tener una mejor asignación taxonómica. El término “confer” indica que los caracteres diagnósticos utilizados para para identificar un taxon se aproximan a la especie, pero se han encontrado algunas diferencias, o no se ha podido realizar un estudio más exhaustivo que permita tener mayor certeza de la asignación taxonómica.

Tanto *A. cf. catenella* como *A. ostenfeldii* son importantes especies que pueden estar asociadas a la producción de toxinas paralizantes. Respecto a *A. ostenfeldii* se logró aislar una cepa desde la costa de Coquimbo, con lo cual se verificó que es una especie que puede producir toxina paralizante STX, además de gimnodimina. Este hecho es relevante debido a que en la costa de Chile se detecta constantemente la presencia de gimnodimina, pero no había sido identificada una especie productora de esta toxina. Respecto a *A. cf. catenella* fue una especie que se identificó solo por microscopía óptica y no se pudo aislar alguna cepa. Este es un trabajo pendiente para poder conocer cuál sería el real aporte de esta especie en la generación de toxinas paralizantes. *A. ostenfeldii* mostró una mayor AR en comparación con *A. cf. catenella*, además de estar presente en todas las localidades.

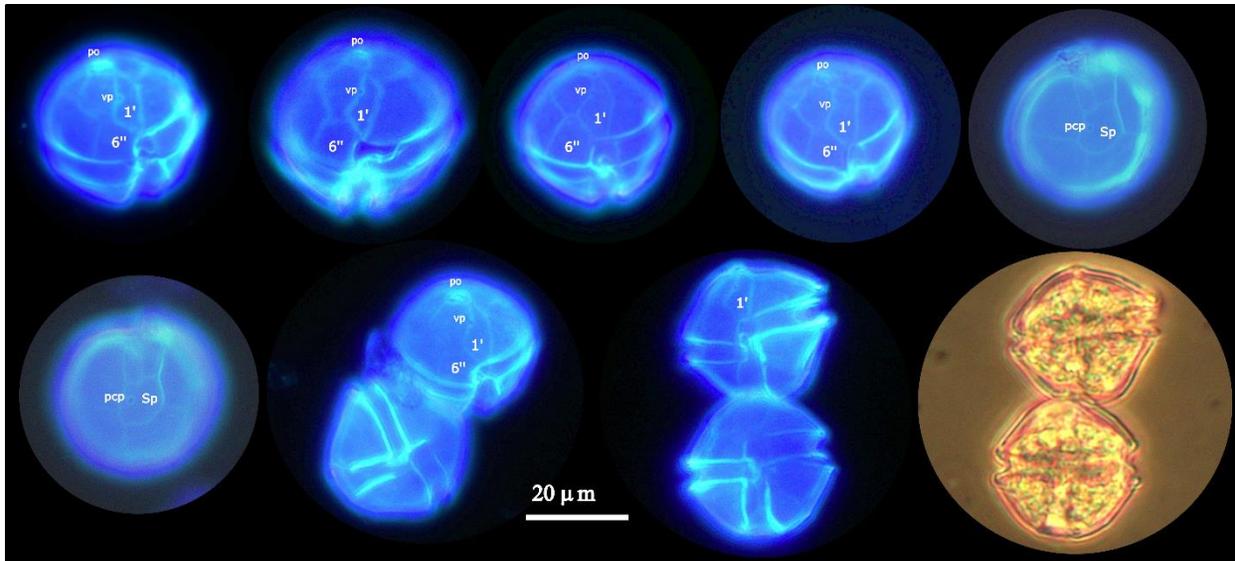


Figura 8. Morfotipo de *Alexandrium cf. catenella* registrado en el norte de Chile. vp= Poro ventral; Sp= Placa sulcal posterior; 1'= placa uno prima; 6''=placa seis prima; pcp= poro conexión posterior. La presencia de poro puede ser un carácter plástico como se ha observado en otras localidades de Chile (e.g. Paredes-Mella 2021). Células teñidas con calcofluor con excepción de la imagen en la circunferencia. Barra de la escala = 20 μm .

Microalgas asociadas a toxinas diarreicas y amnésicas

Dinophysis acuminata fue la principal especie que se detectó en este estudio y explica la presencia de PTX tanto en mariscos como en el fitoplancton. Además, se detectó en una muestra a *D. caudata* y en 6 muestras a *Dinophysis* spp. La presencia de especies que participan en la producción de toxinas diarreicas como *D. acuta* no fue registrada. Aunque *D. caudata* potencialmente puede producir toxinas diarreicas, en Chile no existe antecedente para esta especie.

Respecto a la producción de ácido domoico se detectaron la presencia de los grupos *Pseudo-nitzschia delicatissima* y *Pseudo-nitzschia seriata* como especies que pueden explicar la presencia de esta toxina tanto en mariscos y fitoplancton. En la mayoría de las muestras ambas especies estuvieron presentes por lo que se le atribuye la generación de toxinas a ambos grupos.

Microalgas asociadas a: azaspirácidos y yesotoxinas

No se detectó la presencia de azaspirácidos. No obstante, especies de este género que potencialmente pueden participar en la generación de estas toxinas fueron detectadas en dos muestras obtenidas en Arica en diciembre del 2023, con abundancias de 100 y 1100 células/L, respectivamente.

Respecto a las yesotoxinas se detectó la presencia de *Protoceratium reticulatum* como la especie que puede explicar la presencia de toxinas en mariscos y fitoplancton. No obstante, la detección de esta especie fue esporádica y solo fue detectada en el análisis de AR. Consistentemente, la concentración de toxina encontrada en mariscos y fitoplancton fue baja. Otras especies que potencialmente pueden participar en la producción de YTX fueron *Gonyaulax spinifera* encontrada en 6 muestreos con abundancias en un rango de 100 – 600 células/L; *Gonyaulax* spp. identificada en 18 muestras con abundancia entre 100 y 1500 células/L. No obstante, en el análisis cuantitativo no se detectó la presencia de *Lingulodinium polyedrum* y *Coolia malayensis* que son otras especies que en Chile se han asociado a la producción de YTX.

Microalgas asociadas a: pinatoxinas, tetrodotoxinas y brevetoxinas

En el análisis cuantitativo no se registraron especies que podrían estar implicadas en la producción de pinatoxinas y brevetoxinas como *Vulcanodinium rugosum* y *Karenia brevis*, respectivamente. Consistente con ello tampoco fueron registradas estas toxinas en muestras de mariscos o fitoplancton. No obstante, se detectó la presencia de *Prorocentrum cf. minimum*, especie que potencialmente puede estar asociada a la producción de tetrodotoxinas. Aunque la presencia de esta toxina no fue registrada tanto en los muestreos de mariscos como de fitoplancton.

Microalgas que pueden alcanzar alta biomasa, pero no generan toxinas

Las diatomeas fueron las especies que más aportaron a la abundancia total de la muestra en el análisis cualitativo entre ellas estuvieron: *Asterionellopsis glacialis*, *Cerataulina pelágica*, *Chaetoceros debilis*, *Chaetoceros radicans*, *Chaetoceros* spp, *Dactylosolen fragilissims*, *Eucampia zodiacus*, *Grupo Pseudo-nitzschia seriata*, *Guinardia delicatula*, *Guinardia striata*, *Leptocylindrus danicus*, *Leptocylindrus* sp., *Rhizosolenia imbricata*, *Rhizosolenia pungens*, *Rhizosolenia styliformis*, *Skeletonema* spp., *Thalassiosira subtilis*, *Thalassiosira delicatula* (Tabla 22). Estas son importantes especies ya que pueden alcanzar altas biomásas generando problemas como baja de oxígeno cuando decaen las floraciones, espumas, decoloración del agua, potencialmente obstruir tomas de agua en procesos de desalinización. Particularmente *Rhizosolenia imbricata* y *Guinardia striata* han sido identificadas como causantes de cambios en las características organolépticas de ostiones. En tanto que los generos *Leptocylindrus* y *Chaetoceros* han estado asociado a mortalidad o afecciones mecánicas en peces (Tabla 22).

Dentro de los flagelados destacaron *Scropsiella* sp., *Helicostomella* sp, *Gonyaulax* spp, *Protoperidinium* spp., *Diplopelta* spp., *Preperidinium meunieri*. El género *Scropsiella* ha estado asociado a floraciones con la

consecuente decoraci3n del agua y bajas de ox3geno cuando la floraci3n decae. El g3nero *Gonyaulax* es relevante debido a que algunas de las especies pueden producir YTX. Finalmente, *Phaeocystis sp.* puede generar da1os en los procesos de desalinizaci3n al obstruir tomas de agua y sistema de filtrado (Tabla 22). Interesantemente, otras importantes especies que afectan este proceso son *P. micans* y *A. sanguinea* aunque no fueron detectadas en muestras cuantitativas y en las cualitativas su presencia fue muy espor3dica. Posiblemente se necesitan muestreos temporalmente m3s extensos para conocer el real aporte de estas especies en la comunidad fitoplanct3nica.

Tabla 22. Especies dominante en la muestra cualitativa.

Localidad	Mes	1 ^{ra} quincena	2 ^{da} quincena
Arica	Dic	<i>Chaetoceros</i> spp. <i>Coscinodiscus</i> spp.	<i>Guinardia delicatula</i> (80%)
Iquique	Dic	<i>Thalassiosira delicatula</i>	<i>Chaetoceros</i> spp.
Mejillones	Dic	***	<i>Chaetoceros teres</i>
El Morro	Dic	***	<i>Detonula pumila</i> (80%)
Barranquilla	Dic	***	<i>Rhizosolenia imbricata</i>
Pta Choros	Dic	***	<i>Rhizosolenia imbricata</i> (80%)
B. Coquimbo	Dic	<i>Rhizosolenia imbricata</i> ; <i>Chaetoceros</i> spp.	<i>Rhizosolenia imbricata</i> ; <i>Chaetoceros</i> spp. (<i>C. radicans</i>)
Guanaqueros	Dic	<i>Chaetoceros</i> spp.	<i>Chaetoceros radicans</i>
Tongoy	Dic	<i>Chaetoceros</i> spp.	<i>Chaetoceros</i> spp.
Arica	Ene	***	<i>Leptocylindrus danicus</i> ; Grupo <i>Pseudo-nitzschia seriata</i> ***
Iquique	Ene	<i>Chaetoceros</i> spp.	***
Mejillones	Ene	***	<i>Chaetoceros debilis</i> (80%) ***
El Morro	Ene	<i>Guinardia striata</i> (80%); <i>Cerataulina pelagica</i>	***
Barranquilla	Ene	<i>Guinardia striata</i> (80%)	<i>Guinardia striata</i> ; <i>Diplopelta</i> spp. ; <i>Preperidinium meunieri</i>
Pta Choros	Ene	<i>Rhizosolenia styliformis</i> ; <i>Rhizosolenia imbricata</i>	<i>Chaetoceros debilis</i> ; <i>Asterionellopsis glacialis</i> (80%)
B. Coquimbo	Ene	<i>Protoperidinium</i> spp.	<i>Guinardia striata</i> (80%)
Guanaqueros	Ene	<i>Helicostomella</i> sp. (tintínidos) (80%)	<i>Guinardia striata</i> (80%)
Tongoy	Ene	<i>Dactylosolen fragilissims</i>	<i>Guinardia striata</i> (80%)
Arica	Feb	<i>Rhizosolenia pungens</i> , <i>Lepcylindrus danicus</i>	<i>Rhizosolenia</i> sp. (<i>R. pungens</i>)
Iquique	Feb	<i>Thalassiosira</i> spp. (<i>T. delicatula</i>) (80%)	<i>Asterionellopsis glacialis</i> (80%)
Mejillones	Feb	<i>R. pungens</i> , <i>Chaetoceros</i> spp.	<i>A. glacialis</i> , <i>Eucampia zodiacus</i>
El Morro	Feb	<i>Rhizosolenia imbricata</i>	<i>Rhizosolenia imbricata</i>
Barranquilla	Feb	***	<i>Guinardia striata</i>
Pta Choros	Feb	<i>Guinardia striata</i> (80%)	<i>Guinardia striata</i> (80%)
B. Coquimbo	Feb	<i>Guinardia striata</i> (80%)	***
Guanaqueros	Feb	<i>Guinardia striata</i> (80%)	<i>Scripsiella</i> sp.
Tongoy	Feb	<i>Guinardia striata</i> (80%)	***

***: Sin especie dominante en la muestra,

En algunos casos entre parentesis esta % de presencia de la especie en la muestra

Tabla 22 Continuación

Localidad	Mes	1 ^{ra} quincena	2 ^{da} quincena
Arica	Mar	<i>Chaetoceros</i> spp.; <i>Skeletonema</i> spp.	<i>Leptocylindrus</i> sp.
Iquique	Mar	<i>Chaetoceros</i> spp.	<i>Rhizosolenia styliformis</i>
Mejillones	Mar	<i>Chaetoceros</i> spp.	<i>Rhizosolenia styliformis</i>
El Morro	Mar	<i>Rhizosolenia imbricata</i>	<i>Gonyaulax</i> spp, <i>Leptocylindrus</i> sp., Grupo <i>Pseudonitzschia seriata</i>
Barranquilla	Mar	***	<i>Rhizosolenia imbricata</i> (20%)
Pta Choros	Mar	***	<i>Guinardia striata</i> (80%)
B. Coquimbo	Mar	<i>Cerataulina pelagica</i> (80%), <i>Guinardia striata</i>	<i>Leptocylindrus</i> sp., <i>Pseudo-nitzschia</i> spp.
Guanaqueros	Mar	<i>Chaetoceros</i> spp	<i>Detonula pumila</i> (70%)
Tongoy	Mar	***	<i>Detonula pumila</i>
Arica	Abr	<i>Leptocylindrus danicus</i> ; <i>Detonula pumila</i>	***
Iquique	Abr	<i>Thalassiosira subtilis</i> ; <i>Rhizosolenia styliformis</i>	<i>D. pumila</i>
Mejillones	Abr	<i>R. styliformis</i>	<i>R. styliformis</i>
El Morro	Abr	***	<i>D. pumila</i>
Barranquilla	Abr	<i>Phaeocystis</i> sp.	***
Pta Choros	Abr	***	***
B. Coquimbo	Abr	<i>D. pumila</i>	<i>D. pumila</i>
Guanaqueros	Abr	<i>D. pumila</i> ; <i>Chaetoceros</i> spp.	<i>D. pumila</i> ; <i>L. danicus</i>
Tongoy	Abr	<i>D. pumila</i> ; <i>Chaetoceros</i> spp.	<i>D. pumila</i> ; <i>L. danicus</i>
Arica	May	<i>Chaetoceros</i> spp. (<i>Ch. lorenzianus</i>), <i>Ch. eibenii</i> , <i>Ch. atlanticus</i>	***
Iquique	May	<i>Thalassiosira subtilis</i> (80%), <i>Cerataulina pelagica</i> , <i>Detonula pumila</i>	<i>T. subtilis</i> (80%)
Mejillones	May	<i>Rhizosolenia styliformis</i> s (50%), <i>D. pumila</i> (50%)	<i>Phaeocystis</i> sp.
El Morro	May	<i>Chaetoceros</i> spp.; <i>D. pumila</i> , <i>D. fragilissimus</i>	<i>D. pumila</i> (80%)
Barranquilla	May	***	<i>D. pumila</i> (80%)
Pta Choros	May	***	<i>Chaetoceros</i> spp.
B. Coquimbo	May	<i>D. pumila</i> ; <i>Chaetoceros</i> spp.	<i>Chaetoceros</i> spp., <i>Th. cf. aestivalis</i>
Guanaqueros	May	<i>D. pumila</i> ; <i>Chaetoceros</i> spp.	<i>Chaetoceros</i> spp.
Tongoy	May	<i>D. pumila</i> ; <i>Chaetoceros</i> spp.	<i>Chaetoceros</i> spp.
Arica	Jun	***	***
Iquique	Jun	<i>T. subtilis</i> (80%)	<i>T. subtilis</i> (80%) (atecados morfología Euglena+dos flagelos)
Mejillones	Jun	<i>D. pumila</i> (80%)	<i>C. pelagica</i> (80%)
El Morro	Jun	<i>D. pumila</i> (80%)	<i>D. pumila</i> (50%)
Barranquilla	Jun	***	***
Pta Choros	Jun	***	***
B. Coquimbo	Jun	<i>G. P. seriata</i> (95%)	<i>A. glacialis</i> (70%); <i>Skeletonema</i> spp. (30%)
Guanaqueros	Jun	***	***
Tongoy	Jun	***	***

***: Sin especie dominante en la muestra,

En algunos casos entre parentesis esta % de presencia de la especie en la muestra

6.2.4 Muestreo quincenal de fitoplancton en 9 localidades entre las regiones de Arica y Parinacota a Coquimbo. Biotoxinas, identificaci3n y cuantificaci3n.

En la Tabla 23 se muestra el total de muestras de agua obtenida en los monitoreos quincenales. Estas muestras fueron utilizadas tanto para el an3lisis de especies fitoplanct3nicas presentes en el agua, as3 como, para la evaluaci3n de toxinas,

Tabla 23. Total de muestras de columna de agua obtenidas para an3lisis de toxina y especies fitoplanct3nicas.

LUGAR	DICIEMBRE		ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
ARICA														
IQUIQUE														
MEJILLONES														
LOS MORROS/ CALDERA														
BARRANQUILLA														
PUNTA DE CHORO														
B. COQUIMBO														
GUANAQUEROS														
TONGOY														

TOXINAS EN MUESTRAS DE FITOPLANCTON

Se presentan los resultados de la detección de toxinas en las muestras de fitoplancton (Tablas 24 - 28). Al igual que en el caso de las muestras de mariscos, las tablas incluyen solamente resultados que detectaron alguna toxina en la muestra. Es importante mencionar que el análisis de las Brevetoxinas (análisis implementado en este proyecto) no reveló la presencia de muestras positivas.

TPM: En la región de Arica y Parinacota (Tabla 24) se detectó SXT en la segunda quincena de abril de 2024, la que a diferencia de la mayoría de las muestras fue obtenida con la metodología de filtración de agua. En la región de Atacama (Tabla 27), se detecta la presencia de SXT en Barranquilla en enero de 2024 (quincenas 1 y 2), febrero a mayo de 2024 (quincena 1 en cada uno) y segunda quincena de junio de 2024. En la región de Coquimbo se detectó SXT en Bahía de Coquimbo en enero de 2024 (quincena 1), en febrero (quincena 1), marzo (quincena 2), abril (quincena 2), mayo (quincenas 1 y 2) y junio (quincena 2). En Guanaqueros se detectó en febrero de 2024 (quincenas 1 y 2), marzo (quincena 1), abril (quincenas 1 y 2), mayo (quincenas 1 y 2) y Junio (quincena 1). En Punta de Choros se detectó en las quincenas 1 y 2 de febrero y marzo de 2024 y en la quincena 1 de mayo. En Tongoy las muestras positivas a SXT fueron de febrero de 2024 (quincenas 1 y 2), marzo (quincena 1), abril (quincena 2), mayo (quincenas 1 y 2) y mayo (quincena 2) (Tabla 28). Es interesante que el único análogo de toxinas paralizantes detectado en todas las muestras positivas fue SXT.

TAM: En la región de Arica y Parinacota (Tabla 24) DA solo fue detectado en la segunda quincena de abril de 2024 en muestra de filtro (0,54 µg/L). En la región de Atacama (Tabla 27) se detectó DA en Bahía Loreto en la primera quincena de diciembre de 2023. En la segunda quincena de diciembre se detectó en El Morro. Finalmente, en Barranquilla se detectó la primera quincena de enero de 2024. Los valores detectados variaron desde 19 a 144 ng/red de arrastre. En la región de Coquimbo (Tabla 28) en la Bahía de Coquimbo se detectó en diciembre de 2023, mayo y junio de 2024 (quincenas 1 y 2). En Guanaqueros fue detectado en la primera quincena de diciembre de 2023 y de mayo de 2024. En Punta de Choros se detectó en la primera quincena de diciembre de 2023 y en la segunda quincena de mayo de 2024. En Tongoy DA fue detectado en diciembre de 2023 (quincena 2) y en mayo de 2024 (quincena 1). Los valores detectados variaron desde 25 a 322 ng/red de arrastre (Tabla 28).

PTX2: En la región de Arica y Parinacota (Tabla 24), PTX2 fue detectado en la segunda quincena de diciembre de 2023 (5,3 ng/red de arrastre). En la región de Tarapacá (Tabla 25), se detectó PTX2 en diciembre de 2023 (quincenas 1 y 2, con niveles de 3.6 y 7 ng/red de arrastre respectivamente) y en una muestra de filtro de la segunda quincena de abril de 2024 (0,21 µg/L). En la región de Antofagasta (Tabla 26) se detectó PTX2 en la primera quincena de febrero de 2024 (<LC), primera quincena de marzo de 2024 (2,9 ng/malla de arrastre), primera quincena de abril de 2024 (1,6 ng/malla de arrastre) y en una muestra de filtro de la segunda quincena de mayo de 2024 (0,05 µl/L). En la región de Atacama (Tabla 27) en Barranquilla PTX2 se detectó en enero de 2024 (semana 1 y 2), febrero de 2024 (quincena 2), y marzo de 2024 (quincena 2). En el Morro se detectó en diciembre de 2023 (quincena 2), enero de 2024 (quincena 2),

febrero de 2024 (quincena 1), marzo de 2024 (quincena 2), mayo 2024 (quincena 1) y junio de 2024 (quincena 1). Los niveles detectados variaron entre 3,2 y 26,9 ng/red de arrastre. En la región de Coquimbo (Tabla 28) hubo resultados positivos a PTX 2 en la Bahía de Coquimbo en marzo (quincena 2), abril (quincenas 1 y 2) y Junio (quincena 2). En Guanaqueros en marzo (quincena 1 y 2) y en abril (quincenas 1 y 2). En Punta de Choros en febrero (quincena 2) y en marzo (quincenas 1 y 2). En Tongoy en febrero, marzo y abril de 2024 (quincenas 1 y 2). Los niveles detectados variaron entre <LC a 44,5 ng/red de arrastre.

YTXs: De los 4 análogos de YTXs buscados, solo fue posible detectar YTX en muestras de filtros en Iquique, quincena 2 de marzo de 2024 (Tabla 25) y en Mejillones, quincena 1 de diciembre de 2023 (Tabla 26). Los niveles detectados fueron 0,1 y 0,9 µg/L, respectivamente.

Gym: Se detectó en Arica (Tabla 24) en la primera quincena de abril. En Tarapacá (Tabla 25) en la primera semana de junio. En Barranquilla, región de Atacama (Tabla 25), se detectó Gym en enero (quincena 1 y 2) y en abril (primera quincena). En la región de Coquimbo (Tabla 28) se detectó en B. de Coquimbo en enero (quincena 2), marzo (quincena 1), abril (quincena 2) y mayo (quincenas 1 y 2). Todas las detecciones de Gym fueron con niveles <LC.

Tabla 24. Resultados de toxinas en fitoplancton Arica y Parinacota (CREAN). Solo se muestran resultados donde al menos se detectó una toxina.

FECHA MUESTRO	sector	PTX2	YTX	45-OH- HOMO- 45-OH-			DA	Gym	SXT
				YTX	YTX	HOMO-YTX			
				ng/red arrastre			pmol/red arrastre		
28-12-2023	ARICA	5,3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
09-04-2024	ARICA	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<LC	ND
23-04-2024	ARICA	ND	ND	ND	ND	ND	0,54	ND	400
10-06-2024	ARICA	ND	ND	ND	ND	ND	µg/L	ND	34

Tabla 25. Resultados de toxinas en fitoplancton Tarapacá (CREAN). Solo se muestran resultados donde al menos se detectó una toxina.

FECHA MUESTRO	sector	PTX2	YTX	45-OH-	HOMO-	45-OH-	DA	Gym	SXT
				YTX	YTX	HOMO-YTX			
12-12-2023	IQUIQUE	3,6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
27-12-2023	IQUIQUE	7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
27-03-2024	IQUIQUE f	ND	0,1 μg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
20-04-2024	IQUIQUE f	0,21 μg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
12-06-2024	IQUIQUE	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<LC	ND

Tabla 26. Resultados de toxinas en fitoplancton Antofagasta (CREAN). Solo se muestran resultados donde al menos se detectó una toxina.

FECHA MUESTRO	sector	PTX2	YTX	45-OH-	HOMO-	45-OH-	DA	Gym	SXT
				YTX	YTX	HOMO-YTX			
12-12-2023	MEJILLONES f	ND	0,9 μg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
12-02-2024	MEJILLONES	<LC	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
11-03-2024	MEJILLONES	2,9	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
14-04-2024	MEJILLONES	1,6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
15-04-2024	MEJILLONES f	0,05 μg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Tabla 27. Resultados de toxinas en fitoplancton Atacama (CREAN). Solo se muestran resultados donde al menos se detectó una toxina.

FECHA MUESTRO	sector	PTX2	YTX	45-OH- HOMO-	45-OH-	DA	Gym	SXT	
				YTX	YTX				HOMO-YTX
06-12-2023	BAHÍA LORETO	ND	ND	ND	ND	ND	144	ND	ND
21-12-2023	EL MORRO	3,8	ND	ND	ND	ND	19,5	ND	ND
03-01-2024	BARRANQUILLA	3,4	ND	ND	ND	ND	31,0	<LC	124
23-01-2024	BARRANQUILLA	23,9	ND	ND	ND	ND	ND	<LC	24
24-01-2024	EL MORRO	13	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
13-02-2024	BARRANQUILLA	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	31,6
13-02-2024	EL MORRO	26,9	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
27-02-2024	BARRANQUILLA	3,2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
12-03-2024	BARRANQUILLA	3,2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	19,1
26-03-2024	BARRANQUILLA	9,1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
27-03-2024	EL MORRO	5,4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	274
09-04-2024	BARRANQUILLA	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<LC	8
07-05-2024	BARRANQUILLA	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	20
06-05-2024	EL MORRO	6,4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	199
28-05-2024	EL MORRO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	80
11-06-2024	EL MORRO	4,9	ND	ND	ND	ND	ND	ND	27
25-06-2024	BARRANQUILLA	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	14
25-06-2024	EL MORRO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	26

Tabla 28. Resultado toxina región de Coquimbo. Solo se muestran resultados donde al menos se detectó una toxina en fitoplancton Coquimbo (CREAN).

FECHA MUESTRO	sector	PTX2	YTX	45-OH-	HOMO-	45-OH-	DA	Gym	SXT
				YTX	YTX	HOMO-YTX			
04-12-2023	GUANAQUERO	ND	ND	ND	ND	ND	26	ND	ND
04-12-2023	TONGOY	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
04-12-2023	B. COQUIMBO	ND	ND	ND	ND	ND	220	ND	ND
05-12-2023	P. DE CHOROS	ND	ND	ND	ND	ND	57,4	ND	ND
19-12-2023	GUANAQUERO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
19-12-2023	TONGOY	ND	ND	ND	ND	ND	41,3	ND	ND
18-12-2023	B. COQUIMBO	ND	ND	ND	ND	ND	48,0	ND	ND
02-01-2024	B. COQUIMBO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	10,8
22-01-2024	GUANAQUERO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<LC	ND
22-01-2024	TONGOY	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<LC	ND
22-01-2024	B. COQUIMBO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<LC	ND
23-01-2024	P. DE CHOROS	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<LC	ND
12-02-2024	TONGOY	6,5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	136
13-02-2024	P. DE CHOROS	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	792
12-02-2024	B. COQUIMBO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	60
12-02-2024	GUANAQUERO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	102,8
26-02-2024	TONGOY	3	ND	ND	ND	ND	ND	<LC	79,6
27-02-2024	P. DE CHOROS	7,4	ND	ND	ND	ND	ND	<LC	87,2
26-02-2024	GUANAQUERO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<LC	220
11-03-2024	B. COQUIMBO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<LC	ND
12-03-2024	P. DE CHOROS	17,9	ND	ND	ND	ND	ND	ND	22,3
11-03-2024	TONGOY	17	ND	ND	ND	ND	ND	ND	25,7
11-03-2024	GUANAQUEROS	2,8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	21
25-03-2024	B. COQUIMBO	3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	40
26-03-2024	P. DE CHOROS	3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	20
25-03-2024	TONGOY	22,2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
25-03-2024	GUANAQUEROS	1,5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Tabla 28. Continuación.

FECHA MUESTRO	sector	PTX2	YTX	45-OH- HOMO-	45-OH-	DA	Gym	SXT
				YTX	YTX			
			ng/red de arrastre			pmol/red de arrastre		
08-04-2024	B. COQUIMBO	38,9	ND	ND	ND	ND	ND	ND
08-04-2024	TONGOY	44,5	ND	ND	ND	ND	ND	ND
08-04-2024	GUANAQUEROS	43	ND	ND	ND	ND	ND	6
25-04-2024	B. COQUIMBO	4,6	ND	ND	ND	ND	<LC	468
22-04-2024	TONGOY	12,6	ND	ND	ND	ND	ND	48
22-04-2024	GUANAQUEROS	6,4	ND	ND	ND	ND	ND	67
06-05-2024	B. COQUIMBO	ND	ND	ND	ND	ND	31	<LC
06-05-2024	TONGOY	ND	ND	ND	ND	ND	52,4	<LC
06-05-2024	GUANAQUEROS	ND	ND	ND	ND	ND	25,3	ND
26-05-2024	B. COQUIMBO	ND	ND	ND	ND	ND	39	<LC
28-05-2024	P. DE CHOROS	ND	ND	ND	ND	ND	29,5	ND
27-05-2024	TONGOY	ND	ND	ND	ND	ND	ND	52
27-05-2024	GUANAQUEROS	ND	ND	ND	ND	ND	ND	212
10-06-2024	B. COQUIMBO	ND	ND	ND	ND	ND	322	ND
10-06-2024	GUANAQUEROS	ND	ND	ND	ND	ND	ND	26
24-06-2024	B. COQUIMBO	<LC	ND	ND	ND	ND	112	ND
24-06-2024	TONGOY	ND	ND	ND	ND	ND	ND	20

- 6.2.5 Aislación de cepas en caso de eventos de floración.
- 6.2.6 Cultivo y mantenimiento de cepa(s), caracterización morfológica, toxicológica y genética.

En este estudio se observó que *Detonula pumila* y grupo *P. seriata* estuvieron en algunas muestras como especies dominantes alcanzando altas abundancias, entre otras diatomeas (ver Tabla 22). Como una forma de estudiar potenciales efectos citotóxicos de estas floraciones se realizaron bioensayos con líneas celulares branquiales utilizando muestras vivas (Figuras 9-10).

La evaluación de los efectos citotóxicos de *D. pumila* no mostro efectos sobre las líneas branquiales manteniéndose altos porcentajes de viabilidad en todos los tratamientos (100%). Esta es una especie que alcanza una alta biomasa, pero no se han descrito efectos tóxicos asociados a su presencia. Por el contrario, la abundancia más alta de *P. seriata* afecto a las líneas celulares disminuyendo su viabilidad a un 81% promedio. En este caso posiblemente la producción de toxinas DA por parte de esta especie puede haber influido en la disminución de la viabilidad (Figuras 9-10).

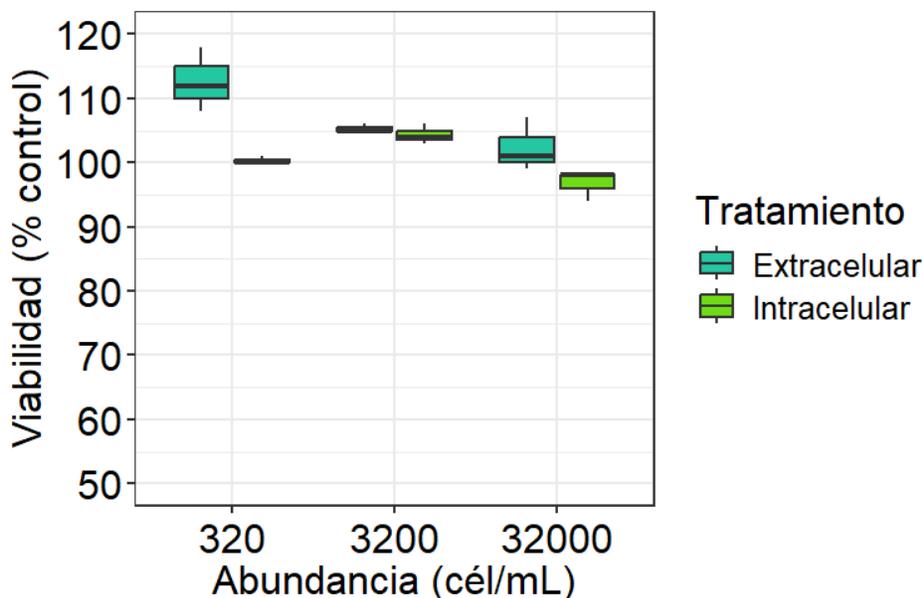


Figura 9. Efecto de distintas concentraciones y extracción de compuestos de la diatomea *Detonula pumila* sobre la viabilidad de líneas celulares.

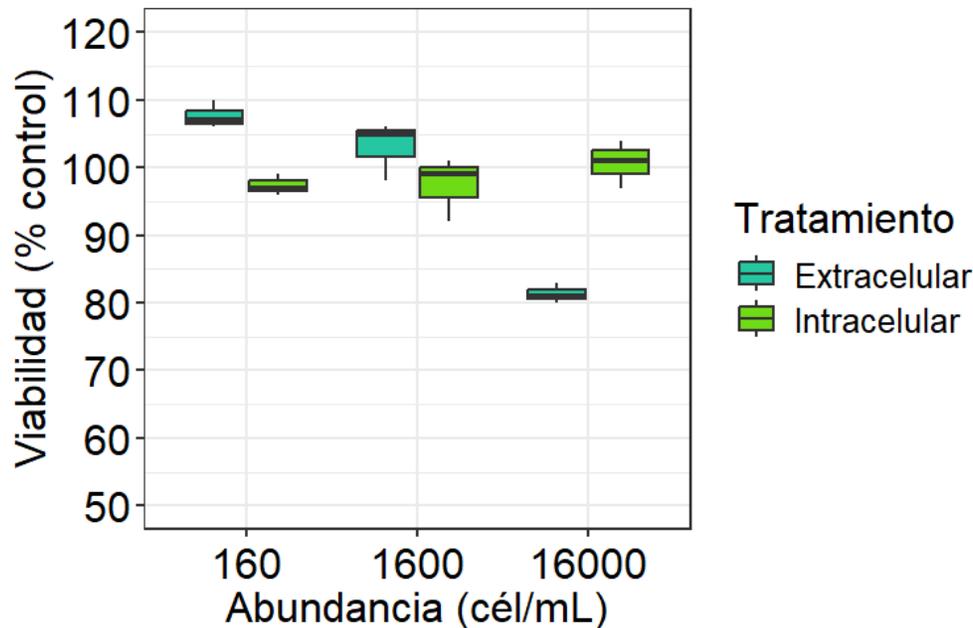


Figura 10. Efecto de distintas concentraciones y extracci3n de compuestos de la diatomea del grupo *Pseudo-nitzschia seriata* sobre la viabilidad de l3neas celulares.

AISLAMIENTO DE CEPA DE *A. OSTENFELDII* DESDE LA COSTA DE LA REGION DE COQUIMBO

En este estudio se identific3 la presencia de al menos 2 especies del g3nero *Alexandrium* por medio de microscop3a 3ptica. Una de ellas es *A. ostenfeldii* que se identifica por medio de por sus distintivas caracter3sticas morfol3gicas como la presencia de un gran poro en la placa 1' (Figura 11). No obstante, identificamos otro morfotipo que apareci3 regularmente en las muestras. Este morfotipo mostr3 algunas caracter3sticas morfol3gicas similares a *A. tamarense* y *A. catenella*. Este morfotipo, que fue identificado s3lo por medio de microscop3a 3ptica, y lo hemos clasificado como *Alexandrium* cf. *catenella* (Figura 8), debido a que se necesitan m3s estudios para tener una mejor asignaci3n taxon3mica. El t3rmino "confer (cf.)" indica que los caracteres diagn3sticos utilizados para para identificar un taxon se aproximan a la especie, pero se han encontrado algunas diferencias o no se ha podido realizar un estudio m3s exhaustivo que permita tener mayor certeza de la asignaci3n taxon3mica. A pesar de que se hicieron algunas pruebas, este morfotipo *A. cf. catenella* no fue cultivado.

No obstante, en mayo del 2024 se logr3 aislar una cepa de *Alexandrium ostenfeldii* (nombre: COQ_AO) desde la costa de la regi3n de Coquimbo. La identificaci3n de la cepa aislada se realiz3 mediante caracter3sticas morfol3gicas donde se destaca la presencia de un poro de gran tama3o en la placa 1 prima (Figura 11). Adicionalmente, se observ3 variaci3n en los tama3os y tambi3n la presencia que quistes

temporales y de resistencia (Figuras 12). Además, se realizó la caracterización genética la cual confirmó que la cepa aislada se agregó en el clado de *A. ostenfeldii* y *A. peruvianum* (actualmente conocido como *A. ostenfeldii*) (Figura 13). Además, se realizó la caracterización toxicológica de la cepa revelándose la presencia de STX y gimnodimina (Figura 14). La detección de estas toxinas es concordante con la presencia de STX y GYM en las muestras de fitoplancton tomadas desde la columna de agua y aquellas encontradas en mariscos. La detección de gimnodimina en una cepa de *A. ostenfeldii* contribuye sustantivamente al conocimiento de las especies productoras de toxinas en Chile. Si bien estudios anteriores habían identificado la presencia de gimnodimina en la costa chilena, hasta el momento no se conocía cual especie podría estar involucrada en la producción.

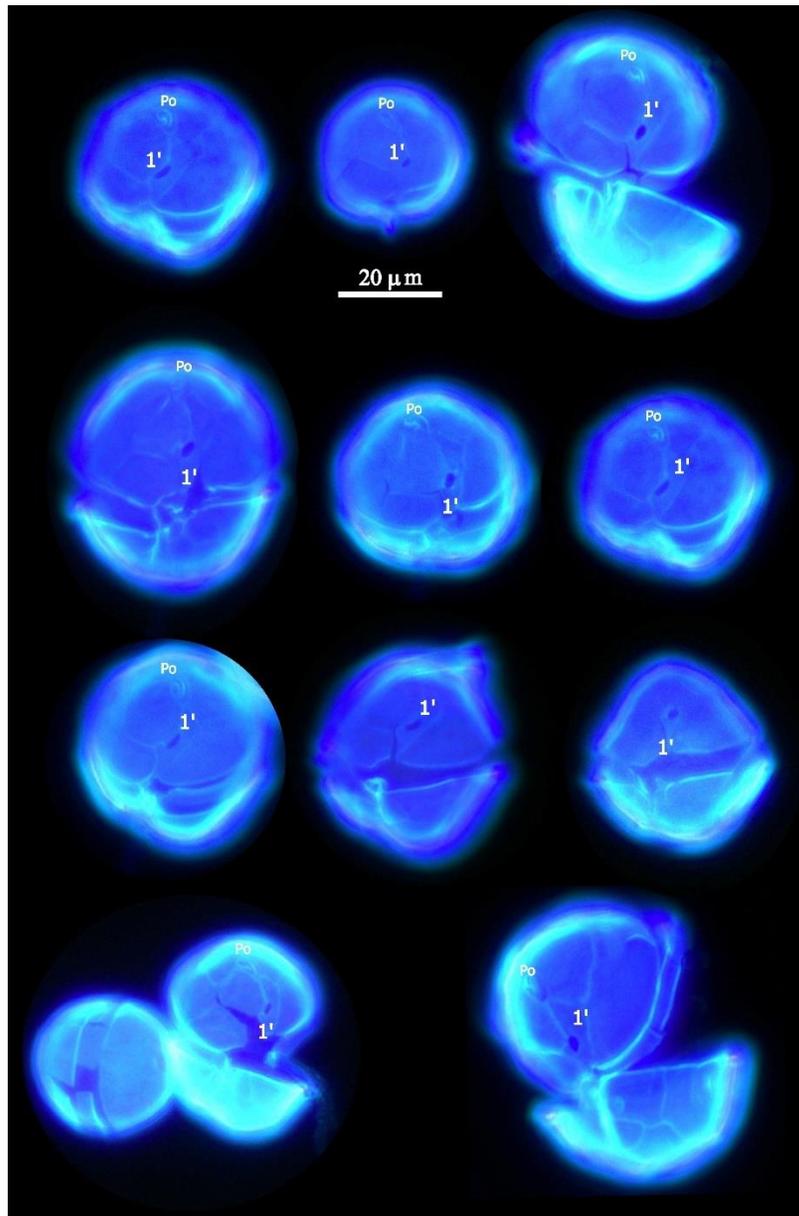


Figura 11. Muestra la variación morfológica de la cepa COQ_AO. Células fueron teñidas con calcofluor y observada con fluorescencia. La placa 1 prima muestra la presencia del poro.

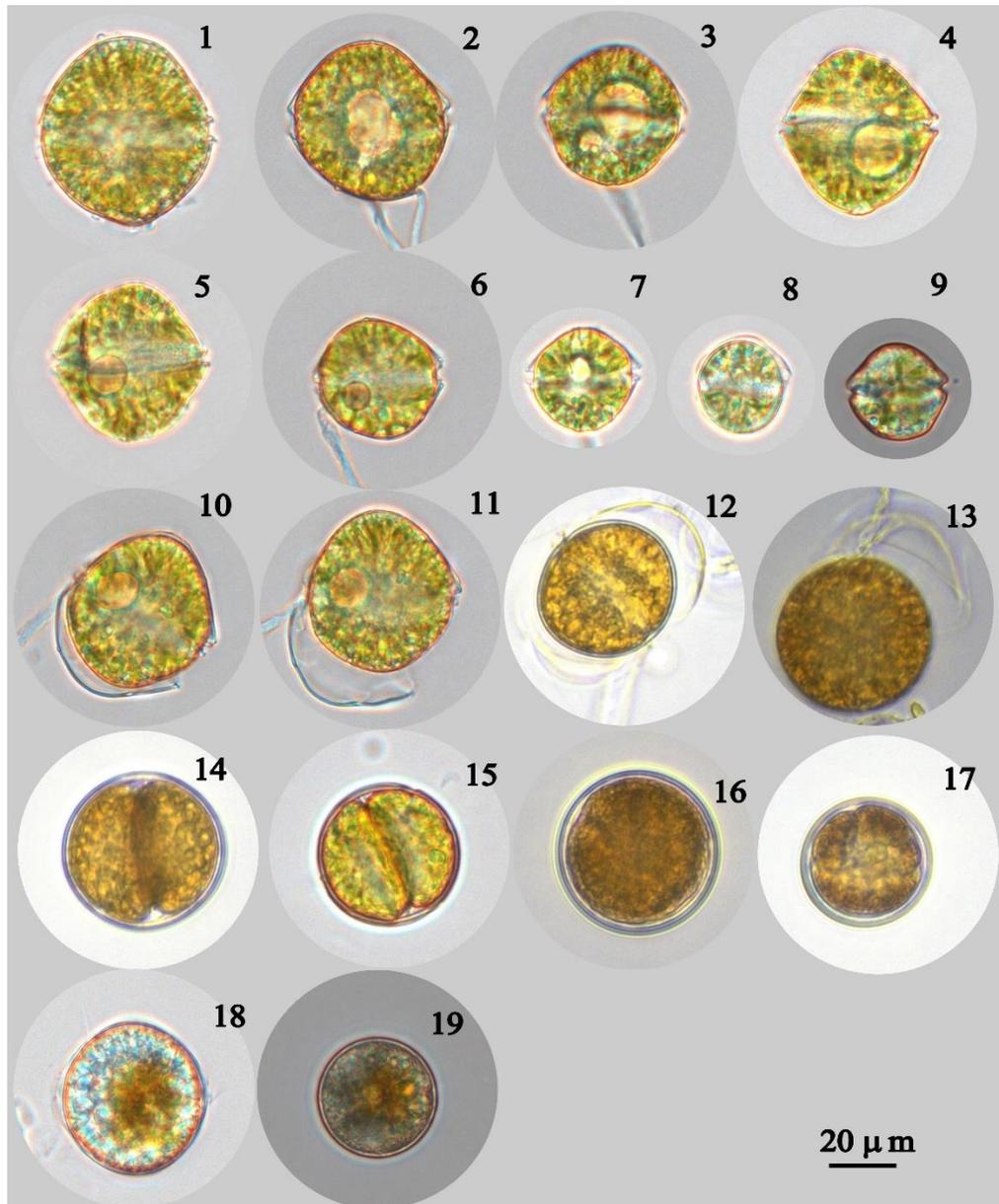


Figura 12. Variación morfológica de *A. ostensfeldii*. 1-9 variación de células vegetativas. 10-13 células en proceso de enquistamiento. 14-15 quistes temporales. 18-19 quistes de resistencia.

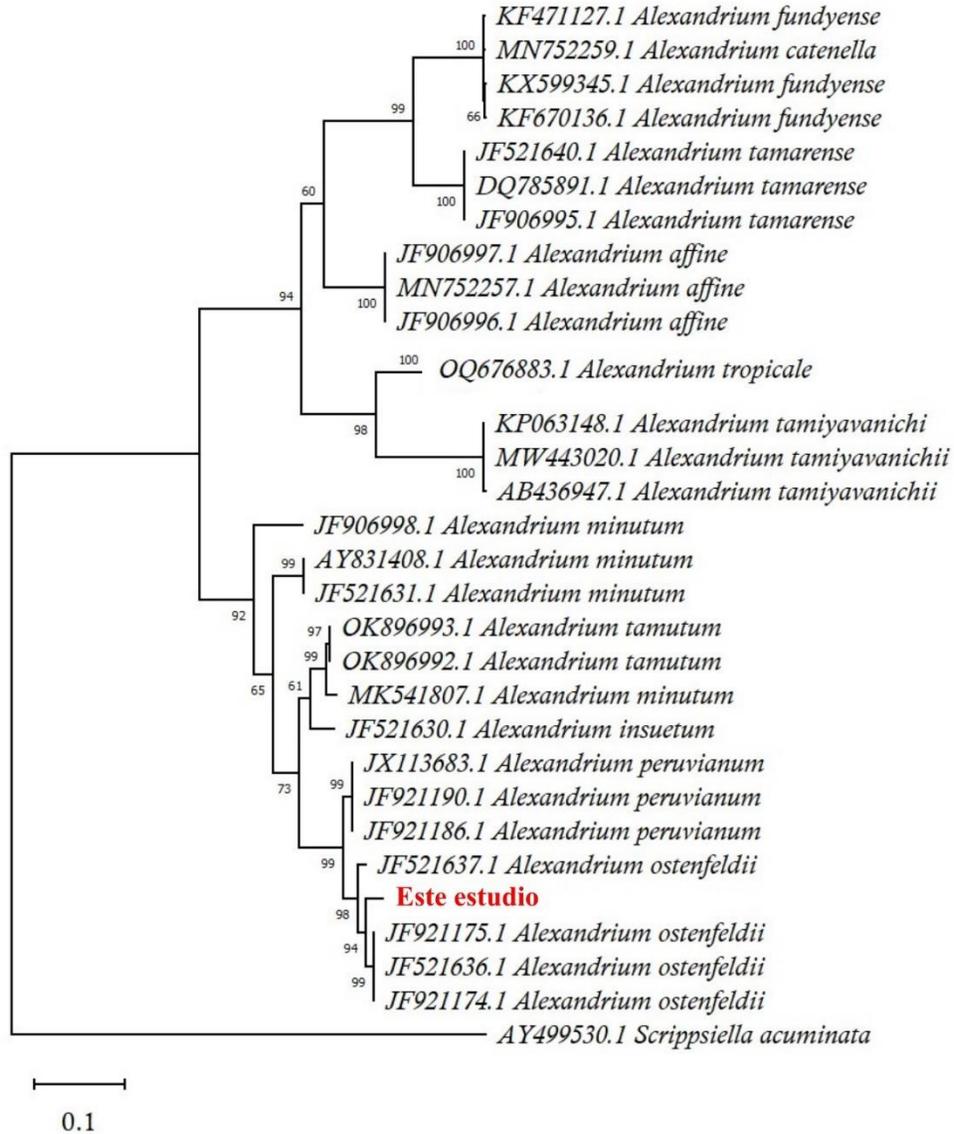


Figura 13. Análisis filogenético con secuencia aislada de la región de Coquimbo. Secuencia se agrega en el grupo de *A. ostenfeldii*.

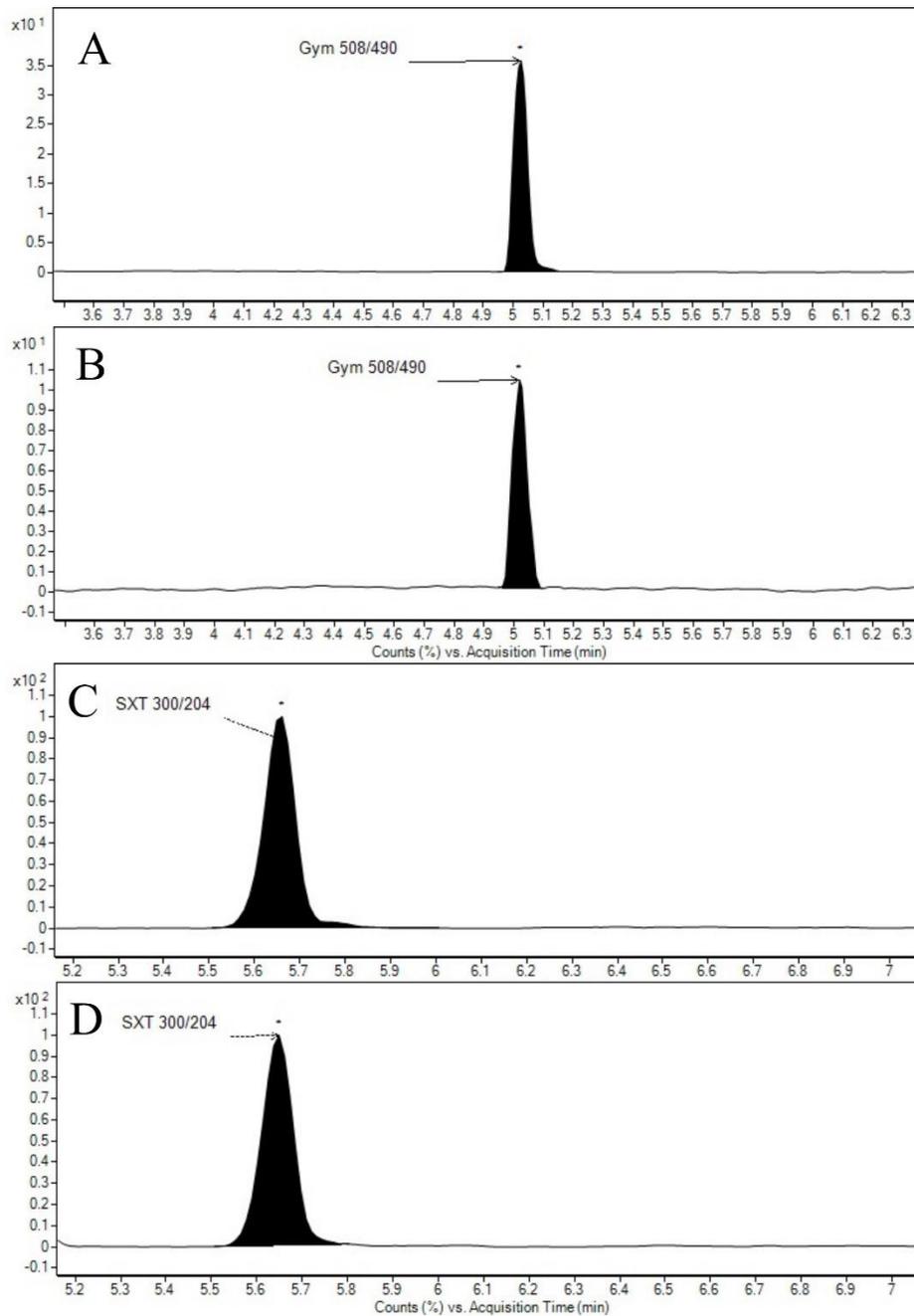


Figura 14. Cromatograma del análisis de la cepa de A: *ostenfeldii* mediante HPLC-MS. A y C estándar de STX y gimnodimina respectivamente. B y D resultado de la muestra.

6.2.7 Análisis temporal-espacial de la variación de la comunidad fitoplanctónica en la zona norte.

Fitoplancton total

Se realizó la descripción de la variación de la abundancia del fitoplancton a nivel espacial-temporal, para lo cual, los gráficos muestran distintamente los 7 grupos más relevantes: dinoflagelados, diatomeas, silicoflagelados, zoomastigoforos, ciliados, euglenofíceas y prymnesiales. Para el caso de las diatomeas se muestran las 10 especies más abundantes y para los dinoflagelados las 8 especies más abundantes.

Dinoflagelados: Los dinoflagelados atecados-tecados indeterminados se encontraron en todas las localidades de muestreo, desde el mes de diciembre 2023 hasta junio 2024, presentando mayor abundancia de células a lo largo del muestreo, los dinoflagelados atecados indeterminados. La mayor concentración de células la presentó la especie *Prorocentrum gracile* en la segunda quincena del mes de abril con 147.000 células/L en la localidad de Arica (Figura 15).

Diatomeas: Las 10 especies de diatomeas más abundantes encontradas en los análisis de fitoplancton, predominaron en la mayoría de las regiones de estudio. *Asterionellopsis glacialis* tuvo la abundancia más alta del grupo de diatomeas (5.521.000 cél/L) en la localidad de Punta de Choros, en el mes de enero, segunda quincena del muestreo. *Guinardia striata* destaca en el mes de enero desde El Morro hasta Tongoy, encontrándose su mayor número de células en Guanaqueros (1.800.400 cél/L). *Leptocylindrus danicus* sobresale en los meses de marzo-abril en Coquimbo (1.460.700 cél/L), Guanaquero y Tongoy. En el mes de junio en Coquimbo Grupo *Pseudo-nitzschia seriata* obtuvo la mayor abundancia (1.564.200 cél/L), en la muestra tomada en la primera quincena (Figura 16).

Silicoflagelados: Las especies de silicoflagelados sólo se encontraron en las localidades de Arica y Mejillones. La mayor abundancia se presentó en la localidad de Arica, predominando la especie *Dictyocha fibula* con 1700 células/L en el mes de diciembre en la muestra tomada la segunda quincena. *Dictyocha octonaria* y *Octactis speculum* se encontraron en los dos puntos de muestreo Arica y Mejillones siendo 400 y 200 células/L sus abundancias más altas respectivamente (Figura 17).

Zoomastigoforos: La especie *Ebria tripartita* se encontró en tres muestreos en las localidades de Arica, Iquique y Mejillones. Su mayor abundancia fue en la localidad de Iquique con 200 células/L, en el mes de febrero, en la segunda quincena. Seguido por Arica y Mejillones con 100 células/L respectivamente en los meses de febrero y abril (Figura 18).

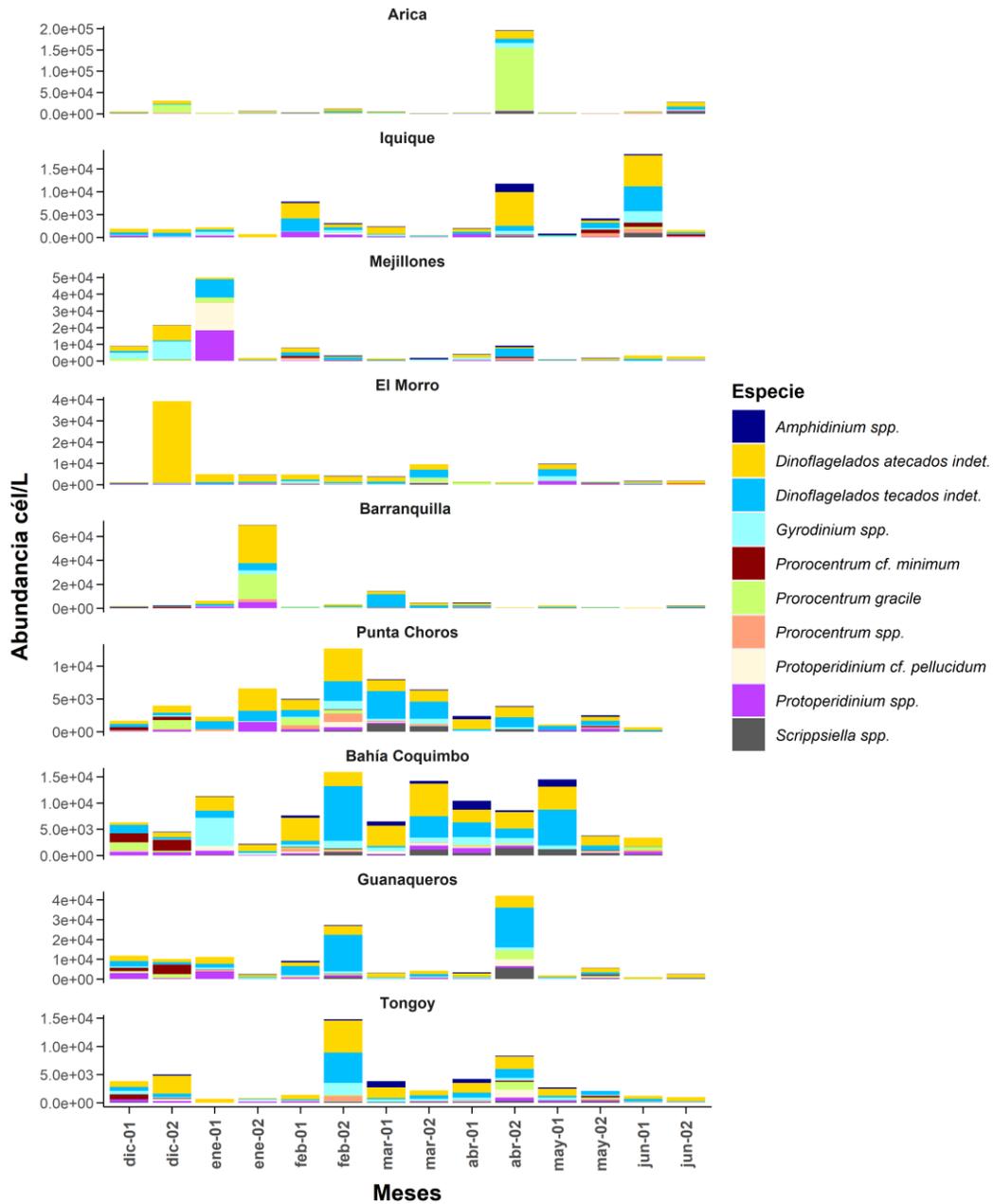


Figura 15. Abundancia del grupo dinoflagelados (células/L) en cada uno de los sitios muestreados a lo largo del tiempo.

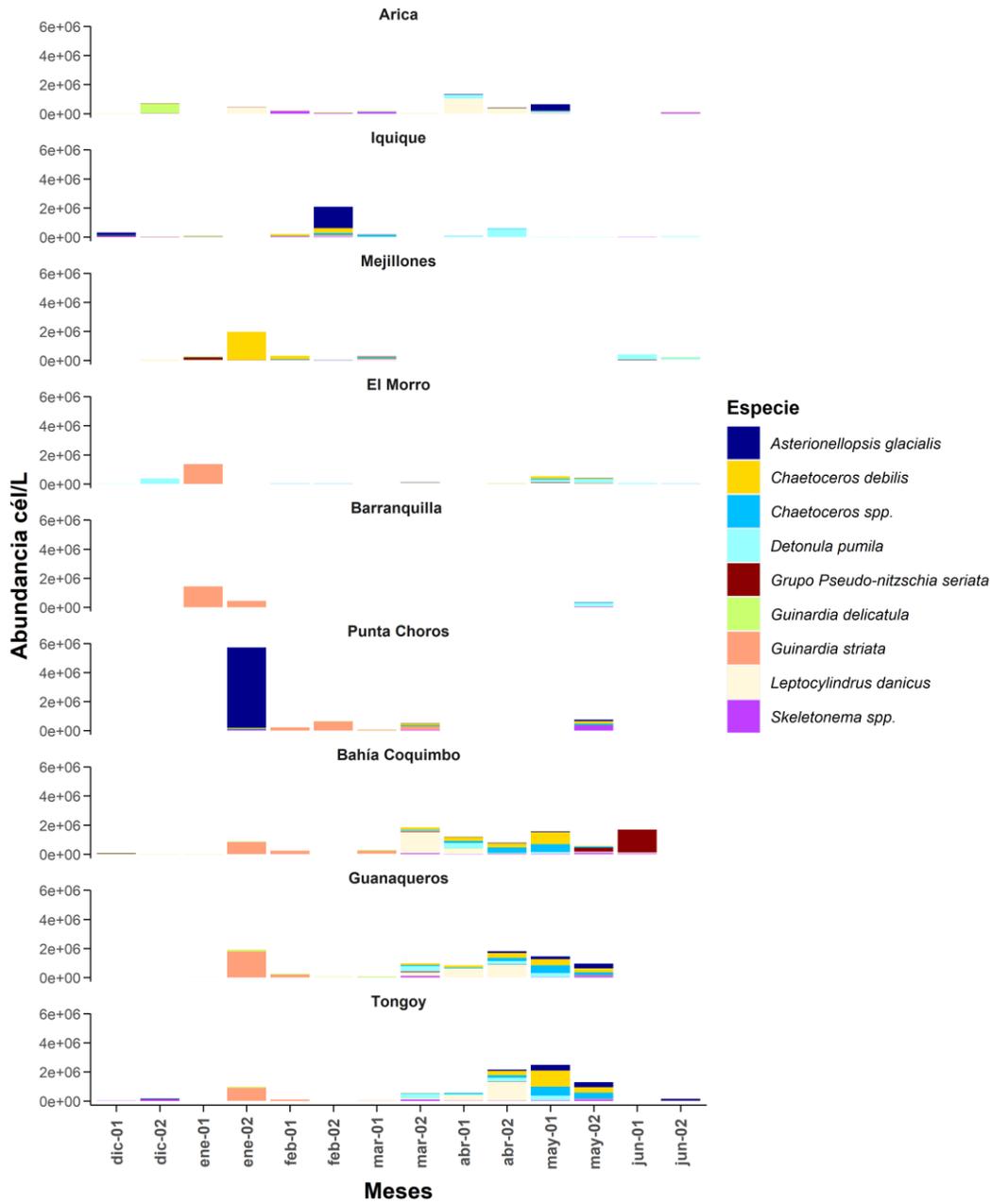


Figura 16. Abundancia del grupo diatomeas (células/L) en cada uno de los sitios muestreados a lo largo del tiempo.

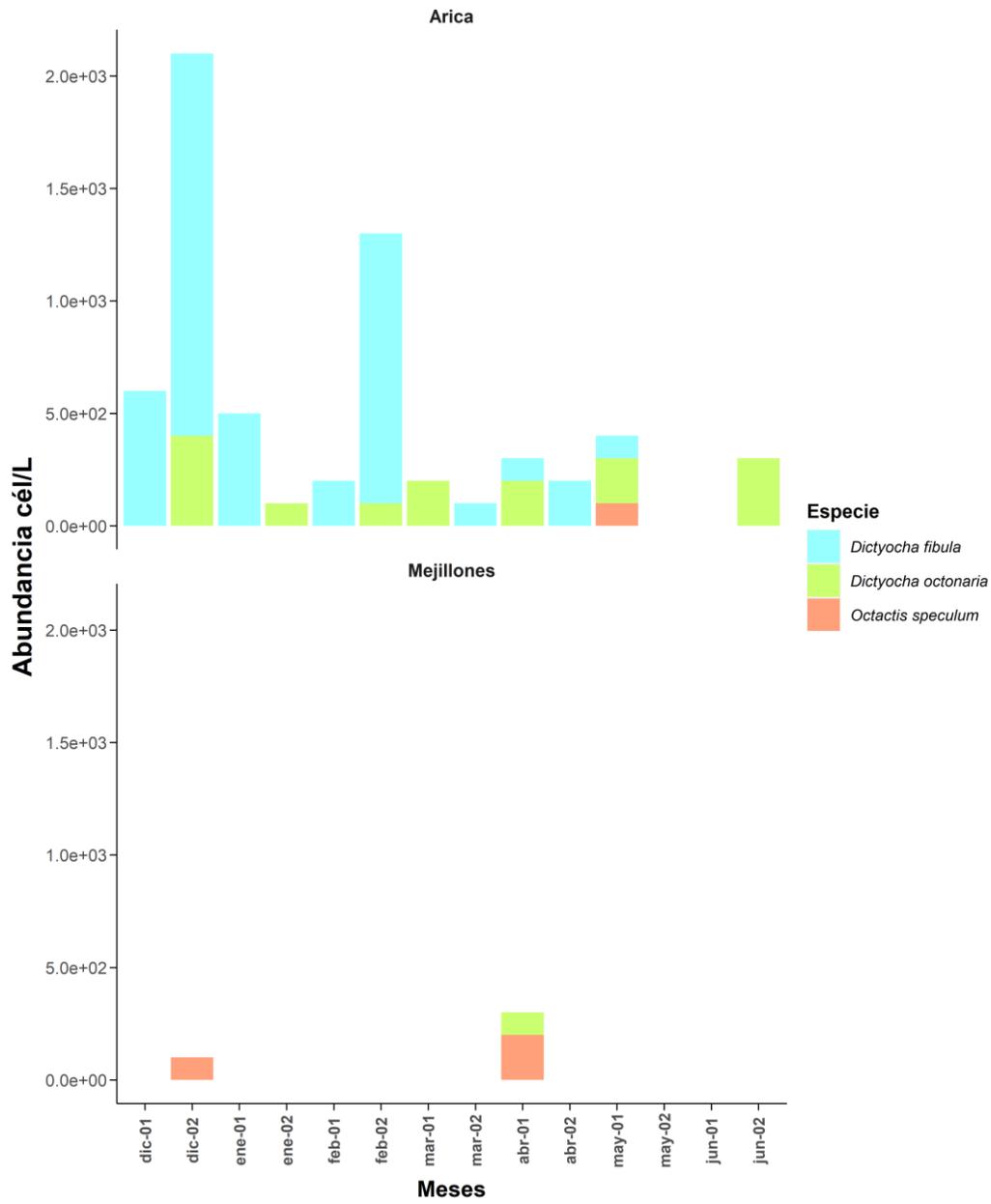


Figura 17. Abundancia del grupo silicoflagelados (c3lulas/L) en cada uno de los sitios muestreados a lo largo del tiempo.

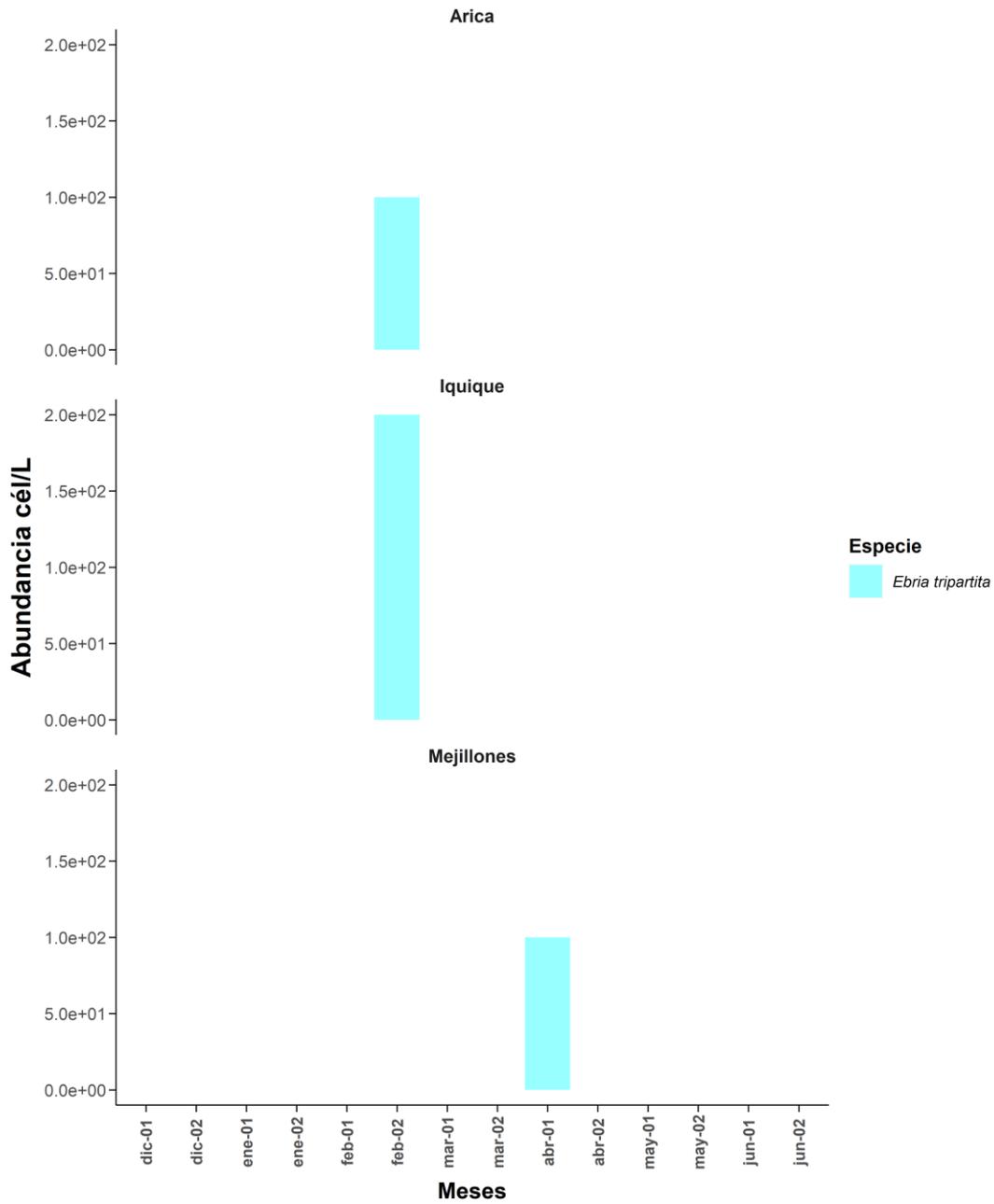


Figura 18. Abundancia del grupo zoomastigoforos (células/L) en cada uno de los sitios muestreados a lo largo del tiempo.

Ciliados: Las especies *Laboea strobila* y *Mesodinium rubrum* se encontraron en todas las localidades de muestreo. *M. rubrum*, fue predominante en las muestras y presentó mayor abundancia en Iquique en la primera quincena de marzo, con un valor de 23.900 células/L. Durante los meses de marzo-abril, esta especie aumentó su concentración con respecto a los meses anteriores diciembre-febrero. Por su parte, *L. strobila* destacó en El Morro en la segunda quincena de febrero (Figura 19).

Euglenofíceas: La especie *Euglena spp.*, se encontró en todas las localidades muestreadas. Su máxima abundancia fue en El Morro con 154.200 células/L en el mes de diciembre, en la primera quincena de la toma de muestra. En las otras 9 estaciones su abundancia de células se mantuvo bajo 50.000 cél/L (Figura 20).

Prymnesiales: En la localidad de Barranquilla se encontró la mayor abundancia de células de *Phaeocystis spp.*, con 8.556.400 cél/L en la primera quincena del mes de abril. *Prymnesium spp.*, solo estuvo presente en 4 de las 9 estaciones de muestreo y alcanzó su mayor abundancia en Iquique, durante la primera quincena de la toma de muestras con un valor de 4800 cél/L (Figura 21).

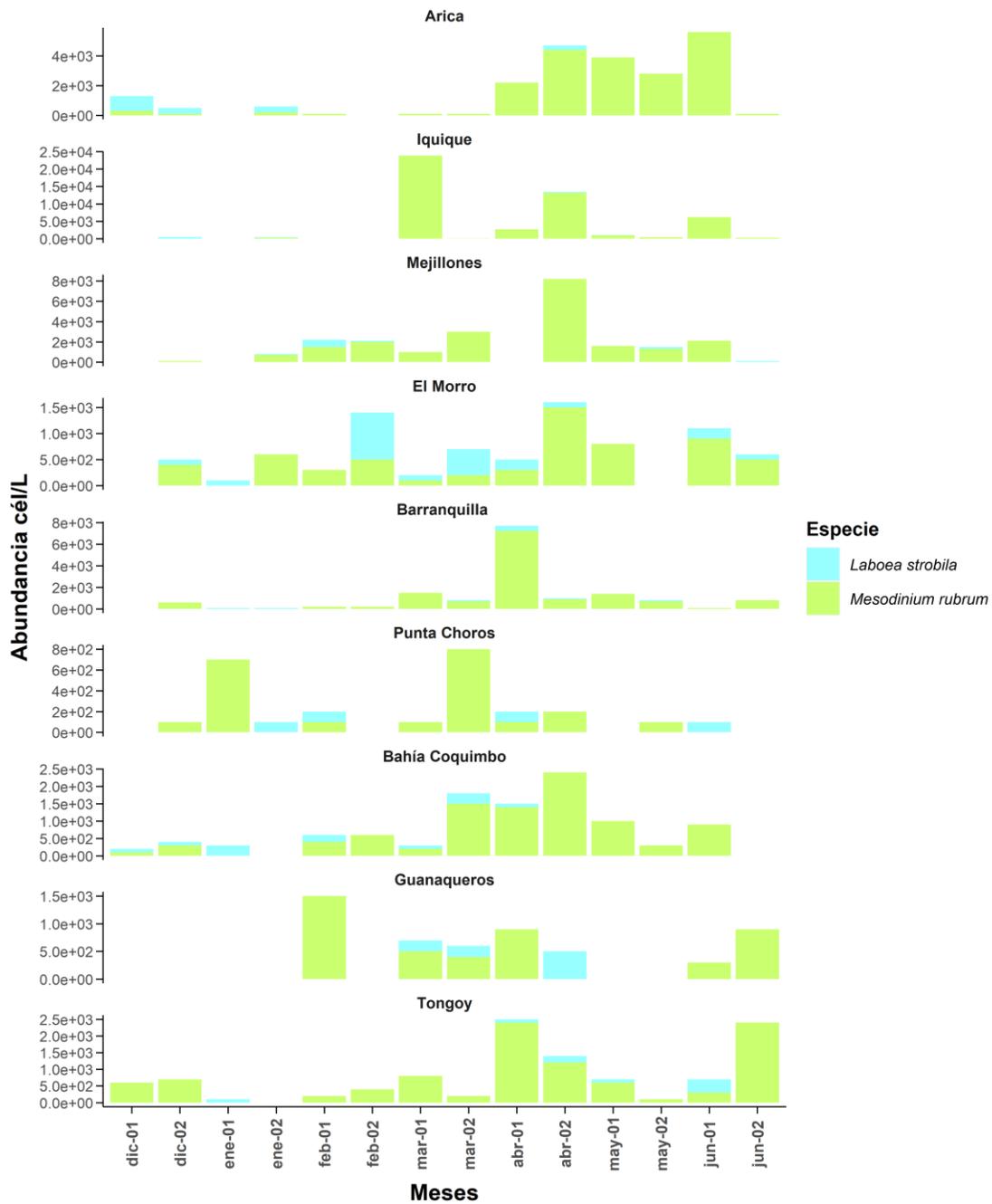


Figura 19. Abundancia del grupo ciliados (células/L) en cada uno de los sitios muestreados a lo largo del tiempo.

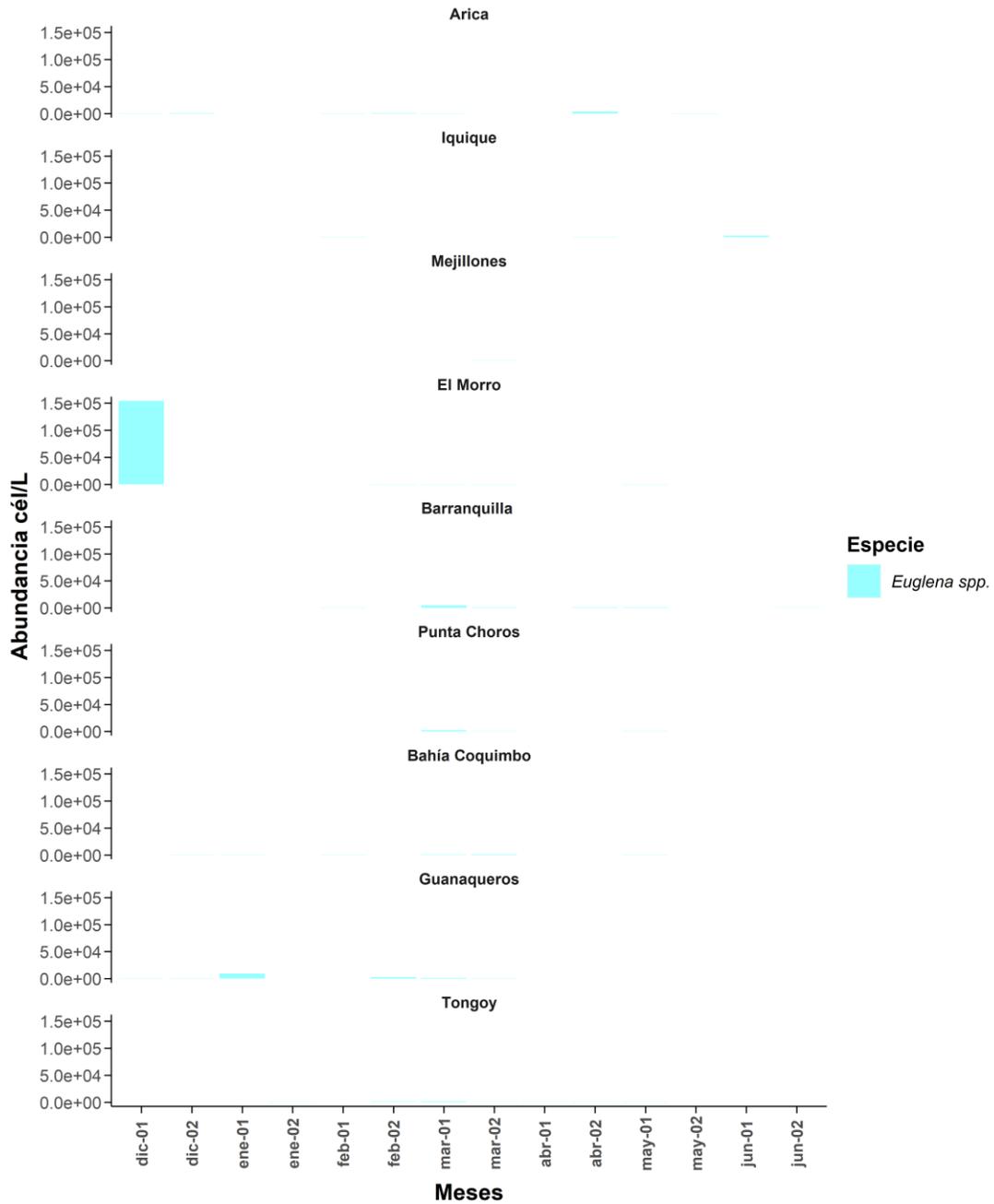


Figura 20. Abundancia del grupo euglenofíceas (células/L) en cada uno de los sitios muestreados a lo largo del tiempo.

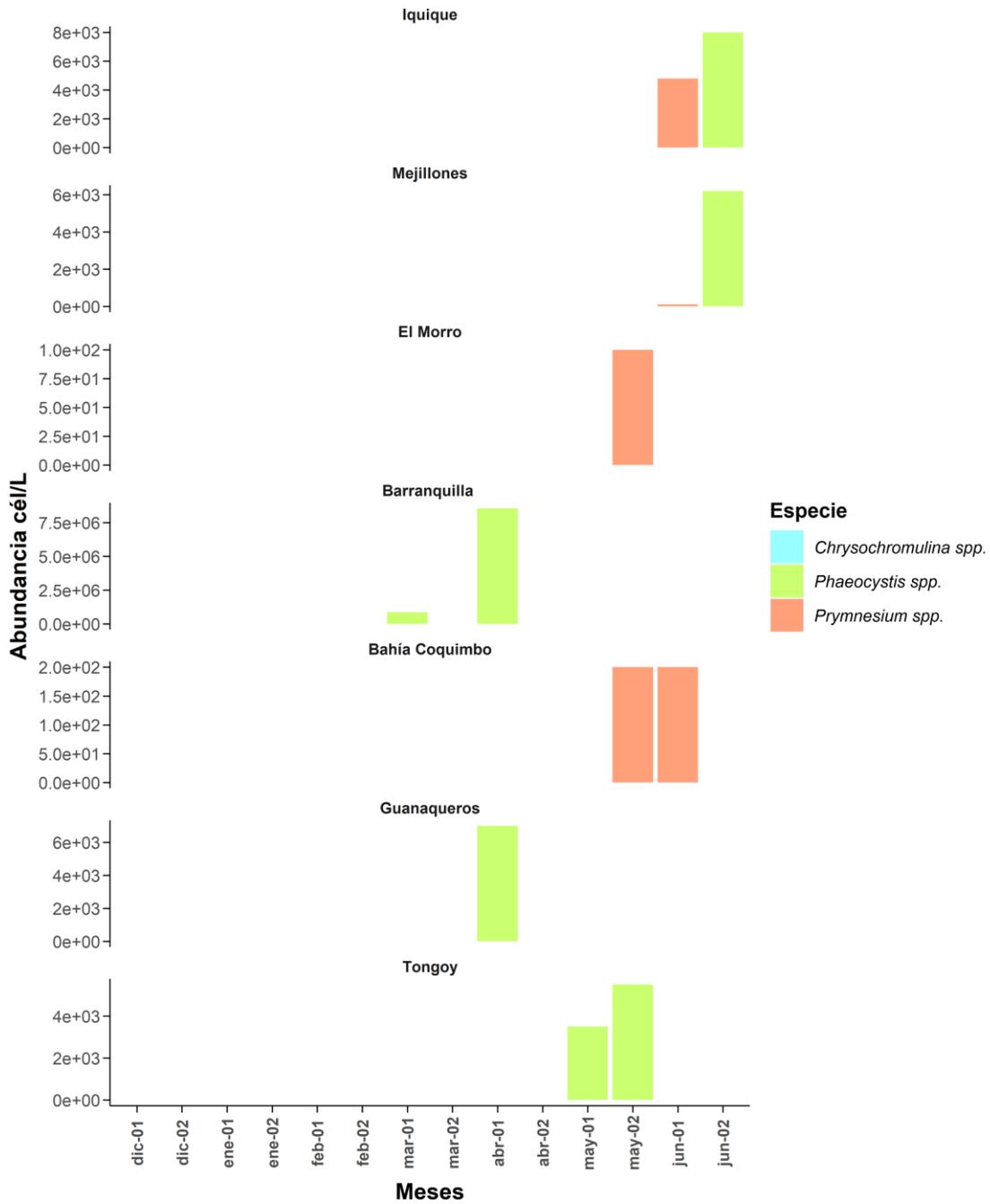


Figura 21. Abundancia del grupo prymnesiales (células/L) en cada uno de los sitios muestreados a lo largo del tiempo.

VARIACIÓN ESPACIAL-TEMPORAL DE LA AR DE ESPECIES NOCIVAS.

Los muestreos quincenales contemplaron el análisis cualitativo del fitoplancton y la estimación de la Abundancia Relativa (AR) de taxas nocivas en todas las estaciones de la red de monitoreo e incluyeron la revisión de muestras en el período de diciembre de 2023 hasta junio del 2024. Se ha detectaron la presencia de 5 especies nocivas, los dinoflagelados *Alexandrium ostenfeldii*, *Dinophysis acuminata* y *Protoceratium reticulatum*, y los grupos de diatomeas *Pseudo-nitzschia seriata* y *Pseudo-nitzschia delicatissima*. Destaca la presencia de un sexto morfotipo del género *Alexandrium* que hemos clasificado como *Alexandrium cf. catenella*. Las Figuras 22 y 23 muestran la variación de la presencia a nivel temporal y geográfico desde la región de Arica y Parinacota hasta Coquimbo.

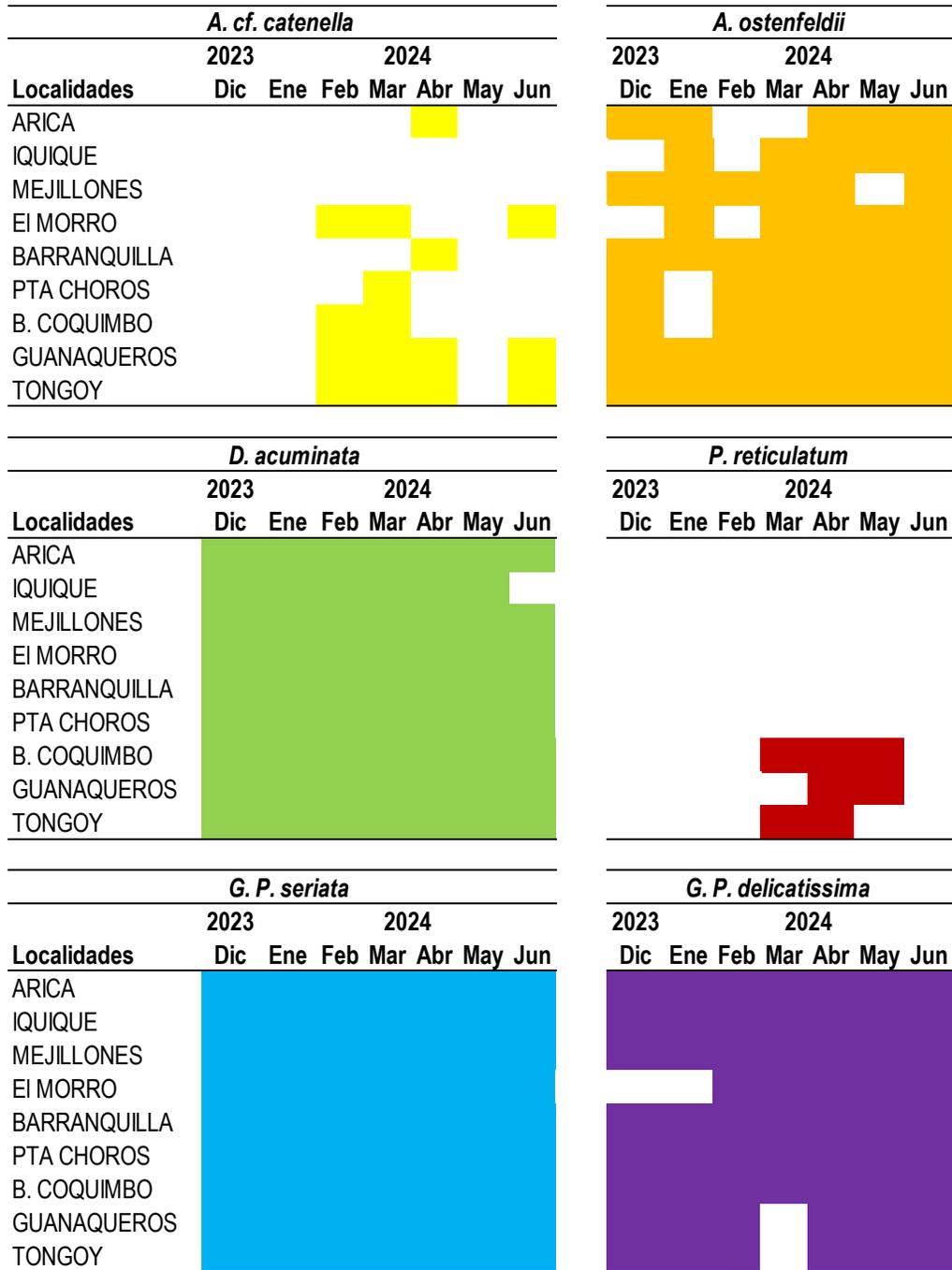


Figura 22. Detección de 6 taxones nocivos en análisis cualitativos durante los muestreos por mes y localidad de muestreo. El color ilustra la presencia de la especie.

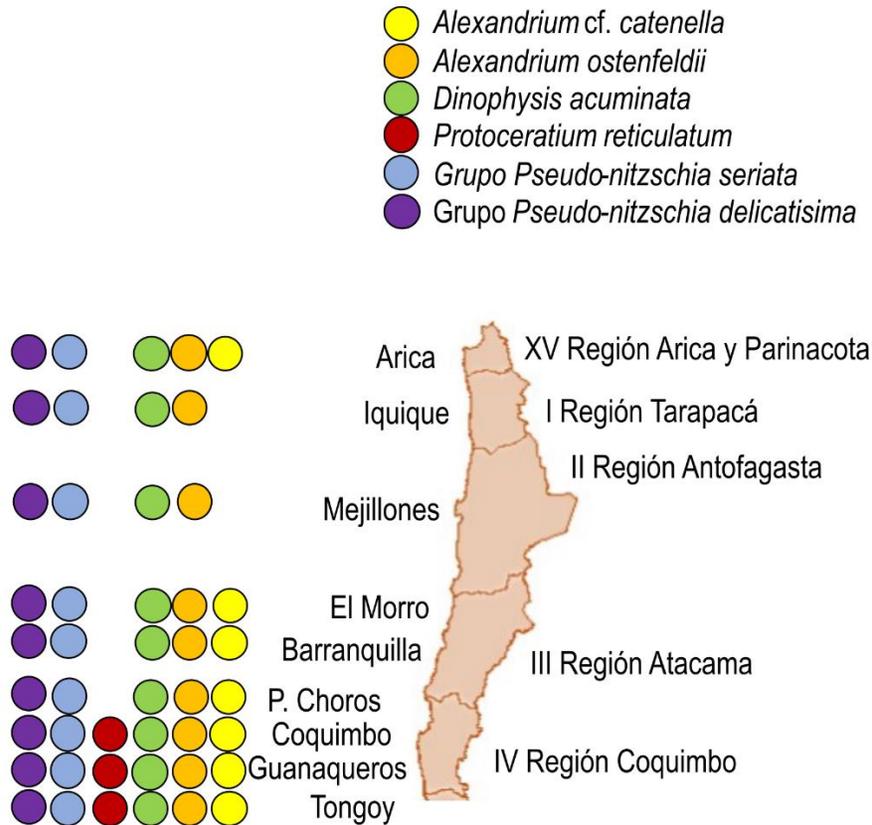


Figura 23. Mapa muestra la detección y variación a nivel geográfico de 6 taxones productores de biotoxinas detectados en los muestreos. Los círculos de color al lado izquierdo del mapa ilustran la presencia de la especie en la costa.

Abundancia relativa (AR) por especie nociva.

Alexandrium cf. catenella: La especie fue detectada en el periodo de febrero a abril y en junio del 2024 en las localidades de Punta Choros, Bahía Coquimbo, Guañaqueros y Tongoy en la IV región y en El morro y Barranquilla, III región (Figura 24). Los niveles de AR fluctuaron en estos meses entre 1 (raro) a 4 (abundante), las gráficas indican que en el mes de febrero las localidades de Guañaqueros y Bahía Coquimbo pasaron de nivel 3 (regular) a 4, desde la primera a segunda quincena, se agrega para la región, la localidad de Tongoy que en la segunda quincena presentó nivel 3 de AR (Figura 24). En tanto en marzo, Guañaqueros y Tongoy en la primera quincena del mes, tuvieron niveles máximos de 4 y Bahía Coquimbo se mantuvo en nivel 3 durante el mes, las variaciones de la abundancia relativa entre quincenas, fue de uno

o dos niveles. El tipo celular también fue observado durante este mes en Punta Choros con nivel 2 (escaso). Tanto para febrero como marzo, algunas células fueron también detectadas en El Morro, con nivel 1 (raro) de AR. Durante abril, la especie fue identificada en las localidades de Guanaqueros y Tongoy con nivel 2, sumándose la localidad de Barranquilla con nivel 1 (Figura 24). Durante este mes, el morfotipo también fue observado en la región de Arica y Parinacota, donde paso de nivel 2 a 3 de AR entre quincenas, ampliando de esta manera su área de distribución no sólo a la IV y III regiones sino también a la región XV. Finalmente, en el mes de junio, la especie aparece en las muestras de red, de la segunda quincena, en las localidades de El Morro y Guanaqueros, con nivel 1 de AR y en Tongoy donde alcanzó una AR de 2 (Figura 24).

Alexandrium ostenfeldii: El análisis muestra su presencia en todas las localidades de estudio desde la localidad de Arica hasta Coquimbo (XV a IV regiones), durante la mayor parte del periodo de estudio (Figura 24). Las máximas AR fueron de nivel 7 (hiper abundante) en Bahía Coquimbo durante la segunda quincena de abril, nivel 6 (extremadamente abundante) en el mes de febrero en la localidad de Punta Choros, primera quincena. Tal como lo describen las gráficas, las AR de los meses de diciembre y enero, no alcanzaron en general, más allá del nivel 3, con la excepción de Arica en la segunda quincena de muestreo de diciembre, con nivel 4 (Figura 24). Consistentemente, no se detectó por la metodología cualitativa en las localidades de Iquique y El Morro en diciembre de 2023, además de Punta Choros y B. Coquimbo en enero de 2024. En tanto de febrero a mayo, la Abundancia Relativa tiende a incrementar sus niveles y este tipo celular se presentó en la mayor parte de las localidades, es decir, primeras y segundas quincenas de muestreo, exceptuando en febrero en Arica, Iquique y El Morro, en marzo en Arica y en mayo en Mejillones. Situación que tiende a variar en junio, pero a diferencia de los meses anteriores, la especie está representada en todas las localidades de estudio (Figura 24).

Dinophysis acuminata: Corresponde a una especie nociva de presencia constante en los análisis de cada uno de los meses del estudio. Los indicadores de Abundancia Relativa no superaron en su mayoría el nivel 4 durante el mes de diciembre, con un punto de excepción durante el segundo semestre que llega en Arica a nivel 7 (hiper abundante). Así mismo, se observa su ausencia durante este mes, ya sea en la primera o segunda quincena en las localidades de Pta. Choros, B. Coquimbo, Guanaqueros y Tongoy. En enero, muestra un incremento de los niveles especialmente en las localidades de Mejillones, B. Loreto-El Morro y Barranquilla, último dos puntos donde se alcanzaron los niveles máximos de 8 (ultra abundante) y 9 (mega abundante), respectivamente, en la segunda quincena del mes. Durante los meses de febrero a abril, su presencia se intensifica y los niveles llegan en algunas localidades a nivel 10 (> mega abundante), es decir, Tongoy y B. Coquimbo. En abril, en Arica e Iquique, segunda quincena, muestran alzas en sus niveles que llegan a 6 (extremadamente abundante), condición que cambia en mayo a junio, donde el nivel máximo fue de 3. Durante éstos últimos meses la localidad de El Morro, primeras quincenas, es donde se observan los máximos niveles de AR, incluyendo su ausencia en la localidad de Iquique, en el mes de junio (Figura 24).

Protoceratium reticulatum: Esta especie sólo fue identificada en las localidades de B. Coquimbo, Guanaqueros y Tongoy, entre los meses de marzo y mayo. La figura 24, muestran en marzo, segunda

quincena, un máximo de abundancia relativa de 1 (raro), incrementando de nivel en el mes de abril donde en Guanaqueros y Tongoy llegó a nivel 2 (escaso) y nivel 1 en B. Coquimbo, en ambas quincenas de estas localidades. Posteriormente en mayo, también se detecta un nivel 2 en Bahía Coquimbo, segunda quincena, y nivel 1 en la primera parte del mes en Guanaqueros (Figura 24).

Grupo *Pseudo-nitzschia seriata*: Grupo identificado en todas las localidades de estudio y meses. Durante el mes de diciembre su presencia es continua con niveles 6 y 7 en Iquique y Mejillones, y menor presencia en las localidades de Punta Choros y Barranquilla. En enero, los análisis cualitativos muestran una disminución de la Abundancia Relativa del grupo en la IV región, manteniéndose con máximos de 5 desde Mejillones al norte (Figura 25). Esta tendencia también es observada en febrero, pero en marzo el grupo incrementa sus niveles en las localidades muestreadas de la IV región, disminuyendo nuevamente, en general, en abril para esta área. Desde mayo a junio retornan los incrementos de la Abundancia Relativa en especial en las III y IV regiones con AR de 7 y 8, siendo marcadamente menores en el área de la XV a II regiones (Figura 25).

Grupo *Pseudo-nitzschia delicatissima*: Este grupo de diatomeas fue hallado en la mayor parte de las estaciones de estudio. Su Abundancia Relativa, en general, tuvo como máximos los niveles 4 y 5, con excepción de nivel 6 (extremadamente abundante) en las localidades de Iquique, B. Coquimbo y Guanaqueros en el mes de diciembre, primera quincena y Mejillones en febrero, primera quincena (Figura 25). El análisis del grupo para los 7 meses de estudio indica en general una tendencia a una mayor representación en las localidades situadas en la IV región en el mes de diciembre para tender en los meses de enero a marzo a ser más representativa hacia el área norte a partir de la III región, situación que cambia en el mes de abril a junio, donde en las localidades de la IV región su presencia incrementa (Figura 25). Se destaca de igual modo, que los análisis cualitativos no constataron este grupo de diatomeas en algunos puntos de estudio como en diciembre y enero El Morro o en Guanaqueros y Tongoy durante el mes de marzo o en junio en Iquique (Figura 25).

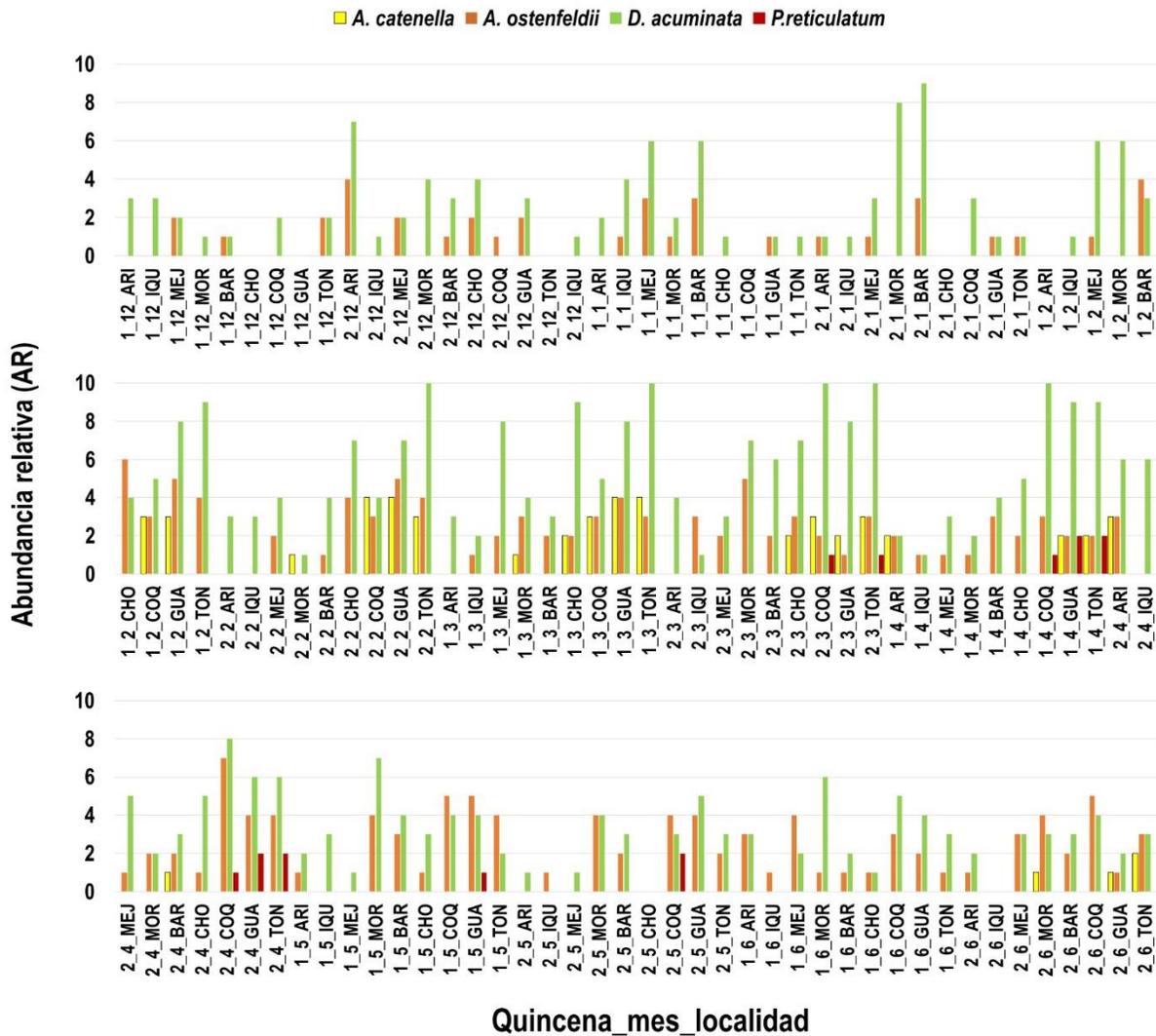


Figura 24. Variación temporal y geográfica de la abundancia relativa de los principales dinoflagelados productora de biotoxinas. Quincena: 1 y 2, mes: 12 (diciembre 2023) 1-6 (enero hasta junio 2024). Localidades; Arica: ARI. Iquique: IQU. Mejillones: MEJ. Punta de Choros: CHO. El Morro: MOR. Barranquilla: BAR. Bahía Coquimbo: COQ, Guanaqueros: GUA. Tongoy: TON.

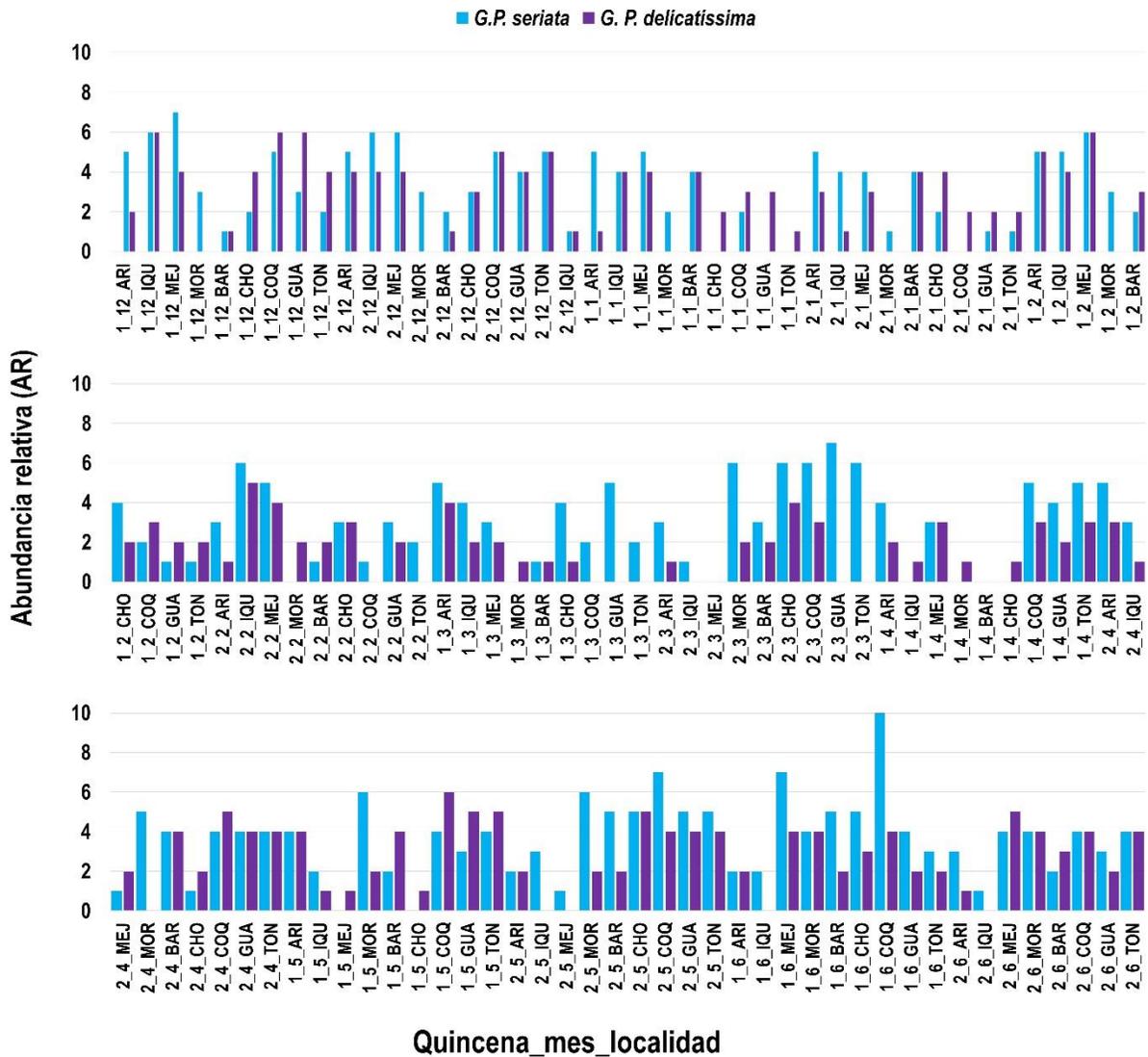


Figura 25. Variación temporal y geográfica de la abundancia relativa de las principales diatomeas productora de biotoxinas. Quincena: 1 y 2, mes: 12 (diciembre 2023) 1-6 (enero hasta junio 2024). Localidades; Arica: ARI. Iquique: IQU. Mejillones: MEJ. Punta de Choros: CHO. El Morro: MOR. Barranquilla: BAR. Bahía Coquimbo: COQ, Guanaqueros: GUA. Tongoy: TON.

Variación espacial-temporal de la riqueza de grupos de dinoflagelados y diatomeas.

La descripción de la variación espacio-temporal de la comunidad fitoplanctónica incluyó sólo a los taxa contenidos en los grupos de diatomeas y de dinoflagelados tecados. De manera general, la Figura 26 muestran que el grupo de diatomeas tuvo una tendencia de mayor diversidad, destacando un número máximo de 37 taxa, en la primera quincena de diciembre en Iquique, en enero en Arica, y de 36 taxa en mayo en la Bahía de Coquimbo. En cuanto a los dinoflagelados, destacan un número de 26, y 28 taxa en las primeras quincenas de febrero y abril, en las localidades de Bahía Coquimbo y Tongoy, respectivamente. Durante el período de estudio las fluctuaciones de ambos grupos fueron relativas, donde muchas veces las muestras estaban dominadas por una o dos especies especialmente de diatomeas. Es así como en el mes de diciembre, los dos muestreos quincenales están dominados en un 90% de las localidades por diatomeas (Figura 26), donde destacan especies como *Sundstroemia imbricata* en Punta Choros (Región de Coquimbo), *Detonula pumila*, en Caleta Loreto (El Morro) (Región de Atacama) y *Guinardia delicatula* en Arica, durante la segunda quincena del mes, con dominancias del 80% sobre las restantes especies en las muestras cualitativas, mientras que los dinoflagelados estuvieron restringidos a un máximo de 20 especies en la localidad de Arica, representados por los Géneros *Protoperdinium* spp., *Gonyaulax* spp., *Prorocentrum* sp. (ver: Tablas 1-9 anexo).

Durante enero, se observan diferencias entre quincenas, es así como el número de diatomeas disminuye en la IV región en la primera parte del mes, siendo más diversa a partir de la III región a la XV, donde el análisis cualitativo contabiliza 37 taxa de este grupo en Arica, los que en la misma localidad caen a menos 15 en la segunda parte del enero (Figura 26). Durante el mes, microalgas como la especie *Guinardia striata*, tiene alta dominancia en la comunidad fitoplanctónica, en localidades como El Morro y en Barranquilla en la III región durante la primera mitad del mes y posteriormente en B. Coquimbo, Guanaqueros y Tongoy en la IV región en la segunda quincena. Junto a esta especie también resaltan especies como *Cerataulina pelágica* en El Morro, *Chaetoceros debilis* en Mejillones y Pta Choros y *Asterionellopsis glacialis* en ésta última localidad. Respecto de los dinoflagelados, siguen siendo menores en número en la mayor parte de los sitios de muestreo, pero se distinguen mayores representaciones en Géneros como *Protoperdinium* spp., en Bahía Coquimbo (primera quincena), y *Diplopelta* y *Preperidinium meunieri* en Barranquilla (segunda quincena) (ver: Tablas 1-9 anexo).

Para Febrero se observan algunas diferencias en relación a los restantes meses de análisis, ya que es el grupo de los dinoflagelados, en la IV región, en las localidades de B. Coquimbo, Guanaqueros y Tongoy las que muestran una mayor diversidad de especies durante todo el mes, el análisis cualitativo de las muestras indica que especies del Género *Tripos*, (*T. furca*, *T. muelleri*, *T. pentagonus*) o especies como *Protoperdinium pentagonum*, *P. oceanicum*, o *P. aspidiotum*, entre otros, son representantes frecuentes en las muestras de red. Si bien las diatomeas presentan una alta representación específica sólo en la primera parte del mes en Arica, con 32 taxa, destaca la dominancia de especies como *Guinardia striata* en la primera mitad de

febrero en la IV región (Punta Choros, B. Coquimbo, Guanaqueros y Tongoy), o de *Asterionellopsis glacialis* en la segunda mitad del mes (Figura 26) (ver: Tablas 1-9 anexo).

Marzo es un mes con una tendencia a una mayor diversidad de diatomeas en su primera quincena, donde se mencionan representantes del Género *Chaetoceros* (*Ch. debilis*, *Ch. convolutus*, *Ch. lorenzianus*, *Ch. radicans*, *Ch. teres*, entre otros), *Skeletonema* spp., *Leptocylindrus* (*L. danicus*) y *Sundstroemia* (*S. imbricata*, *S. styliformis*), *Cerataulina* (*C. pelágica*). Las dominancias de las muestras cualitativas están dadas en la primera quincena por especies como *Sundstroemia imbricata* (El Morro), *Cerataulina pelágica* y *Guinardia striata* (Bahía Coquimbo) y en la segunda quincena por *Guinardia striata* (Pta Choros) y *Detonula pumila* (Guanaqueros y Tongoy) (ver: Tablas 1-9 anexo). Durante este mes, en las muestras de El Morro, sobresale la frecuencia del dinoflagelado *Gonyaulax* cf. *taylori*, indicado por Álvarez et al. 2016 como productor de yesotoxinas, su determinación taxonómica está en proceso de estudio.

En abril se observan ciertas semejanzas con lo descrito para el mes de febrero, donde los dinoflagelados en Guanaqueros y Tongoy, superan en diversidad específica a las diatomeas. También aquí son recurrentes las especies del género *Tripos* mencionadas anteriormente, agregando otra especie como es *T. azoricus*. En lo que concierne al grupo de las diatomeas *Detonula pumila*, *Sundstroemia styliformis* y diversas especies de *Chaetoceros* spp., tienen dominancia en las muestras (Figura 26) (ver: Tablas 1-9 anexo).

Durante el mes de mayo, primera quincena, Arica es la localidad de mayor diversidad de especies (36), destacando la presencia de varias especies del Género *Chaetoceros* (*Ch. lorenzianus*, *Ch. eibonii*, *Ch. cf. rostratus*). En las restantes localidades de muestreo, destaca *Detonula pumila* (Bahía Coquimbo, Guanaqueros, Tongoy). Durante la segunda quincena la diversidad tiene un incremento general, donde *Thalassiosira subtilis* (Iquique), *Detonula pumila* (El Morro y Barranquilla), tienen mayor representación (figura 26) (ver: Tablas 1-9 anexo).

Finalmente, el último mes de muestreo en junio, destacó en su primera quincena, por la floración de especies correspondientes al Grupo *Pseudo-nitzschia seriata* en Bahía Coquimbo, siendo las especies *Detonula pumila* (Mejillones, El Morro), *Cerataulina pelágica* (Mejillones) y *Thalassiosira subtilis* (I Región), *Asterionellopsis glacialis* y *Skeletonema* spp. (B. Coquimbo), las especies de diatomeas de mayor frecuencia en la revisión de las muestras cualitativas (ver: Tablas 1-9 anexo).

No obstante, el análisis involucró a los grupos de diatomeas y dinoflagelados tecados, se debe mencionar la presencia, no frecuente, pero si esporádica de grupos como: atecados, cuya determinación específica es compleja dada la técnica de fijación de las muestras con formalina, *Prymnesiales* como *Chrysochromulina* sp., y *Phaeocystis* sp. (durante abril en la localidad de Barranquilla y Mejillones en el mes de mayo), silicoflagelados como *Dictyocha fibula* y ciliados del grupo de los tintínidos (*Helicostomella* sp.) de alta frecuencia en enero en Guanaqueros (ver: Tablas 1-9 anexo).

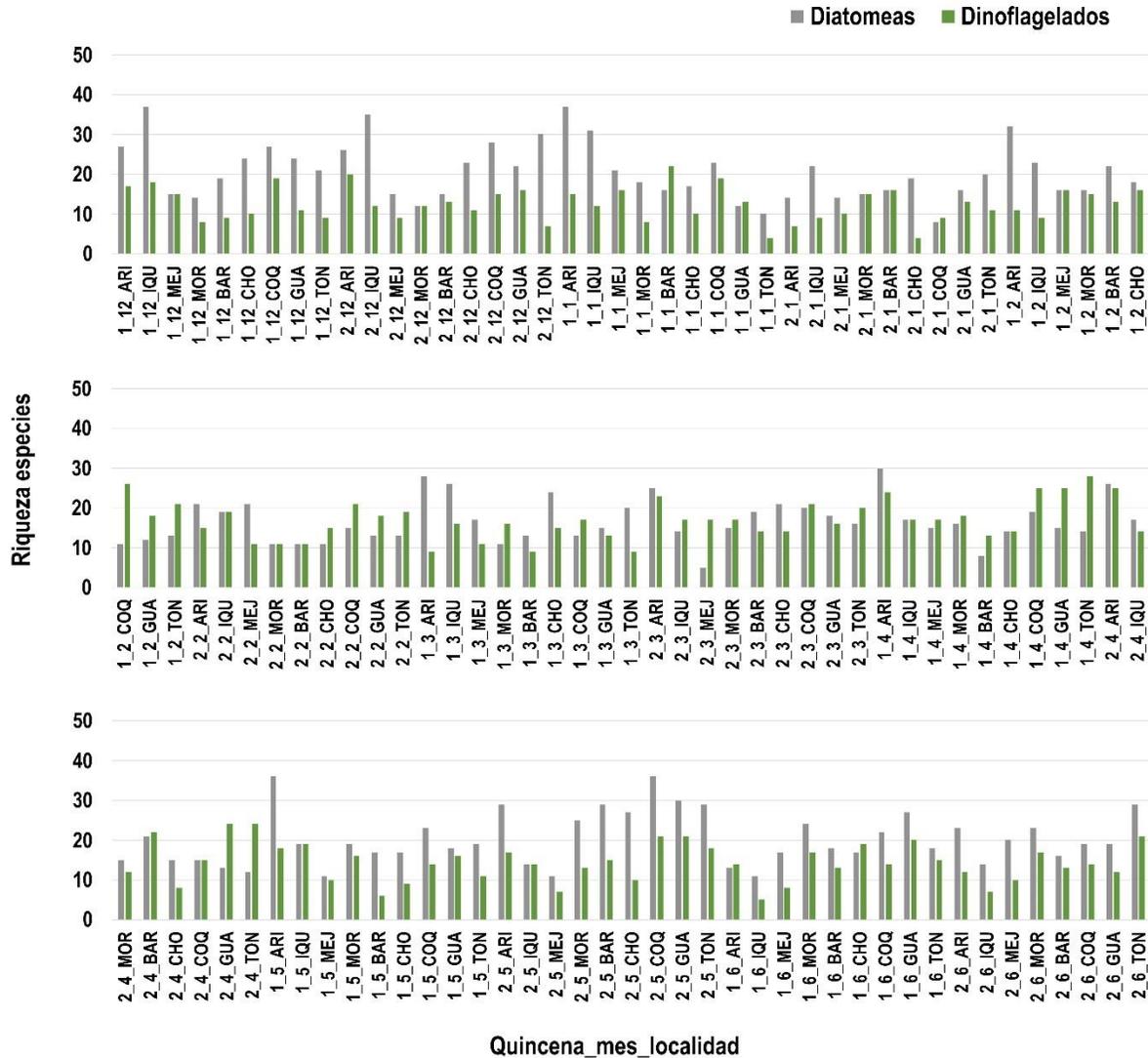


Figura 26. Riqueza se especies de diatomeas (barras plomas) y dinoflagelados (barras verdes). Quincena: 1 y 2, mes: 12 (diciembre 2023), 1-6 (enero hasta junio 2024). Localidades; Arica: ARI. Iquique: IQU. Mejillones: MEJ. Punta de Choros: CHO. El Morro: MOR. Barranquilla: BAR. Bahía Coquimbo: COQ, Guanaqueros: GUA. Tongoy: TON.

6.2.8. Correlación de biotoxinas y fitoplancton.

Relación entre AR, toxinas paralizantes y gimnodimina

En este estudio encontramos que entre las especies que pueden generar toxinas paralizantes en el norte de Chile están *A. ostenfeldii* y potencialmente un morfotipo de *Alexandrium* que hemos denominado *A. cf. catenella*. La evaluación de la abundancia relativa AR mostró mayores valores para *Alexandrium ostenfeldii* (AO) en comparación con *Alexandrium cf. catenella* (AcfC). Adicionalmente AO es detectó en todas las localidades y AcfC no estuvo presente en la localidad de Iquique y Mejillones. Las mayores AR y presencia de ambas especies ocurrió en Coquimbo, Guanaqueros y Tongoy. Mientras que los menores valores fueron encontrados en Punta de Choros, Barranquilla, El Morro y Arica. La localidad Iquique tuvo los valores de AR y número de detecciones más bajo entre todas las localidades estudiadas. Respecto a la presencia de toxinas en el fitoplancton los mayores valores de STX se encontraron en Coquimbo, Guanaqueros y Tongoy, lo que se relaciona con las mayores AR de AO y AcfC en esas localidades. En Iquique, y Mejillones no se detectó la presencia de STX en el fitoplancton, lo que se relaciona con bajos valores de AO y ausencia de AcfC (Figura 27).

Debido a que el aislamiento de una cepa de *A. ostenfeldii* desde la costa de Coquimbo permitió evidenciar que la especie es capaz de producir STX y gimnodimina, esta última toxina fue incluida en el análisis. Así, la presencia de gimnodimina (GYM) en fitoplancton fue registrada en orden decreciente mayormente en Coquimbo, Tongoy, Guanaqueros-Punta Choro-Barranquilla, y Arica-Iquique, mientras que en Mejillones no fue detectada. El mayor número de registros de esta toxina coincide con la mayor presencia y AR de *A. ostenfeldii* en Coquimbo y Tongoy (Figura 27).

Por su parte la mayor diversidad (análogos de STX) y concentraciones de toxinas paralizantes en mariscos fueron observadas en la localidad de Guanaqueros y Tongoy, seguido de Punta de Choros y El Morro. Las concentraciones más bajas fueron observadas en Coquimbo, Arica y Mejillones, mientras que en Iquique no se detectó la presencia de toxinas paralizantes (Figura 28). La presencia de mayores concentraciones de STX en Guanaqueros y Tongoy se relacionan con la mayor AR de AO y AcfC. En tanto que la ausencia de toxinas paralizantes en Iquique se relaciona con la menor AR de AO y ausencia de AcfC.

Cabe destacar que, se encontró mayor detección de gimnodimina en las localidades del norte Arica, Iquique, Mejillones y Barranquilla en comparación con Punta Choros, Coquimbo, Guanaqueros y Tongoy donde no fueron detectadas. No obstante, la detección de gimnodimina tanto en fitoplancton como mariscos se realizó siempre concentraciones bajo el límite de cuantificación (<LC) lo que indica que la toxina esta presente, pero su valor es tan bajo que no se puede cuantificar (Figura 27).

La detección de toxinas paralizantes y gimnodimina se realizó en varias especies de importancia comercial como: *Choromytilus chorus*, *Aulacomya atra*, *Venus antiqua*, *Mesodesma donacium*, *Pyura Chilensis*, *Argopecten purpuratus* y *Concholepas concholepas*. La evaluación en esta última especie, con muestras obtenidas desde Punta de Choro, además mostro mayores niveles de STX en el sistema digestivo en

comparación con el musculo. Finalmente, las mayores concentraciones obtenidas a través del HPLC MS/MS (CREAN) coincidieron con las realizadas por el SSL, aunque este último mostró valores más altos (Figura 28).

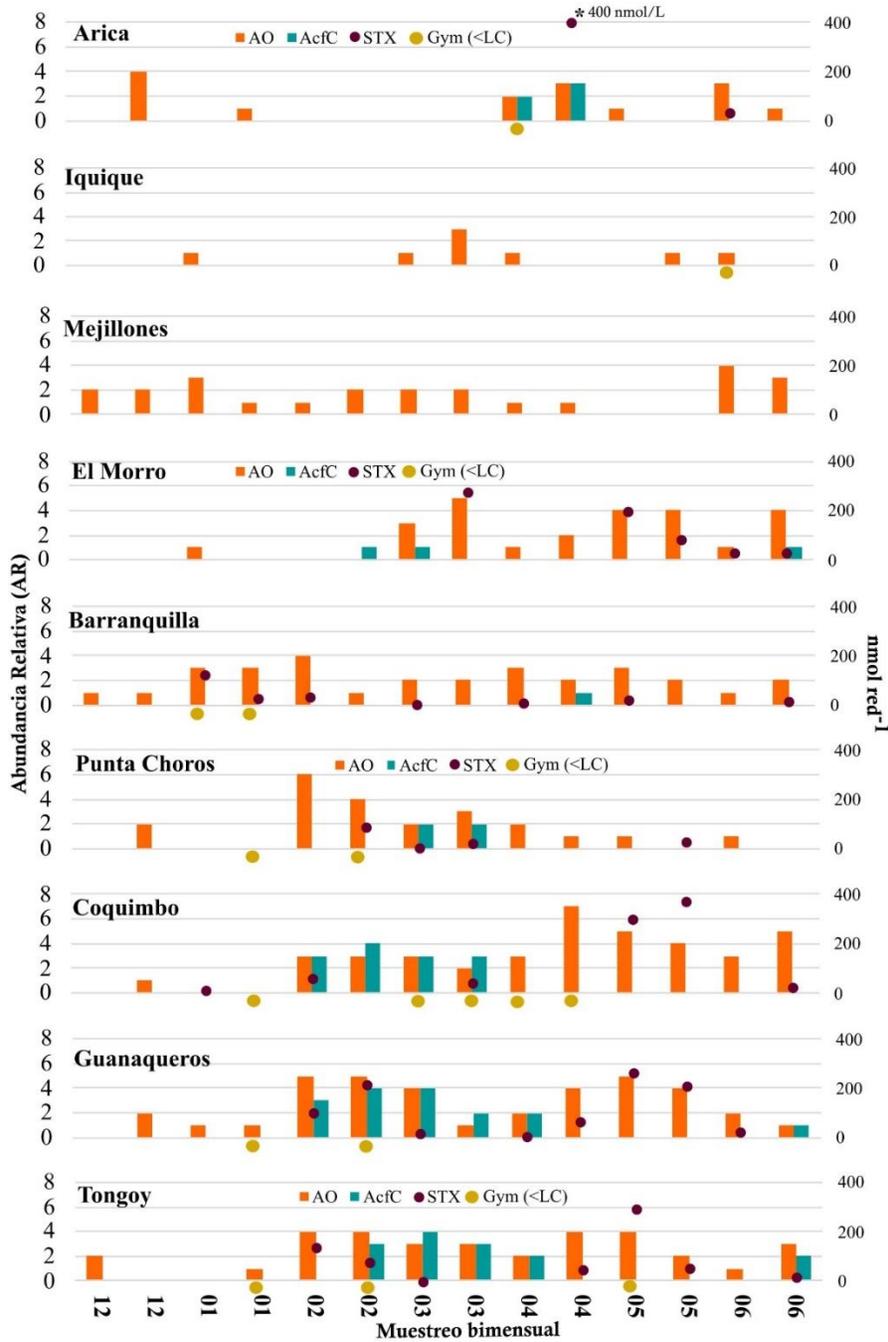
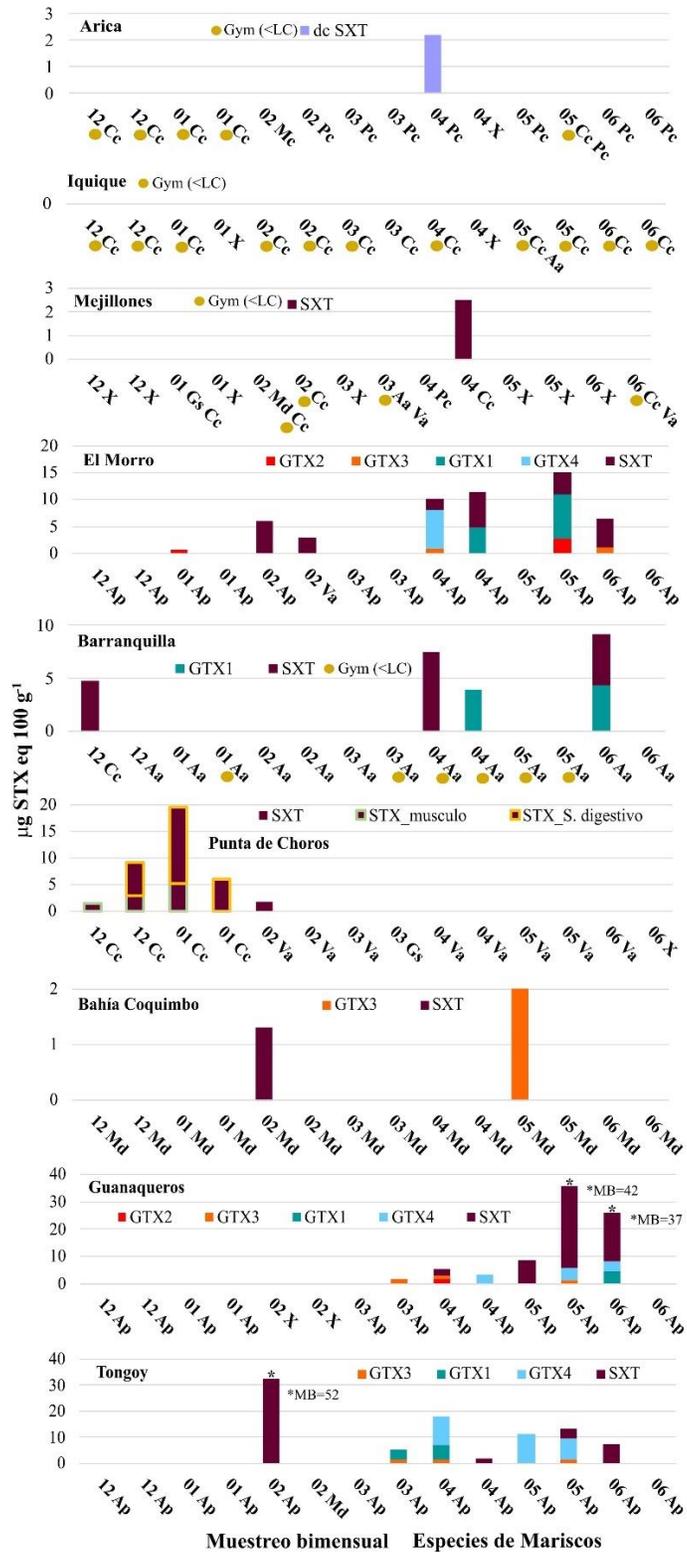


Figura 27. Barras: AR de *A. ostensfeldii* (naranja) y *A. cf. catenella* (verde). Puntos: concentración de toxina paralizantes (café) y detección de gimnodimina bajo el límite de cuantificación (<LC, amarillo bajo el eje) en muestras de fitoplancton.



“Evaluación de las biotoxinas marinas en la zona norte de Chile”

Figura 28. Concentración y análogos de toxinas paralizante encontrada en mariscos. Puntos amarillos bajo el eje muestran detección de gimnodimina baja el límite de cuantificación (<LC). Asteriscos sobre las barras muestran los valores obtenidos por la Seremi de Salud de la Región de Los Lagos. Las letras bajo los meses muestran el tipo de marisco que fue muestreado: *Choromytilus chorus* (Cc), *Aulacomya atra* (Aa), *Venus antiqua* (Va), *Gari solida* (Gs), *Mesodesma donacium* (Md), *Argopecten purpuratus* (Ap), *Concholepas concholepas* (Cc), *Pyura chilensis* (Pc), X: sin muestra.

Análisis multivariados toxinas paralizantes y gimnodimina

Con el objetivo de conocer la relación entre las especies del género *Alexandrium* y las toxinas que fueron medidas tanto en mariscos como en la comuna de agua se realizó un análisis de componentes principales. Este análisis además se incluyó la presencia/ausencia de gimnodimina debido a que comprobamos que *A. ostenfeldii* es capaz de producir esta toxina en el norte de Chile. Además, se aplicó un V test para evaluar posibles diferencias entre localidades. Así el análisis incluyó las variables:

AO= AR de *A. ostenfeldii*; AcfC= AR de *A. cf. catenella*; W_STX=STX encontrada en las muestras de agua; W_Gym=gimnodimina encontrada en las muestras de agua; GTX3, GTX4, Gym, GTX1, Sxt, GTX2= toxinas encontradas en moluscos.

El ACP mostró que las variables que contribuyeron en mayor porcentaje a explicar la variabilidad de primer componente o dimensión fueron AO, W_STX, GTX3, GTX4 y Gym. En tanto que la variabilidad de la segunda dimensión fue explicada por las variables GTX1, W_Gym, GTX2, W_STX (Figura 29). Respecto a la relación entre variables se observaron al menos 4 grupos correlacionados. Por una parte, GTX1, GTX2 estuvieron altamente correlacionadas correspondiente a toxinas encontradas en mariscos. Junto a estas toxinas estuvieron un segundo grupo compuesto por GTX3, GTX4 y STX que también correspondieron a toxinas de mariscos. Interesantemente, la variable AcfC también estuvo correlacionada con este último grupo de toxinas. Estos grupos parecen indicar que la producción de toxinas paralizantes puede estar asociada a el morfotipo *A. cf. catenella*. Por otro lado, la se observó una buena correlación entre las variables AO y W_STX, además, la W_Gym también tuvo una mejor correlación con estas dos últimas variables. No obstante, la variable Gym (toxina encontrada en mariscos) tuvo una correlación negativa con los grupos mencionados anteriormente (Figura 30). Estos resultados coinciden con la capacidad de *A. ostenfeldii* de producir STX y gimnodimina como lo demostró la cepa aislada desde la costa de Coquimbo, además indican que la producción de toxinas paralizantes puede ser debido de la presencia del morfotipo *A. cf. catenella* y *A. ostenfeldii* generándose un efecto sinérgico.

Por su parte, el v test reveló que las poblaciones más extremas estuvieron diferenciadas. Las poblaciones de Guanaqueros y Tongos mostraron valores de v-test de 2,573 y 3,195 respectivamente, en tanto que, las poblaciones de Arica y e Iquique mostraron valores de -2,593 y -3,798. Este resultado indica que las

poblaciones extremas estudiadas tienen una diferente dinámca en relación a las toxinas paralizantes, gimnodimina y las especies productoras.

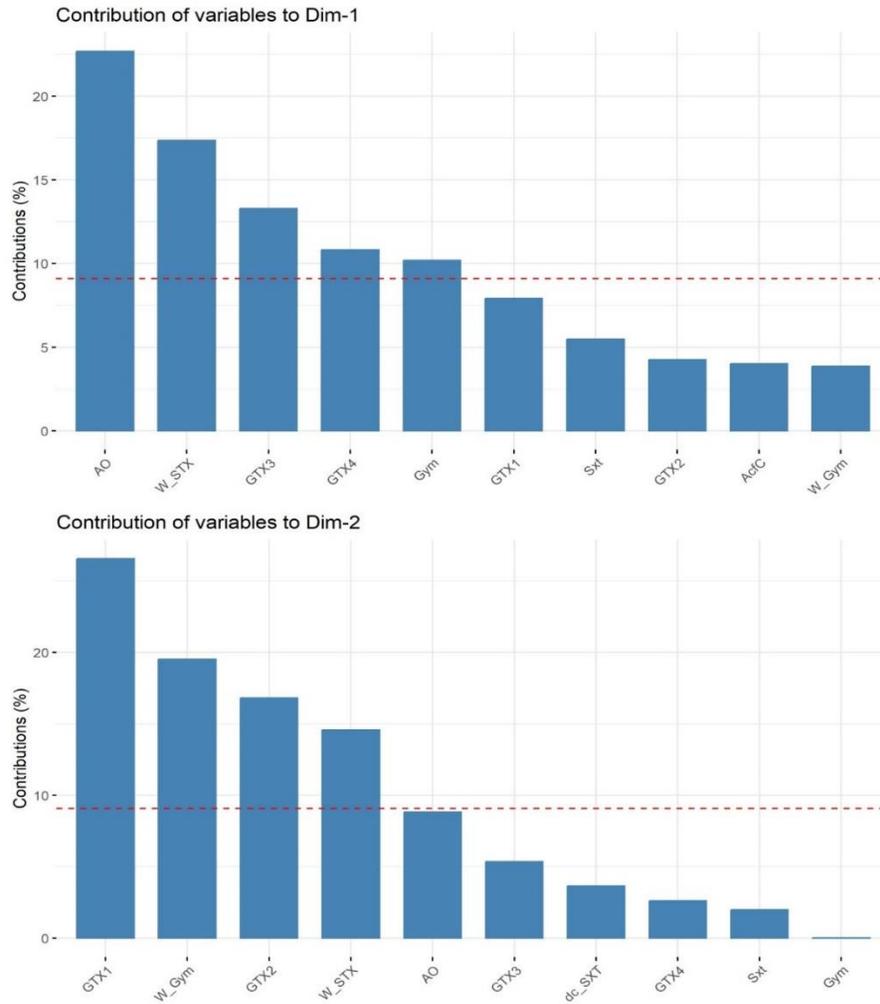


Figura 29. Porcentaje de contribuci3n de las variables a las dimensiones 1 y 2 del ACP para las toxinas paralizantes, gimnodimina y especies productoras.

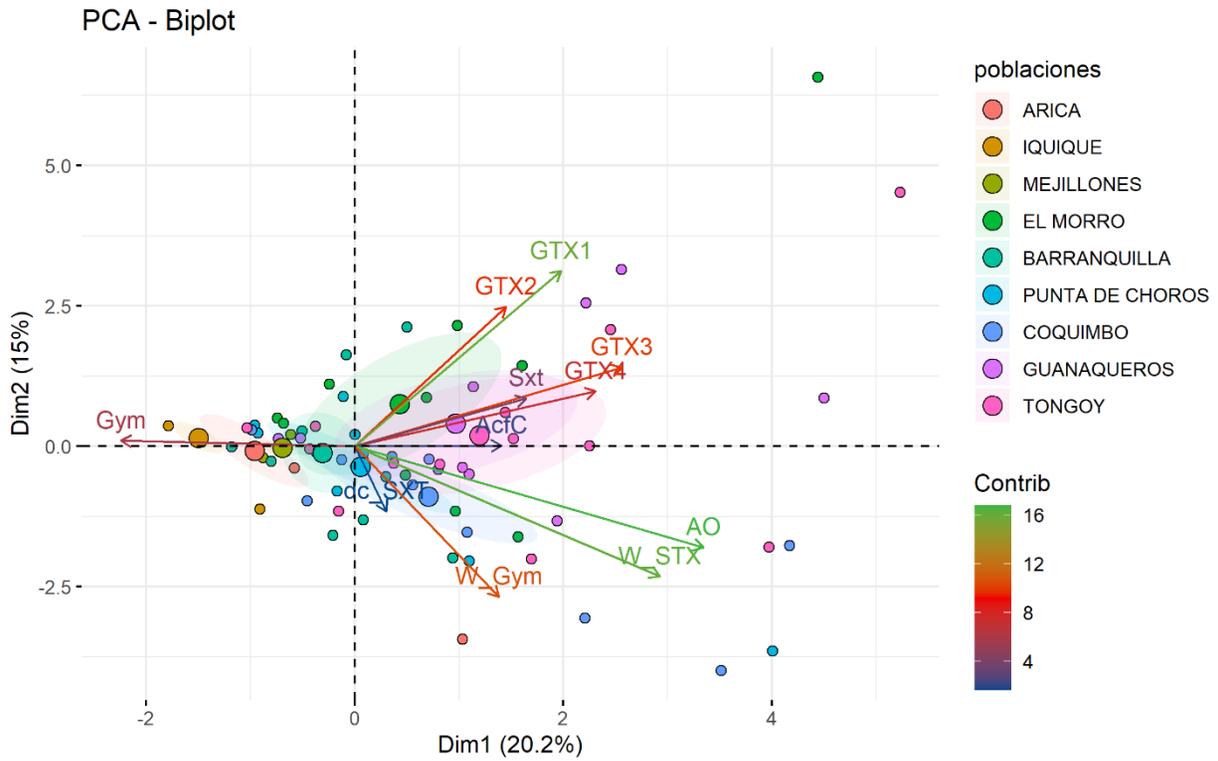


Figura 30. ACP para las toxinas paralizantes y gimnodimina y especies productoras y localidades donde fueron muestreadas.

Relación entre AR y concentración de toxinas diarreicas, amnésicas y yesotoxinas

La relación entre las especies productoras de toxinas diarreicas, amnésicas y yesotoxinas encontradas en mariscos y agua mostró patrones contrastantes. Por una parte, no se detectó la presencia de ácido okadaico y dinofisistoxinas lo que coincidió con la ausencia de *D. acuta* que es una de las principales especies responsables en la producción de esta toxina particularmente en el sur de Chile. No obstante, se detectó la presencia de pectenotoxinas tanto en mariscos como en muestras de agua con fitoplancton. La detección PTX en mariscos fue más eficiente en los análisis realizados por el laboratorio de la SSL debido a que detectó mayores valores, mientras que los realizados por el CREAN solo se detectó la presencia con valores bajo el límite de cuantificación (<LC), lo que indica que hay toxina, pero los valores son muy bajos para que el HPLC MS/MS lo detecte. Debido a esto utilizamos los datos de SSL para realizar la correlación entre AR y presencia de toxinas en mariscos y fitoplancton. Los resultados del análisis mostraron relaciones positivas entre el aumento de la AR de *D. acuminata* y el incremento de los niveles de toxinas. La mejor correlación fue para la toxina encontrada en el agua y la AR de la especie con un R^2 de 0,4. Mientras que la correlación con entre la AR y la toxina en mariscos mostró un R^2 de 0,1 (Figura 31 A).

En tanto que al momento de evaluar la relación entre AR y ácido domoico encontrado en mariscos, la mejor correlación fue para *P. seriata* en comparación con *P. delicatissima* con valores de R^2 de 0,09 y 0,05, aunque en ambos casos los valores fueron bajos (Figura 31, B, C). La relación entre toxinas en mariscos y la AR fue aún más baja con valores de 0,005 y 0,001 para *P. seriata* y *P. delicatissima* respectivamente (Figura 31, B, C).

La identificación de YTX y HOMO-YTX en mariscos por parte de los análisis realizados en el CREAN mostró solamente la presencia de toxina en 8 oportunidades con valores bajo el límite de cuantificación (<LC), el cual indica que hay toxina en el marisco, pero su valor es muy bajo para poder cuantificarlo. Similarmente, los análisis realizados por el laboratorio de la SSL detectaron distintos análogos con valores bajos, siendo la máxima concentración detectada de 0,06 mg/Kg. Interesantemente, a lo largo del tiempo de muestreo existió una recurrencia de detecciones de YTX, 45-OH-YTX y HOMO-YTX en la localidad El Morro, en concentraciones en un rango de detección de 0,01-0,06 mg/Kg. Por su parte, en las muestras de agua con fitoplancton las toxinas fueron encontradas en dos oportunidades con bajos valores. La baja concentración de toxinas se explica por la baja AR de *Protoceratium reticulatum*, que es una de las principales especies responsable de la producción de YTX. Los valores máximos de AR fueron de 2 y se detectó la presencia de la especie en 10 muestreos. En el análisis cuantitativo no se detectó la presencia de esta especie.

Adicionalmente utilizamos modelos multivariados para analizar los datos en conjunto (toxinas y AR) y conocer la relación de toxinas lipofílicas y las especies productoras por medio de un ACP, se incluyeron las variables que se muestran a continuación, y se aplicó un v-test para evaluar posibles diferencias entre poblaciones.

PTX2: toxina en marisco; YTX: toxina en marisco; HOMO_YTX: toxina en marisco; YTX_W: toxina agua; DA_W: toxina agua; PTX2_W: toxina agua; Dacumi: AR de *D. acuminata*; Preticu: AR de *P. reticulatum*; Pdelicati: AR de *P. delicatissima*; Pseriata: AR de *P. seriata*.

El ACP mostró que las variables que contribuyeron en mayor porcentaje a explicar la variabilidad del primer componente o dimensión fueron PTX2_W, Dacumi, PTX2 y Preticu. En tanto para la segunda dimensión las variables que explicaron en mayor porcentaje fueron: Pseriata, Pdelicati, DA_W (Figura 32). Respecto a la relación entre variables se observaron al menos dos grupos correlacionados. Uno compuesto por DA_W, Pdelicati y Pseriata; el otro estuvo compuesto por Preticu, PTX2, Dacumi y PTX2_W. Por su parte las YTX_W, HOMO_YTX y YTX estuvieron más correlacionadas entre ellas y negativamente correlacionadas con los otros grupos mencionados, aunque tuvieron un bajo porcentaje de contribución a la variación de las dimensiones (Figura 32). Estos resultados indican que la producción de DA esta explicada por la presencia de los dos grupos de *Pseudo-nitzschia*. Por su parte la presencia de Pectenotoxinas tanto en mariscos como en agua es producida por *Dinophysis acuminata*. Finalmente, aunque las toxinas YTX_W, HOMO_YTX y YTX estuvieron correlacionadas, la especie que produce este tipo de toxina (*P. reticulatum*) estuvo negativamente correlacionada con las toxinas. Posiblemente, existe otras especies que pudieran estar envueltas en la producción de las YTXs las que no fueron consideradas en este análisis. Por su parte el v test no mostró diferencias entre las poblaciones indicando que las toxinas y las especies productoras tienen una similar dinámica a través de las poblaciones.

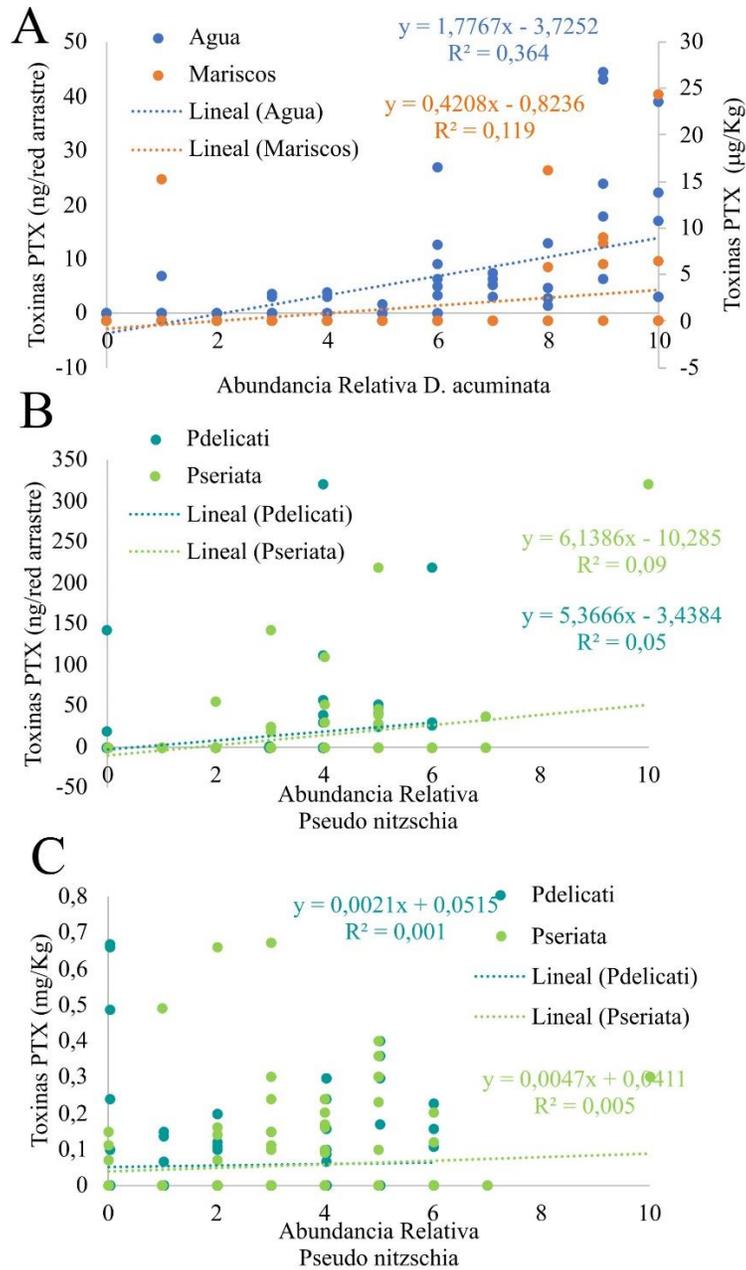


Figura 31. Correlaci3n entre abundancia relativa de *Dinophysis acuminata* y toxinas encontradas en muestras de fitoplancton o agua, y en mariscos. B: Correlaci3n entre abundancia relativa de grupos *Pseudo-nitzschia* y toxina encontrada en el agua o fitoplancton. C: Correlaci3n entre abundancia relativa de grupos *Pseudo-nitzschia* y toxina encontrada en mariscos.

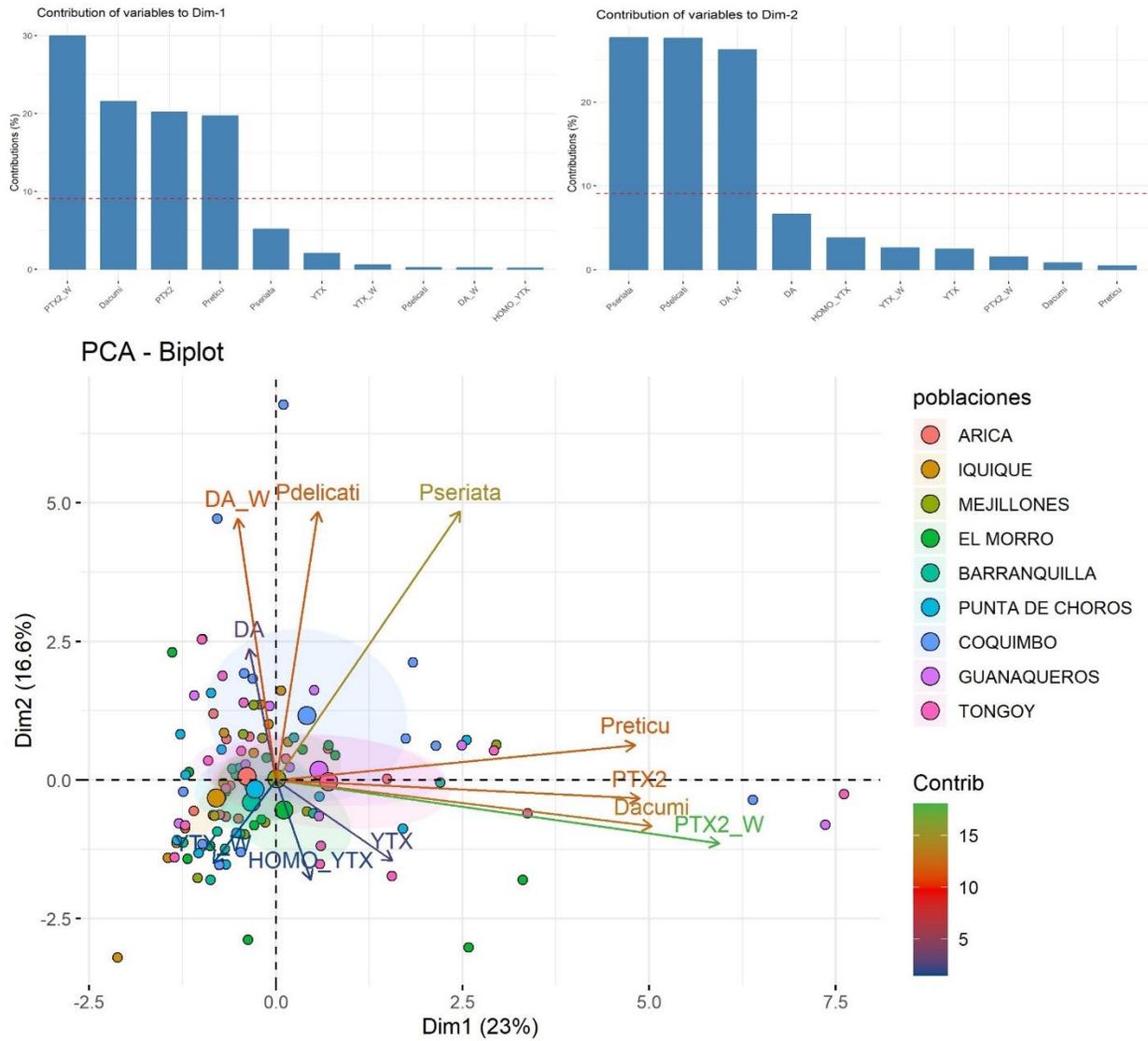


Figura 32. Gráficos superiores: Porcentaje de contribución de las variables a las dimensiones 1 y 2 del ACP para las toxinas lipofílicas y las especies productoras. Gráfico inferior: ACP para las toxinas lipofílicas las especies productoras y las localidades donde fueron muestreadas.

6.3 OBJETIVO ESPECÍFICO 3

6.3.1 Realización de mini talleres presenciales o virtuales con la comunidad en la zona de estudio y generación de material de difusión.

6.3.1.1 Participación en el Festival Puerto de ideas Antofagasta 2024.

En diciembre del 2023, el Centro de estudios de algas nocivas del Instituto de fomento pesquero (CREAN-IFOP) postuló al Festival Puerto de Ideas 2024 realizado en la ciudad de Antofagasta, en esta instancia se generaron insumos para el stand permanente y para las actividades para niños. El festival se realizó entre el 18 y 21 de abril en la ciudad de Antofagasta donde participaron más de 16 mil personas asistieron al Festival de Ciencia Puerto de Ideas y cerca de 12 mil personas asistieron al paseo de la ciencia. Este festival reunió este año a casi 80 expositores, chilenos y extranjeros, que compartieron con un público diverso mediante casi cincuenta talleres, charlas, conferencias y espectáculos sobre los más diversos temas científicos. El CREAN participó con un stand, divulgando distintas temáticas de las FAN, por ejemplo, biodiversidad de especies, efectos en el ambiente y en la salud humana, y potenciales efectos del cambio climático en la frecuencia e intensidad de ocurrencia de estos eventos. Además, se dictaron talleres para niños donde se relataron cuentos del libro “Microcuentos: grandes historias para pequeños organismos” de la investigadora Ana Flores, y como iniciativa de ciencia ciudadana se realizó una exhibición del uso de “microscopios de papel” para la identificación de microalgas (Figura 33 y Figura 34). Además, se generó una gigantografía (Estilo pibox) en donde fue utilizado por los expositores para explicar las diferentes temáticas asociadas a las biotoxinas producidas por la marea roja. (Figura 35).



DOMINGO 21

Grandes historias para pequeños organismos

Por Instituto de Fomento Pesquero - CREAN

A través de un cuentacuentos y ejercicios de experimentación, niños y niñas conocerán la relevancia de las microalgas en nuestro entorno y la importancia de la marea roja para el ecosistema.

Desde los 7 a 11 años
10:30 a 11:30 h
Cupos: 30 personas



Microalgas tóxicas: explorando lo invisible

Por Instituto de Fomento Pesquero - CREAN

Con el objetivo de mostrar las floraciones algales nocivas, un fenómeno natural que impactan la salud humana y los recursos marinos, se mostrará lo microscópico desde una perspectiva amplia, promoviendo la comprensión de este fenómeno. ¡Te invitamos a conocer este pequeño pero importante mundo!

Figura 33. Programa de ambas actividades del Paseo por las ciencias del Festival Puerto de Ideas.



Figura 34. Imágenes de las actividades realizadas en el Festival Puerto de Ideas.

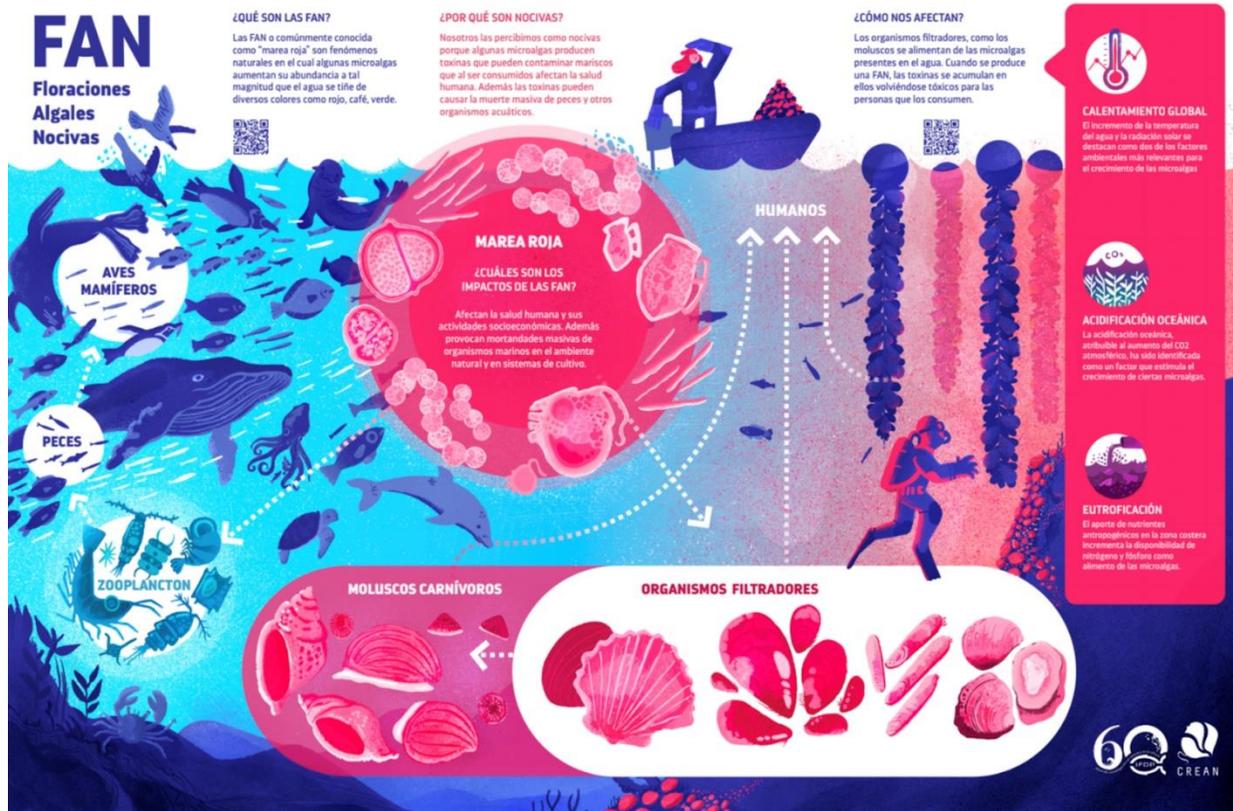


Figura 35. Imagen utilizada en gigantografía (Estilo pibox) utilizado por los expositores para explicar las diferentes temáticas asociadas a las biotoxinas producidas por la marea roja.

Durante 4 días participaron aproximadamente 12000 personas en el paseo de las ciencias, permitiendo al centro y al proyecto FIPA-2023 una gran visualización respecto de la temática (<https://www.elmostrador.cl/cultura/ciencia-cultura/2024/04/22/mas-de-16-mil-personas-reunio-el-festival-de-ciencia-puerto-de-ideas-antofagasta/>). El público que asistió el jueves 18 de abril y 19 de abril fueron estudiantes de 1 básico a 4 medio, mientras que sábado y domingo asistieron familias y sindicatos de trabajadores de industrias (ej: pescadores) quienes fueron invitados por el patrocinante del evento.

El domingo 21 se realizaron 2 talleres, en el primero realizamos una actividad para niñas y niños entre 7-10 años donde participaron un total de 20 personas. En este taller a través de cuentos y del microscopio de papel se explicó la importancia de las microalgas, sus diferentes toxinas y su diversidad de formas y tamaños. Posteriormente, se realizó otra actividad de iguales características donde asistieron cerca de 80 personas.

Generación de material de divulgación

Se generaron dos materiales de divulgación los cuales fueron repartidos en distintas localidades en el norte de Chile. Para la confección de este material se realizaron revisiones por parte de profesionales de SUBPESCA, MINSAL e IFOP. Los materiales fueron consensuados y finalmente se generó un calendario y un polidíptico (Figura 36, 37). Es importante mencionar que estos materiales tienen links a través de códigos QR que redireccionan a páginas de YOUTUBE donde se pueden visualizar videos explicativos y didácticos de fenómenos de marea roja que fueron realizados anteriormente por el IFOP-CREAN.



Figura 36. Muestra material de divulgación: polidíptico.

FAN

Floraciones Algaes Nocivas

¿QUÉ SON LAS FAN?
Las FAN o comúnmente conocida como "marea roja" son fenómenos naturales en el cual algunas microalgas nocivas aumentan su abundancia a tal magnitud que el agua se tinte de diversos colores como rojo, café, verde.

¿POR QUÉ SON NOCIVAS?
Las personas las perciben como nocivas porque algunas microalgas producen toxinas que pueden contaminar mariscos que al ser consumidos afectan la salud humana. Además las toxinas pueden causar la muerte de peces y otros organismos acuáticos.

¿CÓMO NOS AFECTAN?
Los organismos filtradores, como los moluscos se alimentan de las microalgas presentes en el agua. Cuando se produce una FAN, las toxinas se acumulan en ellos volviéndose tóxicos para las personas que los consumen.

¿CÓMO SON LOS IMPACTOS DE LAS FAN?
Afectan la salud humana y sus actividades socioeconómicas. Además provocan mortandades masivas de organismos marinos en el ambiente natural y en sistemas de cultivo.

CALENTAMIENTO GLOBAL
El incremento de la temperatura del agua y la radiación solar se destacan como dos de los factores ambientales más relevantes para el crecimiento de las microalgas.

ACIDIFICACIÓN OCEÁNICA
La acidificación oceánica, producto al aumento del CO2 atmosférico, ha sido identificada como un factor que estimula el crecimiento de ciertas microalgas.

EUTROFICACIÓN
El aporte de nutrientes antropogénicos en la zona costera incrementa la disponibilidad de nitrógeno y fósforo como alimento de las microalgas.

AVES Y MAMÍFEROS

ZOOPLÁNCTON

MOLUSCOS CARNÍVOROS

MOLUSCOS FILTRADORES

HUMANOS

MAREA ROJA

CREAN

Calendario 2025

Para mayor información acerca de las FAN:

Desarrollado en marco del proyecto FIPAN 2023-25 "Evaluación de las biotoxinas marinas en la zona norte de Chile". Financiado por el Departamento de Medio Ambiente, División de Investigación en Acuicultura del Instituto de Fomento Pesquero / Fondo de Investigación Pesquera y de Acuicultura, Subsecretaría de Pesca y Acuicultura

Figura 37. Muestra material de divulgación: calendario.

Charla de capacitación

Se realizó la charla de capacitación a miembros de la directiva de FEPEMACH con la participación de Leonardo Ocares (presidente) y Enrique Altamirano (secretario), y profesionales asesores y trabajadores del “Centro Educativo y de Conservación Acuario-Hatchery Los Vilos”: el Biólogo Marino Francisco Ruiz Rojas y el técnico en Acuicultura Miguel Rivera Álvarez. A ellos se hicieron dos presentaciones relacionadas en general con los fenómenos de marea roja. Además, se los capacitó con las temáticas e información que hay en los materiales de divulgación generados en este proyecto “calendario” y “polidíptico”. Se les entregó material de divulgación de modo que puedan informar en las charlas que realiza la FEPEMACH acerca de temáticas de floraciones algales nocivas, además de entregar el material (Figura 38. A).

Entrega y distribución de material de difusión al Centro Educativo y de Conservación Acuario-Hatchery Los Vilos.

Se entregó material de divulgación a los profesionales asesores de la FEPEMACH el cual ha sido repartido. Actualmente se está generando más copias que serán enviadas prontamente.

Taller de capacitación en temáticas FAN, dirigido a profesionales y técnicos del servicio público de la región de Coquimbo

El 29 de enero de 2025, se realizó el seminario “Floraciones Algales Nocivas (FAN) en el norte de Chile: Estado de conocimiento y perspectivas de Investigación”, el cual se realizó de forma online, con una asistencia de 43 personas de distintas instituciones. La invitación fue extendida a profesionales que trabajan en las distintas instituciones del norte de Chile (Subpesca, Sernapesca, Seremi de Salud, Directemar, Seremi de Medio Ambiente, IFOP (Figura 38. B). Se adjunta lista asistentes y programa del taller en los documentos anexos. Por otro lado, a los a profesionales de IFOP se les entregó material de divulgación y se les realizó una capacitación presencial en la sede IFOP Coquimbo.

Participación en congreso

Se realizó la presentación de dos trabajos en formato poster en el congreso de Acuicultura, realizado en la Región de Coquimbo el 2024. Los nombres de los trabajos fueron: “Distribución y abundancia del fitoplancton del Pacífico norte de Chile, con énfasis en las especies asociadas a Floraciones Algales Nocivas (FAN). Presentado por el Dr. Oscar Espinoza-González” y el trabajo “Diversidad de biotoxinas y de especies formadoras de FAN en el norte de Chile: Implicancia para la acuicultura. Presentado por el Dr. Javier Paredes-Mella”. Además, se aprovechó la oportunidad para divulgar con estudiantes, profesores y público en general temas de floraciones algales nocivas (Figura C y D, Se adjunta PDF de los posters).

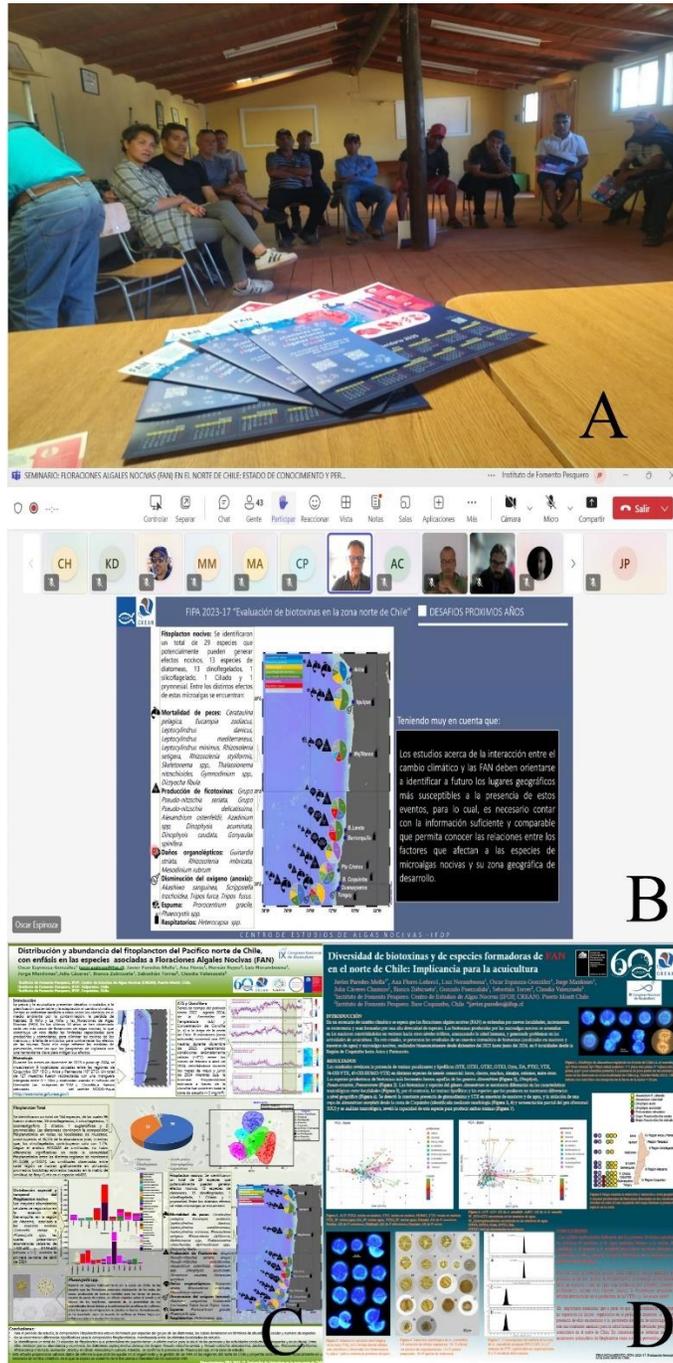


Figura 38. A: Entrega de material de divulgación en una reunión de la FEPEMACH. B: Seminario online dirigido a profesionales de distintas instituciones. C y D. Trabajos presentados en el congreso de Acuicultura 2024.

7) DISCUSIÓN

Toxinas paralizantes

El muestreo sistemático realizado en este estudio mostró la consistente detección de toxinas paralizantes a través del tiempo y localidades. Los análogos observados en las muestras de mariscos fueron dcSTX, STX, GTX1, GTX2, GTX3, GTX4, aunque no todos estos estuvieron presentes en la misma muestra. En general una muestra no presentó más de tres análogos y la mayor diversidad de ellos se observó en la localidad de El Morro, Guanaqueros y Tongoy, y en algunas localidades como Iquique no se detectó la presencia de toxinas. Históricamente la presencia de toxinas paralizantes en el norte ha sido detectada por el servicio de salud siendo uno de los registros más antiguos el 2007 en Tongoy con una concentración de 35,3 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ (base datos MINSAL). Por su parte, uno de los pocos trabajos que ha evaluado la presencia de análogos fue realizado por Álvarez et al., (2009), detectando en el 2006 en la localidad de Mejillones la presencia en mariscos de C2, GTX2, GTX3, y dcGTX2. En tanto que en junio del mismo año se detectaron dos nuevos episodios en Guanaqueros y la Bahía de Tongoy, en ese momento, los mariscos mostraron valores de toxinas paralizantes de 27 a 34 $\mu\text{g STX eq}/100\text{ g}$ y el perfil toxicológico estuvo caracterizado por la presencia de STX, GTX1, GTX2 y GTX3, dcGTX2, dcGTX3 y niveles traza de GTX5, C1 y C2. Si bien en este estudio algunos análogos se repiten con los reportado por Álvarez et al., (2009), la diversidad encontrada por este autor fue más alta.

Interesantemente, los datos históricos del MINSAL (región Atacama) muestran un aparente incremento en la detección de toxinas paralizantes, registrando una detección el 2013 y el 2016 en el Morro (valores de 34 $\mu\text{g STX eq}/100\text{ g}$), incrementándose a 6 detecciones solamente el 2023 (valores entre 33 - 43 $\mu\text{g STX eq}/100\text{ g}$), registradas en localidades El Morro, Bahía Inglesa, Rocas Negras y Caleta Chascos. En este estudio, la presencia de toxinas paralizantes se detectó en un 35% de las muestras (valores entre 0,7 - 36 $\mu\text{g STX eq}/100\text{ g}$) y el SSL detectó tres muestras positivas (valores entre 37-42 $\mu\text{g STX eq}/100\text{ g}$). Estos resultados indican que posiblemente la abundancia y recurrencia de las especies fitoplanctónicas que producen las toxinas paralizantes han ido en aumento a través del tiempo en el norte de Chile.

En Chile la generación de toxinas paralizantes y sus análogos han estado históricamente asociada a la especie *Alexandrium catenella* los cuales pueden variar a nivel geográfico y temporal. Actualmente, la detección más al norte de *A. catenella* se ha realizado en la costa de la Región del Bío-Bío (Paredes-Mella et al 2022). Los análogos encontrados en 5 cepas de esa región fueron C2, GTX1 y GTX2, GTX4, GTX3, GTX5 y NeoSTX, y STX solo fue encontrada en una cepa. Similarmente, Varela et al., (2012) en cepas aisladas desde la región de Magallanes a Los Lagos encontró los análogos C2, GTX3, GTX4, NeoSTX, y en cantidades traza de STX and dcSTX (<1%). Por su parte, Aguilera Belmonte et al., (2011) encontró en 7 cepas aisladas de la región de Aysén y los Lagos la consistente presencia de GTX3-2, y GTX 1-4, mientras que C1-2, C4, GTX6, GTX5, neoSTX y STX variaron entre las cepas. La variación geográfica de los perfiles

toxicológicos de *A. catenella* puede ser explicado por la presencia de distintas poblaciones genéticamente diferenciadas. De hecho, en una floración existe diferenciación genética asociada a restricciones de flujo génico y potencialmente selección en la que ciertos genotipos incrementan su adecuación biológica bajo ciertas condiciones ambientales (Paredes et al., 2020). No obstante, el análisis de cepas de *A. ostenfeldii* aisladas desde la región de Aysén y el Bío-Bío ha mostrado que esta especie también puede producir toxinas paralizantes (Norambuena et al., 2024) y en una alta abundancia potencialmente puede provocar la contaminación de mariscos. Por ejemplo, en la costa de Pacífico de Perú se ha registrado floraciones asociadas a *A. ostenfeldii* con la presencia de toxinas paralizantes en concentraciones mayor a límite regulatorio (Cuellar-Martínez et al., 2021).

El análisis de toxinas paralizantes de muestras de fitoplancton mostró solo la presencia de STX. En el 2019 una investigación realizada en los fiordos Patagónicos analizó las toxinas paralizantes en muestras de fitoplancton. Los resultados revelaron diferencias en la producción de análogos entre 3 zonas geográficas separadas por aproximadamente 80 Km. De esta forma, en una población se detectó C1-2 y GTX2/3, en otra STX-GTX2/3 y STX y C1/2, y en la última NeoSTX, STX, GTX1/4, GTX2/3, C1/C2 (Mardones et al., 2022). En este estudio, a pesar que se muestrearon distintas localidades a lo largo de más de 1600 Km solo se encontró un análogo de toxina paralizante. Considerando los resultados del análisis fitoplanctónico las especies responsables de la producción de la STX podrían haber sido *A. ostenfeldii* y un morfotipo del género *Alexandrium* que consistentemente fue encontrado en los muestreos. En Chile se ha mostrado que *A. catenella* y *A. ostenfeldii* son capaces de producir STX. Por una parte, cepas de *A. catenella* aisladas de distintas localidades en los fiordos Patagónicos muestran que la STX está presente, pero no siempre es la toxina predominante, ya que en algunas no se ha observado (Aguilera-Belmonte et al., 2021; Varela et al., 2012). No obstante, en muestras de fitoplancton tomadas en canal Wilde se observó la presencia de STX y GTX2/3 siendo el primer análogo predominante con más de un 70% en la muestra (Mardones et al., 2022). Por otra parte, la generación de toxinas paralizantes, espirolidos y gimnodimina pueden ser producidas por *A. ostenfeldii*, aunque puede haber diferencias en los perfiles toxicológicos dependiendo de la localidad donde se aísla la cepa (Kremp et al., 2014). En cepas aisladas de *A. ostenfeldii* desde la costa de la región del Bío-Bío se observó la presencia de C2, GTX2, GTX3, GTX5, STX siendo la concentración de GTX3 predominante con más de un 70% de la muestra. Mientras que, en una cepa aislada de la región de Aysén mostró la presencia de GTX3, GTX2 y STX. En ambas cepas no se encontró la presencia de gimnodimina y espirolidos (Norambuena et al. 2024).

En este estudio la aislación de una cepa de *A. ostenfeldii* desde la costa de la región de Coquimbo explica la presencia de STX en las muestras de fitoplancton. La caracterización toxicológica de la cepa mostró la presencia de STX y gimnodimina. Ambas toxinas fueron las únicas que consistentemente estuvieron presentes en las muestras de fitoplancton tomadas desde Tongoy hasta Arica. Aunque en las muestras de mariscos la STX no estuvo presente en 9 muestras. La estimación de la AR mostró que *A. ostenfeldii* es una especie con mayores valores en comparación con el morfotipo de *Alexandrium*, y en Iquique y Mejillones, la primera especie fue la única identificada. Interesantemente, aunque *A. ostenfeldii* ha sido

consistentemente identificado a lo largo de la costa chilena su AR es baja en comparación con las detectadas en el norte de Chile. Posiblemente la producción de STX y gimnodimina está asociada a una diferente población de *A. ostenfeldii* que es predominante en el norte de Chile.

La detección de gimnodimina en una cepa *A. ostenfeldii* explica en parte la presencia de esta toxina en las costas de Chile. La presencia de gimnodimina ha sido reportada en Chile en el sistema de fiordos patagónicos, la costa de Chile central y el norte de Chile (Trefault et al., 2011). Hasta el momento en nuestro país, solo se había detectado la presencia de esta toxina, pero se desconocía la especie responsable de la producción. Aun cuando *Karenia selliformis* y *A. ostenfeldii* pueden producirlas, las cepas aisladas en Chile no mostraban la presencia de este tipo de toxinas (Mardones et al., 2022; Norambuena et al., 2024). Para el caso de *A. ostenfeldii* las cepas aisladas mostraban solo la presencia de toxinas paralizantes. En consecuencia, este es el primer registro que se realiza en Chile de una especie que puede producir gimnodimina. Este hecho, además, destaca la relevancia que tiene el estudio de toxicológico de especies debido a que la producción de toxinas puede cambiar a nivel geográfico.

En este estudio la presencia de STX y otros análogos de toxinas paralizantes en muestras de mariscos encontrados puede estar asociado a *A. catenella*. Los análisis de fitoplancton mostraron consistentemente la detección de un morfotipo del género *Alexandrium*, que se diferenció morfológicamente de *A. ostenfeldii* y que fue la especie predominante en el norte de Chile. La identificación del morfotipo *Alexandrium* muestra la presencia de un poro ventral en la placa 1' característica que no coincide con las cepas aisladas hasta el momento en el sur de Chile, las que muestran consistente la ausencia de este poro. No obstante, en la costa Atlántica de Brasil se ha reportado la presencia de *A. catenella* con la presencia de poro en la placa 1' (Meneses et al., 2018), característica que es similar al morfotipo encontrado en este estudio. En la costa del Pacífico en Perú se ha reportado la presencia de *Alexandrium minutum* una especie productora de toxinas paralizantes y que ha generado floraciones en el 2006 y 2009 (Baylón et al., 2015). Aunque, la comparación de esta especie con el morfotipo *Alexandrium* de Chile muestra diferencias debido a que *A. minutum* tiene una placa 6' más larga que ancha. Interesantemente, en el norte de Chile se ha registrado la presencia del género *Alexandrium*. Por ejemplo, en invierno de 1982 se observó una floración de *Gonyaulax catenella* (actualmente conocida como *Alexandrium catenella*) en bahía San José región de Antofagasta (Rodríguez 1987), mientras que en 2006 se produjo una floración de *Alexandrium* spp en Mejillones, Guanaqueros y Tongoy registrándose toxinas paralizantes en mariscos (Álvarez et al., 2009). Aunque existen distintos perfiles de toxinas paralizantes entre los reportado por Álvarez et al., (2009) y este estudio, estas diferencias pueden corresponder la presencia de diferentes poblaciones segregadas a nivel geográfico o temporal. Posiblemente, el morfotipo de *Alexandrium* encontrado consistentemente en los análisis de fitoplancton en el norte de Chile podría corresponder a *Alexandrium catenella*. No obstante, se necesitan más estudios para corroborar esta asignación taxonómica en consecuencia lo hemos denominamos *A. cf. catenella* (confer=cf.). El término "confer" indica que los caracteres diagnósticos o los utilizados para para identificar a un taxon se aproximan a la especie, pero se han encontrado algunas diferencias o no se ha podido realizar un estudio más exhaustivo que permita tener mayor certeza de la

asignación taxonómica. La presencia de al menos dos especies que producen toxinas paralizantes en el norte de Chile explicaría la detección de distintos análogos lo que posiblemente corresponde a una acción sinérgica entre *A. cf. catenella* y *A. ostenfeldii*.

Toxinas diarreicas

El análisis de mariscos en el norte de Chile mostró la presencia de PTX y ausencia de ácido okadaico y dinofisistoxinas. La consistente detección en concentraciones cuantificables de PTX en mariscos fue detectada a través de los análisis del laboratorio de la Seremi de Salud de la Región de Los Lagos y en la localidad de Tongoy el valor máximo fue de 24,4 mg/kg. Similarmente, anteriores registros en el norte habían detectado PTX en floraciones formadas por *Dinophysis acuminata* en el 2005 y 2010 (Blanco 2007, 2018). Por su parte, la evaluación toxicológica en fitoplancton también reveló solamente la presencia de PTX. Relacionado con esta toxina, el análisis de especies fitoplanctónicas del género *Dinophysis* reveló la presencia de *D. acuminata* alcanzando valores sobre los 7 de AR en al menos 20 muestras. Esta fue la especie que estuvo consistentemente en las muestras de agua, en consecuencia, la producción de toxinas PTX estaría asociada a *D. acuminata*. Respecto a otras especies del género que podrían haber participado de la producción de toxinas se encontró a *Dinophysis caudata* en solo una muestra, y en 5 muestras, se identificó especies a nivel de género. Se ha descrito que *D. caudata* puede producir AO, DTX y PTX, aunque, dada su baja abundancia y presencia podría no estar involucrada en la producción de PTX en el norte de Chile. Se necesitan nuevos estudios para evaluar la producción de toxinas por parte del género *Dinophysis* ya que hasta el momento la única especie cultivada en Chile es *D. acuminata*, y las cepas que se han aislado desde la costa del Pacífico y Fiordos muestran solamente la producción de PTX (Paredes-Mella et al., 2022)

De forma similar a las toxinas paralizantes, en el norte de Chile aparentemente existe un aumento de muestras de mariscos con la presencia de toxinas PTX, consideradas como diarreicas por estado chileno (MINSAL 2024). El monitoreo realizado en la región de Atacama desde el 2009 a febrero del 2024 mostró que las mayores concentraciones estuvieron en los años 2018, 2019, 2021 y 2022 en un rango entre los 10,3 -405 µg/kg. Entre estos años destacan las localidades de El Morro, Rocas Negras y Bahía Inglesa donde el 2018 se registraron concentraciones entre 124-268 µg/kg; el 2019 hay 3 registros sobre 312 µg/kg y 8 registros entre los 93-149 µg/kg (MINSAL registros históricos región Atacama). Considerando la actual normativa del reglamento sanitario de los alimentos (MINSAL 2024), las altas concentraciones y recurrencia tanto de toxinas PTX como de *D. acuminata* la convierten en un importante foco de efectos nocivos para la salud humana en el norte de Chile

Toxinas amnésicas

La detección de toxinas amnésicas en mariscos fue esporádica y en bajas concentraciones tanto las realizadas por los laboratorios de la SSL y el CREAN. La evaluación por parte del SSL no mostró la presencia de VAM en mariscos mientras que en muestras analizadas por el CREAN se observó una mínima

concentración de 0 y una máxima de 0,67 mg/kg en Bahía Loreto. No obstante, el MINSAL el 4 de diciembre del 2023 se detectó en ostiones obtenidos la localidad de El Morro una concentración de 39 $\mu\text{g/g}$ de VAM. En ese momento el MINSAL emitió una “Resolución Exenta” para prohibir la extracción, transporte, consumo y comercialización de recursos bentónicos susceptibles de ser afectado por toxinas marinas (principalmente bivalvos). Luego de 7 días la concentración disminuyó a 2,8 $\mu\text{g/g}$. En ese mismo periodo en localidades cercanas se detectó la presencia de la toxina, pero en valores bajo los 4,3 $\mu\text{g/kg}$, y en algunos casos el ácido domoico no fue detectado.

La variación en la concentración de AD a través del tiempo y localidades puede deberse a la solubilidad de las toxinas y la presencia diversas especies del género *Pseudo-nitzschia*. Por una parte, el AD es una toxina soluble en agua por lo que no se bioacumula fácilmente, no obstante, las tasas de depuración varían ampliamente entre los animales contaminados, los cuales pueden variar desde horas para el caso de *Mytilus edulis* hasta meses en el caso de *Siliqua patula* (Kudela 2018; Trainer et al., 2012; Wang et al 2024). Por otro lado, actualmente se han descrito alrededor de 29 especies de este género que pueden producir toxinas (Pinto-Torres et al., 2022). En Chile se han identificado alrededor de 11 especies y 3 de ellas producen AD (von Dawson et al., 2024). Debido a la alta diversidad de especies y lo complejidad para discriminar entre ellas cuando se analizan con microscopía óptica se ha adoptado un criterio de asignación de especies a dos grupos, en función del ancho y largo de la valva los cuales son: el grupo *Pseudo-nitzschia seriata* y *Pseudo-nitzschia delicatissima* (Pinto-Torres et al., 2022). En este estudio en Coquimbo en la primera quincena de junio se observó la máxima AR del grupo *P. seriata* registra en el muestreo (AR=10), mientras que al mismo tiempo el grupo *P. delicatissima* mostró una AR de 4. En ese momento la evaluación toxicológica en la muestra fitoplancton mostró el apogeo de la concentración con 332 pmol/red mientras que la concentración en mariscos fue de 0.30 mg/kg. Estos resultados indican que alta solubilidad del AD en agua, diferentes tasas de detoxificación entre mariscos, además de la diversidad de especies que pueden participar en una floración con distinta capacidad para producir toxinas pueden dar como resultado rápidas variaciones espacio-temporales de concentración de AD en mariscos y fitoplancton.

Azaspirácidos y yesotoxinas

En este estudio no se registró la presencia de azaspirácidos y las yesotoxinas fueron detectadas esporádicamente en concentraciones $<0,06$ mg/Kg. Actualmente la normativa chilena mandata el monitoreo de estas toxinas y sus análogos, y aunque no se han registrado efectos en humanos, los bioensayos muestran que pueden afectar mortalmente y generar efectos en las distintas fases de crecimiento de bivalvos. La detección de azaspirácidos en el norte de Chile data del 2005 – 2006 momento en que se realizó una evaluación de biotoxinas en *Argopecten purpuratus* y *Mytilus chilensis* aislados en la localidad de Bahía Inglesa. Los resultados mostraron la contaminación de mariscos con azaspirácidos bajo el límite regulatorio (Lopez-Rivera et al., 2010). Similarmente, en un muestreo de *Mesodesma donacium* y *Mulinia edulis* realizado en la Bahía de Coquimbo entre marzo y septiembre del 2008 se encontró la presencia de azaspirácidos (AZA-1). En todos los casos las concentraciones estuvieron bajo el límite de detección.

Similarmente, los registros históricos de los análisis realizados por el MINSAL (región ATACAMA) y PSMB no han detectado la presencia de esta toxina. La ausencia de azaspirácidos en mariscos encontradas en este estudio se explica en parte con las esporádicas detecciones de especies de *Azadinium spp.* los cuales fueron registrados en dos ocasiones con abundancias de 100 y 1100 cel/L. Si bien existió el registro del género, la identificación a nivel de especies es compleja debido a su pequeño tamaño de casi 10 μm . Hasta el momento, la única identificación formal realizada de una especie de este género en la costa chilena fue de *Azadinium poporum*, cepa aislada el 2014 en la localidad de Chañaral registrándose la presencia de azaspirácidos (Tillmann et al., 2017a). La presencia de azaspirácidos y potenciales especies responsables de su producción indica que es necesario monitorear estas toxinas para garantizar la salud pública y mariscos exportados (Álvarez et al., 2010).

Por el contrario, la detección de yesotoxinas en el norte de Chile ha sido más frecuentes y la formación de floraciones legando ha generado severos efectos nocivos. El verano del 2007 ocurrió una floración de *Protoceratium reticulatum* en la bahía de Mejillones. La evaluación toxicológica de muestras de fitoplancton colectadas con red reveló la presencia de YTX en concentraciones entre 0,2-0,4 pg/célula (Álvarez et al., 2011). Ese mismo año la bahía de Chipana 1(20 Km al sur de Iquique) región de Tarapacá se realizó un muestreo intensivo de fitoplancton en febrero. El muestreo reveló el dominio de *P. reticulatum* con un 60-80% del total de la abundancia fitoplanctónica en un rango de 55.000 a 384.000 células/L, aunque no se realizaron análisis toxicológicos para evaluar la presencia de toxinas (Rossi & Fiorillo et al., 2010). Posteriormente, el 2009 una floración de una especie del género *Gonyaulax* fue detectada en la bahía Mejillones, así como la presencia de yesotoxinas. La identificación formal de la especie reveló la presencia de *G. taylorii* y la presencia de yestoxinas (YTX) y homoyesotoxina (Homo-YTX) (Álvarez et al., 2016). En el 2019 se produjo unos de los más severos eventos de floración asociados a la presencia de YTX y mortalidad de invertebrados marinos a lo largo de casi 1000 Km de costa. En enero en Pabellón de Pica, Región de Tarapacá se observó la mortalidad de invertebrado que incluyeron *Stichaster striatus*, *Loxechinus albus*, *Ameghinomya antiqua*, estrella de mar, erizo y almeja respectivamente. El análisis toxicológico reveló la presencia de YTX en un rango de 0,1-0,4 mg YTX/kg. Dos semanas después, en bahía Inglesa en la región de Atacama el 10 – 11 de febrero ocurrió una mortalidad de *Dosidicus gigas* (Calamar). El análisis toxicológico de los individuos reveló la presencia de YTX en una concentración de 0,42 mg YTX/Kg. Para el fin de marzo una nueva mortalidad de calamares fue detectada en la bahía Puerto Aldea de la bahía de Coquimbo el análisis de individuos reveló la presencia de YTX en una concentración de 0,12 mg YTX/Kg (Álvarez et al 2020a). En tanto que la localidad de el Morro, Rocas Negras y Bahía Inglesa ese mismo año se encontraron niveles de toxinas entre 1,15 y 1,36 mg YTX/Kg en ostiones (MINSAL, datos históricos).

En este estudio los bajos niveles de yesotoxinas son consistentes con la baja AR y abundancia celular de las especies productoras y potenciales como *Protoceratium reticulatum* y *Gonxaulax spp.*, respectivamente. La AR de *P. reticulatum* mostró bajos valores a través de todo el tiempo de monitoreo registrándose un 92% de valores cero y el máximo fue de 2. La presencia de otras especies que potencialmente pueden producir yesotoxinas no fue registrada como *Lingulodinium polyedra* y solo se identificaron células del género

Gonyaulax en 17 muestreos con rangos que fueron desde los 100 – 1700 células/mL. Por su parte *Goxyaulax spinifera* fue registrada en 4 ocasiones con valoren entre 100-400 células/mL. A pesar de que en este estudio no se encontró altas concentraciones de yesotoxinas, los eventos históricos ocurridos en el norte de Chile asociados a mortalidad de invertebrado, la convierten en una importante toxina para monitorear. Adicionalmente, la alta recurrencia de detección de análogos de yesotoxinas en la localidad de El Morro, la convierten en una importante zona que debe ser estudiada para entender la dinámica de este grupo de toxinas en el norte de Chile.

Otras toxinas: pinatoxinas, tetrodotoxinas y brevetoxinas

En este estudio no se registró la presencia de pinatoxinas, tetrodotoxinas y brevetoxinas. A pesar que las pinatoxinas no están reguladas internacionalmente, la “French Agency for Food, Environmental and Occupational Health and Safety” estableció que es un riesgo para los humanos cuando existe una acumulación que excede los 23 µg/kg en mariscos (Norambuena et al., 2024). En Chile, el monitoreo entre el 2021-2022 en estaciones centinelas para detectar la presencia de toxinas en mariscos mostró la presencia de pinatoxinas en muestras colectadas en la región de Magallanes en concentraciones que estuvieron en un rango de 15-100 µg/kg (Norambuena et al., 2024). No obstante, la potencial especie que puede producir esta toxina *V. rugosum* hasta el momento no ha sido detectada. Posiblemente, existe una población de esta especie restringida al sur de Chile. Por su parte, la producción de brevetoxinas está asociada a *Karenia brevis* (Brand et al., 2018), especie que hasta el momento no se ha identificado formalmente en Chile. El 2018 una severa floración del género *Karenia* generó mortalidad de invertebrado a través de la costa del Pacífico desde la región del Bío-Bío hasta el norte de Aysén. La identificación de cepas desde ese evento revelo la presencia de *K. seliformis*, ausencia de gimnodimina y brevetoxinas, pero un alto efecto citotóxico (Mardones et al., 2022). La identificación de las especies del género *Karenia* en la costa del Pacífico del centro de Chile es recurrente, aunque todavía hay dificultades para identificar las especies por medio de microscopía óptica, debido en parte, a que el uso de fijadores genera deformación celular y lisis. En este estudio, no se registró la presencia de alguna especie del género *Karenia*, aunque su presencia en la costa chilena, así como la detección de gimnodimina en el sur de Chile destaca la relevancia para monitorear la especie y toxinas a través de nuestro país. Finalmente, no se detectó la presencia de tetrodotoxinas, lo que es consistente con su ausencia en análisis llevados a cabo en el sur y centro de Chile.

Taxones dominantes fitoplancton total

Si bien las floraciones de especies que producen toxinas son las más importantes por sus efectos en la salud de las personas y la mortalidad que pueden generar en bivalvos marinos, existen otras especies fitoplanctónica que no producen toxinas, pero pueden alcanzar altas biomásas generando efectos nocivos en actividades productivas.

En el norte de Chile, históricamente se ha registrado la formación de floraciones por parte de *Prorocentrum micans*, *Prorocentrum gracilis*, *A. sanguinea* y *Phaeocystis* spp. generando descoloración en el agua y afectando nuevos procesos costeros como plantas de desalinización. Esto se debe a que la alta biomasa que pueden alcanzar en una floración está asociada a la producción de mucilagos (polímeros) lo que confieren una mayor densidad o viscosidad al agua, generando el bloqueo de los sistemas de filtración. En este estudio se observó la consistente presencia y con altas abundancias de *Prorocentrum* cf. *minimum*, *Prorocentrum gracile* y *Prorocentrum* spp. No obstante, la presencia de *P. micans* y *A. sanguinea* importantes especies que han generado floraciones en el norte de Chile no fue observada. Posiblemente se necesitan un monitoreo más extenso para conocer su dinámica y la real contribución al fitoplancton total a través del tiempo.

Sorprendentemente, se observó una floración de *Phaeocystis* spp. la primera quincena de abril en la localidad de Barranquilla alcanzando una abundancia de 8.556.400 células/mL. Esta abundancia incluso fue más alta que la registrada en otros monitoreos realizados en el sur y centro de Chile. Se ha descrito, por ejemplo, que una alta biomasa de especies fitoplanctónica como *P. micans* puede generar mortalidad de peces, disminución de oxígeno, generar cambios de acides del agua, atenúa la penetración de la luz, y la producción de sulfuro de dimetilo que puede provocar irritación de ojos y piel incluso afectar el sistema nervioso central (Díaz et al., 2025). La presencia de especies que pueden alcanzar altas biomasa en una constante amenaza para las actividades productivas y ecosistemas.

Las especies que pueden generar efectos en las características organolépticas de mariscos también fueron detectadas recurrentemente y en alta abundancia. Se ha evidenciado que las diatomeas como *Rhizosolenia imbricata* y el ciliado *Mesodinium rubrum* confiere un fuerte sabor amargo en los bivalvos que los consumen (Uribe et al., 2010). Además, *Guinardia striata* puede alterar el aspecto de ostiones al producir un cambio en la coloración de la parte femenina de la gónada sin generar mortalidad en los individuos, los cuales recuperan su aspecto normal alrededor de un mes después de ocurrido el consumo de microalga (Uribe et al., 2010). En este estudio *Mesosodinium rubrum* fue consistentemente detectado alcanzando un 70% del total de muestreos y con valores que estuvieron entre 100 y 23.900 células/L. Por su parte, la diatomea *R. imbricata* mostró una menor presencia con un 45% de las muestras con una abundancia entre 100-151.000 células/L. Aunque *G. striata* mostró un porcentaje de presencia similar (47%) su abundancia fue significativamente mayor en un rango entre 100-1.800.400 células/mL. La consistente presencia de estas especies constituye un peligro potencial para la calidad organoléptica de bivalvos en el norte de Chile particularmente para el cultivo de ostiones.

8) CONCLUSIONES

Toxinas paralizantes y gimnodimina

- Se detectó la presencia de análogos de toxinas paralizantes en mariscos en el norte de Chile: dcSTX, STX, GTX1, GTX2, GTX3, GTX4. La detección de toxinas se realizó en las localidades de Arica, Mejillones, El Morro, Barranquilla, Punta Choros, Bahía Coquimbo, Guanaqueros y Tongoy, mientras que en Iquique las toxinas no fueron encontradas. En general, una muestra no presentó más de tres análogos y la mayor diversidad de ellos y concentración se observó en la localidad de El Morro, Guanaqueros y Tongoy.
- Se identificó por medio de microscopía óptica un morfotipo del género *Alexandrium* que consistentemente apareció en los análisis de fitoplancton cualitativo. Considerando las características morfológicas identificamos a este morfotipo como *A. cf. catenella*. Esto se debe a que, aunque el morfotipo comparte características con la especie *A. catenella*, se deben realizar más estudios para tener una mayor certeza de la asignación taxonómica de la especie.
- La aislación de una cepa de *Alexandrium ostenfeldii* desde la costa de Coquimbo, llevada a cabo en este estudio, permitió conocer que la especie es capaz de producir STX y gimnodimina. Este resultado es relevante, debido a que explica que la presencia de gimnodimina detectada consistentemente en mariscos a lo largo de la costa de Chile es producida por *A. ostenfeldii*.
- La presencia de *A. ostenfeldii* y su abundancia relativa (AR) fue mayor a través de las localidades en comparación con *A. cf. catenella*. La primera especie fue detectada a través de todas las localidades mientras que *A. cf. catenella* no se detectó en Iquique y Mejillones. Posiblemente, ambas especies actúan sinérgicamente en la producción de toxinas paralizantes encontradas en mariscos.
- La evaluación de toxinas paralizantes en muestras de agua con fitoplancton mostró solo la presencia de STX y gimnodimina. La producción de ambas toxinas estaría explicada en parte por *A. ostenfeldii*, mientras que *A. cf. catenella* puede haber participado en la producción de la STX. Adicionalmente, la presencia de gimnodimina fue detectada en muestras de mariscos. En todos los casos la detección de la gimnodimina fue registrada bajo el límite de cuantificación por medio del HPLC-MS/MS tanto en muestras de fitoplancton como mariscos.
- A pesar de que los muestreos en este estudio se extendieron por 7 meses, se observó una alta presencia de toxinas paralizantes, detectándose en un 35% de las muestras (HPLC MS/MS), y el SS salud de Llanquihue detectó tres muestras positivas mediante bioensayo del ratón.

Toxinas diarreicas y pectenotoxinas

- No se detectó la presencia de toxinas diarreicas, ácido okadaico y dinofisistoxina tanto en mariscos como en muestras de fitoplancton. No obstante, la presencia de pectenotoxinas fue recurrente a lo largo de las localidades y fue detectada en concentraciones cuantificables solamente por el laboratorio de la Seremi de Salud de la Región de los Lagos en mariscos.

- Se registró en mayor número la presencia de pectenotoxinas en muestras de fitoplancton en comparación con las muestras de mariscos, y la consistente detección de *Dinophysis acuminata* en las muestras fitoplanctónicas, explica la presencia de esta toxina en el norte de Chile.
- Se detectaron otras especies del género *Dinophysis*, no obstante, dada su baja abundancia y recurrencia posiblemente no estarían involucradas en la producción de PTX.
- La detección histórica de especies productoras de toxinas diarreicas como *Prorocentrum lima*, y *Prorocentrum rhathymum* y *Prorocentrum cf. consutum* en la isla de Pascua, constituye un riesgo potencial para la salud humana.
- Considerando la actual normativa chilena (reglamento de sanidad de los alimentos), las altas concentraciones y recurrencia de *D. acuminata* y PTX convierten en una especie relevante para monitorear.

Toxinas amnésicas

- Los análisis realizados por el SSL y el CREAN revelaron la esporádica detección de toxinas amnésicas en mariscos y en bajas concentraciones.
- La detección de ácido domoico mostró una rápida variación de la concentración a nivel temporal y espacial.
- En este estudio existió una mejor correlación entre la presencia de toxinas en el agua que en mariscos, y entre las especies, la mejor correlación fue para el Grupo *P. seriata* en comparación con el Grupo *P. delicatissima*. No obstante, en todos los casos valores de correlación fueron bajos.
- Posiblemente, la alta solubilidad del AD en agua, las diferentes tasas de detoxificación entre mariscos, además de la diversidad de especies del género *Pseudo-nitzschia* que pueden participar en una floración, con distinta capacidad para producir toxinas, pueden dar como resultado rápidas variaciones espacio-temporales de concentración de AD en mariscos y fitoplancton. En consecuencia, la intensificación de evaluaciones toxicológicas en mariscos puede disminuir la incerteza de las concentraciones de AD producido por *Pseudo-nitzschia* spp.

Yesotoxinas

- En este estudio los bajos niveles de yesotoxinas son consistentes con la baja AR y abundancia celular de una especie productoras como *Protoceratium reticulatum*.
- La presencia de otras especies que potencialmente pueden producir yesotoxinas como *Lingulodinium polyedra* no fue registrada. Además, células del género *Gonyaulax* spp. y *Goxyaulax spinifera* fueron detectadas en 17 y 4 muestras respectivamente en baja abundancia.
- A pesar de que en este estudio no se encontró altas concentraciones de yesotoxinas, los eventos históricos ocurridos en el norte de Chile asociados a mortalidad de invertebrado, la convierten en una importante toxina para monitorear.
- La alta recurrencia de detección de análogos de yesotoxinas en El Morro, la convierten en una importante localidad que debe ser estudiada y así entender la dinámica de este grupo de toxinas en el norte de Chile.

Azaspirácidos

- En este estudio no se registró la presencia de azaspirácidos, aunque los análisis cuantitativos detectaron la presencia del género *Azadinium* spp, en cual, podría contener potenciales especies productoras de esta toxina.
- Si bien existió el registro del género *Azadinium*, la identificación a nivel de especies es compleja debido a su pequeño tamaño (casi 10 μ m), característica que los hace indistinguible a través del uso de microscopía óptica.
- La presencia de histórica de azaspirácidos y potenciales especies responsables de su producción indica que es necesario monitorear estas toxinas para garantizar la salud pública y mariscos exportados en el norte de Chile

Pinatoxinas, brevetoxinas, espirolidos y tetrodotoxinas.

- En este estudio en el norte de Chile no se registró la presencia de pinatoxinas, espirolidos, brevetoxinas y tetrodotoxinas.
- A pesar de que en este estudio no se detectaron las pinatoxinas y brevetoxinas, la presencia de especies y floraciones formadas por el género *Karenia* (centro-sur de Chile), además de pinatoxinas en la región de Magallanes, hace necesario su monitoreo para prevenir potenciales incremento de distribución hacia el norte de Chile.

Taxones dominantes del fitoplancton

- En este estudio se observó la presencia y alta abundancia de *Prorocentrum* cf. *minimum*, *Prorocentrum gracile*, *Prorocentrum* spp. y *Phaeocystis* spp. especies que pueden provocar descoloración del agua y afectar procesos costeros como la desalinización del agua.
- La presencia de *Prorocentrum micans* y *Akashiwo sanguinea* importantes especies que han generado floraciones en el norte de Chile no fue observada. Posiblemente se necesitan un monitoreo más extenso para conocer su dinámica y la real contribución al fitoplancton total a través del tiempo.
- Se observó una floración de *Phaeocystis* spp. la primera quincena de abril en la localidad de Barranquilla alcanzando una abundancia de 8.556.400 células/mL. Esta abundancia incluso fue más alta que la registrada en otros monitoreos realizados en el sur y centro de Chile. La presencia de especies que pueden alcanzar altas biomasa en una constante amenaza para las actividades productivas y ecosistemas del norte de Chile.
- Especies que pueden generar efectos en las características organolépticas de mariscos fueron detectadas recurrentemente y en alta abundancia como: *Rhizosolenia imbricata* y el ciliado *Mesodinium rubrum* que confieren un fuerte sabor amargo en los bivalvos que los consumen; además de *Guinardia striata* que puede alterar el aspecto de ostiones al producir un cambio en la coloración de la parte femenina de la gónada sin

generar mortalidad en los individuos. La consistente presencia de estas especies constituye un peligro potencial para la calidad organoléptica de bivalvos en el norte de Chile particularmente para el cultivo de ostiones.

Monitoreo de especies nocivas

- Si bien la detección de importantes especies y toxinas como por ejemplo como *P. reticulatum* y yesotoxinas, además de especies que alcanzan alta biomasa como *P. micans* y *A. sanguinea*, no fueron detectadas o alcanzaron baja abundancia o concentración de toxinas, se necesitan monitoreos temporalmente más extensos para conocer su dinámica.
- Es importante mencionar que a pesar de que la concentración de biotoxinas no superó los límites regulatorios en el periodo de muestreo, la consistente presencia de ellas en mariscos y la persistente detección de microalgas nocivas, son una constante amenaza para la salud humana y actividades pesqueras y de acuicultura en el norte de Chile. En consecuencia, se deberían implementar monitoreos sistemáticos de fitoplancton y toxinas como acciones preventivas. Además de incluir el monitoreo variables meteorológicas y oceanográficas con el propósito de entender la dinámica de las comunidades fitoplanctónicas con énfasis en las especies nocivas.

9) REFERENCIAS

- Adolf, J., Matthew, P., & Place, A. (2020). *Karlodinium veneficum*: Still Blooming and Toxic Sixty-Two Years Later. In: S. Rao (Ed.), *Dinoflagellates - Classification, Evolution, Physiology and Ecological Significance*. (pp. 353–403). Nova Science Publishers.
- Aguilera-Belmonte Alejandra, Ingrid Inostroza, Jose M. Franco, Pilar Riobo, Patricia I. Gomez (2011) The growth, toxicity and genetic characterization of seven strains of *Alexandrium catenella* (Whedon and Kofoid) Balech 1985 (Dinophyceae) isolated during the 2009 summer outbreak in southern Chile. *Harmful Algae* 12 (2011) 105–112. doi:10.1016/j.hal.2011.09.006
- Albright, L. J., Yang, C. Z., & Johnson, S. (1993). Sub-lethal concentrations of the harmful diatoms, *Chaetoceros concavicornis* and *C. convolutus*, increase mortality rates of penned Pacific salmon. *Aquaculture*, 117, 215–225.
- Alvarez Gonzalo, Jose Rengel, Eduardo Uribe, Michael Araya, Patricio Díaz, Valentina Hevia-Hormazabal, Praxedes Muñiz, Javier Sellanes, Juan Blanco (2021). First detection of the toxic dinoflagellates *Prorocentrum rathymum* and *Prorocentrum cf consutum* in Rapa Nui (Easter Island). 19th International Conference on Harmful Algae (ICHA 2021).
- Álvarez, G., Uribe, E., Ávalos, P., Mariño, C., & Blanco, J. (2010). First identification of azaspiracid and spirolides in *Mesodesma donacium* and *Mulinia edulis* from Northern Chile. *Toxicon*, 55(2–3), 638–641. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2009.07.014>
- Álvarez, G., Uribe, E., Díaz, R., Braun, M., Mariño, C., & Blanco, J. (2011). Bloom of the Yessotoxin producing dinoflagellate *Protoceratium reticulatum* (Dinophyceae) in Northern Chile. *Journal of Sea Research*, 65(4), 427–434. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2011.03.008>
- Álvarez G, Uribe E, Regueiro J, Blanco J, Fraga S. 2016. *Gonyaulax taylorii*, a new yessotoxins-producer dinoflagellate species from Chilean waters. *Harmful Algae*. Sep; 58: 8-15.
- Álvarez, G., Uribe, E., Vidal, A., Ávalos, P., González, F., Mariño, C., & Blanco, J. (2009). Paralytic shellfish toxins in *Argopecten purpuratus* and *Semimytilus algosus* from northern Chile. *Aquatic Living Resources*, 22. <https://doi.org/10.1051/alr/2009>
- Arnich, N., Abadie, E., Delcourt, N., Fessard, V., Fremy, J. M., Hort, V., Lagrange, E., Maignien, T., Molgó, J., Peyrat, M. B., Vernoux, J. P., & Mattei, C. (2020). Health risk assessment related to pinnatoxins in French shellfish. *Toxicon*, 180(October 2019), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2020.03.007>
- Ávalos, V., Cameron, H., Barría, S., Riquelme, C., Espinoza-González, O., Guzmán, L., Yarimizu, K., Okazaki, M., & Nagai, S. (2019). Dinoflagellate toxins recorded during and extensive coastal bloom in northern Chile. *HAN* N°62 14 – 15.

Bakit, J., Álvarez, G., Díaz, P. A., Uribe, E., Sfeir, R., Villasante, S., Bas, T. G., Lira, G., Pérez, H., Hurtado, A., González-Ávalos, R., & Castillo-Venenciano, J. (2022). Disentangling Environmental, Economic, and Technological Factors Driving Scallop (*Argopecten purpuratus*) Aquaculture in Chile. *Fishes*, 7(6). <https://doi.org/10.3390/fishes7060380>

Baldrich, Á. M., Pérez-Santos, I., Álvarez, G., Reguera, B., Fernández-Pena, C., Rodríguez-Villegas, C., Araya, M., Álvarez, F., Barrera, F., Karasiewicz, S., & Díaz, P. A. (2021). Niche differentiation of *Dinophysis acuta* and *D. acuminata* in a stratified fjord. *Harmful Algae*, 103. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2021.102010>

Barnett, M. L., Kemp, A. E. S., Hickman, A. E., & Purdie, D. A. (2024). Environmental controls on the interannual variability in chlorophyll and phytoplankton community structure within the seasonal sub surface chlorophyll maximum in the Western English Channel. *Continental Shelf Research*, 105253. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2024.105253>

Blanco Juan, Gonzalo Alvarez, Eduardo Uribe (2007) Identification of pectenotoxins in plankton, filter feeders, and isolated cells of a *Dinophysis acuminata* with an atypical toxin profile, from Chile. *Toxicon* 49 (2007) 710–716. doi:10.1016/j.toxicon.2006.11.013.

Blanco Juan, Gonzalo Álvarez, José Rengel, Rosario Díaz, Carmen Mariño, Helena Martín and Eduardo Uribe (2018). Accumulation and Biotransformation of *Dinophysis* Toxins by the Surf Clam *Mesodesma donacium*. *Toxins* 2018, 10, 314; doi:10.3390/toxins10080314.

Braña-Magdalena, A., Leão-Martins, J. M., Glauner, T. & Gago-Martínez, A. 2014. Intralaboratory validation of a fast and sensitive UHPLC/MS/MS method with fast polarity switching for the analysis of lipophilic shellfish toxins. *Journal of AOAC International*, 97, 285-292.

Burkholder, J., & Marshall, H. (2018). Harmful Algal Species Fact Sheets: *Pfiesteria piscicida* Steidinger & Burkholder and *Pfiesteria shumwayae* Glasgow & Burkholder. In S. Shumway, J. Burkholder, & S. Morton (Eds.), *Harmful Algal Blooms: A compendium Desk Reference* (First Edit, pp. 621–624). John Wiley & Sons, Ltd.

Cai, P., He, S., Zhou, C., Place, A. R., Haq, S., Ding, L., Chen, H., Jiang, Y., Guo, C., Xu, Y., Zhang, J., & Yan, X. (2016). Two new karlotoxins found in *Karlodinium veneficum* (strain GM2) from the East China Sea. *Harmful Algae*, 58, 66–73. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2016.08.001>

Cembella, A. (2018). Harmful Algal Species Fact Sheets: *Alexandrium*. In S. Shumway, J. Burkholder, & S. Morton (Eds.), *Harmful Algal Blooms: A compendium Desk Reference* (First Edit). John Wiley & Sons, Ltd.

Cembella, A., & Band-Schmidt, C. (2018). Harmful Algal Species Fact Sheets: *Gymnodinium catenatum*. In S. Shumway, J. Burkholder, & S. Morton (Eds.), *Harmful Algal Blooms: A compendium Desk Reference* (First Edit, pp. 605–611). John Wiley & Sons, Ltd.

- Cen, J., Lu, S., Moestrup, Ø., Jiang, T., Ho, K. C., Li, S., Li, M., Huan, Q., & Wang, J. (2024). Five *Karenia* species along the Chinese coast: with the description of a new species, *Karenia hui* sp. nov. (Kareniaceae, Dinophyta). *Harmful Algae*, 102645. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2024.102645>
- Chekan, J. R., Fallon, T. R., & Moore, B. S. (2020). Biosynthesis of marine toxins. *Current Opinion in Chemical Biology*, 59, 119–129. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2020.06.009>
- Chen, B., Kang, W., & Hui, L. (2019). *Akashiwo sanguinea* blooms in Chinese waters in 1998–2017. *Marine Pollution Bulletin*, 149. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110652>
- Chinain, M., Gatti, C., Roué, M., & Darius, T. (2020). Ciguatera-Causing Dinoflagellates in the Genera *Gambierdiscus* and *Fukuyoa*: Distribution, Ecophysiology and Toxicology. In S. Rao (Ed.), *Dinoflagellates - Classification, Evolution, Physiology and Ecological Significance*. (pp. 405–457). Nova Science Publishers.
- Cifuentes, J. M., Boente-juncal, A., Vale, C., Cami, M., Vieytes, M. R., & Botana, L. M. (2020). Reevaluation of the acute toxicity of palytoxin in mice: Determination of lethal dose (LD₅₀) and No-observed-adverse-effect level (NOAEL). *Toxicology*, 177(June 2019), 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2020.01.010>
- Cuellar-Martinez Tomasa, Aurora del Rocío Huanca Ochoa, Sonia Sánchez, Arturo Aguirre Velarde, David Correa, Kilder Antonio Egoavil Gallardo, Henry Fernando Luján Monja, Juan Manuel Ipanaqué Zapata, François Colas, Jorge Tam, Dimitri Gutiérrez (2021) Paralytic shellfish toxins in Peruvian scallops associated with blooms of *Alexandrium ostenfeldii* (Paulsen) Balech & Tangen in Paracas Bay, Peru. *Marine Pollution Bulletin* 173 (2021) 112988. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112988>
- Dai, Y., Yang, S., Zhao, D., Hu, C., Xu, W., Anderson, D. M., Li, Y., Song, X. P., Boyce, D. G., Gibson, L., Zheng, C., & Feng, L. (2023). Coastal phytoplankton blooms expand and intensify in the 21st century. *Nature*, 615(7951), 280–284. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-05760-y>
- Díaz Patricio A., Gonzalo Álvarez, Gemita Pizarro, Juan Blanco and Beatriz Reguera (2022) Lipophilic Toxins in Chile: History, Producers and Impacts. *Mar. Drugs* 2022, 20, 122. <https://doi.org/10.3390/md20020122>.
- Díaz Patricio A., Leila Bastic Perez-Santosa, Camila Schwertera, et al., (2025) The risk of high-biomass HABs: Triggers and dynamics of a non-toxic bloom of *Prorocentrum micans* in Chilean Patagonia. *Science of the Total Environment* 958(2025)178140. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.178140>.
- Esenkulova, S., Neville, C., DiCicco, E., & Pearsall, I. (2022). Indications that algal blooms may affect wild salmon in a similar way as farmed salmon. In *Harmful Algae* (Vol. 118). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2022.102310>

European Food Safety Authority (2010). Scientific Opinion on marine biotoxins in shellfish – Cyclic imines (spirolides, gymnodimines, pinnatoxins and pteriatoxins). *EFSA Journal*, 8(6), 1–39. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1628>.

EU-RL-MB January 2015. EU-Harmonised Standard Operating Procedure for determination of Lipophilic marine biotoxins in molluscs by LC-MS/MS. In: BIOTOXINS, E. U. R. L. F. M. (ed.) Version 5.

FAO (2015). CODEX ALIMENTARIUS. Normas internacionales de los alimentos. CODEX STAN 292-2008.

Ferna, M. L., Fraga, S., Paz, B., & Riobo, P. (2004). Production and release of yessotoxins by the dinoflagellates *Protoceratium reticulatum* and *Lingulodinium polyedrum* in culture. *Toxicon*, 44, 251–258. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2004.05.021>

Finch, S. C., Harwood, D. T., Boundy, M. J., & Selwood, A. I. (2024). A Review of Cyclic Imines in Shellfish: Worldwide Occurrence, Toxicity and Assessment of the Risk to Consumers. *Marine Drugs*, 1–18.

Flores-Leñero, A., Vargas-Torres, V., Paredes-Mella, J., Norambuena, L., Fuenzalida, G., Lee-Chang, K., & Mardones, J. I. (2022). *Heterosigma akashiwo* in Patagonian Fjords: Genetics, Growth, Pigment Signature and Role of PUFA and ROS in Ichthyotoxicity. *Toxins*, 14(9). <https://doi.org/10.3390/toxins14090577>

Gaillard, S., Le, N., Malo, F., Boulais, M., Fabioux, C., Zaccagnini, L., Carpentier, L., Sibat, M., Damien, R., & Hess, P. (2020). Cultures of *Dinophysis sacculus*, *D. acuminata* and pectenotoxin 2 affect gametes and fertilization success of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*. *Environmental Pollution*, 265. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114840>

Glibert, P. M., & Burkholder, J. M. (2018). Harmful Algal Species Fact Sheets: *Protoceratium*. In S. Shumway, J. Burkholder, & S. Morton (Eds.), *Harmful Algal Blooms: A compendium Desk Reference* (First Edit, pp. 625–628).

Hallegraeff, G. M., Anderson, D. M., Belin, C., Bottein, M. Y. D., Bresnan, E., Chinain, M., Enevoldsen, H., Iwataki, M., Karlson, B., McKenzie, C. H., Sunesen, I., Pitcher, G. C., Provoost, P., Richardson, A., Schweibold, L., Tester, P. A., Trainer, V. L., Yñiguez, A. T., & Zingone, A. (2021). Perceived global increase in algal blooms is attributable to intensified monitoring and emerging bloom impacts. *Communications Earth and Environment*, 2(1). <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00178-8>

Henriksen, P., Knipschildt, F., Moestrup, O., & Thomsen, H. A. (1993). Autecology, life history and toxicology of the silicoflagellate *Dictyocha speculum* (Silicoflagellata, Dictyochophyceae). *Phycologia*, 32(1), 29–39. <https://doi.org/10.2216/i0031-8884-32-1-29.1>

Hermawan, I., Higa, M., Uli, P., Hutabarat, B., & Fujiwara, T. (2019). Kabirimine, a New Cyclic Imine from an Okinawan Dinoflagellate. *Marine Drugs*, 17.

Ho, H., Li, Z., Damien, R., Rovillon, G., Mertens, K. N., Hess, P., Jung, H., Lee, J., Lee, K., Kim, D., Soo, B., Hwang, J., Ho, M., & Ae, W. (2020). *Centrodinium punctatum* (Dinophyceae) produces significant levels of saxitoxin and related analogs. *Harmful Algae*, 100(October). <https://doi.org/10.1016/j.hal.2020.101923>

Hort, V., Abadie, E., Arnich, N., Bottein, M. D., & Amzil, Z. (2021). Chemodiversity of Brevetoxins and Other Potentially Toxic Metabolites Produced by *Karenia* spp. and Their Metabolic Products in Marine Organisms. *Marine Drugs*, 19.

Hu Jingming, Henry Camerón, Joaquín I. Rilling... et al., (2024). Differentiation of microbial communities in coastal seawater before and during an *Akashiwo sanguinea* (Dinophyceae) bloom in the urban area of Antofagasta city (northern Chile). *Harmful Algae*. Volume 142, February 2025, 102782. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2024.102782>.

Jacob Barbara Gianella, Orlando Astudillo, Boris Dewitte, María Valladares, Gonzalo Alvarez Vergara, Carolina Medel, David W. Crawford, Eduardo Uribe and Beatriz Yanicelli. (2024). Abundance and diversity of diatoms and dinoflagellates in an embayment off Central Chile (30°S): evidence of an optimal environmental window driven by low and high frequency winds. *Front. Mar. Sci.*, 23 October 2024 Sec. Physical Oceanography Volume 11 - 2024 | <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1434007>

Jeong, H. J., Yoo, Y. Du, Kang, N. S., Rho, J. R., Seong, K. A., Park, J. W., Nam, G. S., & Yih, W. (2010). Ecology of *Gymnodinium aureolum*. I. Feeding in western Korean waters. *Aquatic Microbial Ecology*, 59(3), 239–255. <https://doi.org/10.3354/ame01394>

Joseph, M., Henderson, S. B., Clermont, H., Saha, N., & McIntyre, L. (2024). Heliyon The health risks of marine biotoxins associated with high seafood consumption: Looking beyond the single dose, single outcome paradigm with a view towards addressing the needs of coastal Indigenous populations in British Columbia. *Heliyon*, 10(5), e27146. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27146>

Kang, Y., & Gobler, C. J. (2023). Nitrogen liberated via allelopathy can promote harmful algal blooms. *Harmful Algae*, 129. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2023.102490>

Kassambara 2017. Practical guide to principal component methods in R. Published by STHDA (<http://www.sthda.com>).

Kremp Anke, Pia Tahvanainen, Wayne Litaker, Bernd Krock, Sanna Suikkanen, Chui Pin Leaw, Carmelo Tomas (2014) Phylogenetic relationships, morphological variation, and toxin patterns in the *Alexandrium ostenfeldii* (dinophyceae) complex: implications for species boundaries and identities. *J. Phycol.* 50, 81–100 (2014). DOI: 10.1111/jpy.12134

Karlson, B., Andersen, P., Arneborg, L., Cembella, A., Eikrem, W., John, U., West, J. J., Klemm, K., Kobos, J., Lehtinen, S., Lundholm, N., Mazur-Marzec, H., Naustvoll, L., Poelman, M., Provoost, P., De Rijcke, M.,

& Suikkanen, S. (2021). Harmful algal blooms and their effects in coastal seas of Northern Europe. *Harmful Algae*, 102. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2021.101989>

Lamas, J. P., Correa, J., Rossignoli, A. E., & Blanco, J. (2021). Gymnodimine A in mollusks from the north Atlantic Coast of Spain: Prevalence, concentration, and relationship with spirolides. *Environmental Pollution*, 279. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116919>

Lewis, N. I., Wolny, J. L., Claude, J., Ellis, L., Pitula, J. S., Rafuse, C., Rosales, D. S., & Mccarron, P. (2018). Identification, growth and toxicity assessment of *Coolia Meunier* (Dinophyceae) from Nova Scotia, Canada. *Harmful Algae*, 75, 45–56. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2018.04.001>

Li, M., Chen, Y., Zhang, F., Song, Y., Glibert, P. M., & Stoecker, D. K. (2022). A three-dimensional mixotrophic model of *Karlodinium veneficum* blooms for a eutrophic estuary. *Harmful Algae*, 113(February), 102203. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2022.102203>

Li, Q., Mahmudiono, T., Mohammadi, H., & Nematollahi, A. (2023). Concentration ciguatoxins in fillet of fish: A global systematic review and meta-analysis. *Heliyon*, 9(8), e18500. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18500>

Liang, D., Wang, X., Huo, Y., Xiang, H., Li, S., & Wang, Y. (2023). Morphological, molecular, and life cycle characteristics of *Phaeocystis globosa* Scherffel (Prymnesiophyceae) in the Southeast China Sea. *Harmful Algae*, 127. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2023.102477>

Lim, P. T., Yñiguez, A., & Leaw, C. P. (2020). The Toxic Marine Thecate Dinoflagellate *Pyrodinium Bahamense*. In S. Rao (Ed.), *Dinoflagellates - Classification, Evolution, Physiology and Ecological Significance*. (pp. 481–492). Nova Science Publishers.

Liu, X., Ma, Y., Wu, J., Yin, Q., Wang, P., Zhu, J., Chan, L. L., & Wu, B. (2023). Characterization of New Gambierones Produced by *Gambierdiscus balechii* 1123M1M10. *Marine Drugs*.

López-Rivera A., O'Callaghan, M. Moriarty, D. O'Driscoll, B. Hamilton, M. Lehane, K.J. James, A. Furey (2010). First evidence of azaspiracids (AZAs): A family of lipophilic polyether marine toxins in scallops (*Argopecten purpuratus*) and mussels (*Mytilus chilensis*) collected in two regions of Chile. *Toxicon* Volume 55, Issue 4, 1 April 2010, Pages 692-701. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2009.10.020>.

López-Rivera A, Maricela Pinto, Andrea Insinilla, Benjamín Suárez Isla (2009). The occurrence of domoic acid linked to a toxic diatom bloom in a new potential vector: The tunicate *Pyura chilensis* (piure). *Toxicon* 54 (2009) 754–762. doi:10.1016/j.toxicon.2009.05.033.

Eduardo Uribe b, Gonzalo Alvarez b, Mary Lehane c, Ambrose Furey c, Kevin J. James The occurrence of domoic acid linked to a toxic diatom bloom in a new potential vector: The tunicate *Pyura chilensis* (piure).

Mardones Jorge I., Bernd Krock, Lara Marcus, Catharina Alves-de-Souza, Satoshi Nagai, Kyoko Yarimizu, Alejandro Clément, Nicole Correa, Sebastian Silva, Javier Paredes-Mella Peter Von Dassow (2022). Chapter 4 - From molecules to ecosystem functioning: insight into new approaches to taxonomy to monitor harmful algae diversity in Chile. In: *Advances in Phytoplankton Ecology Applications of Emerging Technologies 2022*, Pages 119-154

Mardones, J.I., Dorantes-Aranda, J.J., Nichols, P.D., Hallegraeff, G.M., 2015. Fish gill damage by the dinoflagellate *Alexandrium catenella* from Chilean fjords: Synergistic action of ROS and PUFA. *Harmful Algae* 49, 40-49.

Mardones, J. I., Norambuena, L., Paredes, J., Fuenzalida, G., Dorantes-Aranda, J. J., Chang, K. J. L., Guzmán, L., Krock, B., & Hallegraeff, G. (2020). Unraveling the *Karenia selliformis* complex with the description of a non-gymnodimine producing Patagonian phylotype. *Harmful Algae*, 98. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2020.101892>

Mardones, J. I., Paredes, J., Godoy, M., Suarez, R., Norambuena, L., Vargas, V., Fuenzalida, G., Pinilla, E., Artal, O., Rojas, X., Dorantes-Aranda, J. J., Lee Chang, K. J., Anderson, D. M., & Hallegraeff, G. M. (2021). Disentangling the environmental processes responsible for the world's largest farmed fish-killing harmful algal bloom: Chile, 2016. *Science of the Total Environment*, 766. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144383>

Mardones, J. I., Paredes-Mella, J., Flores-Leñero, A., Yarimizu, K., Godoy, M., Artal, O., Corredor-Acosta, A., Marcus, L., Cascales, E., Pablo Espinoza, J., Norambuena, L., Garreaud, R. D., González, H. E., & Iriarte, J. L. (2023). Extreme harmful algal blooms, climate change, and potential risk of eutrophication in Patagonian fjords: Insights from an exceptional *Heterosigma akashiwo* fish-killing event. *Progress in Oceanography*, 210. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2022.102921>

Menezes Mariângela, Suema Branco, Maria Cecília Miotto, Catharina Alves-de-Souza (2018). The Genus *Alexandrium* (Dinophyceae, Dinophyta) in Brazilian Coastal Waters. November 2018 | Volume 5 | Article 421. doi: 10.3389/fmars.2018.00421.

Miles, C. O., Wilkins, A. L., Munday, R., Dines, M. H., Hawkes, A. D., Briggs, L. R., Sandvik, M., Jensen, D. J., Cooney, J. M., Holland, P. T., Quilliam, M. A., Mackenzie, A. L., Beuzenberg, V., & Towers, N. R. (2004). Isolation of pectenotoxin-2 from *Dinophysis acuta* and its conversion to pectenotoxin-2 seco acid, and preliminary assessment of their acute toxicities. *Toxicon*, 43, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2003.10.003>

MINSAL 2024. Modifica decreto supremo N° 977, de 1996, del ministerio de salud, reglamento sanitario de los alimentos N°20. Santiago 23 mayo 2024.

Morton, S. (2018). Harmful Algal Species Fact Sheets: *Dinophysis*. In S. Shumway, J. Burkholder, & S. Morton (Eds.), *Harmful Algal Blooms: A compendium Desk Reference* (First Edit, pp. 597–598). John Wiley & Sons, Ltd.

Munday, R., Selwood, A. I., & Rhodes, L. (2012). Acute toxicity of pinnatoxins E, F and G to mice. *Toxicon*, 60(6), 995–999. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2012.07.002>

Munday, R., Towers, N. R., Mackenzie, L., Beuzenberg, V., Holland, P. T., & Miles, C. O. (2004). Acute toxicity of gymnodimine to mice. *Toxicon*, 44, 173–178. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2004.05.017>

Nielsen, P., Krock, B., Hansen, P. J., & Vismann, B. (2020). Effects of the DSP-toxic dinoflagellate *Dinophysis acuta* on clearance and respiration rate of the blue mussel, *Mytilus edulis*. *PloS One*, 1–19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230176>

Nieves, M. G., Díaz, P. A., Araya, M., Salgado, P., Rojas, R., Quiroga, E., Pizarro, G., & Álvarez, G. (2024a). Effects of the toxic dinoflagellate *Protoceratium reticulatum* and its yessotoxins on the survival and feed ingestion of *Argopecten purpuratus* veliger larvae. *Marine Pollution Bulletin*, 199. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.116022>

Nieves María Gabriela, Gonzalo Alvarez, Jesús Antonio López-Carvalho, Paulina Millanao, Michael Araya, Rosario Díaz and Patricio A. Díaz. (2024b) Effects of the Toxic Dinoflagellate *Protoceratium reticulatum* on Physiological Rates of Juvenile Scallops *Argopecten purpuratus*. *fishes* *Fishes* 2024, 9, 331. <https://doi.org/10.3390/fishes9090331>.

Norambuena-subiabre, L., Carbonell, P., Salgado, P., & Zamora, C. (2024). Sources and profiles of toxins in shellfish from the south-central coast of Chile (36° - 43° S). *Harmful Algae*, 133(February). <https://doi.org/10.1016/j.hal.2024.102608>

Norambuena, L., & Mardones, J. I. (2023). Emerging phycotoxins in the Chilean coast: First localized detection of the neurotoxic cyclic imine Pinnatoxin-G in shellfish banks. *Marine Pollution Bulletin*, 190. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114878>

Ochi, N., & Suzuki, T. (2024). Determination of lipophilic marine biotoxins (azaspiracids, brevetoxins, and okadaic acid group) and domoic acid in mussels by solid-phase extraction and reversed-phase liquid chromatography with tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1720, 464795.

O'Neill, A., Morrell, N., Turner, A. D., & Maskrey, B. H. (2021). Method performance verification for the combined detection and quantitation of the marine neurotoxins cyclic imines and brevetoxin shellfish metabolites in mussels (*Mytilus edulis*) and oysters (*Crassostrea gigas*) by UHPLC-MS/MS. *Journal of Chromatography B*, 1179, 122864.

Ok, J. H., Jeong, H. J., Lim, A. S., You, J. H., Kang, H. C., Kim, S. J., & Lee, S. Y. (2019). Effects of light and temperature on the growth of *Takayama helix* (Dinophyceae): mixotrophy as a survival strategy against photoinhibition. *Journal of Phycology*, 55(5), 1181–1195. <https://doi.org/10.1111/jpy.12907>

Ou, G., Wang, H., Si, R., & Guan, W. (2017). The dinoflagellate *Akashiwo sanguinea* will benefit from future climate change: The interactive effects of ocean acidification, warming and high irradiance on photophysiology and hemolytic activity. *Harmful Algae*, 68, 118–127. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2017.08.003>

Paredes, J., Varela, D., Martínez, C., Zúñiga, A., Correa, K., Villarroel, A., & Olivares, B. (2019). Population genetic structure at the northern edge of the distribution of *Alexandrium catenella* in the patagonian fjords and its expansion along the open Pacific Ocean coast. *Frontiers in Marine Science*, 5(JAN). <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00532>

Paredes-Mella, J., Mardones, J. I., Norambuena, L., Fuenzalida, G., Labra, G., Espinoza-González, O., & Guzmán, L. (2021). Toxic *Alexandrium catenella* expanding northward along the Chilean coast: New risk of paralytic shellfish poisoning off the Bío-Bío region (36° S). *Marine Pollution Bulletin*, 172. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112783>

Paredes-Mella, J., Mardones, J. I., Norambuena, L., Fuenzalida, G., Labra, G., & Nagai, S. (2022). Toxic *Dinophysis acuminata* in southern Chile: A comparative approach based on its first local in vitro culture and offshore-estuarine bloom dynamics. *Progress in Oceanography*, 209, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2022.102918>

Parsons, M., Richlen, M., & Roberson, A. (2018). Harmful Algal Species Fact Sheets: *Gambierdiscus*. In S. Shumway, J. Burkholder, & S. Morton (Eds.), *Harmful Algal Blooms: A compendium Desk Reference* (First Edit, pp. 601–604). John Wiley & Sons, Ltd.

Parsons, M., Richlen, M., & Robertson, A. (2018). Harmful Algal Species Fact Sheets: *Ostreopsis*. In S. Shumway, J. Burkholder, & S. Morton (Eds.), *Harmful Algal Blooms: A compendium Desk Reference* (First Edit, pp. 618–620). John Wiley & Sons, Ltd.

Pease, S. K. D., Brosnahan, M. L., Sanderson, M. P., & Smith, J. L. (2022). Effects of Two Toxin-Producing Harmful Algae, *Alexandrium catenella* and *Dinophysis acuminata* (Dinophyceae), on Activity and Mortality of Larval Shellfish. *Toxins*, 14.

Pinto-Torres, M., Pizarro, G., York, R. B., Alves-de-Souza, C., Lundholm, N., Mardones, J. I., Nariño, M. J., & Iriarte, J. L. (2023). Unveiling species diversity within the toxic diatom genus *Pseudo-nitzschia* from the fjords and channels of Magallanes (48°- 51° S), Chile. *Progress in Oceanography*, 211. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2022.102957>

Pitcher, G. C., Foord, C. J., Macey, B. M., Mansfield, L., Mouton, A., Smith, M. E., Osmond, S. J., & Molen, L. Van Der. (2019). Devastating farmed abalone mortalities attributed to yessotoxin-producing dinoflagellates. *Harmful Algae*, 81(November 2018), 30–41. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2018.11.006>

Rhodes, L. L., Harwood, D. T., Kohli, G. S., Gime, G., Selwood, A., Jerrett, A., Murray, S. A., & Neilan, B. A. (2014). A feeding study to probe the uptake of Maitotoxin by snapper (*Pagrus auratus*). *Harmful Algae*, 37, 125–132. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2014.05.018>

Rodríguez (1978). “Marea Roja” en la Bahía de San Jorge, Antofagasta – Chile. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/9ac39355-eed8-4f4a-ad84ed63280bf6ba/content>.

Rodríguez (1985). Revisión del fenómeno de marea roja en Chile. *Revista Biología Marina*. Valparaíso 21(1): 173-197, abril 1985.

Rodríguez (1987). Observaciones sobre fitoplancton y temperatura superficial en la bahía San Jorge, Antofagasta, Chile. *Revista Biología Marina*. Valparaíso 23(1): 1-29, octubre 1987.

Romero-Martínez Leonaro, Ignacio Rivas-Zaballos, Javier Moreno-Andrés, Ignacio Moreno-Garrido, Asunción Acevedo-Merino, Enrique Nebot (2021) Improving the microalgae inactivating efficacy of ultraviolet ballast water treatment in combination with hydrogen peroxide or peroxymonosulfate salt. *Marine Pollution Bulletin* 162 (2021) 111886. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111886>

Rosales, S.A., Díaz, P.A., Muñoz, P., Álvarez, G. 2024. Modeling the dynamics of harmful algal bloom events in two bays from the northern Chilean upwelling system. *Harmful Algae* 132, 102583. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2024.102583>.

Rossi & Fiorillo (2010). Biochemical features of a *Protoceratium reticulatum* red tide in Chipana Bay (Northern Chile) in summer conditions. *Scientia Marina* 74(4) December 2010, 633-642, Barcelona (Spain)
ISSN: 0214-8358. doi: 10.3989/scimar.2010.74n4633

Salgado, P., G. Pizarro y L. Guzmán. (2012). Distribución de *Alexandrium ostenfeldii* y *Alexandrium* sp. (Dinophyceae) en Chile. Conference: XXXII Congreso de Ciencias del Mar - Sociedad Chilena de Ciencias del Mar. Punta Arenas. Chile, 22–26 p. 267.

Salgado-Garrido, P.; Díaz-Galindo, L.; Pesse-Lastra, N.; Vivanco-Tapia, X.; Guzmán-Méndez, L. (2012) Monitoreo de *Alexandrium catenella* En Zona No Declarada de La Región de Atacama y Coquimbo. In Informe Final Convenio Asesoría Integral Para La Toma de Decisiones En Pesca y Acuicultura; IFOP, 2012; 41p.

Salgado, P., Figueroa, R. I., Ramilo, I., & Bravo, I. (2017). The life history of the toxic marine dinoflagellate *Protoceratium reticulatum* (Gonyaulacales) in culture. *Harmful Algae*, 68, 67–81. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2017.07.008>

Salgado, P., Pizarro, G., Franco, J. M., & Bravo, R. (2012). Perfil de toxinas de *Prorocentrum lima* (dinophyceae) aislado desde la costa de Magallanes, sur de Chile. XXXII Congreso de Ciencias Del Mar - Sociedad Chilena de Ciencias Del Mar At: Punta Arenas, Chile, 22–26 October 2012, p. 267, 2–3. <https://doi.org/10.13140/2.1.4316.5440>

Salgado, P., Riobó, P., Rodríguez, F., Franco, J. M., & Bravo, I. (2015). Differences in the toxin profiles of *Alexandrium ostenfeldii* (Dinophyceae) strains isolated from different geographic origins: Evidence of paralytic toxin, spirolide, and gymnodimine. *Toxicon*, 103, 85–98. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2015.06.015>

Santander Edgardo, Liliana Herrera y Carlos Merino (2003). Fluctuación diaria del fitoplancton en la capa superficial del océano durante la primavera de 1997 en el norte de Chile (20°18'S): II. Composición específica y abundancia celular. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 38 (1): 13 - 25, julio de 2003.

Seger, A., & Hallegraeff, G. (2022). Application of clay minerals to remove extracellular ichthyotoxins produced by the dinoflagellates *Karlodinium veneficum* and *Karenia mikimotoi*. *Harmful Algae*, 111. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2021.102151>

Seguel, M., Molinet, C., Díaz, M., Álvarez, G., García, C., Marín, A., Millanao, M. O., & Díaz, P. A. (2023). Paralytic Shellfish Toxins in the Gastropod *Concholepas concholepas*: Variability, Toxin Profiles and Mechanisms for Toxicity Reduction. *Marine Drugs*, 21(1). <https://doi.org/10.3390/md21010044>

Rodríguez, I., Alfonso, A. Gonzalez-Jartina, J.M., Vietesc, M.R., Botana, L. 2018. A single run UHPLC-MS/MS method detection of all EU-regulated marine toxins. *JTalanta*, 189.

Taucher, J., Aristegui, J., Bach, L. T., Guan, W., Montero, M. F., Nauendorf, A., Achterberg, E. P., & Riebesell, U. (2018). Response of subtropical phytoplankton communities to ocean acidification under oligotrophic conditions and during nutrient fertilization. *Frontiers in Marine Science*, 5(SEP). <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00330>

Tillmann, U. (2018). Harmful Algal Species Fact Sheets: Amphidomataceae. In S. Shumway, J. Burkholder, & S. Morton (Eds.), *Harmful Algal Blooms: A compendium Desk Reference* (First Edit, pp. 576–582). John Wiley & Sons, Ltd.

Tillmann, U., Trefault, N., Krock, B., Parada-pozo, G., & Iglesia, R. D. E. L. A. (2017a). Identification of *Azadinium poporum* (Dinophyceae) in the Southeast Pacific: morphology, molecular phylogeny, and azaspiracid profile characterization. *Journal of Plankton Research*, 39, 350–367. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbw099>

- Tillmann Urban, Sonia Sánchez-Ramírez, Bernd Krock and Avy Bernales-Jiménez (2017b). A bloom of *Azadinium polongum* in coastal waters off Peru. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. Vol. 52, N°3: 591-610, diciembre 2017.
- Tenorio, C., Álvarez, G., Perez-Alania, M., Blanco, J. L., Paulino, C., Blanco, J., & Uribe, E. (2022). Bloom of *Prorocentrum cordatum* in Paracas Bay, Peru. *Diversity*, 14(10). <https://doi.org/10.3390/d14100844>
- Torigoe, K., Murata, M., Yasumoto, T., & Iwashita, T. (1988). Prorocentrolide, a toxic nitrogenous macrocycle from a marine *dinoflagellate*, *prorocentrum* lima. *Journal of the American Chemical Society*, 110(23), 7876–7877. <https://doi.org/10.1021/ja00231a048>
- Trainer, V. L., Bates, S. S., Lundholm, N., Thessen, A. E., Cochlan, W. P., Adams, N. G., & Trick, C. G. (2012). *Pseudo-nitzschia* physiological ecology, phylogeny, toxicity, monitoring and impacts on ecosystem health. *Harmful Algae*, 14, 271–300. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2011.10.025>
- Trainer, V. L., Moore, S. K., Hallegraeff, G., Kudela, R. M., Clement, A., Mardones, J. I., & Cochlan, W. P. (2020). Pelagic harmful algal blooms and climate change: Lessons from nature's experiments with extremes. *Harmful Algae*, 91. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2019.03.009>
- Trefault N., B. Krock, N. Delherbe, A. Cembella, M. Vásquez (2011) Latitudinal transects in the southeastern Pacific Ocean reveal a diverse but patchy distribution of phycotoxins. *Toxicon* 58 (2011) 389–397. doi:10.1016/j.toxicon.2011.07.006.
- Tubaro, A., Dell'Ovo, V., Sosa, S., & Florio, C. (2010). Yessotoxins: A toxicological overview. *Toxicon*, 56(2), 163–172. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2009.07.038>
- Turner, Monika Dhanji-Rapkova, and Sum Y.T. Fong (2020). Ultrahigh-Performance Hydrophilic Interaction Liquid Chromatography with Tandem Mass Spectrometry Method for the Determination of Paralytic Shellfish Toxins and Tetrodotoxin in Mussels, Oysters, Clams, Cockles, and Scallops: Collaborative Study. *Journal of AOAC International* Vol. 103. DOI: <https://doi.org/10.5740/jaoacint.19-0240>
- Uribe, C., Garcia, C., et al., (2001). First report of diarrhetic shellfish toxins in magellanic fiords. Southern Chile. *J. Shellfish Res.* 20, 69–74.
- Uribe (2010). Prospección y seguimiento de microalgas nocivas para la actividad de cultivo de pectinidos en las regiones de Antofagasta, Atacama y Coquimbo. Proyecto FIP N° 2007-20.
- Uribe, E., Álvarez, G., Cárcamo, C., Díaz, P. A., Rengel, J., & Blanco, J. (2023). First report of epiphytic dinoflagellate *Coolia malayensis* (Dinophyceae) in the southeastern Pacific Ocean. *Journal of Phycology*, 59(4), 725–737. <https://doi.org/10.1111/jpy.13351>

- Uribe E., Álvares G., Rengel J., Blanco J., (2018) *Prorocentrum lima*, a new diarrhetic shellfish toxins producer in northern Chile. 18TH International conference on harmful algae. 21-26 October 2018, Nantes, France.
- Utermöhl, H. (1958) Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton Methodik. Int. Vereinigung für Theor. und Angew. Limnol. Mitteilungen, 9: 1–38.
- Valenzuela-Picón Fernando, Díaz C., Riquelme C., (2022) Impacto de mareas rojas en procesos de desalinización en agua de mar: casos, lecciones aprendidas y recomendaciones. XLI Congreso de Ciencias del Mar. Universidad de la Santísima Concepción.
- Varela, D., Paredes, J., Alves-de-Souza, C., Seguel, M., Sfeir, A., & Frangópulos, M. (2012). Intraregional variation among *Alexandrium catenella* (Dinophyceae) strains from southern Chile: Morphological, toxicological and genetic diversity. Harmful Algae, 15, 8–18. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2011.10.029>
- Villac, M., Hoeglund, A., Tilney, C., Garret, M., Lopez, C., Hubbard, K. A., & Steidinger, K. A. (2020). Ecophysiology and bloom dynamics of *Karenia* with emphasis on *Karenia brevis* in Florida Waters. In S. Rao (Ed.), Dinoflagellates - Classification, Evolution, Physiology and Ecological Significance. (pp. 263–301).
- Vlami Aristidis, Panagiota Katikou, Ines Rodriguez, Verónica ReyAmparo Alfonso, Angelos Papazachariou, Thetis Zacharaki, Ana M. Botana and Luis M. Botana (2015). First Detection of Tetrodotoxin in Greek Shellfish byUPLC-MS/MS Potentially Linked to the Presence of the Dinoflagellate *Prorocentrum minimum*. Toxins 2015, 7, 1779-1807; doi:10.3390/toxins7051779.
- Vera G., Fraga S., Franco J. M., Sanchez (1999). Primer registro en el Perú del dinoflagelado *Alexandrium affine*. Informe progresivo Instituto del Mar del Perú.
- Vicuña, S., Daniele, L., Farías, L., González, H., Marquet, P. A., Palma-Behnke, R., Stehr, A., Urquiza, A., Wagemann, E., Arenas-Herrera, M. J., Bórquez, R., Cornejo-Ponce, L., Delgado, V., Etcheberry, G., Fragkou, M. C., Fuster, R., Gelcich, S., Melo, O., Monsalve, T., ... Winckler, P. (2022). Desalinización: Oportunidades y desafíos para abordar la inseguridad hídrica en Chile. Comité Asesor Ministerial Científico sobre Cambio Climático; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.
- von Dassow, P., Mikhno, M., Percopo, I., Orellana, V. R., Aguilera, V., Álvarez, G., Araya, M., Cornejo-Guzmán, S., Llona, T., Mardones, J. I., Norambuena, L., Salas-Rojas, V., Kooistra, W. H. C. F., Montresor, M., & Sarno, D. (2023). Diversity and toxicity of the planktonic diatom genus *Pseudo-nitzschia* from coastal and offshore waters of the Southeast Pacific, including *Pseudo-nitzschia dampieri* sp. nov. Harmful Algae, 130(September). <https://doi.org/10.1016/j.hal.2023.102520>
- Wakeman, K. C., Yamaguchi, A., Roy, M. C., & Jenke-Kodama, H. (2015). Morphology, phylogeny and novel chemical compounds from *Coolia malayensis* (Dinophyceae) from Okinawa, Japan. Harmful Algae, 44, 8–19. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2015.02.009>

Wang, H., Qi, M., Bo, Y., Zhou, C., Yan, X., Wang, G., & Cheng, P. (2021). Treatment of fishery wastewater by co-culture of *Thalassiosira pseudonana* with *Isochrysis galbana* and evaluation of their active components. *Algal Research*, 60. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102498>

Wang, Y., Javeed, A., Jian, C., Zeng, Q., & Han, B. (2024). Precautions for seafood consumers: An updated review of toxicity, bioaccumulation, and rapid detection methods of marine biotoxins. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 274 (September 2023), 116201. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116201>

Wiese Maria, Paul M. D'Agostino, Troco K. Mihali, Michelle C. Moffitt and Brett A. Neilan (2010) Neurotoxic Alkaloids: Saxitoxin and Its Analogs. *Mar. Drugs* 2010, 8, 2185-2211; doi:10.3390/md8072185

Yang, H., Hu, Z., Shang, L., Deng, Y., & Tang, Y. Z. (2020). A strain of the toxic dinoflagellate *Karlodinium veneficum* isolated from the East China Sea is an omnivorous phagotroph. *Harmful Algae*, 93. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2020.101775>

Yoshimatsu, T., Yamaguchi, H., Imura, A., Nishimura, T., Kadono, T., & Adachi, M. (2020). Effects of temperature, salinity, and light intensity on the growth of the diatom *Rhizosolenia setigera* in Japan. *Phycologia*, 59(6), 551–555. <https://doi.org/10.1080/00318884.2020.1812260>

Yun, S.-M., & Lee, J.-H. (2011). Morphology and distribution of some marine diatoms, family Rhizosoleniaceae, genus *Proboscia*, *Neocalyptrella*, *Pseudosolenia*, *Guinardia*, and *Dactyliosolen* in Korean coastal waters. *ALGAE*, 26(4), 299–315. <https://doi.org/10.4490/algae.2011.26.4.299>

Zang, S., Xu, Z., Yan, F., & Wu, H. (2022). Elevated CO₂ modulates the physiological responses of *Thalassiosira pseudonana* to ultraviolet radiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 236. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2022.112572>

Zhang, Q. C., Wang, Y. F., Song, M. J., Wang, J. X., Ji, N. J., Liu, C., Kong, F. Z., Yan, T., & Yu, R. C. (2022). First record of a *Takayama* bloom in Haizhou Bay in response to dissolved organic nitrogen and phosphorus. *Marine Pollution Bulletin*, 178. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113572>

REFERENCIAS ESPECIES FAN NORTE DE CHILE. RESULTADO 6.2.1.(Numero al principio de la referencia está asociada a los mapas de esa sección).

1. Álvarez, G., Uribe, E., Quijano-Scheggia, S., López-Rivera, A., Mariño, C., Blanco, J., Gonzalo, A., Blanco, J., Marin, C., 2009a. Domoic acid production by *Pseudo-nitzschia australis* and *Pseudonitzschia calliantha* isolated from North Chile. *Harmful Algae* 8(6), 938-945.

2. Álvarez, G., Uribe, E., Vidal, A., Ávalos, P., González, F., Mariño, C., Blanco, J., 2009b. Paralytic shellfish toxins in *Argopecten purpuratus* and *Semimytilus algosus* from northern Chile. *Aquat. Living Resour* 22, 341-347.

3. Alvarez, G., Uribe, E., Diaz, R., Braun, M., Marino, C., Blanco, J., 2011. Bloom of the Yessotoxin producing dinoflagellate *Protoceratium reticulatum* (Dinophyceae) in Northern Chile. *Journal of Sea Research* 65(4), 427-434.
4. Álvarez, G., Uribe, E., Regueiro, J., Martín, H., Gajardo, T., Jara, L., Blanco, J., 2015. Depuration and anatomical distribution of domoic acid in the surf clam *Mesodesma donacium*. *Toxicon* 102(0), 1-7.
5. Alvarez, G., Uribe, E., Regueiro, J., Blanco, J., Fraga, S., 2016. *Gonyaulax taylorii*, a new yessotoxins-producer dinoflagellate species from Chilean waters. *Harmful Algae* 58, 8-15.
6. Ávalos V., Cameron H., Barriá S., Riquelme C., Espinoza O., Guzmán L., Yarimizu K., Okazaki M., Nagai S. 2019. Dinoflagellate toxins recorded during an extensive coastal bloom in northern Chile. *Harmful Algae News*. 62:14–15.
7. Blanco, J., Álvarez, G., Uribe, E. 2007. Identification of pectenotoxins in plankton, filter feeders, and isolated cells of a *Dinophysis acuminata* with an atypical toxin profile, from Chile. *Toxicon* 49, 710-716.
8. Krock, B., Seguel, C.G., Valderrama K., Tillmann, U. 2009. Pectenotoxins and yessotoxins from Arica Bay, North Chile as determined by tandem mass spectrometry. *Toxicon* 54, 364-367.
9. López-Rivera, A., M. Pinto, A. Insinilla, B.S. Isla, E. Uribe, G. Alvarez, M. Lehane, A. Furey, and K.J. James. 2009. The occurrence of domoic acid linked to a toxic diatom bloom in a new potential vector: the tunicate *Pyura chilensis* (Piure). *Toxicon* 54: 754-762.
10. Pino Selles, R., Uribe, E., Álvarez, G. 2024. Interacción de *Procentrum lima* con las macroalgas *Agarophyton chilensis*, *Ulva* spp. y *Codium fragile* y su efecto en la estimulación del epifitismo. *Tecnociencia* 26, 60-91
11. Rodríguez, L. 1976. Marea roja en el norte de Chile. *Not. Mens. Mus. Nac. His. Nat.* 243–244, 6–8.
- Rosales, S.A., Díaz, P.A., Muñoz, P., Álvarez, G. 2024. Modeling the dynamics of harmful algal bloom events in two bays from the northern Chilean upwelling system. *Harmful Algae* 132, 102583.
12. Salgado, P., Diaz, L., Pesse, N., Vivanco, X., Guzmán, L., 2012. Monitoreo de *Alexandrium catenella* en zona no declarada de la región de Atacama y Coquimbo. Informe Final Convenio Asesoría integral para la toma de decisiones en pesca y acuicultura, 2011, 41-41.
13. Santander, E.; Herrera, L.; Merino, C. 2003. Fluctuación diaria del fitoplancton en la capa superficial del océano durante la primavera de 1997 en el norte de Chile (20° 18' S): II. Composición específica y abundancia celular. *Rev. Biol. Mar. Ocenog.* 38, 13–25.

14. Tillmann, U., Trefault, N., Krock, B., Parada-Pozo, G., De la Iglesia, R., Vásquez, M., 2017. Identification of *Azadinium poporum* (Dinophyceae) in the Southeast Pacific: morphology, molecular phylogeny, and azaspiracid profile characterization. *Journal of Plankton Research* 00(2), 1-18.
15. Uribe, E., Álvarez, G., Cárcamo, C., Díaz, P.A., Rengel, J., Blanco, J. 2023. First report of epiphytic dinoflagellate *Coolia malayensis* (Dinophyceae) in the southern Pacific Ocean. *Journal of Phycology*. Vol.59, No.4, p.725
16. Von Dassow, P.M. Mikhno, I. Percopo, V.R. Orellana, V. Aguilera, G. Álvarez, M. Araya, S. Cornejo-Guzmán, T. Llona, J.I. Mardones, L. Norambuena, V. Salas-Rojas, W.H.C.F. Kooistra, M. Montesor, and D. Sarno. 2023. Diversity and toxicity of the planktonic diatom genus *Pseudo-nitzschia* from coastal and offshore waters of the Southeast Pacific, including *Pseudo-nitzschia dampieri* sp. nov. *Harmful Algae* 130: 102520

VI. ANEXOS

Anexos 1-9. Datos cualitativos, especies detectadas por localidad. N°: indica el número total de veces que cada especie fue detectadas en los muestreos. Totalde muestreo realizados 14 (2 muestreos por localidad desde diciembre del 2023 hasta junio del 2024).

Anexo 1. Arica

DIATOMEAS	N° DIATOMEAS	N° DINOFLAGELADOS	N° SILICOFLAGELADOS	N°
Amphiprora cf. gigantea	14 Actinoptychus senarius	1 Protoperidinium spp.	14 Dictyocha fibula	9
Grupo Pseudo-nitzschia seriata	14 Amphiprora spp.	1 Dinophysis acuminata		13
Grupo Pseudo-nitzschia delicatissima	14 Amphora spp.	1 Gonyaulax spp.		13
Cylindrotheca closterium	13 Chaetoceros convolutus	1 Preperidinium meunieri		12
Thalassionema nitzschioides	13 Chaetoceros diadema	1 Pyrophacus horologium		12
Chaetoceros spp.	12 Coscinodiscus sp. 2	1 Tripos furca		12
Leptocylindrus danicus	12 Dactyliosolen fragilissimus	1 Protoperidinium claudicans		10
Rhizosolenia imbricata	12 Fragilariopsis spp.	1 Protoperidinium cf. depressum		10
Diatomeas pennadas indet.	12 Leptocylindrus mediterraneus	1 Protoperidinium cf. pellucidum		10
Coscinodiscus spp.	11 Licmophora abbreviata	1 Protoperidinium aspidiotum		9
Rhizosolenia cf. pungens	11 Paralia sulcata	1 Diplopelta spp.		8
Rhizosolenia spp.	11 Pinnularia spp.	1 Phalacroma spp.		8
Chaetoceros lorenzianus	10 Pleurosigma normanii	1 Prorocentrum gracile		8
Coscinodiscus cf. radiatus	10 Thalassiosira anguste-lineata	1 Tripos horridus		8
Eucampia zodiacus	10 Thalassiosira delicatula	1 Dinoflagelados atecados indet.		7
Pseudo-nitzschia spp.	10	Alexandrium ostenfeldii		6
Corethron pennatum	9	Phalacroma rotundatum		6
Guinardia striata	9	Protoperidinium excentricum		6
Detonula pumila	8	Protoperidinium conicum		4
Skeletonema spp.	8	Protoperidinium punctulatum		3
Stephanopyxis turris	8	Protoperidinium cf. obtusum		3
Asterionellopsis glacialis	7	Tripos muelleri		3
Planktoniella sol	7	Alexandrium catenella		2
Cerataulina pelagica	6	Amylax triacantha		2
Chaetoceros eibonii	6	Dinophysis spp.		2
Chaetoceros teres	5	Podolampas palmipes		2
Pleurosigma directum	5	Protoperidinium crassipes		2
Proboscia alata	5	Protoperidinium oceanicum		2
Rhizosolenia styliformis	5	Tripos azoricus		2
Thalassiosira spp.	5	Tripos spp.		2
Chaetoceros constrictus	4	Corythodinium spp.		1
Chaetoceros debilis	4	Fragilidium spp.		1
Chaetoceros didymus	4	Heterodinium spp.		1
Coscinodiscus granii	4	Lissodinium spp.		1
Guinardia delicatula	4	Oxytoxum spp.		1
Melosira spp.	4	Prorocentrum cf. minimum		1
Rhizosolenia hebetata	4	Prorocentrum gracile		1
Diatomeas céntricas indet.	4	Protoperidinium pentagonum		1
Ditylum brightwellii	3	Protoperidinium cf. leonis		1
Thalassiosira cf. aestivalis	3	Protoperidinium cf. oblongum		1
Actinoptychus spp.	2	Protoperidinium cf. thorianum		1
Asteromphalus heptactis	2	Protoperidinium cf. thulesense		1
Chaetoceros decipiens	2	Protoperidinium cf. tristylum		1
Chaetoceros peruvianus	2	Pyrocystis lunula		1
Eucampia spp.	2	Pyrocystis spp.		1
Lauderia annulata	2	Triadinium polyedricum		1
Odontella spp.	2	Tripos concilians		1
Pleurosigma spp.	2	Tripos lineatus		1
Thalassiosira subtilis	2	Tripos macroceros		1

Anexo 2. Iquique

DIATOMEAS	N° DIATOMEAS	N° DINOFLAGELADOS	N° SILICOFAGELADOS	N°
Grupo Pseudo-nitzschia seriata	13 Chaetoceros constrictus	3 Protoperidinium spp.	14 Dictyocha fibula	1
Grupo Pseudo-nitzschia delicatissima	13 Chaetoceros diadema	3 Dinophysis acuminata	13	
Diatomeas pennadas indet.	13 Coscinodiscus sp. 2	3 Preperidinium meunieri	13 ZOOMASTIGOFOROS	
Asterionellopsis glacialis	12 Eucampia spp.	3 Gonyaulax spp.	12 Ebria tripartita	1
Leptocylindrus danicus	12 Licmophora abbreviata	3 Protoperidinium excentricum	12	
Pleurosigma directum	12 Thalassiosira delicatula	3 Protoperidinium cf. pellucidum	11 PRYMNESIALES	
Chaetoceros teres	11 Thalassiosira cf. aestivalis	3 Protoperidinium claudicans	10 Phaeocystis spp.	1
Corethron pennatum	11 Chaetoceros compressus	2 Protoperidinium cf. obtusum	10	
Rhizosolenia imbricata	11 Chaetoceros convolutus	2 Protoperidinium oceanicum	9	
Detonula pumila	10 Chaetoceros peruvianus	2 Diplopelta spp.	8	
Skeletonema spp.	10 Dactyliosolen fragilissimus	2 Phalacroma rotundatum	8	
Chaetoceros lorenzianus	9 Eucampia zodiacus	2 Protoperidinium cf. depressum	8	
Ditylum brightwellii	9 Guinardia delicatula	2 Tripos horridus	8	
Rhizosolenia cf. pungens	9 Thalassiosira spp.	2 Protoperidinium cf. grani	6	
Chaetoceros spp.	8 Diatomeas céntricas indet.	2 Protoperidinium cf. thorianum	6	
Cylindrotheca closterium	8 Actinoptychus senarius	1 Dinophysis tripos	5	
Pseudo-nitzschia spp.	8 Chaetoceros decipiens	1 Proocentrum gracile	5	
Rhizosolenia spp.	8 Coscinodiscus granii	1 Tripos furca	5	
Amphiprora cf. gigantea	7 Coscinodiscus cf. marginatus	1 Alexandrium ostenfeldii	4	
Chaetoceros debilis	7 Eucampia cornuta	1 Amylax triacantha	4	
Chaetoceros eibonii	7 Planktoniella sol	1 Phalacroma spp.	4	
Cerataulina pelagica	6 Rhizosolenia hebetata	1 Protoperidinium denticulatum	4	
Chaetoceros socialis	6 Rhizosolenia setigera	1 Tripos muelleri	4	
Guinardia striata	6 Thalassiosira anguste-lineata	1 Tripos spp.	4	
Proboscia alata	6	Protoperidinium aspidiotum	3	
Chaetoceros didymus	5	Protoperidinium conicum	3	
Coscinodiscus spp.	5	Protoperidinium crassipes	3	
Thalassionema nitzschioides	5	Protoperidinium pentagonum	2	
Thalassiosira subtilis	5	Protoperidinium simulum	2	
Chaetoceros radicans	4	Proocentrum spp.	1	
Coscinodiscus cf. radiatus	4	Proocentrum gracile	1	
Rhizosolenia styliformis	4	Protoperidinium punctulatum	1	
Stephanopyxis turris	4	Protoperidinium cf. oblongum	1	
		Protoperidinium cf. thulesense	1	
		Pyrophacus horologium	1	
		Dinoflagelados atecados indet.	1	

Anexo 3. Mejillones

DIATOMEAS	N° DIATOMEAS	N° DINOFLAGELADOS	N° EUGLENOFÍCEAS	N°			
Grupo Pseudo-nitzschia delicatissima	14	Amphiprora cf. gigantea	1	Dinophysis acuminata	14	Euglena spp.	1
Rhizosolenia imbricata	14	Asteromphalus heptactis	1	Protoperidinium spp.	14		
Grupo Pseudo-nitzschia seriata	13	Chaetoceros eibenii	1	Alexandrium ostenfeldii	13		
Leptocylindrus danicus	11	Chaetoceros radicans	1	Diplopelta spp.	12		
Pseudo-nitzschia spp.	11	Chaetoceros socialis	1	Gonyaulax spp.	12		
Cerataulina pelagica	10	Coscinodiscus granii	1	Preperidinium meunieri	12		
Chaetoceros spp.	10	Eucampia cornuta	1	Prorocentrum gracile	8		
Rhizosolenia styliformis	10	Eucampia spp.	1	Protoperidinium claudicans	8		
Pleurosigma directum	9	Gyrosigma spp.	1	Protoperidinium cf. pellucidum	8		
Rhizosolenia cf. pungens	9	Licmophora abbreviata	1	Tripes furca	8		
Detonula pumila	8	Thalassiosira subtilis	1	Tripes spp.	8		
Eucampia zodiacus	8	Thalassiosira cf. aestivalis	1	Protoperidinium oceanicum	5		
Thalassionema nitzschioides	8	Thalassiosira cf. minuscula	1	Tripes muelleri	5		
Asterionellopsis glacialis	7	Thalassiosira spp.	1	Dinophysis tripos	4		
Chaetoceros lorenzianus	7			Phalacroma rotundatum	4		
Corethron pennatum	7			Tripes macroceros	4		
Cylindrotheca closterium	7			Protoperidinium excentricum	3		
Rhizosolenia spp.	7			Triadinium polyedricum	3		
Chaetoceros convolutus	6			Amylax triacantha	2		
Chaetoceros teres	6			Phalacroma spp.	2		
Dactyliosolen fragilissimus	6			Protoperidinium conicum	2		
Chaetoceros debilis	5			Protoperidinium crassipes	2		
Leptocylindrus mediterraneus	5			Protoperidinium cf. thorianum	2		
Planktoniella sol	5			Pyrophacus horologium	2		
Skeletonema spp.	5			Tripes horridus	2		
Thalassiosira delicatula	5			Dinoflagelados atecados indet.	2		
Ditylum brightwellii	4			Heterocapsa spp.	1		
Diatomeas pennadas indet.	4			Prorocentrum spp.	1		
Proboscia alata	3			Prorocentrum gracile	1		
Guinardia delicatula	2			Protoperidinium aspidiotum	1		
Stephanopyxis turris	2			Protoperidinium denticulatum	1		
				Protoperidinium cf. bipes	1		
				Protoperidinium cf. depressum	1		
				Protoperidinium cf. obtusum	1		
				Tripes azoricus	1		
				Tripes concilians	1		

Anexo 4. El Morro

DIATOMEAS	N° DIATOMEAS	N° DINOFLAGELADOS	N° EUGLENOFÍCEAS	N°			
Grupo Pseudo-nitzschia delicatissima	14	Amphiprora cf. gigantea	1	Dinophysis acuminata	14	Euglena spp.	1
Rhizosolenia imbricata	14	Asteromphalus heptactis	1	Protoperidinium spp.	14		
Grupo Pseudo-nitzschia seriata	13	Chaetoceros eibonii	1	Alexandrium ostenfeldii	13		
Leptocylindrus danicus	11	Chaetoceros radicans	1	Diplopelta spp.	12		
Pseudo-nitzschia spp.	11	Chaetoceros socialis	1	Gonyaulax spp.	12		
Cerataulina pelagica	10	Coscinodiscus granii	1	Preperidinium meunieri	12		
Chaetoceros spp.	10	Eucampia cornuta	1	Prorocentrum gracile	8		
Rhizosolenia styliformis	10	Eucampia spp.	1	Protoperidinium claudicans	8		
Pleurosigma directum	9	Gyrosigma spp.	1	Protoperidinium cf. pellucidum	8		
Rhizosolenia cf. pungens	9	Licmophora abbreviata	1	Tripos furca	8		
Detonula pumila	8	Thalassiosira subtilis	1	Tripos spp.	8		
Eucampia zodiacus	8	Thalassiosira cf. aestivalis	1	Protoperidinium oceanicum	5		
Thalassionema nitzschioides	8	Thalassiosira cf. minuscula	1	Tripos muelleri	5		
Asterionellopsis glacialis	7	Thalassiosira spp.	1	Dinophysis tripos	4		
Chaetoceros lorenzianus	7			Phalacroma rotundatum	4		
Corethron pennatum	7			Tripos macroceros	4		
Cylindrotheca closterium	7			Protoperidinium excentricum	3		
Rhizosolenia spp.	7			Triadinium polyedricum	3		
Chaetoceros convolutus	6			Amylax triacantha	2		
Chaetoceros teres	6			Phalacroma spp.	2		
Dactyliosolen fragilissimus	6			Protoperidinium conicum	2		
Chaetoceros debilis	5			Protoperidinium crassipes	2		
Leptocylindrus mediterraneus	5			Protoperidinium cf. thorianum	2		
Planktoniella sol	5			Pyrophacus horologium	2		
Skeletonema spp.	5			Tripos horridus	2		
Thalassiosira delicatula	5			Dinoflagelados atecados indet.	2		
Ditylum brightwellii	4			Heterocapsa spp.	1		
Diatomeas pennadas indet.	4			Prorocentrum spp.	1		
Proboscia alata	3			Prorocentrum gracile	1		
Guinardia delicatula	2			Protoperidinium aspidiotum	1		
Stephanopyxis turris	2			Protoperidinium denticulatum	1		
				Protoperidinium cf. bipes	1		
				Protoperidinium cf. depressum	1		
				Protoperidinium cf. obtusum	1		
				Tripos azoricus	1		
				Tripos concilians	1		

Anexo 5. Barranquilla

DIATOMEAS	N° DIATOMEAS	N° DINOFLAGELADOS	N° EUGLENOFÍCEAS	N°			
Grupo Pseudo-nitzschia seriata	13	Actinoptychus senarius	1	Alexandrium ostenfeldii	14	Euglena spp.	2
Grupo Pseudo-nitzschia delicatissima	13	Actinoptychus spp.	1	Dinophysis acuminata	14		
Rhizosolenia imbricata	13	Asteromphalus heptactis	1	Protoperidinium spp.	14	PRYMNESIALES	
Chaetoceros spp.	12	Chaetoceros atlanticus	1	Preperidinium meunieri	12	Chrysochromulina spp.	4
Licmophora abbreviata	12	Chaetoceros convolutus	1	Tripos furca	12	Phaeocystis spp.	1
Cylindrotheca closterium	11	Chaetoceros curvisetus	1	Protoperidinium cf. pellucidum	10		
Guinardia striata	9	Chaetoceros debilis	1	Tripos muelleri	10		
Pseudo-nitzschia spp.	8	Chaetoceros didymus	1	Dinoflagelados atecados indet.	10		
Diatomeas pennadas indet.	8	Chaetoceros radicans	1	Gonyaulax spp.	9		
Skeletonema spp.	7	Chaetoceros teres	1	Prorocentrum gracile	7		
Cerataulina pelagica	6	Climacosphenia moniligera	1	Tripos pentagonus	7		
Detonula pumila	6	Coscinodiscus spp.	1	Diplopelta spp.	5		
Rhizosolenia cf. pungens	6	Leptocylindrus mediterraneus	1	Amylax triacantha	4		
Rhizosolenia spp.	6	Leptocylindrus spp.	1	Phalacroma spp.	4		
Asterionellopsis glacialis	5	Navicula ammophila	1	Protoperidinium aspidiotum	4		
Proboscia alata	5	Plagiotropis gaussii	1	Protoperidinium cf. depressum	4		
Striatella unipunctata	5	Surirella spp.	1	Tripos lineatus	4		
Chaetoceros lorenzianus	4	Thalassiosira subtilis	1	Dinophysis tripos	3		
Paralia sulcata	4	Diatomeas céntricas indet.	1	Protoperidinium oceanicum	3		
Rhizosolenia hebetata	4			Protoperidinium simulum	3		
Rhizosolenia styliformis	4			Triadinium polyedricum	3		
Dactyliosolen fragilissimus	3			Protoperidinium claudicans	2		
Grammatophora angulosa	3			Protoperidinium conicum	2		
Grammatophora marina	3			Protoperidinium crassipes	2		
Nitzschia spp.	3			Tripos fusus	2		
Stephanopyxis turris	3			Tripos spp.	2		
Corethron pennatum	2			Alexandrium catenella	1		
Lauderia annulata	2			Oxytoxum spp.	1		
Leptocylindrus danicus	2			Peridiniella cf. sphaeroidea	1		
Planktoniella sol	2			Phalacroma rotundatum	1		
Pleurosigma directum	2			Prorocentrum spp.	1		
Thalassionema nitzschioides	2			Protoperidinium ovatum	1		
Thalassiosira cf. aestivalis	2			Protoperidinium pentagonum	1		
				Protoperidinium cf. steinii	1		
				Protoperidinium cf. thorianum	1		
				Protoperidinium cf. thulesense	1		
				Protoperidinium cf. tristylum	1		
				Pyrophacus horologium	1		
				Tripos horridus	1		
				Tripos longipes	1		



Anexo 7. Coquimbo				
DIATOMEAS	N° DIATOMEAS	N° DINOFLAGELADOS	N° SILICOFAGELADOS	N°
Cerataulina pelagica	13 Amphora spp.	1 Protoperidinium spp.	14 Dictyocha fibula	1
Grupo Pseudo-nitzschia seriata	13 Chaetoceros constrictus	1 Dinophysis acuminata		12
Chaetoceros spp.	12 Chaetoceros eibenii	1 Alexandrium ostenfeldii		11
Guinardia striata	11 Chaetoceros socialis	1 Tripos muelleri		11
Skeletonema spp.	11 Chaetoceros teres	1 Diplopelta spp.		10
Asterionellopsis glacialis	10 Climacosphenia moniligera	1 Gonyaulax spp.		10
Cylindrotheca closterium	10 Eucampia spp.	1 Protoperidinium aspidiotum		10
Odontella longicruris	10 Thalassionema spp.	1 Tripos furca		10
Detonula pumila	9 Thalassiosira subtilis	1 Protoperidinium oceanicum		9
Proboscia alata	9 Thalassiosira spp.	1 Protoperidinium cf. obtusum		9
Grupo Pseudo-nitzschia delicatissima	9	Protoperidinium cf. pellucidum		9
Rhizosolenia imbricata	9	Preperidinium meunieri		8
Leptocylindrus danicus	8	Protoperidinium punctulatum		8
Stephanopyxis turris	8	Dinoflagelados atecados indet.		8
Chaetoceros debilis	6	Pyrocystis lunula		7
Diatomeas pennadas indet.	6	Pyrophacus horologium		7
Chaetoceros radicans	5	Tripos pentagonus		7
Eucampia zodiacus	5	Alexandrium catenella		6
Guinardia delicatula	5	Dinophysis tripos		6
Lauderia annulata	5	Protoperidinium conicum		6
Licmophora abbreviata	5	Protoperidinium excentricum		6
Rhizosolenia styliiformis	5	Protoperidinium cf. leonis		6
Thalassiosira cf. aestivalis	5	Protoperidinium cf. thorianum		6
Chaetoceros compressus	4	Scrippsiella spp.		6
Chaetoceros lorenzianus	4	Amylax triacantha		5
Leptocylindrus mediterraneus	4	Protoperidinium claudicans		5
Leptocylindrus spp.	4	Protoperidinium crassipes		4
Pleurosigma directum	4	Protoperidinium pentagonum		4
Pseudo-nitzschia spp.	4	Heterodinium spp.		3
Rhizosolenia hebetata	4	Prorocentrum gracile		3
Chaetoceros convolutus	3	Protoperidinium denticulatum		3
Chaetoceros curvisetus	3	Protoperidinium simulum		3
Corethron pennatum	3	Tripos azoricus		3
Dactyliosolen fragilissimus	3	Tripos fusus		3
Rhizosolenia cf. pungens	3	Phalacroma spp.		2
Rhizosolenia spp.	3	Protoceratium reticulatum		2
Chaetoceros didymus	2	Protoperidinium cf. depressum		2
Coscinodiscus spp.	2	Scrippsiella trochoidea		2
		Triadinium polyedricum		2
		Tripos spp.		2
		Fragilidium spp.		1
		Prorocentrum spp.		1
		Prorocentrum gracile		1
		Protoperidinium cf. pallidum		1
		Protoperidinium cf. steinii		1
		Tripos lineatus		1
		Dinoflagelados tecados indet.		1

Anexo 8. Guanaquero

DIATOMEAS	N° DIATOMEAS	N° DINOFLAGELADOS	N° PRYMNESIALES	N°			
Chaetoceros spp.	13	Achnanthes longipes	1	Protoperidinium spp.	14	Chrysochromulina spp.	1
Grupo Pseudo-nitzschia seriata	13	Amphora sp1.	1	Alexandrium ostenfeldii	13	Phaeocystis spp.	1
Grupo Pseudo-nitzschia delicatissima	13	Asteromphalus heptactis	1	Dinophysis acuminata	11		
Rhizosolenia imbricata	13	Bacteriastrium hyalinum	1	Gonyaulax spp.	11		
Detonula pumila	11	Chaetoceros constrictus	1	Protoperidinium excentricum	11		
Skeletonema spp.	11	Chaetoceros curvisetus	1	Protoperidinium cf. pellucidum	11		
Cerataulina pelagica	8	Chaetoceros diadema	1	Tripes furca	9		
Chaetoceros debilis	8	Chaetoceros teres	1	Amylax triacantha	9		
Eucampia zodiacus	8	Eucampia spp.	1	Diplopelta spp.	9		
Guinardia striata	8	Nitzschia spp.	1	Preperidinium meunieri	9		
Diatomeas pennadas indet.	8	Odontella longicuris	1	Protoperidinium cf. thorianum	9		
Asterionellopsis glacialis	7	Pleurosigma directum	1	Pyrocystis lunula	9		
Rhizosolenia cf. pungens	7	Thalassionema spp.	1	Pyrophacus horologium	7		
Chaetoceros compressus	6	Thalassiosira spp.	1	Alexandrium catenella	7		
Licmophora abbreviata	6	Triceratium spp.	1	Prorocentrum gracile	7		
Proboscia alata	6			Protoperidinium oceanicum	7		
Cylindrotheca closterium	5			Tripes pentagonus	7		
Leptocylindrus danicus	5			Protoperidinium claudicans	6		
Pseudo-nitzschia spp.	5			Protoperidinium punctulatum	6		
Chaetoceros lorenzianus	4			Protoperidinium conicum	5		
Leptocylindrus mediterraneus	4			Tripes muelleri	5		
Leptocylindrus spp.	4			Phalacroma rotundatum	4		
Rhizosolenia styliformis	4			Protoceratium reticulatum	3		
Rhizosolenia spp.	4			Protoperidinium aspidiotum	3		
Stephanopyxis turris	4			Protoperidinium denticulatum	3		
Thalassiosira cf. aestivalis	4			Protoperidinium simulum	3		
Chaetoceros radicans	3			Protoperidinium cf. depressum	3		
Dactyliosolen fragilissimus	3			Triadinium polyedricum	3		
Chaetoceros convolutus	2			Dinoflagelados atecados indet.	3		
Chaetoceros didymus	2			Protoperidinium crassipes	2		
Corethron pennatum	2			Protoperidinium cf. obtusum	2		
Coscinodiscus spp.	2			Protoperidinium cf. thulesense	2		
Guinardia delicatula	2			Scrippsiella trochoidea	2		
Navicula ammophila	2			Scrippsiella spp.	2		
Pleurosigma spp.	2			Tripes azoricus	2		
Rhizosolenia hebetata	2			Tripes fusus	2		
				Tripes lineatus	2		
				Dinophysis tripos	1		
				Fragilidium spp.	1		
				Heterodinium spp.	1		
				Phalacroma spp.	1		
				Prorocentrum cf. minimum	1		
				Prorocentrum gracile	1		
				Protoperidinium ovatum	1		
				Protoperidinium pentagonum	1		
				Protoperidinium cf. grani	1		
				Protoperidinium cf. leonis	1		
				Protoperidinium cf. oblongum	1		
				Tripes symmetricus	1		

Evaluación de las biotoxinas marinas en la zona norte de Chile



Anexo 9 Tongoy

DIATOMEAS	N°	DIATOMEAS	N°	DINOFLAGELADOS	N°
Chaetoceros spp.	13	Amphora spp.	1	Dinophysis acuminata	13
Grupo Pseudo-nitzschia seriata	13	Chaetoceros constrictus	1	Protopteridinium spp.	13
Rhizosolenia imbricata	13	Chaetoceros convolutus	1	Alexandrium ostenfeldii	12
Detonula pumila	12	Chaetoceros diadema	1	Protopteridinium cf. pellucidum	11
Skeletonema spp.	12	Chaetoceros socialis	1	Amylax triacantha	10
Cerataulina pelagica	9	Diploneis cf. crabro	1	Preperidinium meunieri	10
Licmophora abbreviata	9	Grammatophora angulosa	1	Tripos furca	10
Grupo Pseudo-nitzschia delicatissima	9	Grammatophora marina	1	Gonyaulax spp.	9
Guinardia striata	8	Guinardia delicatula	1	Dinophysis tripos	8
Chaetoceros didymus	7	Gyrosigma fasciola	1	Protopteridinium aspidiotum	8
Cylindrotheca closterium	7	Navicula ammophila	1	Protopteridinium crassipes	8
Diatomeas pennadas indet.	7	Nitzschia spp.	1	Prorocentrum gracile	7
Asterionellopsis glacialis	6	Odontella longicuris	1	Protopteridinium conicum	7
Chaetoceros debilis	5	Surirella fastuosa	1	Tripos pentagonus	7
Chaetoceros radicans	5	Thalassionema spp.	1	Alexandrium catenella	6
Eucampia spp.	5	Thalassiosira anguste-lineata	1	Diplopelta spp.	6
Leptocylindrus danicus	5	Thalassiosira delicatula	1	Protopteridinium claudicans	6
Leptocylindrus mediterraneus	5			Protopteridinium punctulatum	6
Rhizosolenia styliformis	5			Dinoflagelados atecados indet.	6
Chaetoceros compressus	4			Protopteridinium simulum	5
Chaetoceros teres	4			Scrippsiella spp.	5
Leptocylindrus spp.	4			Tripos muelleri	5
Pseudo-nitzschia spp.	4			Protopteridinium excentricum	4
Rhizosolenia cf. pungens	4			Pyrocystis lunula	4
Stephanopyxis turris	4			Phalacroma rotundatum	2
Diatomeas céntricas indet.	4			Phalacroma spp.	2
Corethron pennatum	3			Protoceratium reticulatum	2
Dactyliosolen fragilissimus	3			Protopteridinium denticulatum	2
Eucampia zodiacus	3			Protopteridinium cf. depressum	2
Lauderia annulata	3			Protopteridinium cf. leonis	2
Pleurosigma directum	3			Pyrophacus horologium	2
Proboscia alata	3			Tripos fusus	2
Thalassiosira cf. aestivalis	3			Corythodinium spp.	1
Chaetoceros curvisetus	2			Fragilidium spp.	1
Chaetoceros lorenzianus	2			Prorocentrum cf. minimum	1
Rhizosolenia hebetata	2			Prorocentrum spp.	1
Rhizosolenia spp.	2			Protopteridinium oceanicum	1
				Protopteridinium cf. bipes	1
				Protopteridinium cf. obtusum	1
				Protopteridinium cf. thorianum	1
				Scrippsiella trochoidea	1
				Tripos azoricus	1
				Tripos lineatus	1
				Tripos symmetricus	1
				Tripos spp.	1



Contribuimos a la
sostenibilidad de los
recursos marinos de Chile.



 www.ifop.cl

 info@ifop.cl

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO - CHILE