



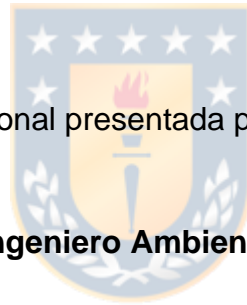
Universidad de Concepción



**FACULTAD DE CIENCIAS
AMBIENTALES**

ANÁLISIS HISTÓRICO DE VARAZONES DE ORGANISMOS MARINOS, ASOCIADA A EVENTOS DE SURGENCIA Y SUS IMPLICANCIAS SOCIO-AMBIENTALES EN LA ZONA COSTERA DE LA REGIÓN DEL BIOBÍO

Habilitación profesional presentada para optar al título de



Ingeniero Ambiental

SEBASTIÁN IGNACIO SEPÚLVEDA MANRÍQUEZ

Profesor guía: Dr. Cristian Vargas Gálvez
Profesora co-guía: Dra. Laura Farías

Concepción, Chile
2022



**“ANÁLISIS HISTÓRICO DE VARAZONES DE ORGANISMOS MARINOS,
ASOCIADA A EVENTOS DE SURGENCIA Y SUS IMPLICANCIAS SOCIO-
AMBIENTALES EN LA ZONA COSTERA DE LA REGIÓN DEL BIOBÍO” .**

PROFESOR GUÍA: Dr. Cristian Vargas Gálvez

PROFESOR CO- GUÍA: Dra. Laura Farias

PROFESOR COMISIÓN: Dra. Luisa Saavedra Löwenberg

CONCEPTO: APROBADO CON DISTINCIÓN MÁXIMA

Conceptos que se indica en el Título

- ✓ Aprobado por Unanimidad : (En Escala de 4,0 a 4,9)
- ✓ Aprobado con Distinción (En Escala de 5,0 a 5,6)
- ✓ Aprobado con Distinción Máxima (En Escala de 5,7 a 7,0)

Concepción, mayo 2022

DEDICATORIA



*Por la naturaleza, por el mar y todos los
animales marinos que tienen que
soportar la depredación humana y por
las comunidades costeras que son
las primeras en ser afectadas.*

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecerle principalmente a mi familia porque sin ellos este objetivo no se hubiera logrado, agradecerle a mi mamá Adriana y a mi tata Daniel que fueron el pilar fundamental en todo este proceso, siempre preocupados, eran los primeros en alegrarse cuando me iba bien y los que me motivaban a seguir adelante cuando me iba mal, por esto y millones de cosas más les doy infinitas gracias.

A mis papás Richard y Mónica y a mis hermanos Iván, Héctor y Francisca por siempre desearme lo mejor, motivándome a seguir en lo que estaba estudiando.

A mi tío Dani y mi tía Ale por esas largas pláticas de tardes enteras hablando sobre la vida, siempre me entregaron un consejo certero para encaminarme y no desviarme en el objetivo que era completar mi carrera profesional.

A mis primos Ángela, Fernanda, Ángelo y Marcelo que siempre estuvieron ahí los fines de semana para despejarme de todo el estrés que generaba la universidad por sus “épocas de certámenes”, siempre había tiempo para reírse y pasarlo bien.

A mi polola Camila que siempre estuvo apoyándome día y noche en mi investigación, dándome palabras de aliento para seguir y siempre escucharme repetidas veces mi investigación, siempre tan incondicional.

A mis amigos y todas las personas lindas que conocí a lo largo de esta aventura, hicieron más ameno los días en la universidad, al fútbol por siempre hacerme soñar y entretenerme, también por ayudarme a generar lindas relaciones.

A mis profesores guías Cristian, Laura y Luisa, por siempre instruirme en este gran desafío oceanográfico, sus consejos y correcciones me ayudaron a percatar de los errores que cometía y mejorarlos, también darle gracias a diferentes profesionales que me ayudaron como Stefan Gelcich, Gonzalo Saldías y Rodrigo Estévez. Agradecido de participar en el Proyecto Fondecyt 1210171, "Role of temporal scales of oceanographic variability in shaping the response of marine organisms upon changing pH and oxygen fluctuations in the coastal zone (termo2 project)"

Gracias a los bosques, al agua, a la tierra, a los animales, al sol, a la lluvia y a toda la naturaleza por siempre inspirarme y ser un sitio de paz para el desarrollo libre del espíritu, ayudándome a ver la vida con otros ojos y llenarme de energías para desarrollarme.

Índice

| | |
|---|-----------|
| DEDICATORIA | III |
| AGRADECIMIENTOS | IV |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | VI |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | IX |
| RESUMEN | X |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. ANTECEDENTES GENERALES | 4 |
| 2.1. VARAZONES DE ORGANISMOS MARINOS Y POSIBLES AGENTES CAUSALES | 4 |
| 2.2. ANTECEDENTES INTERNACIONALES..... | 5 |
| 2.3. ANTECEDENTES NACIONALES | 6 |
| 2.4. ECOSISTEMA COSTERO DE CHILE | 8 |
| 2.4.1. <i>Anticiclón Subtropical del pacífico sur y Sistema de Corrientes de Humboldt</i> | 8 |
| 2.4.2. <i>Viento de la superficie del mar</i> | 10 |
| 2.4.3. <i>Surgencia costera</i> | 11 |
| 2.5. OXÍGENO E HIPOXIAS Y SUS EFECTOS EN ORGANISMOS MARINOS..... | 12 |
| 2.6. CAMBIO CLIMÁTICO Y GLOBAL Y SUS POSIBLES CONSECUENCIAS EN DIFERENTES PARÁMETROS ASOCIADOS A LA SURGENCIA COSTERA | 16 |
| 2.6.1. <i>Cambios asociados a los regímenes de viento</i> | 18 |
| 2.6.2. <i>Cambios en la concentración de oxígeno disuelto</i> | 19 |
| 2.7. BAHÍAS SEMICERRADAS DE LA REGIÓN DEL BIOBÍO Y SUS IMPLICANCIAS SOCIOAMBIENTALES GENERADAS POR LAS VARAZONES..... | 21 |
| 3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN..... | 23 |
| 4. OBJETIVOS..... | 23 |
| 4.1. OBJETIVO GENERAL..... | 23 |
| 4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 23 |
| 5. METODOLOGÍA..... | 24 |
| 5.1. ÁREA DE ESTUDIO..... | 24 |
| 5.2. REVISIÓN DE INFORMACIÓN DISPONIBLE SOBRE VARAZONES..... | 25 |
| 5.2.1. <i>Registro de información en tiempo y espacio con cartografías de GIS</i> | 26 |
| 5.3. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN METEOROLÓGICA (VIENTOS), OCEANOGRÁFICA (OXIGENO) Y CÁLCULO DE ÍNDICE DE SURGENCIA..... | 27 |
| 5.3.1. <i>Análisis de la magnitud y dirección del viento</i> | 27 |
| 5.3.2. <i>Cálculo del índice de surgencia</i> | 27 |
| 5.3.3. <i>Análisis de información histórica de oxígeno disuelto y de vientos para el área de estudio</i> | 29 |
| 5.4. ANÁLISIS DE LA RELACIÓN QUE HAY ENTRE LOS EVENTOS NATURALES Y LAS VARAZONES | 30 |
| 5.5. REALIZACIÓN DE UNA ENCUESTA Y SU POSTERIOR ANÁLISIS PARA EVALUAR LA PERCEPCIÓN DE LAS COMUNIDADES COSTERAS | 31 |
| 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 33 |
| 6.1. CATASTRO Y ANÁLISIS DE LAS VARAZONES..... | 33 |
| 6.1.1. <i>Frecuencia temporal</i> | 33 |
| 6.1.2. <i>Frecuencia espacial</i> | 36 |

| | | |
|--------|---|----|
| 6.1.3. | <i>Tipo de organismos varados</i> | 38 |
| 6.1.4. | <i>Análisis de las cartografías espacio-temporal de las varazones en la octava región</i> | 40 |
| 6.2. | CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS Y VARAZONES | 44 |
| 6.2.1. | <i>Régimen de vientos e índice de surgencia</i> | 44 |
| 6.2.2. | <i>Relación entre la dirección del viento y las varazones</i> | 48 |
| 6.2.3. | <i>Relación entre las condiciones de surgencia y las varazones</i> | 49 |
| 6.3. | RELACIÓN DE HIPOXIAS, SURGENCIA Y VARAZONES DE ORGANISMOS MARINOS..... | 51 |
| 6.4. | PERCEPCIÓN DE LAS COMUNIDADES COSTERAS ANTE LAS VARAZONES Y SUS IMPLICANCIAS SOCIO-AMBIENTALES | 58 |
| 7. | CONCLUSIÓN | 67 |
| 8. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 73 |
| 9. | ANEXOS | 80 |

Índice de figuras

| | | |
|-------------------|---|----|
| FIGURA 1. | OCURRENCIA (Nº) DEL TOTAL DE VARAZONES DE ORGANISMOS MARINOS ENTRE LOS AÑOS 2000 Y 2021 | 7 |
| FIGURA 2. | OCURRENCIA (Nº) DEL TOTAL DE VARAZONES DE ORGANISMOS MARINOS ENTRE LOS AÑOS 2000 Y 2021 POR REGIONES DE CHILE | 8 |
| FIGURA 3: | ANTICICLÓN SUBTROPICAL DEL PACIFICO SUR | 9 |
| FIGURA 4: | ESQUEMA DEL PROCESO DE SURGENCIA COSTERA..... | 12 |
| FIGURA 5: | COMPORTAMIENTO Y REPERCUSIONES SEGÚN LOS NIVELES DE OXÍGENO | 14 |
| FIGURA 6: | DISTRIBUCIONES DE LOS UMBRALES DE OXÍGENO AGRUPADOS EN CADA TAXON..... | 29 |
| FIGURA 7: | MODELADO DE LOS VIENTOS DE PRIMAVERA - VERANO (1961-2100)..... | 18 |
| FIGURA 8: | CANTIDAD (Nº) ACUMULADA DE HIPOXIAS A LO LARGO DEL TIEMPO EN LUGARES COSTEROS, EN LOS CUALES SE HAN REGISTRADO HIPOXIAS | 20 |
| FIGURA 9: | ÁREA DE ESTUDIO EN LA ZONA COSTERA DE LA REGIÓN DEL BIOBÍO | 25 |
| FIGURA 10. | OCURRENCIA ANUAL (Nº) DEL TOTAL DE VARAZONES DE ORGANISMOS MARINOS ENTRE LOS AÑOS 2006 Y 2021..... | 33 |
| FIGURA 11. | REGISTRO DE LA CANTIDAD (%) DE VARAZONES Y RIQUEZA DE ESPECIES (Nº) DE ORGANISMO MARINOS SEGÚN LA ESTACIÓN, ENTRE LOS AÑOS 2006 Y 2021 | 34 |
| FIGURA 12. | REGISTRO (Nº) DE TAXAS, SOBRE LA CANTIDAD TOTAL DE ESPECIES EN LAS VARAZONES DE ORGANISMO MARINOS, AGRUPADOS EN “ESTACIÓN DE CHORRO” (PRIMAVERA-VERANO) Y LA “ESTACIÓN DE DESCANSO (OTOÑO-INVIERNO) | 35 |
| FIGURA 13. | OCURRENCIA (Nº) DEL TOTAL DE VARAZONES DE ORGANISMOS MARINOS ENTRE LOS AÑOS 2006 Y 2021 | 36 |
| FIGURA 14: | REGISTRO ESPACIAL DE LAS VARAZONES EN LA REGIÓN DEL BIOBÍO | 37 |
| FIGURA 15. | PARTICIPACIÓN (Nº) DE CADA ESPECIE EN LAS VARAZONES DE ORGANISMOS MARINOS | 38 |
| FIGURA 16: | REGISTRO ESPACIAL Y TEMPORAL DE LAS VARAZONES OBTENIDAS EN LA BAHÍA DE CONCEPCIÓN, COLIUMO Y SAN VICENTE..... | 40 |
| FIGURA 17: | REGISTRO ESPACIAL Y TEMPORAL DE LAS VARAZONES OBTENIDAS EN EL GOLFO DE ARAUCO. . | 41 |

| | |
|--|-----------|
| FIGURA 18: REGISTRO TEMPORAL DE LA MAGNITUD DEL VIENTO (M S-1) JUNTO CON EL UMBRAL DE VIENTOS FAVORABLES A LA SURGENCIA COSTERA | 45 |
| FIGURA 19: REGISTRO TEMPORAL DE LA DIRECCIÓN DEL VIENTO (°) | 45 |
| FIGURA 20: REGISTRO TEMPORAL DEL COMPONENTE N-S DEL VIENTO (M S-1) JUNTO CON EL LÍMITE O Y TENDENCIA | 46 |
| FIGURA 21: REGISTRO TEMPORAL DEL ÍNDICE DE SURGENCIA (M3 S-1 KM-1) | 47 |
| FIGURA 22. REGISTRO DE LA CANTIDAD (%) DE VARAZONES Y DE LA RIQUEZA DE ESPECIES (N°) DE ORGANISMO MARINOS SEGÚN LA DIRECCIÓN DEL VIENTO (N, NE, E, SE, S, SO, O Y NO)..... | 49 |
| FIGURA 23. REGISTRO TEMPORAL DEL ÍNDICE DE SURGENCIA (M3 S-1 KM-1) Y SUS RESPECTIVAS VARAZONES | 50 |
| FIGURA 24. ZOOM DEL REGISTRO TEMPORAL DEL ÍNDICE DE SURGENCIA (M3 S-1 KM-1) Y SUS RESPECTIVAS VARAZONES ENTRE FEBRERO DEL 2019 Y MARZO DEL 2019 | 50 |
| FIGURA 25: CORRELACIÓN ENTRE OXÍGENO DISUELTO (MG L-1) E ÍNDICE DE SURGENCIA (M3 S-1 KM-1) PERIODO ESTIVAL DEL 2018-2019 | 52 |
| FIGURA 26. REGISTRO TEMPORAL DEL OXÍGENO DISUELTO (MG L-1) A 1 METRO DE PROFUNDIDAD EN LOS VERANOS DE 2018, 2019 Y 2020 | 53 |
| FIGURA 27. REGISTRO TEMPORAL DEL OXÍGENO DISUELTO (MG L-1) A 1 METRO DE PROFUNDIDAD EN LOS VERANOS DE 2018, 2019 Y 2020 | 54 |
| FIGURA 28. GRÁFICO DE ÍNDICE DE SURGENCIA (M3 S-1 KM-1) VS OXÍGENO DISUELTO (MG L-1) A 1 METRO DE PROFUNDIDAD, ANALIZANDO TAMBIÉN LAS VARAZONES (COLUMNAS AMARILLAS) QUE SE REGISTRARON EN ESTE PERIODO DE TIEMPO (06-02-2018), | 55 |
| FIGURA 29. GRÁFICO DE ÍNDICE DE SURGENCIA (M3 S-1 KM-1) VS OXÍGENO DISUELTO (MG L-1) A 1 METRO DE PROFUNDIDAD, ANALIZANDO TAMBIÉN LAS VARAZONES (COLUMNAS AMARILLAS) QUE SE REGISTRARON EN ESTE PERIODO DE TIEMPO (12-11-2018 Y 14-11-2018) | 56 |
| FIGURA 30. GRÁFICO DE ÍNDICE DE SURGENCIA (M3 S-1 KM-1) VS OXÍGENO DISUELTO (MG L-1) A 1 METRO DE PROFUNDIDAD, ANALIZANDO TAMBIÉN LA VARAZÓN (COLUMNA AMARILLA) QUE SE REGISTRÓ EN ESTE PERIODO DE TIEMPO (11-11-2019) | 57 |
| FIGURA 31: RECURSOS EXTRAÍDOS (%) SEGÚN LOS TRABAJADORES ASOCIADOS A LA ZONA COSTERA | 58 |
| FIGURA 32: FRECUENCIA ABSOLUTA (N°) DE LAS ESPECIES PRESENTES EN LAS VARAZONES SEGÚN LA PERCEPCIÓN DE LOS ENTREVISTADOS..... | 59 |
| FIGURA 33: FRECUENCIA ABSOLUTA (N°) SOBRE SI ES QUE VARÍAN LAS ESPECIES EN LAS VARAZONES DE ORGANISMOS MARINOS, SEGÚN LA PERCEPCIÓN DE LOS ENTREVISTADOS..... | 60 |
| FIGURA 34: FRECUENCIA ABSOLUTA (N°) SOBRE SI ES QUE TODOS LOS AÑOS SE GENERARÍAN VARAZONES DE ORGANISMOS MARINOS, SEGÚN LA PERCEPCIÓN DE LOS ENTREVISTADOS..... | 60 |
| FIGURA 35: FRECUENCIA ABSOLUTA (N°) SOBRE LOS CAMBIOS DE FRECUENCIAS EN LAS VARAZONES DE ORGANISMOS MARINOS EN LA ACTUALIDAD, SEGÚN LA PERCEPCIÓN DE LOS ENTREVISTADOS | 61 |
| FIGURA 36: FRECUENCIA ABSOLUTA (N°) SOBRE LOS CAMBIOS EN LA INTENSIDAD O MAGNITUD DE LAS VARAZONES DE ORGANISMOS MARINOS, SEGÚN LA PERCEPCIÓN DE LOS ENTREVISTADOS | 61 |
| FIGURA 37: FRECUENCIA ABSOLUTA (N°) SOBRE EL GRADO DE LA INTENSIDAD DE LAS VARAZONES ORGANISMOS MARINOS HACE 10 AÑOS, SEGÚN LA PERCEPCIÓN DE LOS ENTREVISTADOS | 62 |

| | |
|--|-----------|
| FIGURA 38: FRECUENCIA ABSOLUTA (N°) SOBRE EL GRADO DE LA INTENSIDAD DE LAS VARAZONES ORGANISMOS MARINOS EN EL ÚLTIMO AÑO, SEGÚN LA PERCEPCIÓN DE LOS ENTREVISTADOS..... | 62 |
| FIGURA 39: GRÁFICO DE TORTA QUE CORRESPONDE A LAS CONSECUENCIAS (%) QUE PROVOCAN LAS VARAZONES DE ORGANISMOS MARINOS, SEGÚN LA PERCEPCIÓN DE LOS ENTREVISTADOS | 63 |
| FIGURA 40: GRÁFICOS DE TORTA (RECURSO EXTRAÍDO) QUE CORRESPONDEN AL IMPACTO ECONÓMICO (%) GENERADO POR LAS VARAZONES, SEGÚN LA PERCEPCIÓN DE LOS ENTREVISTADOS | 64 |
| FIGURA 41: GRÁFICO DE TORTA CORRESPONDIENTE A LA OPINIÓN (%) SOBRE LAS CONSECUENCIAS QUE PROVOCARÁ UN EVENTUAL CAMBIO CLIMÁTICO, SEGÚN LAS PERCEPCIONES DE LOS ENTREVISTADOS | 64 |
| FIGURA 42: GRÁFICO DE TORTA QUE CORRESPONDE A LAS POSIBLES CAUSAS (%) QUE LES ATRIBUYEN A LAS VARAZONES, SEGÚN LA PERCEPCIÓN DE LOS ENTREVISTADOS..... | 65 |
| FIGURA 43: GRÁFICO DE TORTA SOBRE LA PERCEPCIÓN QUE TIENEN LOS ENTREVISTADOS (%) SOBRE LOS REPORTES DE LOS MEDIOS DE COMUNICACIÓN E INSTITUCIONES ENCARGADAS DE LA FISCALIZACIÓN DE ESTAS VARAZONES | 66 |
| FIGURA 44: GRÁFICO DEL ÍNDICE DE SURGENCIA Y SUS RESPECTIVAS VARAZONES. (2002-2008)..... | 80 |
| FIGURA 45: ZOOM DEL GRÁFICO TEMPORAL DEL ÍNDICE DE SURGENCIA Y SUS RESPECTIVAS VARAZONES. (2006). | 80 |
| FIGURA 46: ZOOM DEL GRÁFICO TEMPORAL DEL ÍNDICE DE SURGENCIA Y SUS RESPECTIVAS VARAZONES. (2008). | 80 |
| FIGURA 47: GRÁFICO DEL ÍNDICE DE SURGENCIA Y SUS RESPECTIVAS VARAZONES. (2009-2015)..... | 81 |
| FIGURA 48: ZOOM DEL GRÁFICO TEMPORAL DEL ÍNDICE DE SURGENCIA Y SUS RESPECTIVAS VARAZONES. (2013). | 81 |
| FIGURA 49: ZOOM DEL GRÁFICO TEMPORAL DEL ÍNDICE DE SURGENCIA Y SUS RESPECTIVAS VARAZONES. (2014). | 81 |
| FIGURA 50: ZOOM DEL GRÁFICO TEMPORAL DEL ÍNDICE DE SURGENCIA Y SUS RESPECTIVAS VARAZONES. (2015). | 82 |
| FIGURA 51: ZOOM DEL GRÁFICO TEMPORAL DEL ÍNDICE DE SURGENCIA Y SUS RESPECTIVAS VARAZONES. (2016). | 82 |
| FIGURA 52: ZOOM DEL GRÁFICO TEMPORAL DE ÍNDICE DE SURGENCIA Y SUS RESPECTIVAS VARAZONES. (2017). | 82 |
| FIGURA 53: ZOOM DEL GRÁFICO TEMPORAL DEL ÍNDICE DE SURGENCIA Y SUS RESPECTIVAS VARAZONES. (2018). | 83 |
| FIGURA 54: ZOOM DEL GRÁFICO TEMPORAL DEL ÍNDICE DE SURGENCIA Y SUS RESPECTIVAS VARAZONES. (2018-2). | 83 |
| FIGURA 55: ZOOM DEL GRÁFICO TEMPORAL DEL ÍNDICE DE SURGENCIA Y SUS RESPECTIVAS VARAZONES. (2019). | 83 |
| FIGURA 56: ZOOM DEL GRÁFICO TEMPORAL DEL ÍNDICE DE SURGENCIA Y SUS RESPECTIVAS VARAZONES. (2020). | 84 |
| FIGURA 57: ZOOM DEL GRÁFICO TEMPORAL DEL ÍNDICE DE SURGENCIA Y SUS RESPECTIVAS VARAZONES. (2021). | 84 |
| FIGURA 59: GRÁFICO SOBRE EL CAMBIO DE INTENSIDAD DE LAS VARAZONES EN VERANO-PRIMAVERA | 84 |

FIGURA 58: GRÁFICO SOBRE LAS VARAZONES MÁS INTENSAS QUE RECUERDAN LOS ENCUESTADOS **85**

FIGURA 61: BORRADOR DE ENCUESTA REALIZADA A COMUNIDADES COSTERAS. **86**

FIGURA 62: BORRADOR DE ENCUESTA REALIZADA A COMUNIDADES COSTERAS (PARTE 2). **87**

Índice de tablas

TABLA 1. MODELACIÓN DEL CAMBIO PORCENTUAL EN EL VIENTO FAVORABLE A LA SURGENCIA COSTERA DE VERANO DURANTE EL PERÍODO 2071-2100 **19**

TABLA 2: DETERMINACIÓN DE LA DIRECCIÓN DEL VIENTO MEDIANTE EL ÁNGULO GENERADO **31**

TABLA 3: INFORMACIÓN RECOLECTADA SOBRE EVENTOS DE VARAZONES **88**



RESUMEN

La presente investigación se enfoca en el análisis de las causalidades, la percepción de las comunidades costeras y tendencias históricas de las varazones de organismos marinos en la zona costera de la región del Biobío, a través de cartografías generadas en ArcGIS, entre los años 2000 y 2021 y una interpretación de algunos forzantes (vientos, hipoxias y temperaturas) y tendencias bajo escenarios de cambio global. Se realizó una extensa búsqueda bibliográfica para obtener el registro de todas las varazones ocurridas y organismos implicados en las diferentes comunas costeras de la región del Biobío. Al cartografiarlas se observaron las zonas de mayor frecuencia de varazones, las que corresponden a Coronel con 15 varazones, seguida de Tomé y Arauco con 13 y 11 varazones respectivamente. Las varazones corresponden mayoritariamente a peces pelágicos que han participado en un 69% del total de las ocasiones, seguida de otros organismos como moluscos que participan en un 24%, los crustáceos con un 18% de y 2% de equinodermos. Se analizaron la magnitud y dirección del viento, para estimar el índice de surgencia e inferir la influencia de este proceso natural en la disminución del oxígeno disuelto en la columna de agua, variable potencialmente responsable de la mortandad de organismos. Resultaron ser dos las varazones que fueron provocadas por hipoxias superficiales y otras dos varazones generadas en condiciones de alto oxígeno. De forma más precisa, luego se analizaron las condiciones de oxígeno disuelto e índice de surgencia en cuatro diferentes eventos de varazones, siendo dos de ellos de carácter natural, generado por la disminución del oxígeno disuelto, el cual fue provocado por un evento de surgencia costera. El tercer y cuarto caso podría tener causas antropogénicas, ya que coincide un derrame de petróleo ocurrido 5 días antes en la zona aledaña. La investigación se complementó, con un análisis social que involucró una encuesta piloto tendiente a conocer las percepciones que tienen las comunidades costeras asociadas a la captura de recursos pesqueros en relación a estos eventos. La gran mayoría de estas comunidades (65%) le atribuyen las causas a la contaminación que se genera en la bahía, originadas principalmente por las industrias, planta de tratamiento de

aguas residuales y comunidades costeras. Los antecedentes preliminares plantean que, las varazones generan un problema de salud pública debido a la descomposición de los organismos marinos, generando malos olores lo que conlleva al cierre de playas y pérdidas económicas asociadas (vedas, disminución de turistas en la zona costera y provisión de alimento y materias primas), lo cual produce un problema de seguridad alimentaria. En su conjunto constituyen, algunos de los principales impactos sociales de estos eventos en estas comunidades costeras.



1. INTRODUCCIÓN

Chile es uno de los países que posee una de las líneas de costa más extensas del mundo, además de caracterizarse por un sistema de corrientes de vientos que participan en algunas zonas costeras del país generando afloramientos de aguas frías y ricas en nutrientes (“surgencia costera”) por acción de los vientos. Dichas surgencias sustentan una alta productividad y, en consecuencia, una gran biodiversidad de comunidades marinas que permiten sustentar algunas de las pesquerías pelágicas más productivas del mundo. (Bernal et al., 1983). No obstante, Chile no se libra de las implicancias ambientales que, en ocasiones, pueden llegar a tener estos procesos de surgencia costera, como lo son las varazones de organismo marinos.

Estas varazones consisten en la ocurrencia de animales marinos muertos o con pocas señales de vida fuera de su hábitat, encallados en la arena o a lo largo del borde costero. (Pizarro, 2014). Estos fenómenos de varazones, pueden tener causas naturales y antrópicas. Sin embargo, a pesar de no existir un análisis científico riguroso de la información, lo habitual es que las autoridades competentes como SERNAPESCA, comuniquen que estos eventos están directamente relacionados con eventos de surgencia. (Pizarro, 2014). Sin lugar a dudas, la surgencia costera tiene una connotación positiva, ya que es un factor clave para las zonas litorales que se encuentran bajo su influencia, generando condiciones favorables para tener una gran diversidad de especies y una productividad más alta que aquellas zonas menos influenciadas por este proceso oceanográfico (Strub et al., 1998). Pero, por otra parte, muchas veces puede tener una connotación negativa para algunas comunidades costeras, debido a que, en ciertas estaciones del año, se asocian a eventos de varazones que causan efectos negativos en los bienes y servicios ecosistémicos que son los productos de los que dependen estos asentamientos humanos. (Breitburg et al., 2018).

Si bien, estos fenómenos de varazones de organismos marinos son evidenciados desde hace cientos de años (Arancibia et al., 2007), esta última década se ha caracterizado por un aumento de ellos, lo que genera una preocupación y

motivación en la comunidad científica por esclarecer los factores o condiciones por las cuales estas varazones se han hecho cada vez más frecuentes. (SERNAPESCA, 2021). Las varazones de organismos marinos pueden ser causadas por múltiples factores, tales como floraciones de algas tóxicas, marejadas o por bajos niveles de oxígeno (hipoxia), esta última provocada principalmente por la surgencia costera o causada por eutrofización de aguas (Vaquer & Duarte, 2008). Respecto a la surgencia costera, un flujo vertical (bombeo de Ekman) y un flujo horizontal (transporte de Ekman) provocan el ascenso de aguas frías, con bajos niveles de oxígeno disuelto y alto contenido de nutrientes. En cambio, para el caso de las varazones ocurridas de forma antrópica pueden ocurrir por choques con embarcaciones para el caso de mamíferos marinos, al igual que por contaminación directa en la costa que puede provocar la intoxicación o la asfixia de los organismos marinos. (Bello et al., 2004).

Diferentes investigaciones de modelación y generación de escenarios de cambio climático, sugieren que en años venideros estos procesos de surgencia podrían incrementar en frecuencia e intensidad (e.g duración) (Vaquer & Duarte, 2008; Garreaud & Falvey, 2009; Rykaczewski et al., 2015) En la mayoría de los casos, las evidencias se sustentan en la tendencia a un aumento de la magnitud de los vientos favorables a esta surgencia costera (Garreaud y Falvey, 2009), principalmente debido al aumento de la presión al nivel del mar. Otras investigaciones, como el de Rykaczewski et al. (2015), detalla que los vientos (estimulados por el gradiente de presión) favorables a la surgencia costera aumentarán debido a las grandes diferencias que existirá entre la temperatura del océano y del continente. Estos dos trabajos, se refieren a que, basándose en los modelos actuales de cambio climático, se podrían provocar condiciones más favorables para la surgencia costera, lo cual podría generar una mayor frecuencia de varazones en la costa, tomando en cuenta que la surgencia es una de las causas de varazones. (Bello et al., 2004). Por otra parte, la investigación de Stramma et al. (2008) ha manifestado que se ha generado un aumento en los sitios hipóxicos, los cuales generan sitios no favorables para la vida acuática, por lo tanto, podrían provocar sitios “propensos” a las varazones de organismos marinos.

Basándose en lo anteriormente planteado, el objetivo de la presente investigación es realizar un análisis histórico de las varazones ocurridas en la región del Biobío y determinar si estos se relacionan efectivamente con estos eventos de surgencia costera que ocurrieron previo o durante estos eventos de varazones, además relacionar las potenciales causalidades a estos fenómenos e interpretar las percepciones e implicancias que tienen las comunidades de pescadores y acuicultores que habitan en zonas aledañas a donde han ocurrido históricamente estos eventos de varazones.



2. ANTECEDENTES GENERALES

2.1. Varazones de organismos marinos y posibles agentes causales

Las varazones de organismos marinos en zonas costeras, son fenómenos que han llegado a ser frecuentes en verano a lo largo de los años y que por lo mismo han sido registrados en algunas costas orientales de la mayoría de los continentes. (Arancibia et al., 2007). Básicamente, consiste en la ocurrencia de animales marinos muertos o con pocas señales de vida fuera de su hábitat, encallados en la arena o a lo largo del borde costero (Pizarro, 2014). Estos fenómenos pueden clasificarse en los siguientes grupos. (Pizarro, 2014):

- **Varazones individuales:** Son los que ocurren más frecuentemente. Se trata de animales solitarios hallados en las playas. Estos pueden varar vivos o muertos.
- **Varazones masivas:** Son los protagonizados por varios animales, los cuales ocurren generalmente en varios puntos cercanos. Esto implica una muerte masiva de animales marinos y un peligro para la salud pública por la cantidad de animales en descomposición.
- **Varazones extrañas:** Son aquellos en los que hallamos solo parte de animales como caparazones de tortugas o restos incompletos de delfines, o en los que las hembras han varado con sus crías, o aquellos donde se encuentran especies varadas que no son comunes en la región.

Si bien este fenómeno de varazones puede deberse a varios factores, tanto naturales (desoxigenación por eventos de surgencia, desorientación, enfermedades, intoxicación por algas nocivas, entre otras), como de origen antrópico (desoxigenación por contaminaciones o accidentes con embarcaciones), una proporción importante ha sido asociado a eventos de surgencia costera o afloramiento costero, que generan un ascenso de aguas profundas frías, con baja cantidad de oxígeno y alto contenido de dióxido de carbono (CO₂) (Bello et al., 2004).

Según (Pizarro, 2014) las varazones de organismos marinos tendrían las siguientes posibles explicaciones. En primer lugar, para los peces podrían ser originadas por: (i) hipoxias debido a la surgencia costera, (ii) toxinas de mareas rojas en el agua, (iii) sonares militares, (iv) exploraciones acústicas de petróleo, (v) pesca con dinamita, (vi) accidentes de embarcaciones pesqueras, (vii) desorientación magnética, (viii) sismos submarinos y (ix) causas desconocidas. Por otro lado, algunas investigaciones más específicas, se han informado posibles explicaciones más específicas en invertebrados marinos, estos han sugerido que las varazones de moluscos y crustáceos podrían estar asociadas a: hipoxias debido a la surgencia costera, brotes cíclicos (medusas), marejadas, contaminación del agua y el fenómeno de “El Niño” debido a que las altas temperaturas debilitan a los organismos y quedan indefensos frente a las corrientes bajas en oxígeno. (Pizarro, 2014; Vaquer & Duarte, 2008).

Es importante señalar que los fenómenos de varazones de peces es probable que, hasta la fecha no se han cuantificado y analizado para probar la influencia de los parámetros ambientales sobre este fenómeno.

2.2. Antecedentes internacionales

Estos fenómenos son habituales en regiones de afloramiento como lo son los sistemas de borde oriental, entre los principales ecosistemas de surgencia costera a nivel mundial se encuentran; el Sistema de las corrientes de Benguela y Canarias que corresponden al continente africano y parte de Europa. Por otra parte, el continente americano cuenta con los sistemas de Humboldt y California las cuales pertenecen a América del sur y América del norte respectivamente. (Largier, 2019). Si bien estos sistemas son los más conocidos y estudiados a nivel mundial, la surgencia costera no se limita solamente en estos territorios, ya que se han observado en muchos otros lugares del mundo, de manera breve, por ejemplo, en sistema de fiordos debido al efecto topográfico (Seguel, 2019), o durante eventos anómalos en algunas zonas costera, tales como en Carolina del Norte (Rennie et al., 1999), Somalia, Yemen, Omán, el suroeste de la India y el sur de Australia

(Kämpf & Chapman 2016); pero generalmente ocurren en las zonas costeras orientales.

Para las costas de California se tienen documentadas varazones desde 1911 en las playas de la península de Monterrey. (Berry, 1912; Clark & Phillips, 1936, Arancibia et al., 2007). Del mismo modo, han sido reportadas varazones masivas en Newport (Oregón) en los años 1935, 1936, 1976 (MacGinitie & MacGinitie, 1949; Straus, 1977). Cada verano en la Bahía de Los Ángeles cerca del mes de junio, se varan cientos de jibias (*Dosidicus gigas*) y peces, siendo el punto más al norte la Bahía de San Jorge, Sonora. (Arancibia H. et al., 2007).

Las varazones son fenómenos habituales en regiones de surgencia; pero aun así están presentes en otras zonas como es el caso del estrecho de Messina que entre el año 2008 y 2016 se encontraron un total de 32 especies de peces mesopelágicos varados (Battaglia et al., 2017), lo cual generó preocupación en la comunidad científica italiana. Debido a lo anteriormente mencionado, se ha observado el incremento en las investigaciones enfocadas en reconocer la causalidad del aumento de las varazones, sin concluir a cabalidad si estas varazones puedan estar directamente relacionadas a evento de surgencia. Las varazones en Chile, son solo nombradas y minimizadas por los reportes de medios de comunicación vinculada al borde costero, con el principal eslogan que son producto de causas naturales; pero pocos se han dispuesto a investigarlas científicamente; a pesar de las importantes consecuencias sociales y económicas que pueden tener para las comunidades costeras.

2.3. Antecedentes nacionales

En Chile, las varazones han sido reportadas desde hace siglos por historiadores, incluso desde los tiempos de la colonia (Siglos XVII y XVIII). En efecto, en 1787 los jesuitas penquistas registraron en sus documentos varazones de peces y jibias (*D. gigas*) a la orilla de la bahía de Concepción (Arancibia et al., 2007). Posteriormente, en 1835 en la bahía de Concepción se registra una de los “primeros” avistamientos de jibias (*D. gigas*) varadas en las playas. (Orbigny, 1835). Años más tarde, el naturista Carlos Oliver registra varazones ocurridas en febrero de 1895, lo cual

generó gran preocupación y en efecto el Dr. Ottomar Wilhelm presentó una comunicación a la Sociedad de Biología de Concepción y un trabajo en el XI Congreso Internacional de Zoología realizado en Papua, Italia, en el cual presentó un análisis de todas las varazones registradas en 1895, 1916, 1930, 1932, 1935 y 1936. (Arancibia et al., 2007).

En años recientes, la información que se puede registrar respecto de estos eventos, ha incrementado exponencialmente, principalmente debido al acceso que tienen la comunidad local para poder capturar una fotografía o incluso para llamar a las autoridades marinas como el Servicio nacional de pesca (Sernapesca) o La Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante (Directemar) y hacer la denuncia respectiva sobre las especies varadas en la zona costera. Lo anterior ha resultado en que los últimos 10 años hayan aumentado significativamente los registros oficiales de varazones en Chile Central. (Figura 1).

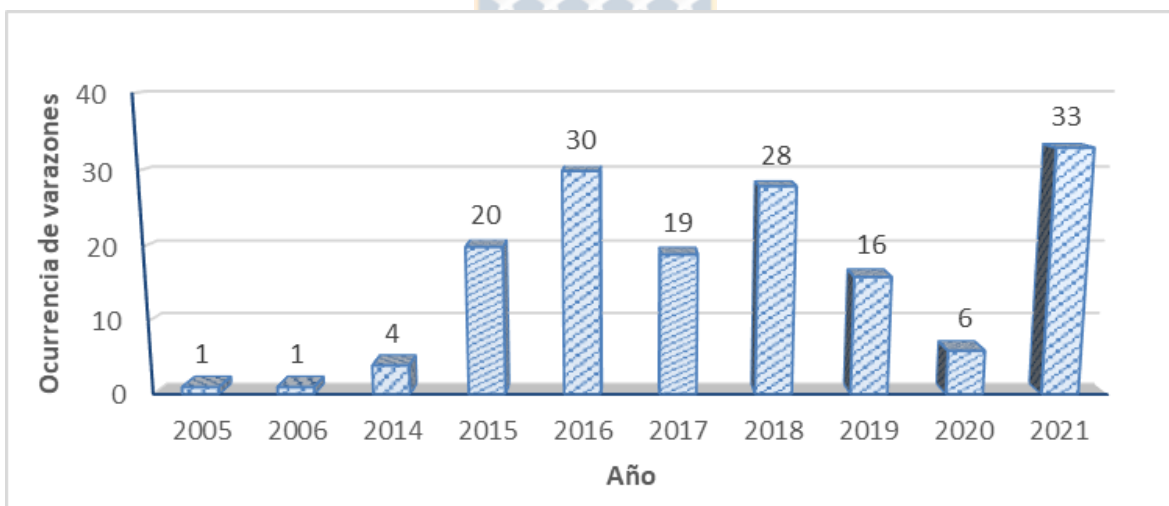


FIGURA 1. Ocurrencia (Nº) del total de varazones de organismos marinos entre los años 2000 y 2021 a lo largo de la costa de Chile a partir de base de datos de Sernapesca (2021). Los números encima de cada barra se refieren al número específico de varazones registradas.

Fuente: Información de base, SERNAPESCA. (2021).

En este sentido, las regiones que han registrado un mayor número de varazones desde el año 2000 hasta la fecha han sido las regiones de Biobío, Los Lagos, Valparaíso y Arica. (Figura 2).

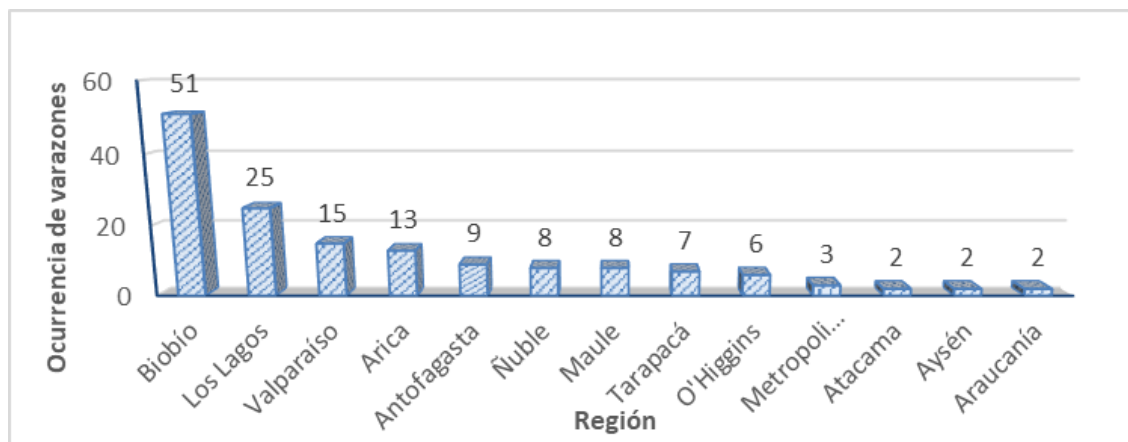


FIGURA 2. Ocurrencia (Nº) del total de varazones de organismos marinos entre los años 2000 y 2021 por regiones de Chile a partir de base de datos de Sernapesca (2021). Los números encima de cada barra se refieren al número específico de varazones registradas.

Fuente: Información de base, SERNAPECSA (2021).

2.4. Ecosistema costero de Chile

2.4.1. Anticiclón Subtropical del pacífico sur y Sistema de Corrientes de Humboldt

El clima frente al norte y centro del país está controlado, en parte, por la presencia del Anticiclón Subtropical del Pacífico Sur (ASPS) (Figura 3). Este ASPS corresponde a un área de altas presiones sobre el Pacífico Sur, que genera que el aire descienda y rote en el sentido contrario a las agujas del reloj. A escala estacional, en el verano austral, el ASPS es más intenso frente a la costa centro-sur de Chile (aproximadamente 35° S) y en invierno es más intenso frente a la costa de La Serena (Centro norte de Chile, aproximadamente 30°S) (Taljaard, 1972; Ancapichún & Garcés-Vargas, 2015). Por lo tanto, la variabilidad de los vientos corteros está asociada a los cambios en la posición e intensidad del anticiclón y a las anomalías de la presión a nivel del mar (Muñoz y Garreaud, 2005; Garreaud y Falvey, 2009), esto quiere decir que cuando el ASPS se fortalece, se incrementa la magnitud de los vientos provenientes del sur y, por tanto, se intensifican los eventos de surgencia (Croquette et al. 2007; Ancapichún & Garcés-Vargas, 2015), Por el contrario, al debilitarse el ASPS, los vientos provenientes del sur decrecen en magnitud y la incidencia de eventos de surgencia es menor.

El paso del anticiclón genera un gradiente de presión que está relacionado con el desarrollo de un flujo de viento de bajo nivel y, debido al terreno costero demasiado abrupto de Chile, impide el desarrollo de un flujo hacia el este a bajo nivel de forma perpendicular al continente (cross-shore), el cual equilibraría el gradiente de presión. En su lugar, el flujo meridional se acelera hasta que la fricción turbulenta en la capa límite marina equilibra la fuerza del gradiente de presión (Garreaud & Falvey, 2009), por lo tanto, se genera un transporte de aguas superficiales hacia el norte y en su lugar es reemplazado por aguas profundas.

El Sistema de Afloramiento de la Corriente de Humboldt, que se extiende desde el sur de Chile (~42°S) hasta el norte de Perú cercano a las islas Galápagos (~16°S), es uno de los ecosistemas marinos más productivos del mundo (Garteizgogeoasca et al., 2020) y es el que sustenta gran parte de la demanda de alimentos marinos y garantiza la seguridad alimentaria de las comunidades costeras. Este sistema se caracteriza por un flujo de aguas superficiales de origen subantártico predominante hacia el norte y por un fuerte afloramiento de aguas subsuperficiales frías. (Thiel et al. 2007). Si bien la surgencia costera es mayoritariamente continua en el norte de Chile, en el centro-sur de Chile se caracteriza por un patrón más estacional, generándose principalmente en períodos estivales.

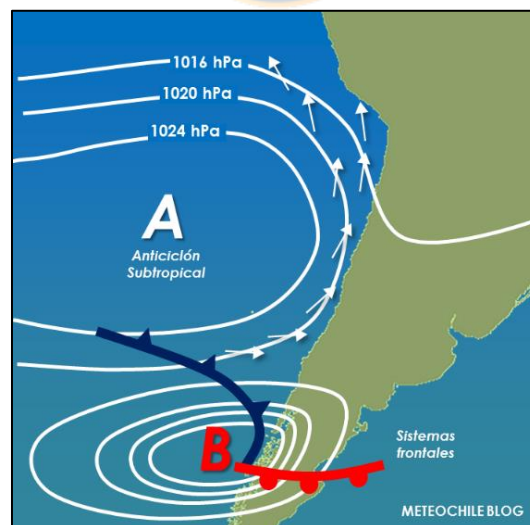


FIGURA 3: Anticiclón subtropical del pacífico sur. La letra A corresponde al sistema de altas presiones (ASPS) y la letra B a los sistemas frontales de bajas presiones.

Fuente: José Vicencio, (2018) recuperada de METEOCHILE.

2.4.2. Viento de la superficie del mar

Hay un proceso muy importante en el campo de viento para la configuración del clima mundial y estos se llaman “Jet Stream” que son corrientes de vientos en chorro las cuales se caracterizan por cuatro núcleos a lo largo de los meridianos del planeta, donde fuertes vientos actúan como un río atmosférico de oeste a este en un ámbito espacial de mesoescala, más específicamente a 2 km de la superficie de la tierra. (Thunis y Bornstein, 1996). En las regiones más cercanas a los polos estos “Jet Stream” o chorros costeros se observan alrededor del 60% del tiempo durante la primavera y el verano, esto quiere decir que se producen entre los meses de septiembre a febrero. Estos eventos pueden durar entre 3 a 7 días y debido a la permanencia de estos causan un marcado enfriamiento de la superficie del mar. (Garreaud y Falvey, 2009). Los eventos de chorros costeros se producen con menos frecuencia (30% del tiempo) entre los meses de marzo a agosto más específicamente en otoño e invierno y estos se interrumpen por períodos de vientos del sur muy débiles o incluso del norte.

Según los datos de los vientos diarios de Garreaud & Falvey (2009) frente a la zona centro sur de Chile (33°S - 74°W) la velocidad del viento en superficie puede alcanzar hasta los 15 ms^{-1} . En los meses de verano la velocidad del viento sobre la superficie del mar es cercana a los 10 ms^{-1} , que representa en promedio cerca del 20% de las ocasiones, mientras que en invierno la velocidad más frecuente es cercana a los 8 ms^{-1} , representando cerca del 13% de las ocasiones. Durante la “estación del chorro” (primavera-verano) los vientos costeros del sur se extienden hasta 42°S lo cual significa que llegan hasta la isla de Chiloé, en cambio en las estaciones de otoño e invierno, los vientos se debilitan y se limitan al norte de la región del Biobío en los 36°S sin formar los chorros costeros previamente descritos. En consecuencia, estos chorros costeros, son denominados de esta forma cuando los vientos superficiales tienen una velocidad mayor a 10 ms^{-1} (Garreaud y Falvey, 2009). Estos vientos dominantes que se generan en el sur son clave para la dinámica regional de la costa chilena, ya que provocan la surgencia costera.

2.4.3. Surgencia costera

Los eventos de surgencias costera constituyen un proceso natural de afloramiento de aguas profundas de baja temperatura, bajo oxígeno (O₂) disuelto, alto dióxido de carbono (CO₂) y alta concentración de nutrientes, que en el caso del Pacífico Sur son transportadas desde la región subantártica por la corriente de Humboldt. (Bernal et al., 1983). Existen diferentes zonas costeras orientales en el mundo en las cuales se generan estos eventos; pero las áreas de surgencia más importantes y que aportan la mayor producción neta en comparación al océano mundial se encuentran en Sudamérica (Chile-Perú), Norteamérica (California) y África (Namibia y Mauritania) (Escribano & Morales, 2004). Este proceso que ocurre a lo largo de la costa de Chile es provocado por los vientos predominantes del sur, generalmente desde el suroeste (Bello et al., 2004), los que generan una fricción e inducen los movimientos en la superficie del océano. Dentro de los mecanismos de flujo horizontal está el transporte de Ekman (TE), en el cual el movimiento neto del agua en la capa oceánica del hemisferio sur es hacia el oeste (Figura 4). Por otra parte, el bombeo o succión de Ekman (BE) hace referencia a movimientos verticales de ascenso (tensión del viento positivo) y descenso (tensión del viento negativo) en la columna de agua. (Román et al., 2013). En ambos casos, el agua desplazada es reemplazada por una surgencia de aguas profundas sub-superficiales.

Los eventos de surgencia pueden ser subdivididos en tres fases, las cuales son dependientes de la temperatura, del índice de surgencia y de la velocidad del viento. Estas fases de acuerdo a Silva & Valdenegro (2003) son las siguientes:

Inicio (UI= \sim 250-800 m³ s⁻¹; TSM= \sim 15°C; V= < 10 m s⁻¹),

Madurez (UI= \geq 1000 m³ s⁻¹; TSM= \leq 13°C; V= > 10 m s⁻¹) y

Relajación (UI= \sim 600 m³ s⁻¹; TSM= \geq 13°C; V= < 5 m s⁻¹)

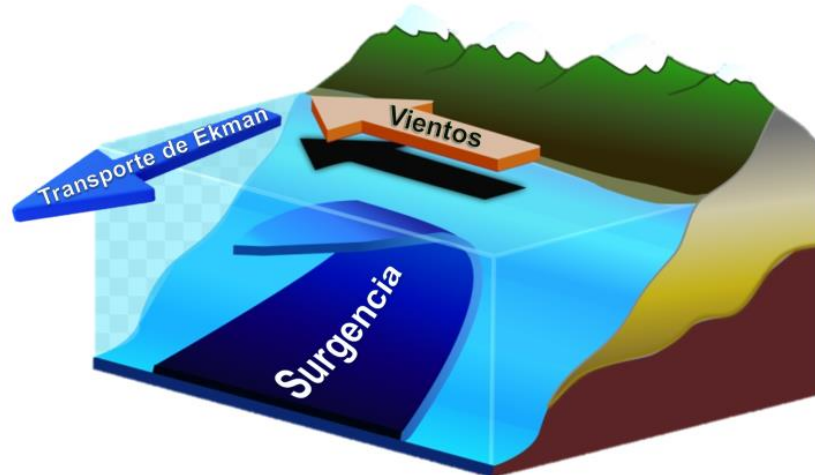


FIGURA 4: Esquema representando el proceso de surgencia costera, ubicado en el borde oriental del pacífico sur y que muestra esquemáticamente los vientos, el transporte de Ekman y la surgencia costera.

Fuente: J. R. Valentín (1997). Aguas de surgencia.

Debido a la acción combinada de estos procesos se logra que algunas zonas costeras puedan ser refertilizadas favoreciendo un incremento en la productividad primaria (Bello et al., 2004), de gran importancia en el flujo de energía y materia en las tramas tróficas marinas y de esta forma determinando que estos ambientes se constituyan en uno de los más productivos del mundo, sustentando una alta biomasa de población de peces y otros organismos marinos (Rutllant & Montecino, 2002; Yuras et al., 2005; Garreaud & Falvey, 2009). Los procesos de surgencias, si bien tienen efectos positivos debido a que otorgan condiciones más favorables permitiendo a los organismos litorales a incrementar su abundancia, también tienen efectos negativos, ya que existen investigaciones realizadas en comunidades submareales que evidencian fuertes disminuciones de biomasa debido a la hipoxia y en algunos casos hasta anoxia que se puede llegar a observar (Zúñiga et al., 1983). Lo anterior, lleva a asociar a estos eventos de surgencia costera como uno de los factores gatillantes que puede desencadenar y provocar las varazones de organismos marinos. (Pizarro, 2014).

2.5. Oxígeno e Hipoxias y sus efectos en organismos marinos

El oxígeno es una molécula fundamental para la vida, debido a que su función es entrar al organismo para participar en la respiración por parte de los seres vivos. Es

importante destacar, que el oxígeno en el mar es inversamente proporcional con la temperatura superficial debido a que cuando la temperatura del mar aumenta tiende a retener menos oxígeno y, por ende, el oxígeno disuelto en el mar disminuye. (Breitburg et al.,2018). Es esencial para la salud del océano que el oxígeno se mantenga en niveles que sean óptimos para la vida de los organismos marinos, sin embargo, se ha concluido en el último tiempo que, entre las variables ambientales más importantes para la ecología de los ecosistemas marinos y estuarinos del mundo, esta es la única que ha cambiado tan drásticamente, en tan poco tiempo. (Diaz, 2001). Lo anterior, se ha traducido que la surgencia costera aporta en la generación de zonas marinas con bajo contenido de oxígeno disuelto, provocando eventos de hipoxia en las masas de aguas e incluso en situaciones más extremas, llevando a condiciones completamente carentes de oxígeno disuelto en el agua de mar.

La hipoxia se define como una condición bajo la cual la concentración de oxígeno disuelto ha descendido a tal nivel que resulta imposible la vida de organismos complejos. (Vaquer & Duarte, 2008). Sin embargo, no existe una única concentración de oxígeno que sirva como definición de hipoxia ya que en cada ecosistema varía en sus procesos ecológicos y necesidades de oxígeno. Según Breitburg et al. (2018) la mayoría de los criterios se basan en efectos subletales: En general, se utiliza como límite 2 mg L^{-1} de O_2 ($=1,4 \text{ ml L}^{-1}$; $=63 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$); pero muchos organismos se ven afectados negativamente a concentraciones de oxígeno superiores. Por otro lado, la anoxia es definitivamente la ausencia de oxígeno.

Para comprender un poco más el rango de comportamiento y repercusiones ecológicas a medida que los niveles de oxígeno disuelto descienden (desde la saturación hasta la anoxia) se presenta el siguiente gráfico (Figura 5) adaptada de Laffoley & Baxter, (2019).

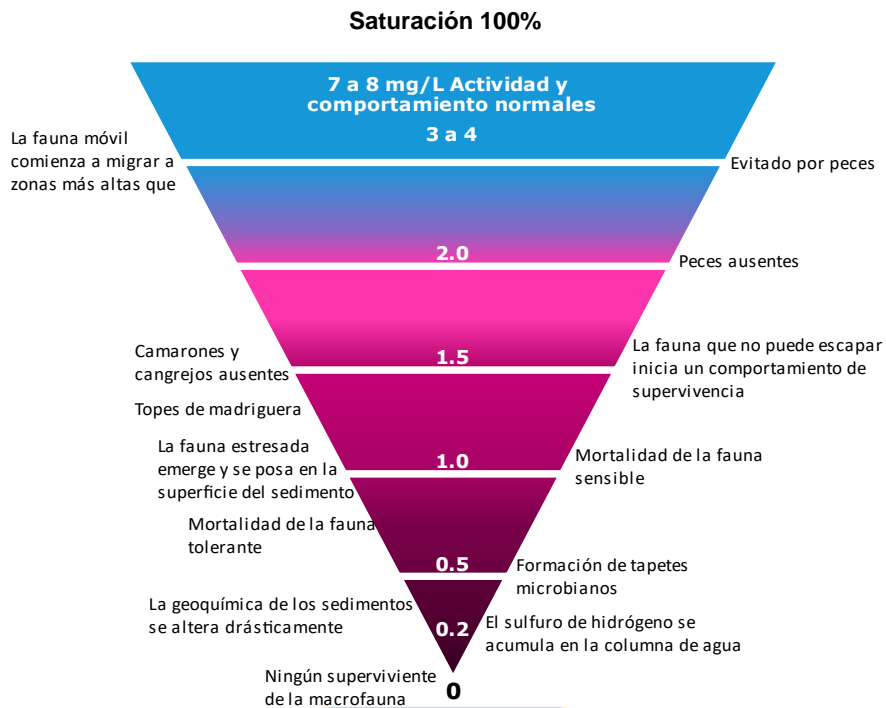


FIGURA 5: Comportamiento y repercusiones según los niveles de oxígeno. Entre niveles se observan las concentraciones de oxígeno (mg L⁻¹) y sus consecuencias. Los números que están entre los niveles corresponden a la concentración del oxígeno disuelto (mg L⁻¹).

Fuente: Adaptado de Laffoley & Baxter, (2019). La desoxigenación del océano.

En la Figura 5 se puede apreciar que la desoxigenación perturba el desarrollo y el comportamiento de los organismos marinos, en consecuencia, altera los bienes y servicios que los ecosistemas marinos proporcionan al ser humano. Los servicios reducidos pueden incluir la producción de alimentos a través de la pesca y la acuicultura, la regulación del clima, el ciclo de nutrientes y la resiliencia. Todos estos efectos o consecuencias que provoca la falta de oxígeno en el agua podrían ser intensificados por el cambio climático.

Las consecuencias que tiene la falta de oxígeno en cada organismo difieren, en general existe el promedio de 2 mg L⁻¹ que generaría un colapso en los organismos marinos; pero este umbral puede ser muy bajo no sólo para conservar eficazmente la biodiversidad sino también los recursos pesqueros. (Vaquer & Duarte, 2008). Por

lo tanto, los organismos podrían estar sufriendo una mortalidad considerable con los límites convencionales.

Los cambios en el oxígeno disuelto, generan grandes consecuencias para la vida marina, ya que, como se evidencia en Vaquer & Duarte (2008) la hipoxia conlleva una gran pérdida de biodiversidad y afecta a los organismos supervivientes a través de tensiones subletales, como la reducción del crecimiento y la reproducción, el estrés fisiológico, la migración forzada, la reducción del hábitat adecuado, el aumento de la vulnerabilidad a la depredación y la interrupción de los ciclos vitales. (Rabalais et al., 2002; Service RF. 2004; Vaquer & Duarte, 2008).

Vaquer & Duarte (2008) reunieron bastante evidencia científica para identificar en cada tipo de taxon, los diferentes límites críticos en la concentración del oxígeno disuelto. En primer lugar, está el caso de la concentración letal (LC50) que se refiere a la concentración de oxígeno que genera la muerte en el 50% de la población expuesta; la concentración subletal (LSC50) que se refiere al cambio en el comportamiento del 50% de la población expuesta a una cierta concentración de oxígeno y el tiempo letal (LT50) el cual se refiere al tiempo expuesto a una hipoxia aguda la cual genera una mortalidad del 50% de la población expuesta.

Todos los datos de los límites críticos para diferentes taxas se pueden observar en la Figura 6, donde se encuentran las concentraciones letales (CL50) correspondiente al grupo (A), la concentración subletal (CSL50) correspondiente al grupo (B) y el tiempo medio letal (LT50) correspondiente al grupo (C). Las consecuencias que pueden tener estos límites críticos van desde la mortalidad, hasta los cambios de comportamiento, cambios en la reproducción, entre otras consecuencias. La taxa más sensible a la concentración de oxígeno disuelto corresponde a los crustáceos, este grupo si bien es el más sensible, también cuenta con el tiempo más bajo en la tolerancia a los bajos niveles de oxígeno al igual que los peces, esta característica puede deberse a la facilidad que tienen para movilizarse en el ecosistema marino. En cuanto a los moluscos, estos tienen la más alta tolerancia a las concentraciones de oxígeno disuelto; pero el nivel más bajo en el tiempo de exposición.

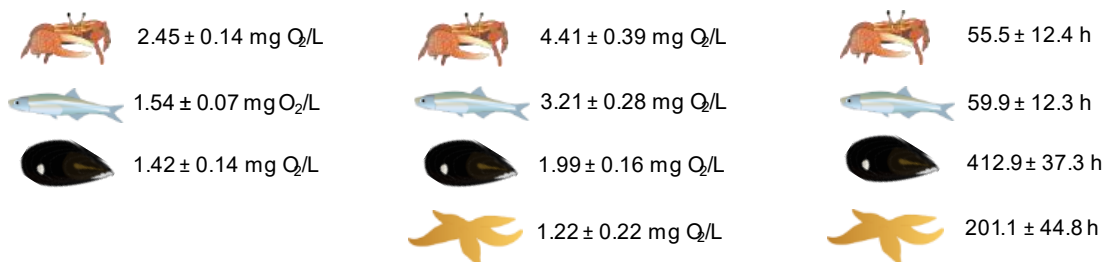
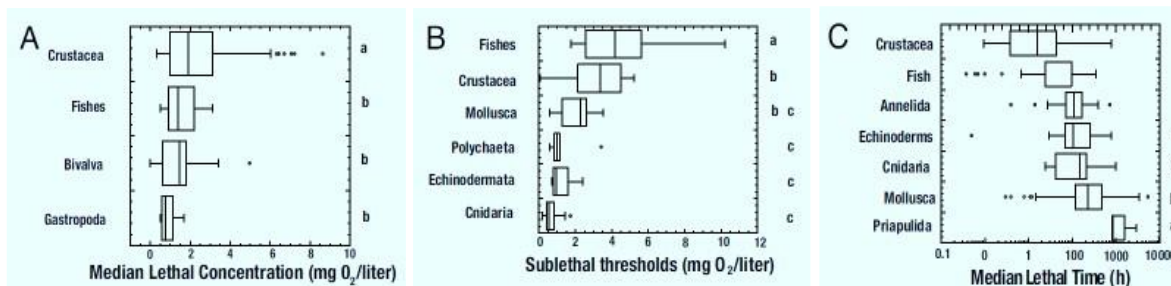


FIGURA 6: Distribuciones de los umbrales de oxígeno agrupados en cada taxon. Los gráficos se agrupan en: (A) Concentración Letal (LC50) (mg de O₂ L⁻¹), (B) Concentración Sub-lethal (SCL50) (mg de O₂ L⁻¹), y (C) Tiempo Letal (LT50) (horas). Fuente: Adaptado de Vaquer & Duarte (2008).

2.6. Cambio climático y global y sus posibles consecuencias en diferentes parámetros asociados a la surgencia costera

El cambio climático ha sido definido por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) como, “el cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”. Esto quiere decir, que el ser humano está alterando la composición natural del planeta debido a las actividades humanas, lo que genera un aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero contribuyendo al aumento de la temperatura y en consecuencia provoca una disminución de la solubilidad del oxígeno en el agua de mar y un aumento de la respiración de los organismos marinos. (Breitburg et al., 2018).

En el océano, el calentamiento del mar y la desoxigenación se encuentran relacionados, debido a que, el aumento de las concentraciones de dióxido de carbono (en su mayoría, a causa de, la quema de combustibles fósiles) provocan un aumento de la temperatura de los océanos y desoxigenación. (Breitburg et al.,

2018). En efecto, se generan perturbaciones en el funcionamiento biológico y ecológico de los ecosistemas marinos, por lo tanto, es un gran problema en bahías semicerradas orientadas hacia el ecuador como lo son Coliumo, Concepción y Golfo de Arauco, ya que, su topografía genera una sombra de afloramiento que induce un calentamiento local de la bahía provocando una mayor desoxigenación. (Wong et al. 2021). Una de las preocupaciones es que los efectos combinados de múltiples factores de estrés pueden reducir la resiliencia de las comunidades y los ecosistemas y no sólo afectar negativamente a los organismos individuales. Además, las consecuencias que podrían provocar estas nuevas condiciones son sinérgicas. Por un lado, tendremos el aumento de la temperatura de los océanos que genera una reducción en el oxígeno disuelto y por consecuencia, aumentaría las necesidades de oxígeno de los animales (Vaquer-Sunyer & Duarte, 2010) y, por otro lado, reforzará los vientos favorables a la surgencia costera (Sydeman, 2014), debido a la intensificación del anticiclón subtropical del pacífico sur.

Por otra parte, el cambio global corresponde al conjunto de cambios ambientales que se derivan de las actividades humanas sobre el planeta, con especial referencia a cambios en los procesos que determinan el funcionamiento del sistema Tierra. (Cabrera, 2019). En consecuencia, el cambio global está fuertemente provocado por las actividades desarrolladas por el ser humano (i.e. origen antropogénico), por ejemplo, entre otros factores, debido a la quema de combustibles fósiles, los vertidos de la agricultura, los cambios en el uso del suelo y la generación de un amplio espectro de residuos de origen antropogénico.

Las consecuencias asociadas al incremento en la población humana, tales como la mayor producción de nutrientes en los sistemas acuáticos, el aumento de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), entre otros, están provocando la pérdida de oxígeno en los sistemas marinos costeros que están fuertemente influenciados por su cuenca hidrográfica y mucho más en las bahías semicerradas. Pero no es solo el ser humano el que genera todas estas consecuencias, puesto que, de forma natural el planeta provoca disminuciones de oxígeno en el océano, debido a la surgencia

costera lo que podría causar (según expertos en el área oceanográfica como SERNAPESCA) las varazones costeras.

2.6.1. Cambios asociados a los regímenes de viento

Como se evidencia en el trabajo de modelación por Garreaud y Falvey (2009) en los años 2071-2100 podría ocurrir un aumento de los vientos debido a los cambios en la circulación atmosférica, este cambio se produciría a causa del aumento de la presión al nivel del mar (~ 2.5 hPa) que se generará entre los 25°S y 42°S , la necesidad de producir un equilibrio ageostrófico debido a la presión mayor que se ejerce, daría lugar a vientos del sur más fuertes que prevalecen a lo largo de la costa (Garreaud y Falvey, 2009). Estos vientos producirían un chorro medio que se manifestará de manera constante durante todo el año, aunque en menos cantidad en invierno; pero si se compara con las condiciones actuales el chorro está ausente en otoño/invierno.

Durante la primavera, la frecuencia de los días de chorro fuerte ($V > 10\text{ms}^{-1}$) aumentarán aproximadamente en un 33%, debido a la disminución de los vientos provenientes del norte. Una de las consecuencias que puede generar el aumento de los vientos es la disminución de la temperatura de la superficie del mar a lo largo de la costa, debido a los flujos superficiales y a la surgencia costera. (Garreaud y Falvey, 2009).

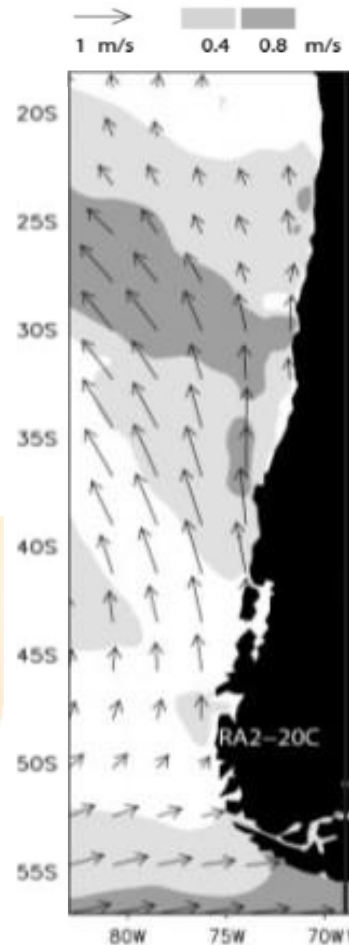


FIGURA 7: Modelado de los vientos de primavera - verano (1961-2100). Las flechas y las manchas corresponden al gradiente o cambio positivo de la magnitud del viento.
Fuente: Garreaud y Falvey, (2009).

Una investigación más reciente de Rykaczewski et al. (2015) detalla que los vientos favorables a la surgencia costera aumentarán debido a las grandes diferencias que existirá entre la temperatura del aire que se encuentra en la superficie del océano relativamente frío y el continente cálido durante el verano, lo cual contribuiría al desarrollo de pronunciados gradientes de presión al nivel del mar. Bakun et al. (2015) señaló que se prevé que el cambio climático antropogénico aumente la temperatura de la tierra y no tanto la del océano, por esta razón, generaría un aumento en el gradiente de presión tierra-mar y el consiguiente aumento de los vientos favorables a surgencia costera. Este fenómeno se produciría en los sistemas costeros orientales que en la tabla 1 se puede observar la intensificación porcentual en el viento favorable a la surgencia costera, en cada uno de los sistemas costeros más conocidos.

Tabla 1. Cambio porcentual en el viento favorable a la surgencia costera de verano durante el período 2071-2100 en relación con el período base 1861-1890. Estos corresponden a los sistemas orientales de surgencia más importantes del mundo con especial énfasis en el de Humboldt.

| | Región Completa | Porción Polar | Porción Ecuatorial |
|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| California | -8% (± 10 SD) | -2% (± 18 SD) | -13% (± 10 SD) |
| Canaria | 10% (± 10 SD) | 26% (± 18 SD) | 2% (± 11 SD) |
| Humboldt | 10% (± 12 SD) | 47% (± 34 SD) | -9% (± 9 SD) |
| Benguela | 1% (± 7 SD) | 9% (± 10 SD) | -6 (± 9 SD) |

Fuente: Rykaczewski et al., (2015).

2.6.2. Cambios en la concentración de oxígeno disuelto

Si bien, este elemento fundamental es muy abundante en el planeta, no está excepto de cambios, ya que, como se evidencia en algunas investigaciones (Vaquer & Duarte, 2008), el oxígeno disuelto presente en el océano ha disminuido y ha provocado un aumento generalizado de las hipoxias, no es poco que en los últimos 50 años la superficie de agua con poco oxígeno en el océano abierto ha aumentado en 4,5 millones de km² (Breitburg et al.,2018), lo cual corresponde al 2% del océano

total, por lo tanto, los océanos mundiales pierden alrededor de 1,5-3,1 gigatoneladas (1,5-3,1 mil millones de toneladas) de oxígeno cada año. (Schmidtke et al., 2017).

Según Vaquer & Duarte (2008) los sitios hipóxicos han ido en aumento desde que se han comenzado a investigar cerca del año 1950 (Figura 8), los cuales han manifestado un cambio drástico los últimos 40 años llegando a tener una tasa de 5,54% año⁻¹. Este aumento de los sitios hipóxicos que llegan a ser cerca de los 140 lugares costeros, puede seguir en la misma tendencia, debido a que se le atribuyen causas como la eutrofización que es directamente causa por la adición de nutrientes (contaminación), lo que aumentaría la demanda biológica de oxígeno.

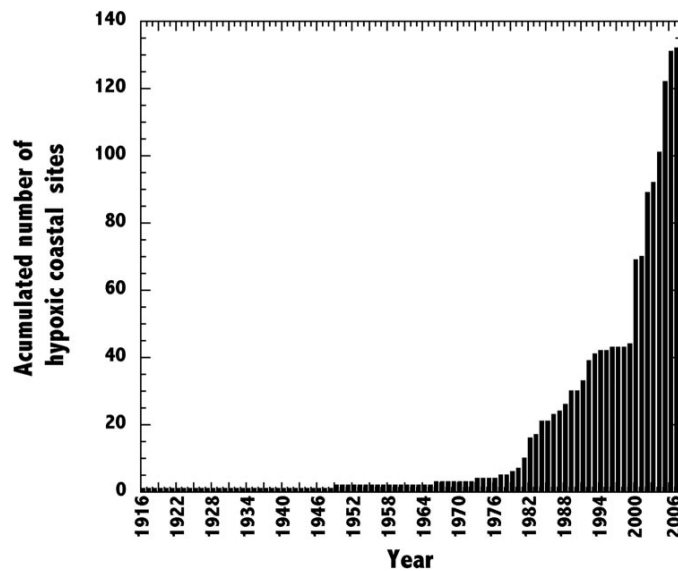


FIGURA 8: Cantidad (N°) acumulada de hipoxias a lo largo del tiempo en lugares costeros, en los cuales se han registrado hipoxias. Tasa de crecimiento exponencial 5,54% ± 0,23% año⁻¹.

Fuente: Vaquer & Duarte, 2008.

Uno de los factores directos en la intensificación de los parámetros es la sobrepoblación y su uso intensivo de los recursos debido al sobreconsumo, ya que debido a esto es que se genera más presión en los ecosistemas produciendo efectos antrópicos más evidentes.

2.7. Bahías semicerradas de la región del Biobío y sus implicancias socioambientales generadas por las varazones

La costa de la región del Biobío es particularmente propensa a experimentar eventos de surgencia costera, debido al régimen de vientos paralelos a la costa que se intensifican en dirección de sur a norte durante los meses de primavera-verano (Garreaud y Falvey, 2009). La zona costera de la región del Biobío, se caracteriza por tener bahías semi-cerradas y golfos abiertos con orientación hacia el norte, además por ser una bahía relativamente somera, con una plataforma ancha en el área del Golfo de Arauco que no superan los 100 metros de profundidad, lo que resulta en un incremento en los tiempos de residencia de sus aguas y de la productividad generada en sus aguas (Wong et al. 2021), lo cual finalmente lleva a que se constituya como una zona interesante para áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos. (AMERB).

La región del Biobío presenta la mayor cantidad de varazones que se han generado en los últimos 20 años en Chile las cuales podrían originarse de forma natural (surgencia costera) o por efectos antrópicos debido a las actividades que se llevan a cabo en la zona costera. Llevándolo al contexto local, en el borde costero asociado a estas bahías semicerradas de la región del Biobío, se llevan a cabo diferentes actividades industriales y urbanas, que llevan a generar un conjunto muy diversos de agentes o presiones ambientales en esta zona, tales como: a) el aumento de los nutrientes debido al sector agropecuario y al sector forestal, esto genera un aumento en los niveles de nitrógeno y fósforo, que podrían provocar según Niemi et al. (2004) alteraciones de las funciones ecológicas básicas, por ejemplo, aumento de la frecuencia y proliferación de floraciones de algas nocivas (FAN) y aumento del agotamiento de oxígeno (hipoxia) con importantes daños a las pesquerías costeras y la biodiversidad. b) Industrialización y escorrentía urbana, la cual genera fuentes puntuales de contaminantes que son vertidas en el río Biobío o directamente a la bahía costera, las cuales según Niemi et al. (2004) pueden generar deterioro en la calidad del hábitat para la vida acuática. c) Derrames de hidrocarburos, dado a la presencia de una refinería de petróleo en la zona que les genera asfixia. d)

Pesquerías industriales y artesanales que si no son gestionadas de una forma sostenible pueden traer repercusiones en la conservación de recursos pesqueros y la biodiversidad acuática. Todos estos agentes antrópicos, podrían afectar directamente a la fauna local y a la población que se sustenta con los recursos marinos y, en efecto, pudieran generar consecuencias socio-ambientales negativas en la zona costera, llegando además a interactuar con las condiciones hipóxicas o subóxicas asociadas a los eventos de surgencia que ocurren durante los meses estivales, pudiendo impactar en la fisiología de los organismos marinos que habitan esta zona, o en aguas circundantes.

Las comunidades costeras y la población en general, observan con preocupación estos fenómenos de varazones en las costas, que cada vez se van haciendo más frecuentes. Estos eventos anómalos, provocan consecuencias directas a las personas que dependen de los servicios ecosistémicos que provee el océano (Breitburg et al., 2018), entre los cuales se encuentra justamente la dependencia por ciertos recursos marinos. A la fecha, nuestro país está en deuda en términos de la generación de investigaciones más específicas tendientes a explicar la ocurrencia de estos eventos de varazones de organismos marinos, considerando además que varias de las instituciones competentes del estado se han focalizado principalmente en la elaboración de inventarios de especies; pero sin un énfasis en incorporar forzantes causales, además de los efectos colaterales relacionados con la biodiversidad y el funcionamiento ecosistémico a distintas escalas espaciales y temporales. (Vásquez et al. 1998).

3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

Ante los antecedentes expuestos y las diversas causas que podrían estar causando varazones en la zona costera de la región del Biobío, se formula la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles han sido las tendencias de las varazones de organismos marinos en la región del Biobío durante los últimos 15 años y cuáles podrían haber sido sus posibles causas y potenciales implicancias socio-ambientales?

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Analizar la tendencia histórica (2006-2021) de las varazones de organismos marinos frente a la costa de la región del Biobío, su potencial relación con eventos de hipoxias asociados a surgencia costeras, e implicancias socio-ambientales para las comunidades costeras.

4.2. Objetivos específicos

- Identificar y cartografiar los eventos históricos de varazones (localización, fechas y especie) de los organismos marinos (2006-2021) frente a la costa de la región del Biobío.
- Analizar las varazones y las condiciones del ecosistema mediante la información climática (vientos) y oceanográfica (oxígeno e índice de surgencia) disponible para la región durante 2006 a 2021.
- Cuantificar la intensidad de los eventos de surgencia y condiciones de hipoxia ocurridas en el tiempo y su relación con el grupo de organismos (taxa) que han participado en estos eventos de varazones.
- Identificar la percepción e impactos que perciben las comunidades costeras, mediante un análisis exploratorio a través de una encuesta dirigida a pescadores, recolectores y acuicultores, respecto a los eventos de varazones de organismos marinos.

5. METODOLOGÍA

En este capítulo se presentará la metodología utilizada para la obtención de datos (varazones, viento y oxígeno), se describirán los pasos utilizados para el análisis de los datos meteorológicos y oceanográficos, los softwares a los que se recurrió para la obtención y análisis de los resultados cartográficos donde se evidenciarán las varazones.

5.1. Área de estudio

Chile es uno de los países que posee una de las líneas de costa más extensas del mundo, abarcando 6.435 km de línea de costa (Gobierno de Chile, 2018). Gracias a esto Chile tiene bastante territorio para sustentar una gran biodiversidad de comunidades marinas, las que incluso han permitido sustentar algunas de las pesquerías pelágicas más productivas del mundo. (Bernal et al. 1983). El área de estudio, se encuentra entre las latitudes 36°S y 38°S de la región del Biobío, caracterizado por un sistema de Golfo y bahías semicerradas como Arauco, Concepción, Coliumo y San Vicente. El Golfo de Arauco es el mayor cuerpo de agua semicerrado de la costa chilena que cuenta con menos de 100 m de profundidad (Wong et al. 2021), su sistema está limitado al norte por la Isla Santa María, la cual divide la bahía de Arauco en dos salidas. (boca grande y boca chica) (Figura 9).

La principal descarga de agua dulce en la bahía de Arauco es del río Biobío, que desemboca en el noreste de la misma. Más al norte se encuentra la bahía de Concepción, la cual está limitada por la isla Quiriquina generando (al igual que en el golfo de Arauco) dos salidas hacia el océano abierto. Esta bahía posee una superficie de 170 km² y una profundidad máxima aproximada de 35 m (Espinoza, 1897). En cuanto a la bahía de Coliumo, ésta es la que tiene menos extensión de las tres en estudio, está delimitada por la parte norte por Punta Pingual y por la parte sur por Punta Blanca, cerca de la boca de la bahía presenta su mayor profundidad que bordea los 20 a 25 metros. (Neira & Palma, 2007).

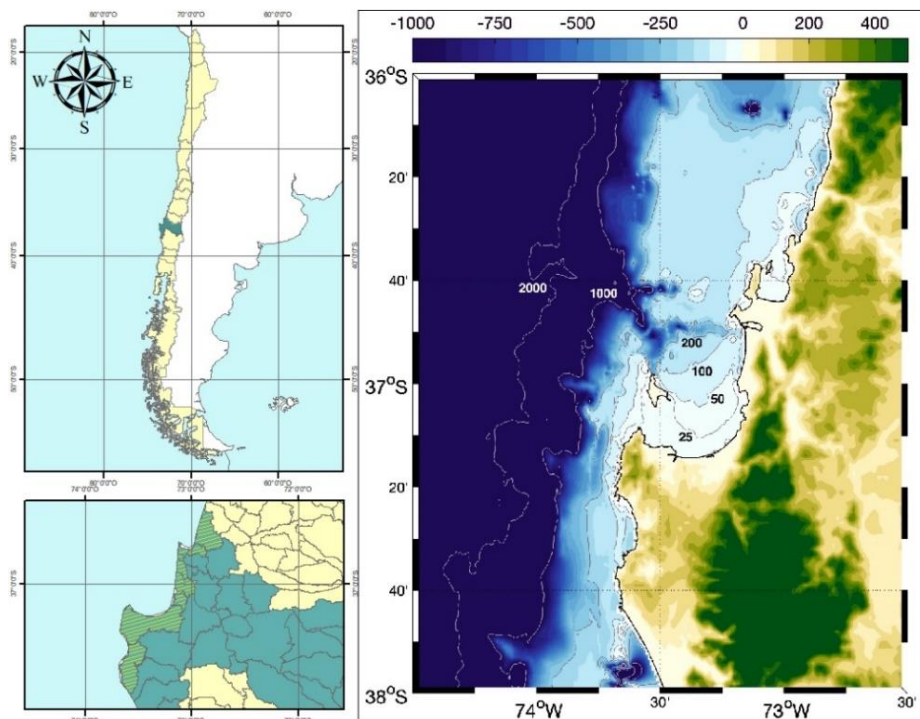


FIGURA 9: Área de estudio en la zona costera de la región del Biobío, corresponden a las bahías semicerradas: Bahía de Coliumo, Bahía de Concepción, Bahía de San Vicente y Golfo de Arauco.

Fuente: Elaboración propia con Software ArcGIS.

5.2. Revisión de información disponible sobre varazones

Para la presente investigación no se consideraron a los mamíferos marinos, sino solo a aquellas especies de importancia comercial dependientes del oxígeno disuelto en el medio acuático (peces, moluscos, equinodermos y crustáceos), ya que su estado fisiológico está ligado directamente con las condiciones de oxígeno en el agua de mar.

Se hizo una búsqueda exhaustiva sobre varazones que ocurrieron en la región del Biobío. En primer lugar, se partió con un registro en periódicos digitales (Aqua, Sociedad Chilena de Ciencias del mar (SCHCM), 24 HORAS, soychile, biobiochile, perupesquero y cooperativa), los cuales registrasen estas noticias, ya sea a través del propio trabajo periodístico o mediante denuncias civiles o fotografías que reportan estas varazones. Finalmente, con toda la información disponible recolectada, se procedió a enviar un correo con el registro generado a

SERNAPESCA, con el fin de obtener información oficial y corroborar de esta forma, toda la información reunida en los diferentes medios de comunicación. Se recopilaron además información básica respecto de los animales varados entre el 2006 hasta el verano del 2021, incluida fecha, especie, localización, peso total y comuna. También para uno de los análisis, se reunieron las especies en taxas según su phylum (Crustacea, Mollusca, Equinodermos) y para el caso de los organismos pelágicos se reunieron en un grupo denominado “Peces”.

Posteriormente, se realizó un análisis de los datos para obtener más información sobre la localización donde vararon estos organismos, la tendencia de las varazones que han tenido en los últimos 15 años y las especies que participan en este fenómeno para observar en detalle cuales son los organismos que están más presentes y también en qué momento del año los afecta este fenómeno. Para el caso del análisis de las varazones según las estaciones del año se han agrupado de la siguiente manera: verano (21 de diciembre – 20 de marzo), otoño (21 de marzo – 21 de junio), invierno (22 de junio – 23 de septiembre) y primavera (24 de septiembre – 20 de diciembre). Finalmente se contabilizaron las especies presentes, con el fin de obtener la cantidad total de especies que participan en las varazones por cada estación del año.

5.2.1. Registro de información en tiempo y espacio con cartografías de GIS

Luego de haber investigado y obtenido la información de las varazones ocurridas en el área de estudio, se realizó con dicha información una representación cartográfica utilizando GIS (ArcGIS versión 10.4.1). Con este objetivo, primero se descargaron las capas del territorio nacional de la Dirección General de Aguas (DGA), además la red hídrica de la cuenca de la zona de estudio, la cual se obtuvo de la página web de la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (SIIT-BCN) en la sección de información territorial, obteniéndose la capa de datos de la red hidrográfica que corresponden a polilíneas de los drenes de todo Chile. El material final constituye una representación cartográfica surgida de diferentes fuentes.

Todos los datos de varazones fueron graficados usando el Sistema Geodésico Mundial 1984 y luego proyectadas en UTM 19S. Primero se creó una capa de

puntos en el cual se registraron manualmente las varazones según la localización de cada una, al mismo tiempo se creó una nueva capa; pero esta vez de polígonos para poder graficar las AMERB con el fin de observar si es que las varazones se localizan cerca o lejos de las áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos. Finalmente, a cada una de las varazones se les tituló con su fecha de ocurrencia, con el fin de registrar el tiempo y el espacio en la cartografía.

5.3. Análisis de información meteorológica (vientos), oceanográfica (oxígeno) y cálculo de índice de surgencia

5.3.1. Análisis de la magnitud y dirección del viento

Con el fin de calcular el índice de surgencia, en primera instancia se obtuvo datos de la magnitud del viento en la estación Carriel Sur de Concepción, la cual es una plataforma que realiza observaciones de variables meteorológicas con una frecuencia de 60 minutos. La estación se encuentra ubicada en el Aeropuerto Carriel Sur, de la comuna de Talcahuano (~36°46'S 73°3' W) y registra sus datos en la web de meteochile, se solicitó mediante el código nacional de la estación, el registro de los datos históricos los cuales se comprenden desde el año 1968. Para la presente investigación, solo se utilizaron los datos desde el 2002 hasta el verano del 2021.

La información de viento que se ha utilizado cuenta con el formato de; Fecha (día/mes/año), ángulo "dd" (°), velocidad "ff" (m s^{-1}) y desviación estándar "ff_sd" (m s^{-1}). Posteriormente, los datos fueron verificados con el fin de que no exista ningún dato erróneo o fuera de rango que vaya a provocar que el resultado de los índices de surgencia se aleje del dato real. Es importante señalar, que los datos de viento pueden haberse registrado con una subestimación de hasta el 30%, debido a que el lugar donde se hace registro de la variable no es muy estratégico para recibir la magnitud del viento sin ningún tipo de fricción provocada por todo lo que está asociado al suelo terrestre, lo cual puede disminuir el resultado del índice de surgencia.

5.3.2. Cálculo del índice de surgencia

Con toda la información procesada y habiendo previamente ordenado la información de fechas, la velocidad y la dirección del viento se procedió a calcular el índice de

surgencia. La metodología utilizada fue la propuesta según (Bakun, 1973), la cual se presenta en la ecuación (1):

$$UI = \left(\frac{\tau_y}{\rho \times f} \right) \times 1000m$$

Donde τ_y ($N\ m^{-2}$) es el componente meridional del esfuerzo del viento medio, ρ representa la densidad promedio de la columna de agua en el océano frente a la bahía de Concepción ($1025\ kg\ m^{-3}$) y f el cual representa al parámetro de Coriolis, correspondiente a la latitud en el que se encuentra la investigación ($8,67 \times 10^{-5}\ s^{-1}$). Este índice es positivo cuando el viento sopla desde el sur hacia el norte y negativo cuando es desde el norte hacia el sur.

Para el cálculo del componente meridional del esfuerzo del viento medio (τ_y), se procedió a calcular previamente el componente norte del viento (U_y) con la siguiente ecuación (2):

$$U_y = V \times \cos(\text{Rad}(\alpha + 180^\circ)) \quad (2)$$

Donde U_y ($m\ s^{-1}$) es el componente norte del viento, V representa el promedio diario de la velocidad del viento ($m\ s^{-1}$) y α es el ángulo que se forma desde el norte hasta la dirección desde donde viene el viento (sentido horario).

Finalmente, para el cálculo del estrés del viento componente norte τ_y , se utiliza la ecuación (3) propuesta por (Silva & Valdenegro, 2003), la cual se demuestra a continuación:

$$\tau_y = \rho_a \times Cd_{10} \times U_y \times V \quad (3)$$

Donde τ_y ($N\ m^{-2}$) es el estrés del viento componente norte, ρ_a representa la densidad del aire a $15^\circ C$ ($1.22\ kg\ m^{-3}$), Cd_{10} corresponde al coeficiente empírico de barrido ($=0.0013$), U_y se calculó anteriormente con la ecuación (2) y V representa al promedio diario de la velocidad del viento ($m\ s^{-1}$).

Finalmente, los valores del índice surgencia fueron ordenados junto a toda la información de vientos y oxígeno disuelto en una tabla Excel con el fin de poder

analizar posteriormente los días que se generaron las varazones, junto con los días que hubo surgencia costera. Del mismo modo se relacionaron y analizaron los datos de índice de surgencia con los datos disponibles de oxígeno disuelto, con el fin de obtener si hay o no relación de los eventos de surgencia con las disminuciones de oxígeno.

5.3.3. Análisis de información histórica de oxígeno disuelto y de vientos para el área de estudio

Con el fin de contrastar las estimaciones de la intensidad del índice de surgencia con las condiciones físico-químicas en la columna de agua, se realizó una búsqueda de información histórica de concentración de oxígeno disuelto disponible, encontrando que la información disponible de la boya POSAR, del Centro de Ciencias del Clima y la Resiliencia (CR²), era la que permitía contar con mayor información de esta variable, al menos para un rango del período total de tiempo analizado (2016-2020). La Boya POSAR es una plataforma que realiza observaciones cada 10 minutos de variables meteorológicas y oceanográficas, esta boya está ubicada al frente de la desembocadura del río Itata (~36°S 72.9°W) y registra sus datos en la web del (CR)², en la cual se descargaron los datos de oxígeno disuelto (ml L^{-1}). Como indicado anteriormente, los datos tienen una limitación temporal, ya que solo comprenden los periodos desde junio del 2016 hasta marzo del 2020 lo cual obliga a acotar el análisis a ese rango de fechas, del mismo modo existe limitación espacial, puesto que los datos son muestreados a un metro de la superficie. Estos datos vienen con un formato de fecha y promedio de oxígeno disuelto (ml L^{-1}), por lo tanto, se realizó una conversión de las unidades de medida con la constante de densidad del oxígeno (1.43 mg mL^{-1}) con el fin de transformarlo a mg L^{-1} , debido a que los datos de concentración letal de organismos marinos están en esta unidad.

En primera instancia, se realizó un análisis de los datos meteorológicos para poder observar los días en los cuales los vientos son favorables a los eventos de surgencia, entre los parámetros se encuentra la velocidad y la dirección del viento, las cuales para ser favorables a surgencia costera deben tener una velocidad del viento que supere los 10 m s^{-1} y una dirección del viento que se encuentre entre

113.1°-248°. Con el fin de poder entender un poco más sobre las condiciones oceanográficas a que se ven expuesto los organismos marinos, se analizó la concentración del oxígeno disuelto debido a que estos procesos de surgencia llevan a la superficie del agua, aguas con bajo contenido de oxígeno, que pueden afectar la fisiología de muchos organismos marinos que no son capaces de tolerar condiciones hipóxicas.

5.4. Análisis de la relación que hay entre los eventos naturales y las varazones

En primera instancia, se agruparon las varazones según su ángulo de viento, para poder determinar la dirección del viento en la cual las varazones se producen (Tabla 2), para agrupar estos datos se utilizó una tabla propuesta por Kaufmann (2015) donde ordena los vientos según su ángulo y determina la dirección de éste. Del mismo modo, se analizó el oxígeno disuelto (2017-2020), los índices de surgencia y las varazones en sus respectivas fechas. Se realizó un análisis detallado de la información con el fin de explorar la relación entre las diferentes variables ambientales y los fenómenos de varazones y así detectar cuales son las posibles causalidades de estos fenómenos. También se realizó un análisis de la duración de los eventos de surgencia, para revelar cuánto tiempo pudieron haber estado expuestos a las presentes condiciones. Finalmente se relacionó esta información con los datos de concentración letal (LC50) para diferentes grupos de organismos, que se encontraba disponible desde la literatura. Como bien se detalla en la investigación de Vaquer & Duarte (2008), el LC50 corresponde a la concentración de oxígeno bajo la cual muere el 50% de los organismos de un grupo o taxon determinado, mientras que la concentración media letal (SCL50) corresponde a las condiciones en las cuales el 50% de la población pierden sus comportamientos normales (e. g. reducción del crecimiento, reducción de la reproducción, estrés fisiológico, migración forzada, vulnerabilidad a la depredación y la interrupción de los ciclos vitales). Finalmente, el tiempo medio letal (TL50) corresponde al tiempo en el cual están expuestos los organismos a una cierta concentración de oxígeno, llegando a morir el 50% de la población.

Tabla 2: Determinación de la dirección del viento mediante el ángulo que se genera desde el norte, el cual se toma como punto de partida y termina en el origen desde donde proviene el viento (sentido de las agujas del reloj).

| Dirección del viento | Ángulo del viento |
|----------------------|-------------------|
| N | 138,1° – 23° |
| NE | 23,1° – 68° |
| E | 68,1° – 113° |
| SE | 113,1° – 158° |
| S | 158,1° – 203° |
| SO | 203,1° – 248° |
| O | 248,1° – 293° |
| NO | 293,1° – 338° |

Fuente: Elaboración propia.

5.5. Realización de una encuesta y su posterior análisis para evaluar la percepción de las comunidades costeras

La presente investigación contempló además la realización de una encuesta piloto (Figura 61 y Figura 62), que tiene como objetivo principal descubrir la percepción de las comunidades costeras asociadas a la extracción de productos marinos, a la principal problemática que impulsó la realización de esta encuesta, que es el aumento de las varazones en la región del Biobío, ya que, todos los años se evidencia un nuevo fenómeno y además de las consecuencias que se generan en las comunidades costeras que están asociados a los recursos marinos de forma directa e indirecta.

Se diseñó una encuesta con 30 preguntas dirigidas hacia las comunidades costeras, con el objetivo general de identificar la percepción que tienen, con respecto a los fenómenos de varazones de organismos marinos que se generan en las orillas de las playas u otro tipo de borde costero. Esta encuesta tiene como objetivos específicos la obtención de la información con preguntas que generen datos como el tipo de recurso que vara, la intensidad que es el grado de fuerza con el que se

manifiestan las varazones, frecuencia que es el grado de ocurrencia o repeticiones que tienen estos fenómenos, percepción del riesgo que es la percepción subjetiva que tienen las personas sobre las consecuencias que generan las varazones en su estilo de vida, temporalidad que se refiere a la temporada que se generan estos fenómenos y espacialidad la cual es el escenario donde se alojan estos organismos varados. Principalmente, los encuestados son trabajadores asociados al sector pesquero como pescadores artesanales, acuicultores y recolectores, los cuales son encuestados in situ por un máximo de 10 minutos. Finalmente, con toda esta información se realizaron gráficos de frecuencias en Excel, con el fin de extraer los datos para evaluar la percepción de las comunidades costeras a las varazones y como éstas les afecta en su vida cotidiana.



6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Catastro y análisis de las varazones

6.1.1. Frecuencia temporal

En la Tabla 3 de la sección de anexos se puede observar el registro de todas las varazones identificadas en la región del Biobío, las cuales corresponden a 51 eventos desde el año 2006 hasta el año 2021. El promedio anual para la región es de más de 3 varazones por año. Los eventos de varazones presentan una tendencia positiva (Figura 10), debido a que el 88% de las ocurridas en el periodo 2006-2021 han sucedido después del 2015. En consecuencia, se observa desde dicha fecha una tendencia hacia el incremento en el registro de este tipo de varazones. Los años que no presenciaron ninguna varazón estuvo solo comprendido por el año 2007, 2009, 2010, 2011 y 2012. Por otro lado, los años con menos varazones son 2008, 2014, 2017 y 2020 con sólo una ocurrencia del fenómeno, siendo ésta última no representativa, ya que en dicho año el mundo cursaba una pandemia provocada por el virus SARS-CoV-2, enfermedad conocida por coronavirus, que generó cuarentenas en Chile, cerrando distintas instituciones, así como también laboratorios científicos, por lo tanto, pudo ser que debido al encierro se lograron captar menos varazones en el país.

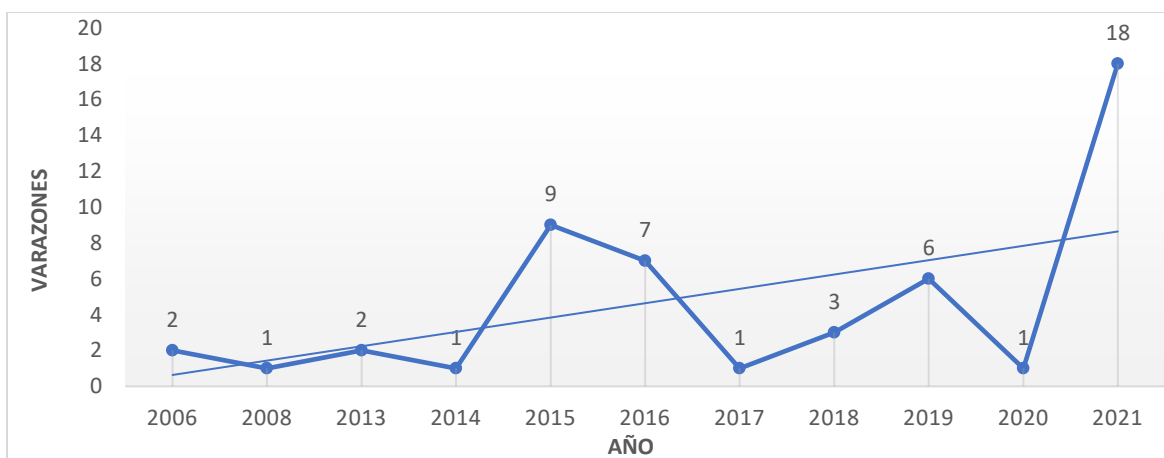


FIGURA 10. Ocurrencia (Nº) del total de varazones de organismos marinos entre los años 2006 y 2021 por año a partir de datos recopilados e información base de datos de Sernapesca (2021). Los números encima de cada barra se refieren al número específico de varazones registradas.

Fuente: Noticias, revista e información de base Sernapesca (2021).

Finalmente, los años con más varazones fueron 2015, 2016, 2019 y 2021 con nueve, siete, seis y dieciocho ocurrencias de varazones respectivamente. Se logra apreciar en la Figura 10, que el año 2021 correspondió a un año anómalo, debido a que se presentó un máximo en el número de varazones ($n = 18$), muy lejos del promedio por año para todo el período. (3 varazones año⁻¹).

En cuanto a la estacionalidad de estos fenómenos (Figura 11), se logra observar que en la estación de verano se originan cerca del 85% de las varazones, del mismo modo el total de especies varadas en verano corresponde a 21, por lo tanto, la cantidad de especies varadas en el verano es muy elevada, con respecto a las otras estaciones. En cuanto al otoño y primavera rondan por el 6% de ocurrencias y en cuanto a la cantidad de especies varadas, otoño tiene una leve ventaja de 4 especies en comparación a primavera e invierno las cuales tienen un total de 3 y 2 respectivamente, esta última tiene un porcentaje menor de varazones la cual ronda por el 4%.

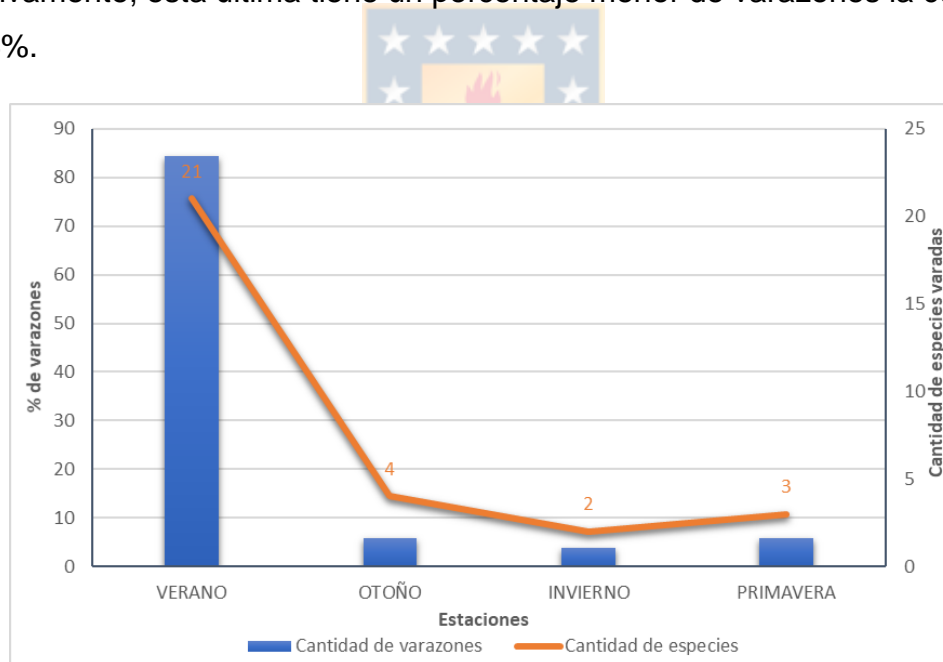


FIGURA 11. Registro de la cantidad (%) de varazones y de la riqueza de especies (N°) de organismo marinos según la estación (verano, otoño, invierno, primavera) entre los años 2006 y 2021 en la región del Biobío, a partir de datos recopilados e información de base de datos de Sernapesca. (2021). La riqueza de especies corresponde al número de especies que participaron en las varazones.

Fuente: Noticias, revista e información de base Sernapesca. (2021).

En la Figura 12 se pueden apreciar las taxas agrupadas para los meses de primavera-verano (octubre-marzo), que corresponde a los períodos cuando ocurre

el proceso de “surgencia costera” en la región y para los meses de otoño-invierno (abril-septiembre), que corresponde al período cuando este proceso es menos frecuente. El análisis muestra que durante la estación de surgencia (primavera-verano), son los peces los organismos marinos más frecuentemente encontrados durante los eventos de varazones, alcanzando un total de 71 ocurrencias, principalmente sardina común (*Strangomera bentincki*), anchoveta (*Engrulis ringens*) y merluza común (*Merluccius gayi*). Luego de los peces, tanto moluscos como crustáceos son los más frecuentemente observados en las varazones.

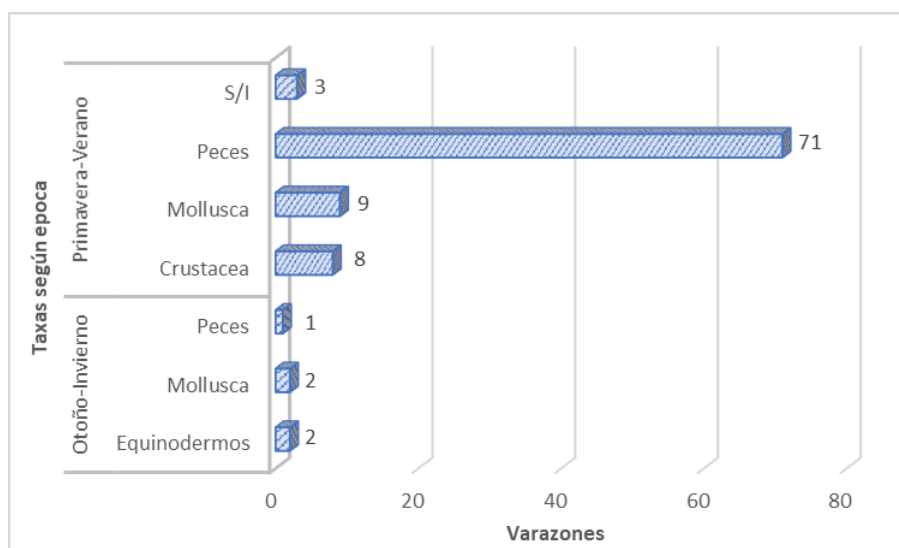


FIGURA 12. Registro (Nº) de taxas, sobre la cantidad total de especies en las varazones de organismo marinos, agrupados en “estación de chorro” (primavera-verano) y la “estación de descanso (otoño-invierno) entre los años 2006 y 2021 en la región del Biobío, a partir de datos recopilados e información de base de datos de Sernapesca (2021). S/i significa que no se tiene conocimiento de la especie que participó en la varazón.

Fuente: Noticias, revista e información de base Sernapesca (2021).

El número de eventos de varazones durante los meses otoño-invierno es notablemente menor y sólo se registraron cinco eventos durante estos meses, donde destaca la aparición de equinodermos, grupo de organismos sin importancia comercial; pero con relevancia ecológica. Sin embargo, estas varazones son tan pocas que llegan a ser despreciables debido a que han ocurrido solo un par de veces.

6.1.2. Frecuencia espacial

De acuerdo al total de registros que se pudieron recopilar (Figura 13), la comuna que registró mayor número de varazones, correspondió a Coronel (15), seguida de Tomé (13), Arauco (11) y Talcahuano (6). Estas comunas comprenden de una zona costera de gran producción pelágica y bentónica, por lo tanto, son muy valiosas para las actividades pesqueras, acuícolas y turísticas del lugar, que sustentan las comunidades locales. Por otra parte, las comunas de Coronel y Arauco se caracterizan por presentar un fuerte desarrollo de la actividad industrial, tales como lo son las termoeléctricas y la celulosa, las cuales generan una fuerte y reconocida presión ambiental en estos ecosistemas marinos.

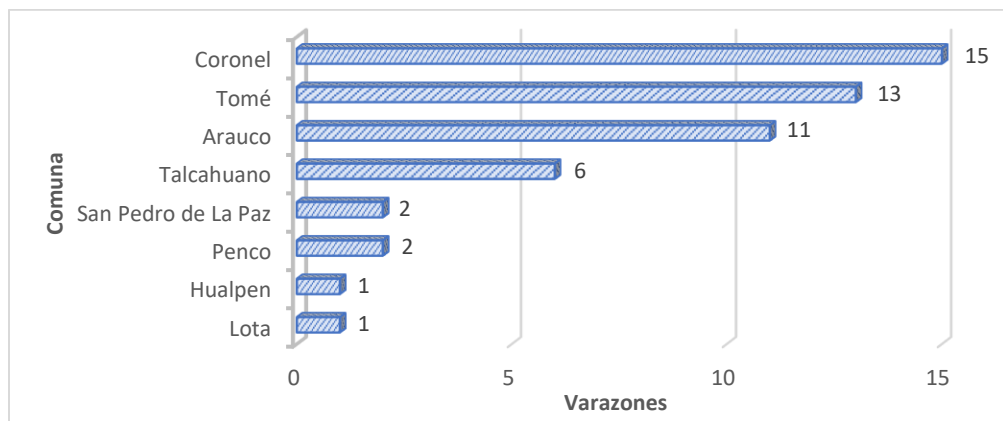


FIGURA 13. Ocurrencia (Nº) del total de varazones de organismos marinos entre los años 2006 y 2021 por comuna en la región del Biobío, a partir de datos recopilados e información de base de datos de Sernapesca. (2021). Los números al lado de cada barra se refieren al número específico de varazones registradas.

Fuente: Noticias, revista e información de base Sernapesca (2021).

La cartografía de las varazones (Figura 14) ayudó a realizar el análisis espacial, lo cual indicaría que prácticamente todas las varazones han estado asociadas a la cara interna del sistema de bahías semi-cerradas de la región del Biobío, tanto en la zona norte, correspondiente a la bahía de Coliumo que registran 8 varazones y la zona costera de Tomé que registra 5 varazones, las cuales están situadas en la bahía de Concepción. Esta bahía registra una gran cantidad de varazones debido a que es la segunda zona con más ocurrencias de la región del Biobío, de las cuales 5 están en la comuna de Tomé que sumándose a los 2 de Penco y a las 5 de Talcahuano tendrían un total de 12 varazones en esta bahía, siendo la segunda con

más ocurrencias solo detrás de la Bahía de Arauco, la cual cuenta con 29 varazones dentro del Golfo de Arauco, las cuales corresponden a Coronel continental (10), la Isla Santa María (5), Arauco (11), San Pedro de la Paz (2) y Lota (1).

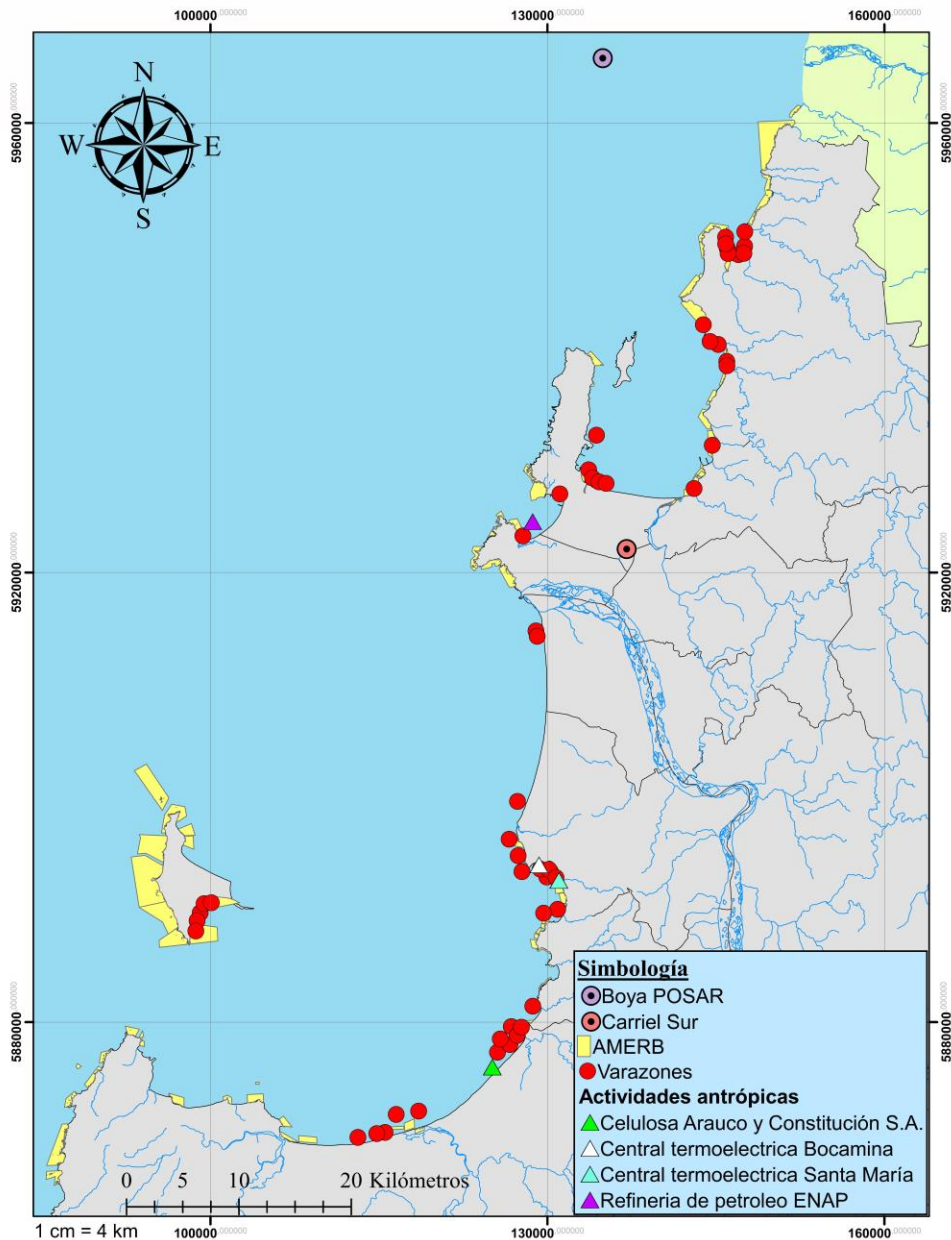


FIGURA 14: Registro espacial de las varazones (color rojo) obtenidas en la región del Biobío, los círculos de color con un punto negro en el centro corresponden a las estaciones de monitoreo donde se obtuvieron los datos de vientos (naranja) y oxígeno (morado), los triángulos corresponden a las principales actividades antrópicas de la zona costera de la región del Biobío, las cuales son: Celulosa Arauco (verde), Termoeléctrica Bocamina (blanca), Termoeléctrica Santa María (aguamarina) y Refinería de petróleo ENAP (morado).

Fuente: Elaboración propia con software ArcGIS.

6.1.3. Tipo de organismos varados

Un análisis detallado de las especies o grupos de organismos varados en el área de estudio, ha revelado que según las taxas que se ordenaron en cuatro grupos los cuales son: Peces (15 especies) con la sardina común (*S. bentincki*) como especie dominante, Mollusca (5 especies) con la Jibia (*D. gigas*) como especie dominante, Crustacea (2 especies) con los cangrejos como grupo dominante, Equinodermos (2 especies) con los Isópodos (*Emerita analoga*) y Estrellas de mar (*Asterias rubens*) como única varazón. Se descubrió una amplia diversidad entre los grupos registrados, encontrándose entre ellas varias especies de importancia comercial como lo son, la sardina común (*S. bentincki*), la anchoveta (*E. ringens*), la merluza común (*M. gayi*) y diferentes especies de jaibas, entre otros. La sardina común (*S. bentincki*) corresponde a la especie pelágica con un mayor porcentaje de ocurrencia en estas varazones, alcanzando cerca del 59% del total registrado (Figura 15).

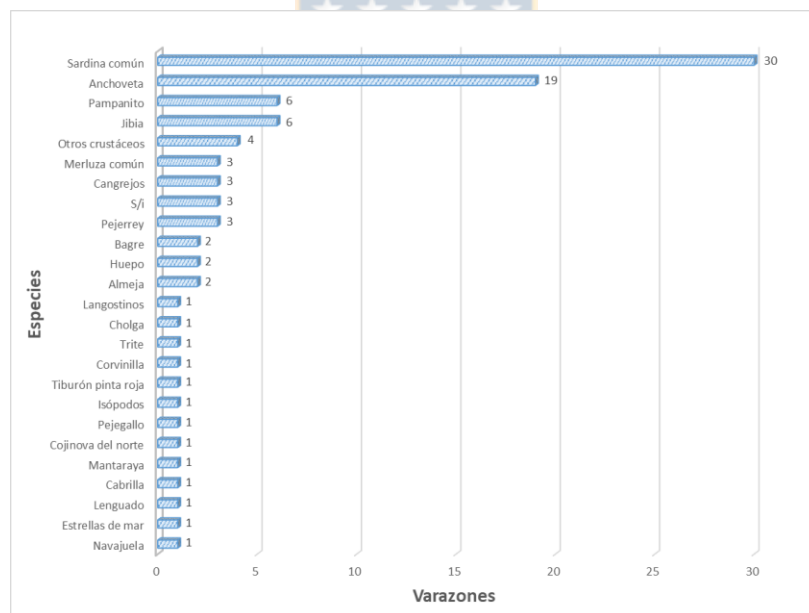


FIGURA 15. Participación (Nº) de cada especie en las varazones de organismos marinos entre los años 2006 y 2021 en la región del Biobío, a partir de datos recopilados e información de base de datos de Sernapesca. (2021). Los números en cada barra se refieren a la participación de esa especie en las varazones registradas. Para el caso de las Jaibas se reunieron todas las especies en un solo grupo “Cangrejos”, “Otros crustáceos” corresponden a larvas de crustáceos, los isópodos corresponden a chanchitos de mar y s/i significa que no se tiene conocimiento de la especie que participó en la varazón.

Fuente: Noticias, revista e información de base Sernapesca. (2021).

En segundo lugar, corresponde a la anchoveta (*E. ringens*) la cual está presente en 19 ocasiones, representando cerca de un 37%, por lo tanto, se estima que uno de cada tres varazones está presente la anchoveta (*E. ringens*). Y en tercer lugar se encuentran el pampanito (*Stromateus stellatus*) y la jibia (*D. gigas*), con una participación en seis varazones, lo cual corresponde al 12% del total de varazones ocurridas en el área de estudio. Entre los organismos que vararon en menos ocasiones de importancia económica se encuentran: La merluza común (*M. gayi*), la navajuela (*Tagelus dombeii*), la cholga (*Aulacomya ater*) y diferentes especies de langostinos, jaibas y almejas. (*Venus antiqua*) (Figura 15).



6.1.4. Análisis de las cartografías espacio-temporal de las varazones en la octava región

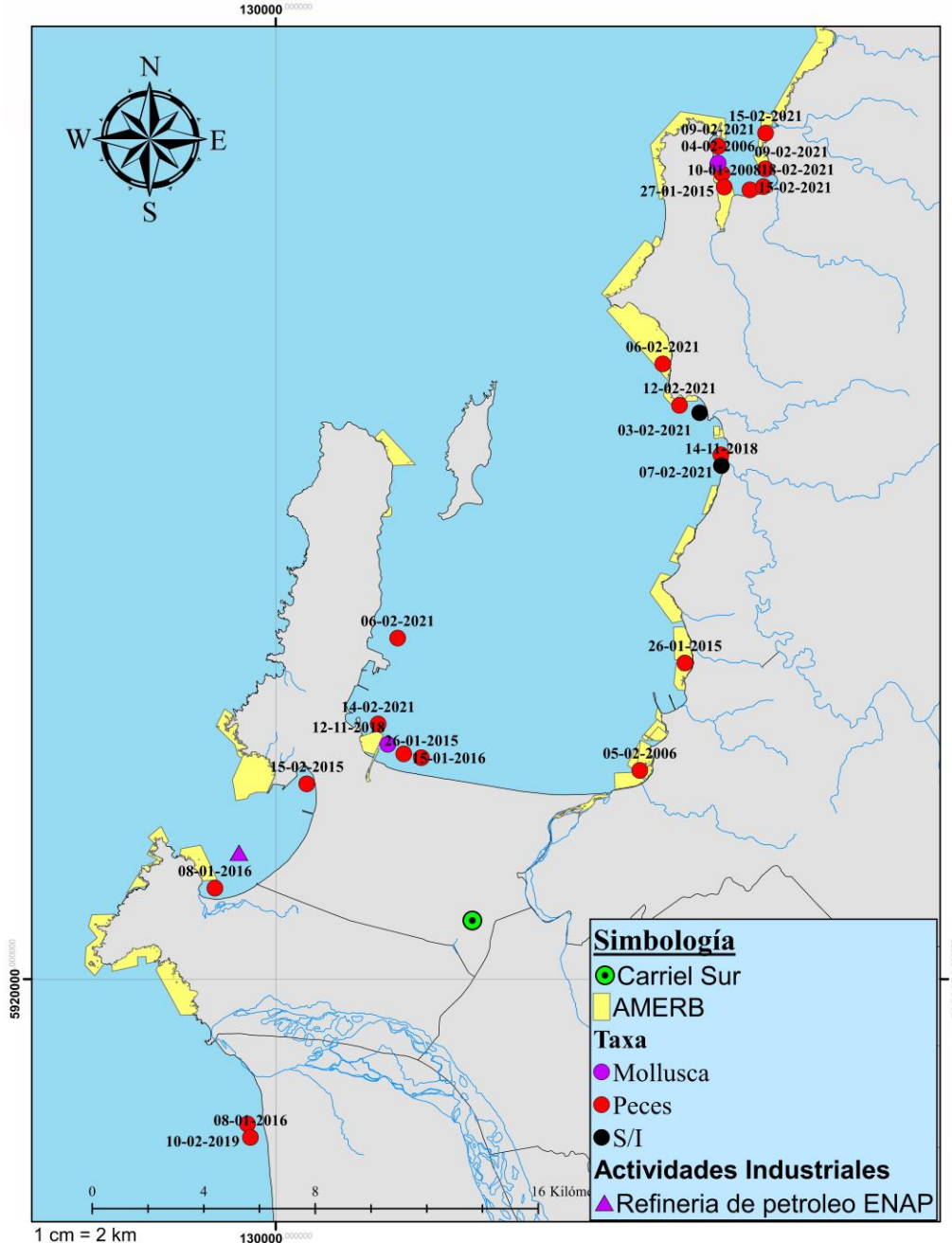


FIGURA 16: Registro espacial y temporal de las varazones obtenidas en la bahía de Concepción, Coliumo y San Vicente. Se agruparon en los siguientes grupos taxas: Peces (rojo), Mollusca (morado), Sin información (negro). El círculo de color verde con un punto negro en el centro corresponde a la estación de monitoreo Carriel Sur, donde se obtuvieron los datos de vientos, los triángulos corresponden a las principales actividades antrópicas de la zona costera de la región del Biobío, la cual es la Refinería de petróleo ENAP (morado).

Fuente: Elaboración propia con software ArcGIS.

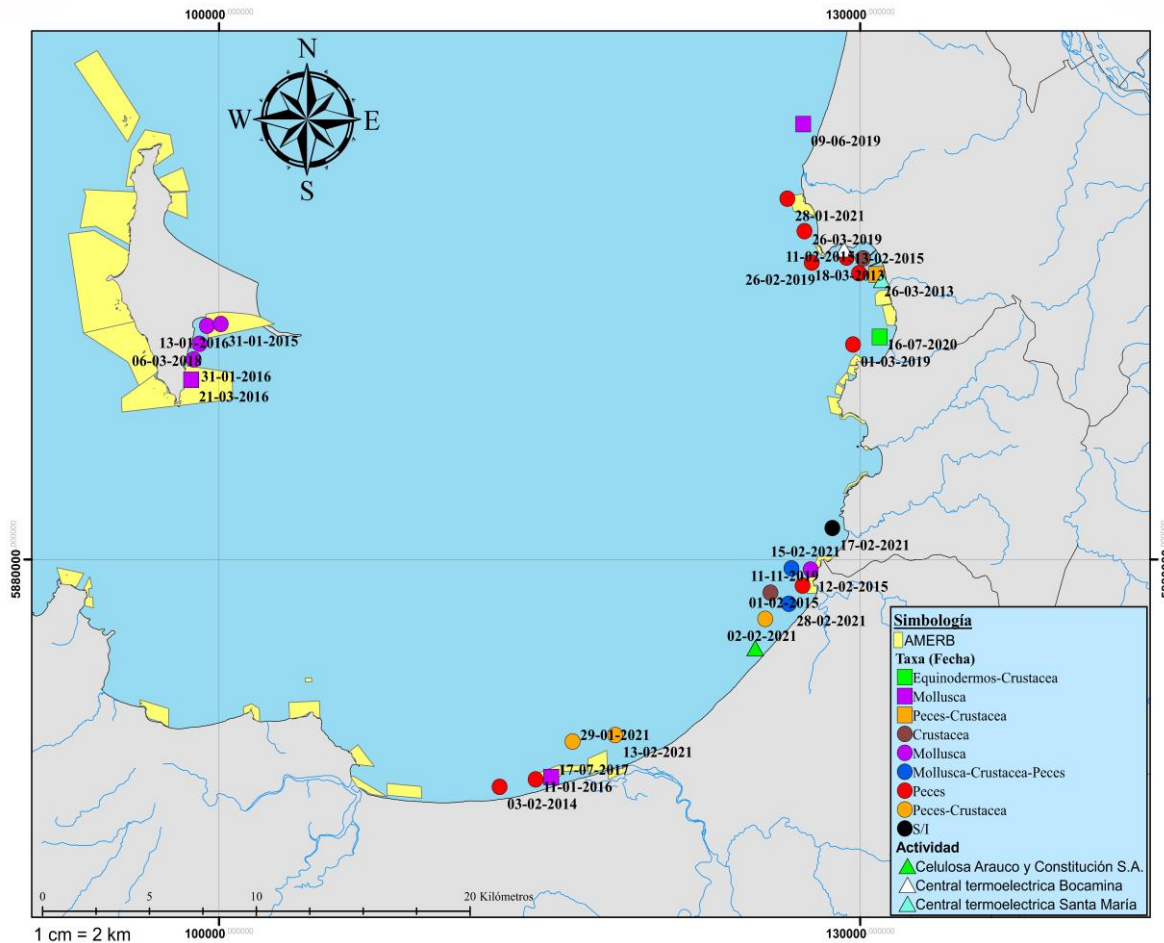


FIGURA 17: Registro espacial y temporal de las varazones obtenidas en el Golfo de Arauco. En esta zona existen varazones ocurridas en otoño-invierno (cuadrados) y primavera-verano (círculos), los cuales se agrupan en los siguientes grupos taxas: Peces (rojo), Mollusca (morado), Crustáceos (café) y sin información (negro), también ocurrieron varazones donde participaban dos o tres taxas y se agruparon del siguiente modo: Peces-Crustáceos (naranja), Equinodermos-Crustáceos (verde) y Peces-Crustáceos-Moluscos (azul). El círculo de color verde con un punto negro en el centro corresponde a la estación de monitoreo Carriel Sur, donde se obtuvieron los datos de vientos, los triángulos corresponden a las principales actividades antrópicas de la zona costera de la región del Biobío, las cuales son: Celulosa Arauco (verde), Termoeléctrica Bocamina (blanca), Termoeléctrica Santa María (aguamarina).

Fuente: Elaboración propia con software ArcGIS.

En esta sección se presenta un análisis espacio-temporal de las diferentes varazones registradas entre los años 2006 al 2021 y, que han sido representadas en las cartografías elaboradas con ArcGIS (Figura 16 y 17). Dentro de la comuna de Tomé, que corresponde a la segunda comuna con más varazones (13), las cuales son en su mayoría organismos pelágicos [e.g. sardina común (*S. bentincki*), anchoveta (*E. ringens*) y merluza común (*M. gayi*), entre otros] y solo en una ocasión corresponde a la jibia (*D. gigas*) que es un molusco que varó en la bahía de Coliumo. En menor proporción, se observan varios eventos de varazones asociados a la localidad de Penco, la cual presenta solo dos varazones de organismos pelágicos [sardina común (*S. bentincki*) y merluza común (*M. gayi*)] en casi 15 años de datos. Del mismo modo, en Talcahuano se registraron seis eventos de varazones que se dividen en el puerto de Talcahuano [sardina común (*S. bentincki*), anchoveta (*E. ringens*), merluza común (*M. gayi*) y pejerrey (*Basilichthys australis*)] y en el puerto de San Vicente Sardina común (*S. bentincki*), estas varazones son en su mayoría de organismos pelágicos; pero en una ocasión estuvieron presentes las navajuelas (*T. dombeii*), moluscos que se encontraron varados en el puerto de Talcahuano.

Las varazones en la bahía de Concepción, más específicamente en la comuna de Tomé ha contado con 10 varazones de peces, 1 de moluscos y 2 sin información. Dentro de la comuna de Tomé, la bahía de Coliumo es la zona que cuenta con la mayoría de estos fenómenos que corresponde a ocho varazones y actualmente es la más afectada debido a que han aumentado en el último tiempo; pero estos fenómenos no son actuales, ya que hay registros de varazones desde el año 2006 y 2008. En cuanto a Talcahuano, también se han registrado varazones varias veces en este último tiempo y desde el 2015 que han ido aumentando con el pasar de los años. Es importante señalar que en la bahía de Concepción y en la bahía de Coliumo solo vararon organismos marinos durante la época de primavera-verano y en su mayoría organismos pelágicos, contando con solo dos excepciones la cual corresponde a una varazón de jibia (*D. gigas*) el año 2006 en la bahía de Coliumo y una varazón de navajuelas (*T. dombeii*) el año 2018 en la bahía de Concepción. (Figura 16).

El Golfo de Arauco es una zona particular donde las condiciones naturales responden fuertemente a las variaciones del forzamiento del viento, por lo tanto, está más días expuesta a ciertas condiciones como es la disminución del oxígeno (Wong et al., 2021), esta disminución genera repercusiones en la fauna costera y, por lo tanto, provoca varazones múltiples de organismos marinos durante prácticamente todas las estaciones del año y, cabe señalar, que sólo en el Golfo de Arauco se registraron varazones que combinaban diferentes taxas (Figura 17). Por ejemplo, en Laraquete para el año 2021 ocurrieron dos varazones en las que se registraron un conjunto de especies de peces [e.g. sardina común (*S. bentincki*), anchoveta (*E. ringens*), pejerrey (*B. australis*), pampanito (*S. stellatus*) y lenguado (*Paralichthys adspersus*)] junto con moluscos [almeja (*V. antiqua*)] y crustáceos. (Figura 17). De manera análoga, para el mismo año 2021, se observaron tres varazones en el sector de Laraquete y Arauco, las que involucraron diferentes especies de peces [sardina común (*S. bentincki*), anchoveta (*E. ringens*), corvinilla (*Orestias. agassii*) y pejerrey (*B. australis*)] y crustáceos. Además, hubo dos varazones de crustáceos, uno en la zona de caleta Lo Rojas de Coronel (Jaiba) y otro en la playa de Laraquete (Jaiba), los cuales quedan varados en la totalidad de la playa y en el agua. También, ocurrieron varias varazones de moluscos [Jibia (*D. gigas*)] en la Isla Santa María, es importante señalar que esta isla ha tenido la ocurrencia de seis varazones que corresponden todas a moluscos [Jibia (*D. gigas*)] de las cuales una sola fue en invierno y las demás cinco fueron en verano. A pesar que la gran mayoría de las varazones ocurren en verano, en esta bahía ocurrieron cinco varazones en invierno de las cuales tres corresponden a moluscos [Huepo (*Ensis macha*) y Cholga (*A. ater*)] una a equinodermos-crustáceos [Chanchitos de mar (*E. analoga*) y Estrellas de mar (*A. rubens*)] y una de peces y crustáceos [Langostino (*Penaeus monodon*) y Sardina común (*S. bentincki*)]. Es importante señalar que el 33% de la ocurrencia de estos fenómenos en la bahía de Arauco corresponden a varazones que participan solo peces, asimismo las varazones de moluscos en esta zona de la bahía de Arauco corresponden al 30% las cuales en su mayoría pertenecen a Jibia (*D. gigas*) y Almejas (*V. antiqua*), por otro lado, las varazones combinadas corresponden al 26% donde las taxas se ven combinadas.

En cambio, las varazones de taxones únicos corresponden al 51%, en cuanto a las varazones múltiples de taxones corresponden al 43% y las varazones que son de especies desconocidas corresponde al 6%.

Como se evidencia en las cartografías estas varazones siempre están presentes en las playas cercanas de las costas cerradas, por lo tanto, son más frecuentes en las zonas próximas a las áreas de manejo de recursos bentónicos (AMERB), esto puede deberse a dos cosas: aprisionamiento de las poblaciones de organismos marinos dentro de la bahía, debido a la disminución del oxígeno disuelto que genera que los organismos busquen zonas con mayor concentración de oxígeno disuelto, lo que finalmente terminan asfixiándose, o debido a que en las zonas costera expuestas hacia el mar abierto se generan de igual forma las varazones, solo que no se puede registrar ya que no hay personas presentes cuando ocurren estos fenómenos en esas zonas.

6.2. Condiciones oceanográficas y varazones

6.2.1. Régimen de vientos e índice de surgencia

Luego de analizar la información de magnitud del viento ($m s^{-1}$) y dirección del viento ($^{\circ}$), se pudo realizar un registro temporal de estas dos variables en Excel (Figura 18 y Figura 19). La figura 18 muestra la magnitud del viento a lo largo de periodo 2002 al 2021; pero para esta investigación solo se considerarán las series de tiempo desde el 2006. Se puede observar que hay un cierto patrón estacional en los vientos, la magnitud promedio ($m s^{-1}$) de estos aumenta en la estación de verano y disminuyen en invierno.

En el registro temporal de la dirección del viento a lo largo de la costa se pueden ver en la Figura 19; en dicha figura se puede observar claramente que aproximadamente el 73% son favorables a la surgencia costera debido a su dirección (150° - 260°), ya que como es sabido la surgencia costera se manifiesta cuando los vientos vienen desde el sur, más específicamente desde suroeste (Bello et al., 2004). Sin embargo, si aumentamos el rango de los ángulos que son favorables a la surgencia y consideramos hasta los vientos del sureste el porcentaje

aumenta al 79%. Por otro lado, si solo nos enfocamos en la estacionalidad de la surgencia costera que es el verano, la magnitud del viento que proviene desde la dirección para una posible surgencia costera aumenta al 86%, por lo tanto, si existiera una velocidad del viento cercana a los 10 m s^{-1} no habría dudas que ocurriría una surgencia costera.

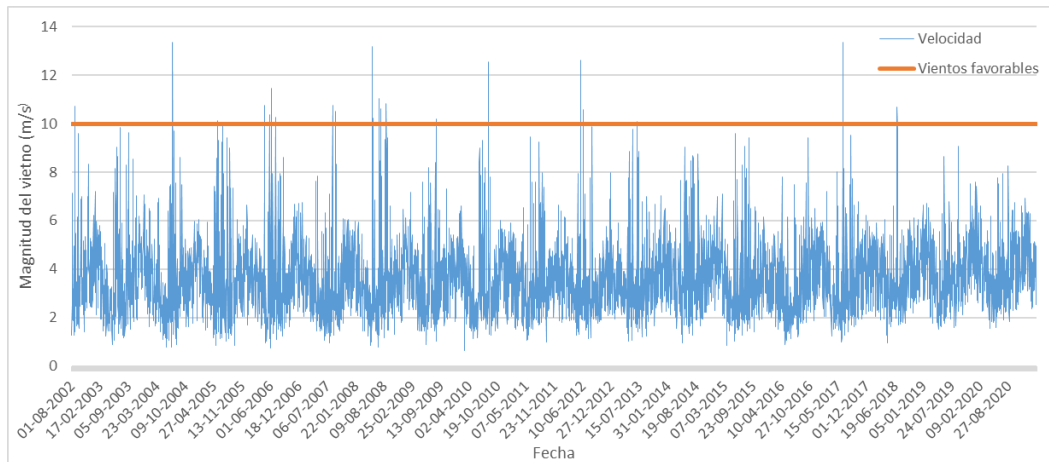


FIGURA 18: Registro temporal de la magnitud del viento (m s^{-1}) junto con el umbral de vientos favorables a la surgencia costera que corresponde a 10 m s^{-1} entre los años 2002 y 2021 en la región del Biobío, más específicamente en Carriel Sur donde se recopiló la información de vientos.

Fuente: Datos obtenidos de Carriel Sur y procesados con Software Excel.

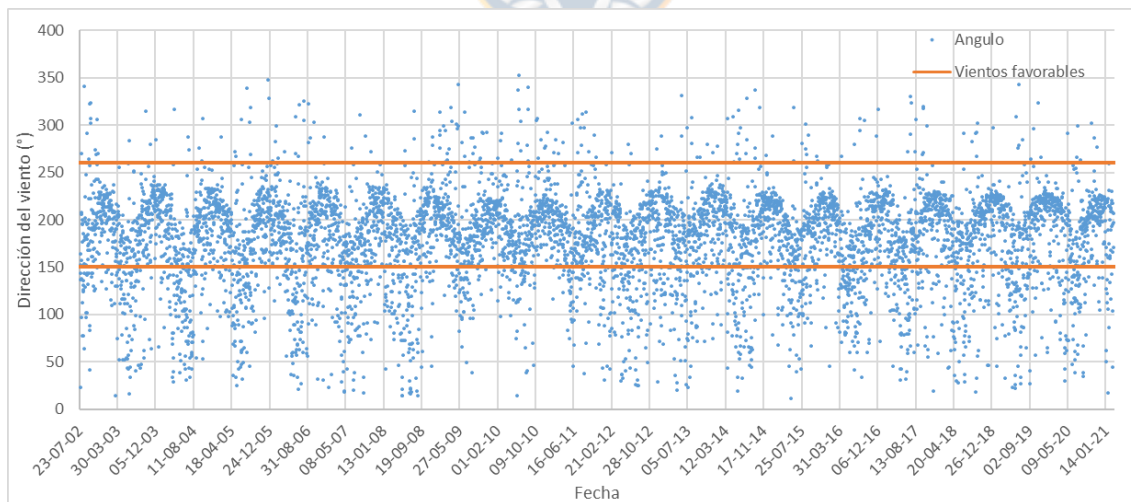


FIGURA 19: Registro temporal de la dirección del viento ($^{\circ}$) junto con el umbral de ángulos favorables a la surgencia costera (113.1° - 248°), entre los años 2002 y 2021 en la región del Biobío, más específicamente en Carriel Sur donde se recopiló la información de vientos.

Fuente: Datos obtenidos de Carriel Sur y procesados con Software Excel.

Si bien los datos de magnitud del viento podrían ser relativamente bajos, con respecto a los datos reales, debido a que la zona donde se encuentra el Aeropuerto de Carriel sur (Talcahuano) pudiera no ser representativa de las condiciones de viento imperantes en la superficie del mar para la zona del Golfo de Arauco. (Wong et al., 2021).

En Figura 20, se puede observar que la gran mayoría de los datos están sobre el límite del 0 m s^{-1} lo cual corresponde al 84% de los vientos, esto quiere decir que son vientos favorables a la surgencia costera, debido a que vienen desde el Oeste, por lo tanto, los negativos son vientos que vienen desde el Este los cuales no provocan eventos de surgencia. Se puede observar que luego del año 2008 los datos negativos de componente N-S comenzaron a disminuir, debido a los pocos datos de vientos desde dirección este y comenzaron a aumentar levemente los vientos desde el Oeste, al igual que la tendencia que es medianamente positiva, debido a que la magnitud ha ido aumentando de manera leve y además mientras más alto sea el componente N-S del viento, más favorable a la surgencia costera será, por lo tanto, se esperaría un aumento de los eventos de surgencia.

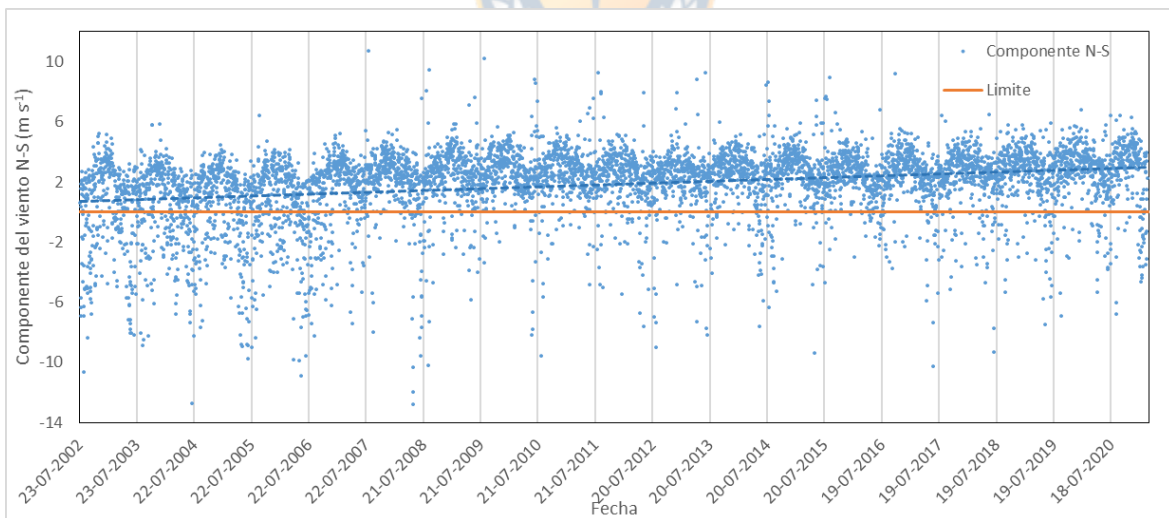


FIGURA 20: Registro temporal del componente N-S del viento (m s^{-1}) junto con el límite 0 (color naranja) y tendencia (punteada azul). Entre los años 2002 y 2021 en la región del Biobío, más específicamente en Carriel Sur donde se recopiló la información de vientos.

Fuente: Datos obtenidos de Carriel Sur y procesados con Software Excel.

Las estimaciones del índice de surgencia se obtuvieron mediante la fórmula propuesta por Bakun (1973), la que tiene por objetivo calcular el transporte de Ekman (Índice de surgencia), mediante la utilización de los datos de dirección y magnitud del viento. En la Figura 21 se puede observar los datos de índice de surgencia para el área de estudio, en el cual se puede observar que la periodicidad de la surgencia costera sigue un patrón estacional muy marcado, en los meses de primavera-verano este índice aumenta debido a los fuertes vientos y su dirección desde el sur y sur-oeste, mientras que para los meses de otoño-invierno este índice se hace cada vez menor. Existen algunas excepciones durante la estación invernal, que llevan a valores positivos del índice de surgencia, asociados a eventos específicos de cambios en la dirección del viento. El promedio del índice de surgencia para la época donde se hace más potente (octubre-marzo) fue de $216 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-1}$, en cambio para la época donde el índice de surgencia es más débil (abril-septiembre) se generaron magnitudes de casi 3 veces más débil que en verano, lo cual es una diferencia muy alta, lo que provoca una tendencia marcada en el aumento del transporte de Ekman (Índice de surgencia) para la época estival. Es importante recalcar que desde el año 2017 disminuye la producción de eventos de surgencia en la época invernal y se comienzan a generar eventos negativos.

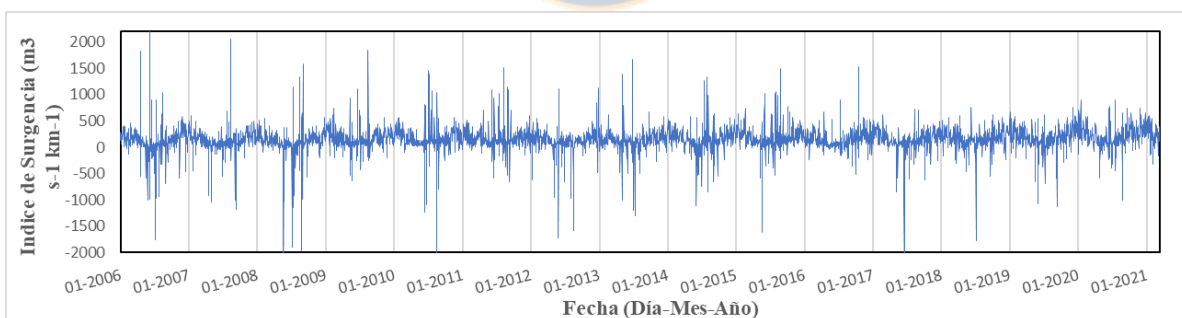


FIGURA 21: Registro temporal del índice de surgencia ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-1}$) entre los años 2006 y 2021 en la región del Biobío, más específicamente en Carriel Sur donde se recopiló la información de vientos para luego calcular este índice.

Fuente: Elaboración propia con datos de viento obtenidos de carriel sur y procesados con Software Excel.

Estos datos de índice de surgencia se consideran subestimados debido a que los vientos utilizados no son representativos de las condiciones que hay en el Golfo de Arauco, en la bahía de Concepción, en la bahía de San Vicente y en la bahía de Coliumo. Además, la zona en la que están muestreados está bastante alejado de las bahías analizadas y también por efecto de la topografía circundante que provocar un efecto de estrés (Wong et al., 2021), por lo tanto, se consideran no representativas y los valores de índice de surgencia, mucho más altos que los valores que se presentan a continuación.

6.2.2. Relación entre la dirección del viento y las varazones

Se realizó un análisis tendiente a explorar la relación que existía entre los eventos de varazones y la dirección del viento dominante durante dichos eventos. El análisis mostró que casi el 78% de las varazones ocurrieron cuando la dirección predominante del viento era del sur o sur-oeste (Figura 22). En este punto es importante señalar que la variación de especies que existe en vientos suroeste es bastante alta con 19 diferentes especies varadas. Por otro lado, en menor proporción (20%) se originaron desde vientos venideros desde el sureste, esta dirección de viento a pesar de tener una menor cantidad de varazones, tiene casi la misma cantidad de especies en comparación a varazones originadas con viento sur, que corresponde a 8 diferentes especies. Estos datos corroboran más la idea de que los organismos marinos varan cuando hay eventos de surgencia, debido a que, las condiciones del viento están relacionadas con estos eventos de surgencias costera que son originados con vientos sur o suroeste y no pueden ser provocados por vientos que vienen del norte. No se obtuvo ninguna varazón provocada por vientos del norte (N, NE y NO), solo una varazón puntual se originó con viento venideros del oeste, el cual se toma como un caso particular que no tiene mucha relevancia debido a que es solo un caso.

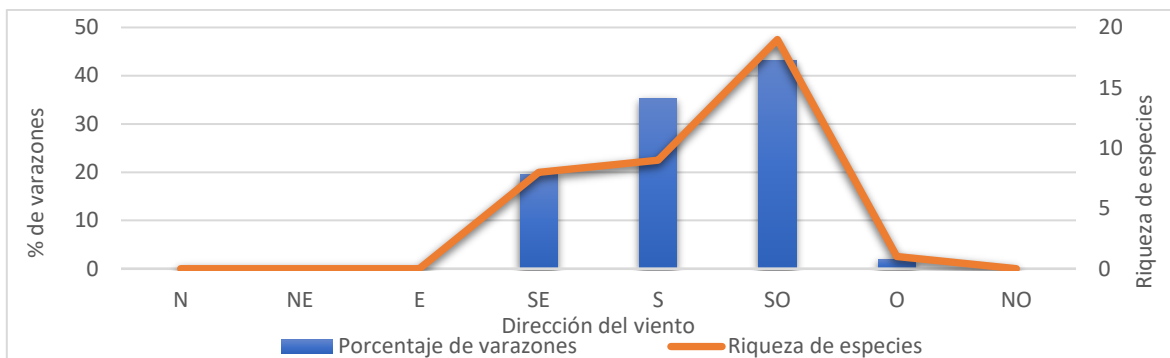


FIGURA 22. Registro de la cantidad (%) de varazones y de la riqueza de especies (Nº) de organismo marinos según la dirección del viento (N, NE, E, SE, S, SO, O y NO) entre los años 2006 y 2021 en la región del Biobío, a partir de datos recopilados e información de Carriel Sur (2021). La riqueza de especies corresponde al número de especies que participaron en las varazones.

Fuente: Elaboración propia con datos de viento obtenidos de carriel sur y procesados con Software Excel.

6.2.3. Relación entre las condiciones de surgencia y las varazones

Se realizó un análisis de la serie de tiempo del índice de surgencia costera y la ocurrencia de varazones entre los años 2006 hasta el 2021. Sin embargo, en esta sección se presenta el análisis a partir del año 2016, que es cuando se observó una mayor incidencia en los eventos de varazones, además de contar con mayor información para dicho período. Los gráficos desde el año 2000 hasta el 2016 se pueden encontrar en la sección de anexos (Figura 44, Figura 45, Figura 46, Figura 47, Figura 48, Figura 49, Figura 50, Figura 51, Figura 52, Figura 53, Figura 54, Figura 55, Figura 56 y Figura 57).

Entre los años 2016 y 2021 ocurrieron 36 varazones, las cuales están graficadas en la Figura 23 con su respectivo índice de surgencia. La totalidad de las varazones ocurrieron bajo condiciones de índices positivos de surgencia, exceptuando un solo caso que ocurrió en invierno del 2020 y que corresponde a unas varazones de estrellas de mar e isópodos (Figura 56). Para este evento no se tiene claridad en consecuencia del agente desencadenante. Un análisis más detallado para los meses de febrero y marzo del 2019 (Figura 24), muestra claramente como la mayoría de las varazones ocurrieron después de estar expuesto a altos niveles de surgencia durante 3 a 5 días.

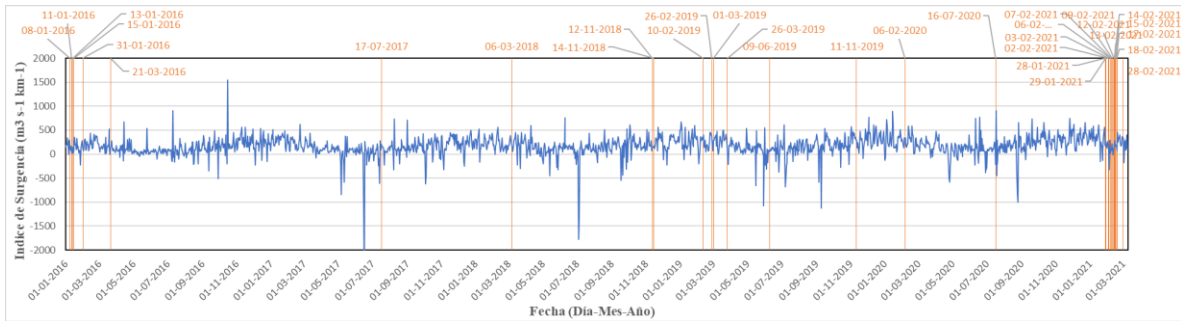


FIGURA 23. Registro temporal del índice de surgencia ($m^3 s^{-1} km^{-1}$) y sus respectivas varazones entre los años 2006 y 2021 en la región del Biobío, a partir de datos recopilados e información de Carriel Sur (2021) y SERNAPESCA (2021). Las líneas naranjas corresponden a las varazones con sus respectivas fechas arriba de ellas.

Fuente: Elaboración propia con datos de viento obtenidos de carriel sur y datos de varazones SERNAPESCA (2021). Procesados con Software Excel.

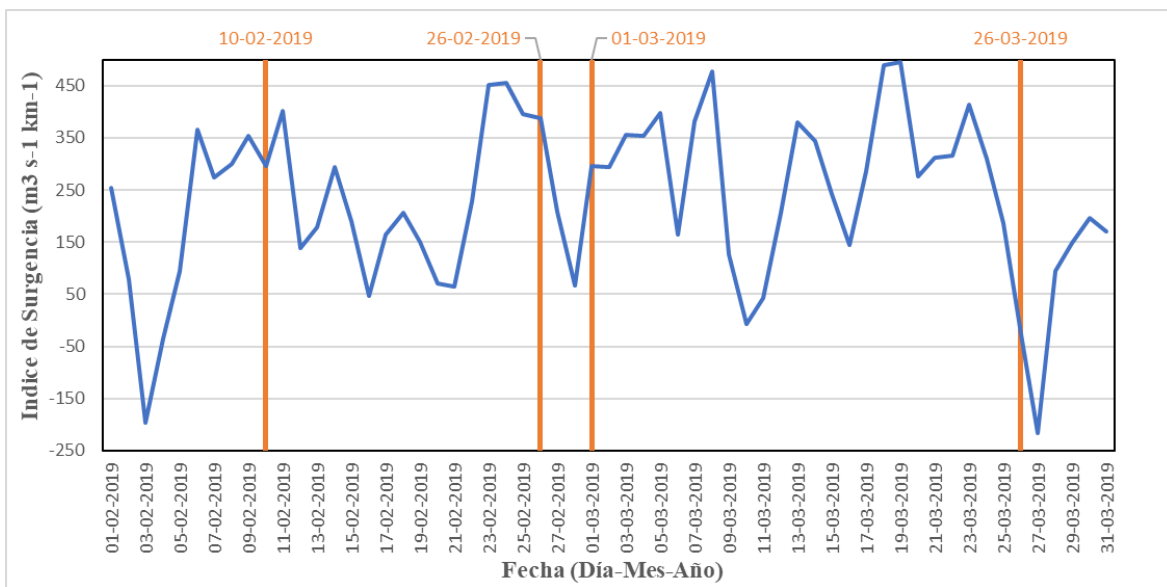


FIGURA 24. Zoom del registro temporal del índice de surgencia ($m^3 s^{-1} km^{-1}$) y sus respectivas varazones entre febrero del 2019 y marzo del 2019 en la región del Biobío, a partir de datos recopilados e información de Carriel Sur (2021) y SERNAPESCA (2021). Las líneas naranjas corresponden a las varazones con sus respectivas fechas arriba de ellas.

Fuente: Elaboración propia con datos de viento obtenidos de carriel sur y datos de varazones SERNAPESCA (2021). Procesados con Software Excel.

Es preciso señalar, que si bien las varazones ocurren en periodos donde el índice de surgencia es positivo, también es importante indagar la duración de estos eventos. Como bien se sabe los eventos prolongados de surgencia costera pueden generar consecuencias que terminan dando muerte a los organismos, como también comportamientos inadecuados o anormales. Una gran cantidad de los eventos de varazones ocurrieron en surgencias positivas prolongadas, más específicamente en 21 ocasiones, que datan más allá de los siete días en las mismas condiciones, por lo tanto, la prolongación de esta surgencia afecta mucho en su comportamiento. Por otro lado, también hubo cuatro varazones en ocasiones puntuales de surgencia las cuales resultaron ser cuando el índice de surgencia era positivo el mismo día de la varazón. Las demás varazones que son 26 fueron ocasionadas cuando el índice de surgencia tenía una duración desde los dos a los siete días, esto es muy importante debido a que la gran mayoría de las varazones ocurrieron desde que la duración de la surgencia era más allá de las 24 horas.

6.3. Relación de hipoxias, surgencia y varazones de organismos marinos

Con los pocos datos que se tienen se logró hacer una correlación entre el oxígeno vs el índice de surgencia, con la finalidad de tener una noción de cómo se comportan los datos y si es que son dependientes entre variables. Se logró calcular el coeficiente de correlación para tres veranos (2017-2018; 2018-2019; 2019-2020) el periodo del 2018-2019 obtuvo el coeficiente más alto el cual fue de -0.42 (Figura 25) dejando en claro que es una correlación negativa moderada (Hernández L. et al. 2008), lo cual demuestra que estas variables son indirectamente proporcionales, por lo tanto, mientras el índice de surgencia aumenta, el oxígeno disuelto tenderá a disminuir de una forma moderada.

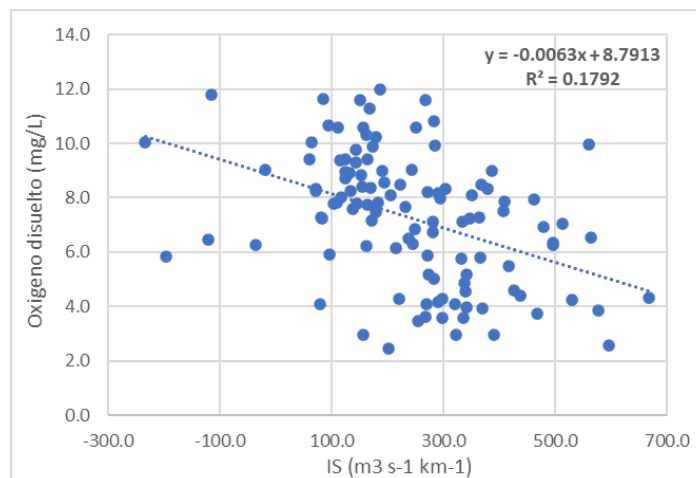


Figura 25: Correlación entre oxígeno disuelto (mg L^{-1}) e Índice de surgencia ($\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{km}^{-1}$) periodo estival del 2018-2019.

Fuente: Elaboración propia con datos de viento obtenidos de carriel sur y datos de oxígeno de carriel sur. Procesados con Software Excel.

Lamentablemente solo se pudo obtener una serie de tiempo de oxígeno disuelto extensa para el sensor localizado un metro de profundidad en la Boya POSAR, lo cual puede llegar a ser una limitante a la hora de analizar los niveles críticos de hipoxias en los diferentes grupos taxas. Hubiera sido esperable que mediciones de oxígeno disuelto en sub-superficie hubieran sido más representativas de las condiciones que experimentan muchas taxas, por lo tanto, debemos suponer que los niveles de oxígeno en aguas más profundas sean mucho menores a los presentados en las siguientes figuras. Para esta sección de la investigación, solo se contó con información desde el año 2017 y se analizó en detalle los períodos estivales de los años 2018, 2019 y 2020. El análisis indicó que durante este período no se superó el límite crítico de hipoxia, definido como 2 mg L^{-1} . Sin embargo, observando perfiles (De la Mazza & Farias, 2022) de oxígeno en el área se puede ver que en verano este disminuye drásticamente hacia la profundidad llegando en promedio a 1 mg L^{-1} en los primeros 20 metros de profundidad, por lo que se puede asumir que en la zona fótica o capa de mezcla los niveles de oxígeno estén por debajo de los umbrales de la superficie; pero se considera que a 10 metros de profundidad los niveles de oxígeno disminuyan a tal punto que superen este límite y genere malas condiciones para la sobrevivencia de los organismos marinos.

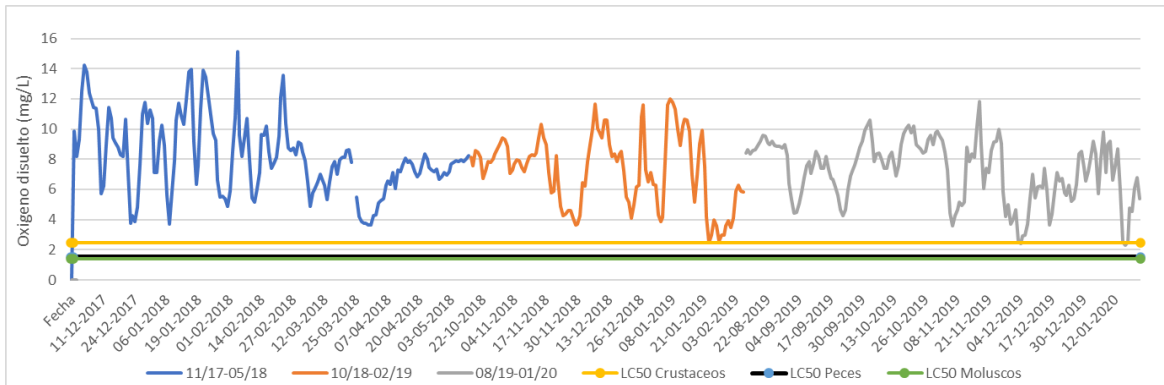


FIGURA 26. Registro temporal del oxígeno disuelto (mg L^{-1}) a 1 metro de profundidad en los veranos de 2018, 2019 y 2020, a partir de datos recopilados e información de la Boya POSAR (2021). Las líneas corresponden a los niveles críticos de la concentración letal, con el color amarillo se representa la de los crustáceos (2.45 mg L^{-1}), con el color negro se representan los peces (1.54 mg L^{-1}) y con el color verde se representan los moluscos (1.42 mg L^{-1}). En el registro temporal la línea azul, naranja y gris, corresponde a los periodos a los que representa, los cuales son 2017-2018, 2018-2019 y 2019-2020 respectivamente.

Fuente: Datos obtenidos de la boya POSAR y procesados con Software Excel.

Basado en las estimaciones de los umbrales críticos (LC50), en la Figura 26, se logra observar que los niveles de oxígeno superan el límite crítico para los crustáceos en tres ocasiones, una en enero del 2019, otras en diciembre del 2019 y seguida de una ocasión en enero del 2020. Por lo tanto, son en esos eventos cuando las condiciones para los organismos marinos como los crustáceos se ve afectada y puede que genere una mortalidad del 50% de su población. Teniendo en cuenta que estos organismos son bentónicos se estima que en su hábitat las condiciones para que este organismo prevalezca disminuya notablemente. Las otras taxas no se ven afectadas por los bajos niveles de oxígeno a 1 metro; pero es importante señalar que estos organismos no viven solo en la superficie, sino que a diferentes profundidades incluso en la zona bentónica.

Como parte del análisis, se relacionaron también las concentraciones subletales con el oxígeno disuelto (Figura 27), lográndose evidenciar las superaciones a los niveles críticos mínimos que obtuvieron los crustáceos y los peces. En primer lugar, los crustáceos son los más afectados debido a que en total estuvieron 47 días bajo el umbral subletal lo cual les podría generar un cambio en el metabolismo aeróbico a anaeróbico, del mismo modo les podrían generar disminución en el crecimiento,

disminución en las tasas de depredación, la evitación de aguas hipóxicas, entre otros.

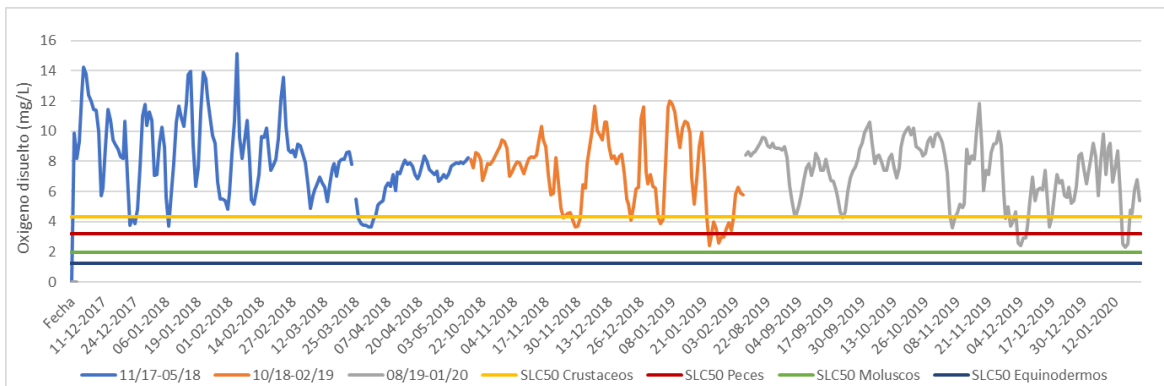


FIGURA 27. Registro temporal del oxígeno disuelto (mg L^{-1}) a 1 metro de profundidad en los veranos de 2018, 2019 y 2020, a partir de datos recopilados e información de la Boya POSAR (2021). Las líneas corresponden a los niveles críticos de la concentración subletal, con el color amarillo se representa la de los crustáceos (4.31 mg L^{-1}), con el color rojo se representan los peces (3.21 mg L^{-1}) y con el color verde se representan los moluscos (1.99 mg L^{-1}) y con el color azul se representan los equinodermos (1.22 mg L^{-1}). En el registro temporal la línea azul, naranja y gris, corresponde a los periodos a los que representa, los cuales son 2017-2018, 2018-2019 y 2019-2020 respectivamente.

Fuente: Datos obtenidos de la boya POSAR y procesados con Software Excel.

Por otro lado, los peces igual superaron el umbral subletal; pero solo 12 días, si bien los peces son los que tienen la mayor movilidad, de igual modo son afectados por estos niveles de oxígeno disuelto, ya que podría generar modificaciones en su comportamiento como la evitación de aguas hipóxicas, la disminución de la actividad metabólica, cambio en el metabolismo dependiente del oxígeno o el aumento del flujo de agua ventilatorio. Las demás taxas no se vieron afectadas a bajos niveles de oxígeno disuelto debido a que sus niveles críticos están por debajo de los datos proporcionados.

Un análisis más detallado para los cuales se contó con información de vientos, índice de surgencia y concentraciones de oxígeno disuelto, permitió analizar en mayor detalle cuatro eventos de varazones masivas.

Como se logra apreciar en las Figuras 28, 29 y 30, al sobreponer la información del índice de surgencia, con los datos de oxígeno disuelto, en su gran mayoría son

inversamente proporcional, en otras palabras, a medida que el índice de surgencia aumenta, el oxígeno disuelto disminuyó en la columna de agua y viceversa como lo demuestra la Figura 25. En cuanto a la varazón del 06-03-18 (Figura 28) que corresponde a jibias (*D. gigas*), este análisis sugiere que hubo una exposición a condiciones de surgencia por más de 7 días, lo que pudo llevar a una baja notable del oxígeno disuelto en la columna de agua y aunque no pudo superar el umbral crítico de los moluscos, se cree que esta especie pudo haber sido más afectada, puesto que son animales que viven en aguas de fondo y, por lo tanto, están más expuestos a la disminución del oxígeno disuelto.

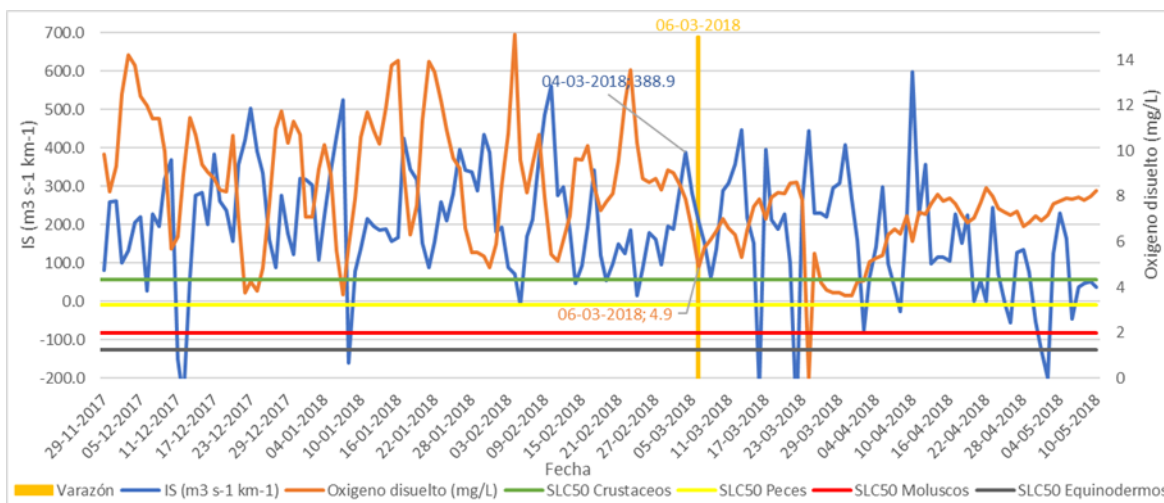


FIGURA 28. Gráfico de índice de surgencia ($m^3 s^{-1} km^{-1}$) vs oxígeno disuelto ($mg L^{-1}$) a 1 metro de profundidad, analizando también las varazones (columnas amarillas) que se registraron en este periodo de tiempo (06-02-2018), los cuales están registrados en el periodo que corresponde desde noviembre del 2017 hasta mayo del 2018, a partir de datos recopilados e información de la Boya POSAR (2021) y Carriel Sur (2021). Las líneas corresponden a los niveles críticos de la concentración subletal, con el color verde se representa la de los crustáceos ($4.31 mg L^{-1}$), con el color amarillo se representan los peces ($3.21 mg L^{-1}$) y con el color rojo se representan los moluscos ($1.99 mg L^{-1}$) y con el color azul se representan los equinodermos ($1.22 mg L^{-1}$).

Fuente: Datos obtenidos de la boya POSAR y procesados con Software Excel.

Para otro evento que ocurrió en la época estival del período 2018-2019 (Figura 29), que corresponde a un evento de varazón de navajuelas (*T. dombeii*), en primera instancia y dos días después ocurre también una varazón de peces en los cuales también se encontraron aves muertas. Sin embargo, en dicha oportunidad, pescadores y locatarios de la comuna de Talcahuano se percataron que había

indicios de algún tipo de derrame de residuos industriales en la zona, debido a una mancha color café en el océano costero y que posteriormente también fue explicada como un potencial evento de floraciones algales; pero según algunas noticias días antes de las varazones hubo un grave derrame de petróleo en la caleta El Morro de Talcahuano (González A., 2018), eso generaría un efecto negativo, debido a que los hidrocarburos del petróleo afectan en la alimentación y reproducción de la vida acuática en general, además se adhieren a las branquias de los peces, perjudicando su respiración. (Rodríguez et al., 2014).

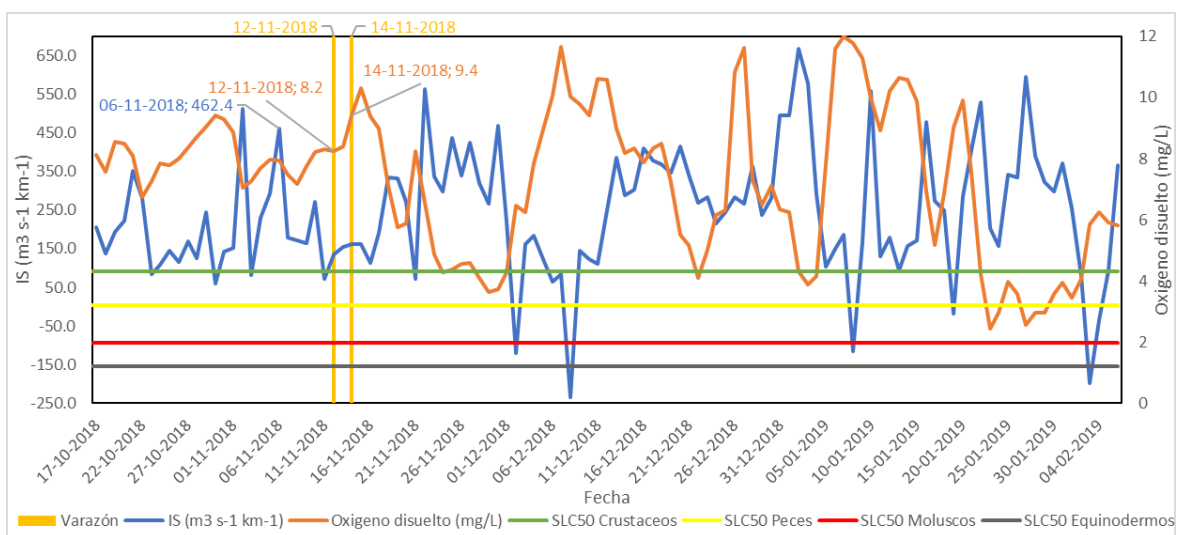


FIGURA 29. Gráfico de índice de surgencia (m³ s⁻¹ km⁻¹) vs oxígeno disuelto (mg L⁻¹) a 1 metro de profundidad, analizando también las varazones (columnas amarillas) que se registraron en este periodo de tiempo (12-11-2018 y 14-11-2018), los cuales están registrados en el periodo que corresponde desde octubre del 2018 hasta febrero del 2019, a partir de datos recopilados e información de la Boya POSAR (2021) y Carriel Sur (2021). Las líneas corresponden a los niveles críticos de la concentración subletal, con el color verde se representa la de los crustáceos (4.31 mg L⁻¹), con el color amarillo se representan los peces (3.21 mg L⁻¹) y con el color rojo se representan los moluscos (1.99 mg L⁻¹) y con el color azul se representan los equinodermos (1.22 mg L⁻¹).

Fuente: Datos obtenidos de la boya POSAR y procesados con Software Excel.

Por lo tanto, los parámetros de oxígeno disuelto e índice de surgencia, no corresponden a un evento como tal, debido a que en el periodo que vararon estos organismos hay bastante oxígeno disuelto y además el índice de surgencia es demasiado bajo, contrastando además con el derrame de petróleo cinco días antes.

Finalmente, en la Figura 30 se logra apreciar que la varazón ocurrida el 11-11-2019 la cual corresponde a jaibas en la localidad de Laraquete, pudiera estar directamente relacionada a una evidente baja en la concentración de oxígeno disuelto en el agua, evento que se observó apenas cinco días antes que ocurriera la varazón. Durante estos días previos se llegó a niveles de 3.6 mg L^{-1} en aguas superficiales, lo cual supera el umbral crítico establecido de SLC50 que corresponde a 4.41 mg L^{-1} . Debido a esto, es que estos organismos pudieran haber visto mermada su desempeño fisiológico producto de la disminución en el nivel de oxígeno disuelto, lo cual podría ser finalmente una de las consecuencias de los bajos niveles de oxígeno en su hábitat. Por otra parte, el índice de surgencia fue notablemente alto ($450 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-1}$), precisamente en los días previos a que se observara la disminución en estos niveles de oxígeno disuelto.

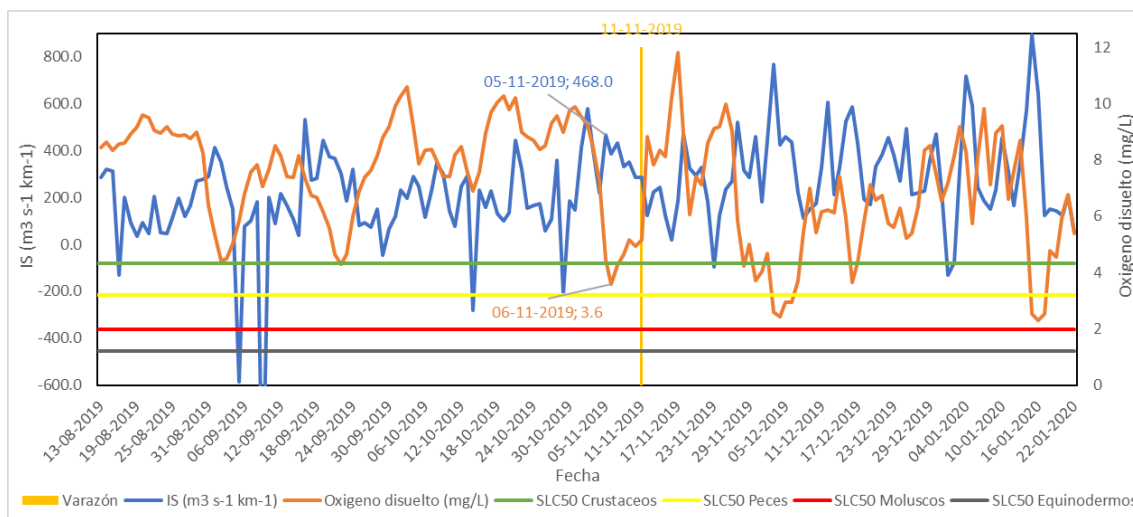


FIGURA 30. Gráfico de índice de surgencia ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-1}$) vs oxígeno disuelto (mg L^{-1}) a 1 metro de profundidad, analizando también la varazón (columna amarilla) que se registró en este periodo de tiempo (11-11-2019), el cual se registró en el periodo que corresponde desde agosto del 2019 hasta enero del 2020, a partir de datos recopilados e información de la Boya POSAR (2021) y Carriel Sur (2021). Las líneas corresponden a los niveles críticos de la concentración subletal, con el color verde se representa la de los crustáceos (4.31 mg L^{-1}), con el color amarillo se representan los peces (3.21 mg L^{-1}) y con el color rojo se representan los moluscos (1.99 mg L^{-1}) y con el color azul se representan los equinodermos (1.22 mg L^{-1}).

Fuente: Datos obtenidos de la boya POSAR y procesados con Software Excel.

Es importante resaltar, que en esta investigación se utilizaron datos de oxígeno y vientos que no son los más representativos y que no son cercanos, debido a que estos datos de monitoreo se encuentran a más de 100 km de distancia y además

es alejado desde donde son registradas las varazones de organismos marinos y, además con respecto a los datos de oxígeno disuelto, estos son medidos a una profundidad de solo un metro, por lo tanto, no son exactos para las zonas donde ocurren estos fenómenos. Si bien, los datos demuestran la condición de una parte puntual del ecosistema, como se evidencia en la investigación de Cuadra et al. (2004), estos datos de alto índice de surgencia y bajos niveles de oxígeno disuelto, sugieren que es un fenómeno a escala regional, ya que, se presenta en casi toda la costa de la región.

6.4. Percepción de las comunidades costeras ante las varazones y sus implicancias socio-ambientales

Como parte de uno de los objetivos de esta tesis, se realizó una encuesta piloto para identificar la percepción e impactos que perciben los entrevistados respecto a las varazones que ocurren en las costas de la octava región y obtener de esta forma mayor información sobre especies, intensidad, frecuencia, afectación, causa, entre otras.

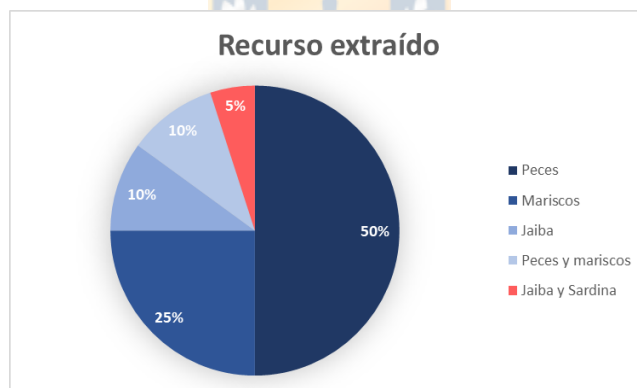


FIGURA 31: Recursos extraídos (%) según los trabajadores asociados a la zona costera (N=20).

Fuente: Elaboración propia mediante Software Excel.

Se entrevistaron a 20 hombres de cuatro caletas de la octava región las cuales son: diez de Caleta Lo Rojas, cuatro de Caleta Arauco, cuatro de Caleta Quichiuto y dos de Caleta Cocholgue. Y estas indican que el 50% de los trabajadores se desempeñan solo como pescadores artesanales, seguido de un 35% que se

desempeñan solo como buzos que extraen recursos bentónicos y un 15% que se desempeñan en los dos rubros, esta información se puede apreciar en la Figura 31.

En cuanto a las taxas y especies que principalmente están presentes en las varazones, todos los encuestados respondieron que se encontraban siempre peces varados, rara vez ocurría una varazón de solo moluscos o crustáceos, ya que siempre están acompañadas de peces. La especie más presente en las varazones según los entrevistados, corresponde a la sardina común (*S. bentincki*), seguida del pejerrey (*B. australis*) y la merluza común (*M. gayi*). En cuanto a los moluscos, la jibia (*D. gigas*) y la almeja (*V. antiqua*) fueron los más representados en las encuestas realizadas, y de los crustáceos, la jaiba fue también mencionada como recurrente por algunos pescadores y recolectores. (Figura 32).

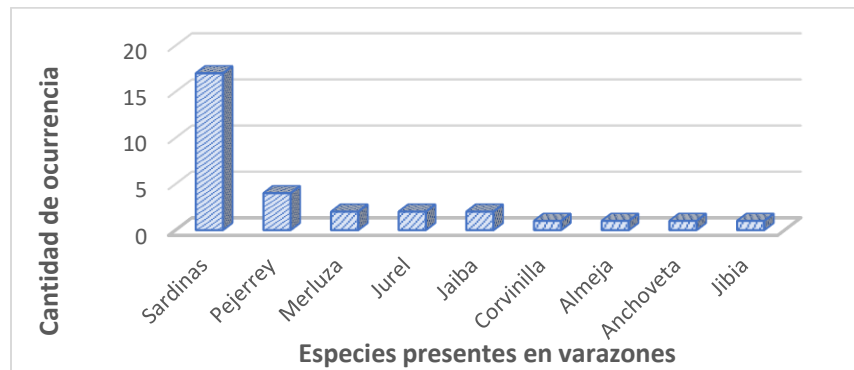


FIGURA 32: Frecuencia absoluta (Nº) de las especies presentes en las varazones según la percepción de los entrevistados (N=20).

Fuente: Elaboración propia mediante Software Excel.

Respecto a la percepción que tienen estas comunidades sobre cambios en la composición de especies que están varando, el 75% de los encuestados evidencian que las especies presentes en las varazones no están cambiando, versus un 25% que afirman que las especies si están cambiando con el pasar de los años (Figura 33). Por otro lado, las opiniones sobre la frecuencia anual de estos fenómenos de varazones están un poco desequilibrados, debido a que un 80% aproximadamente asegura que ocurren todos los años, versus a un 20% los cuales afirman que no ocurren todos los años. (Figura 34).

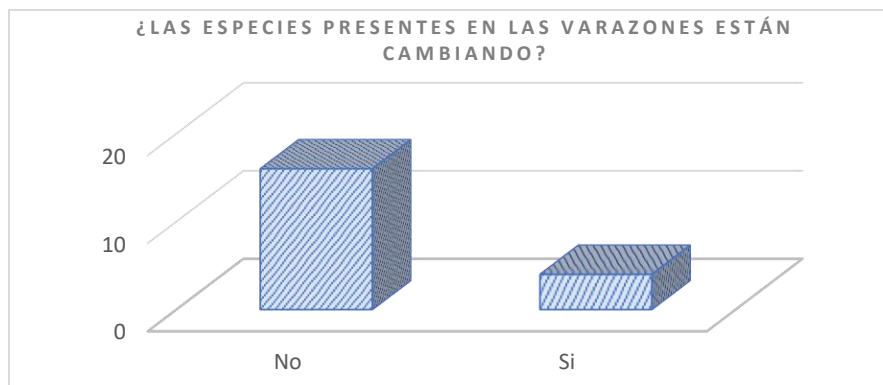


FIGURA 33: Frecuencia absoluta (N°) sobre si es que varían las especies en las varazones de organismos marinos, según la percepción de los entrevistados (N=20).

Fuente: Elaboración propia mediante Software Excel.

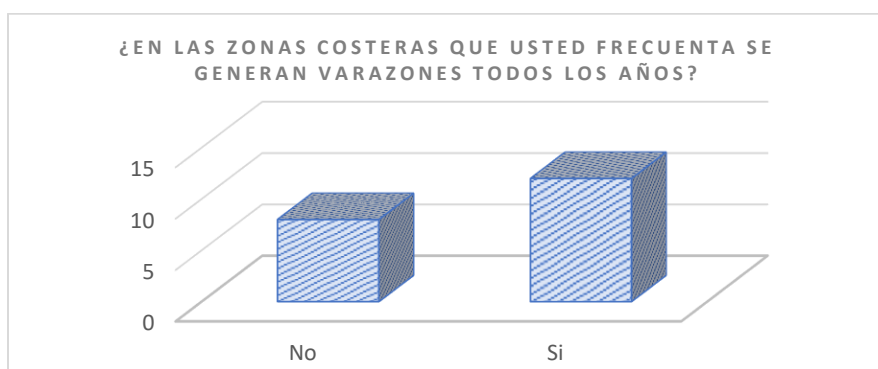


FIGURA 34: Frecuencia absoluta (N°) sobre si es que todos los años se generarían varazones de organismos marinos, según la percepción de los entrevistados (N=20).

Fuente: Elaboración propia mediante Software Excel.

En cuanto a la frecuencia e intensidad de las varazones, se les preguntó sobre si percibían cambios en la cantidad de varazones que se originaban en sus zonas de trabajo (frecuencia) y también sobre cambios en la magnitud que se evidencian por la cantidad de recursos que quedan encallados en las orillas de las costas (intensidad). En la Figura 35, se logra evidenciar que la gran mayoría de los entrevistados de las comunidades costeras perciben que la frecuencia de las varazones ha ido aumentando o se ha mantenido y solo un 15% asegura que cada vez se provocan menos de estos fenómenos. En cuanto a la intensidad de las varazones, la gran mayoría asegura que estos fenómenos han perdido la gran magnitud que tenían antiguamente, algunos pescadores afirman que es producto de la disminución de los recursos en el mar, por esta razón, encallarían menos organismos producto de las varazones. (Figura 36).

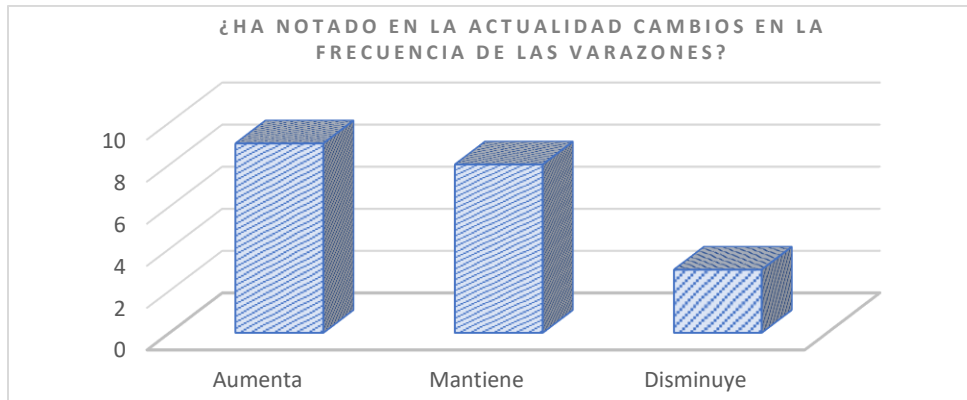


FIGURA 35: Frecuencia absoluta (N°) sobre los cambios de frecuencias en las varazones de organismos marinos en la actualidad, según la percepción de los entrevistados (N=20).

Fuente: Elaboración propia mediante Software Excel.

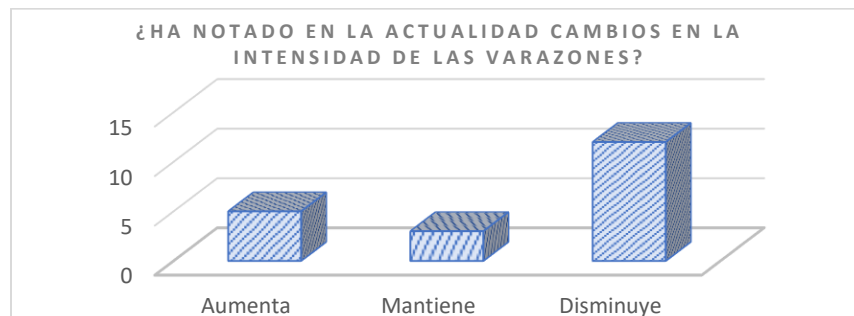


FIGURA 36: Frecuencia absoluta (N°) sobre los cambios en la intensidad o magnitud de las varazones de organismos marinos, según la percepción de los entrevistados (N=20).

Fuente: Elaboración propia mediante Software Excel.

En la sección de anexos, se puede observar la Figura 58 que corresponde al año de las varazones más potentes e intensas que han vivido cada uno de los encuestados, existen algunos que llevan toda su vida trabajando en la zona costera y recuerdan que las varazones de los años 70' eran muy intensas en la bahía de Coronel. En cuanto a Tomé, recuerdan las varazones del terremoto del 2010 y algunas de los últimos años como las más intensas que han vivido, al igual que en Arauco que solo tienen recuerdos de varazones intensas los últimos años. Lo anteriormente comentado se puede corroborar con los resultados de la Figura 37 y Figura 38, en los cuales se evidencian una gran diferencia en la intensidad que ocurría hace 10 años y la intensidad que ocurre hoy en día. Casi el 100% asegura

que hace 10 años la intensidad de las varazones que ocurrían en su lugar de trabajo eran altas o muy altas; pero nadie respondió que era baja o muy baja. (Figura 37).

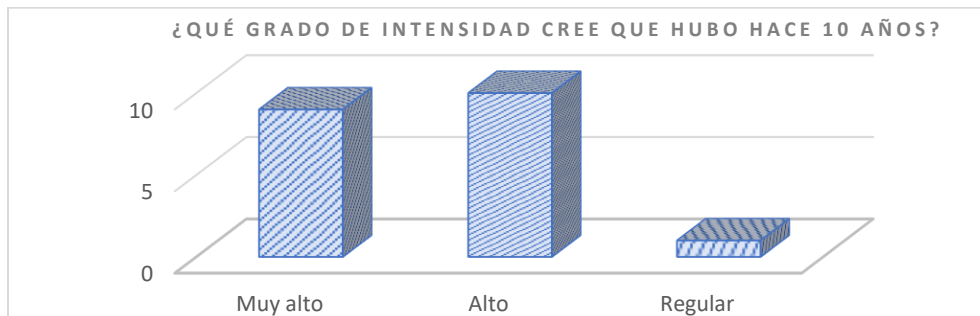


FIGURA 37: Frecuencia absoluta (N°) sobre el grado de la Intensidad de las varazones organismos marinos hace 10 años, según la percepción de los entrevistados (N=20).
Fuente: Elaboración propia mediante Software Excel.

En cambio, un 30% de los encuestados aseguran que en la actualidad la intensidad es menor que antes y solo un 25% afirma que es muy alta (Figura 38), esto se traduce en que más del 50% asevera que la intensidad de las varazones disminuyó.

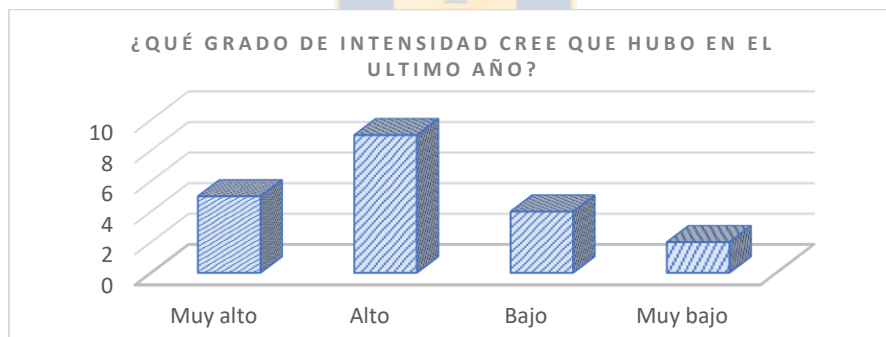


FIGURA 38: Frecuencia absoluta (N°) sobre el grado de la Intensidad de las varazones organismos marinos en el último año, según la percepción de los entrevistados (N=20).
Fuente: Elaboración propia mediante Software Excel.

A los encuestados se les preguntó respecto de las consecuencias a las que se ven afectas producto de las varazones (Figura 39). De los encuestados solo el 15% afirmaron que no les afectan en lo absoluto; en cambio, el 85% indicó que les afectan y de diferentes maneras. La mayoría que corresponde al 40%, asegura que debido a estos fenómenos es que ocurren pérdidas de recursos y no solo varados en las orillas, sino que también se refieren a que los organismos cambian su comportamiento y no “pican” los señuelos ni las trampas para crustáceos. Por otro

lado, un 20% de los encuestados aseguró que se ven significativamente afectados por la disminución en la cantidad de turistas que visitan la zona, ya que dependen de las ventas de los organismos capturados y los diferentes productos que producen en cocinerías y restaurantes, tales como mariscales y ceviches. Por otra parte, cerca del 15% de los encuestados se ve afectado por olores desagradables, a causa de la descomposición de los organismos que quedan alojados en las orillas de las playas. Por lo general los pescadores artesanales y sus familias viven cerca de la zona costera, por lo tanto, están directamente afectados por los malos olores ocurridos en el lugar. Finalmente, un 10% de los encuestados afirman que les afectan las varazones, debido a que les prohíben la pesca por un par de días hasta que se limpie la playa o se investigue la causalidad de la varazón. Lo anterior genera una gran pérdida económica para los trabajadores de la zona costera.

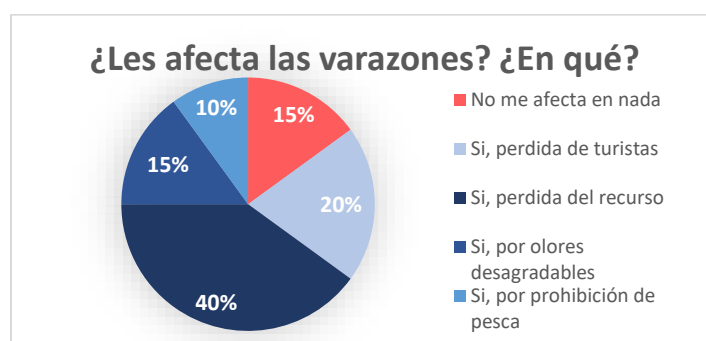


FIGURA 39: Gráfico de torta que corresponde a las consecuencias (%) que provocan las varazones de organismos marinos, según la percepción de los entrevistados (N=20).

Fuente: Elaboración propia mediante Software Excel.

El impacto económico que provocan las varazones en los entrevistados fue otro aspecto en el cual fueron encuestados. En cuanto a las personas que trabajan con peces, el 57% aseguró que les afecta de manera alta o muy alta provocándoles problemas monetarios y solo el 7% aseveró que les afecta de manera mínima. Por otro lado, el 70% de las personas que trabajan con crustáceos, aseguraron que les afectaba en demasía y solo el 20% afirmaron que les afecta casi nada. Por último, un 70% de las comunidades que trabajan con los moluscos aseguraron que les afecta de manera alta o muy alta, en contraste con el 10% que solo les afecta de manera baja. (Figura 40).

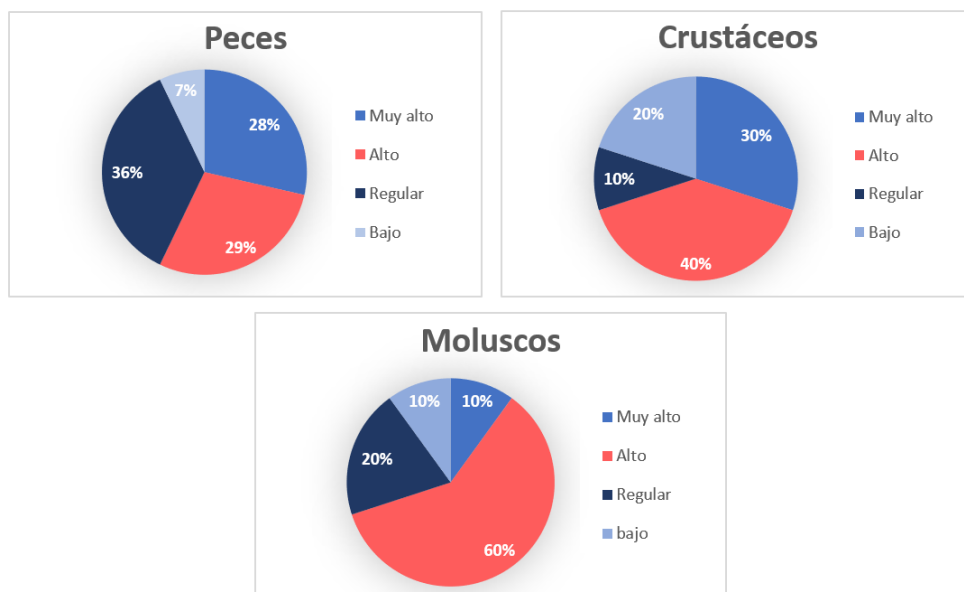


FIGURA 40: Gráficos de torta (recurso extraído) que corresponden al impacto económico (%) generado por las varazones, según la percepción de los entrevistados (N=20).

Fuente: Elaboración propia mediante Software Excel.

Los entrevistados asociados a las comunidades costeras están preocupados por lo que les depara para el futuro debido al cambio climático, por lo mismo el 65% del total de encuestados piensa que el cambio climático les afectara de forma negativa en un futuro cercano. (Figura 41). El 15% afirma que el cambio climático no afectará a las condiciones actuales, por lo tanto, seguirá igual o incluso mejorará. Y en cuanto al restante 20%, no sabe si es que los afectará de forma negativa o positiva.

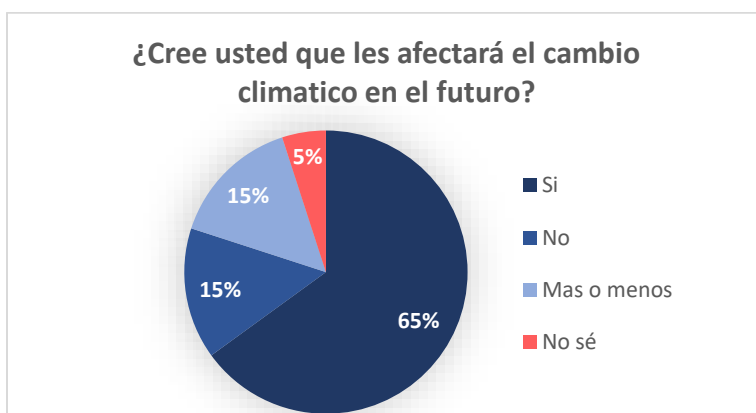


FIGURA 41: Gráfico de torta correspondiente a la opinión (%) sobre las consecuencias que provocará un eventual cambio climático, según las percepciones de los entrevistados(N=20).

Fuente: Elaboración propia mediante Software Excel.

En cuanto a las causas que se les atribuyen a las varazones (Figura 42), un 65% de los encuestados afirmó que las varazones son generadas por la contaminación de la bahía. La mayoría de estos pescadores aseguran que las descargas de contaminantes originadas principalmente por las industrias, comunidades costeras y plantas de tratamiento de aguas residuales, están provocando un deterioro en el ecosistema lo que generaría una disminución del oxígeno disuelto y posteriormente mortandad de organismos marinos. El 20% de los encuestados, asegura que las varazones son generadas de forma natural, provocadas por sismos oceánicos o surgencia costera. Y finalmente, un 10% asegura que no sabe o que no tiene ninguna causa.

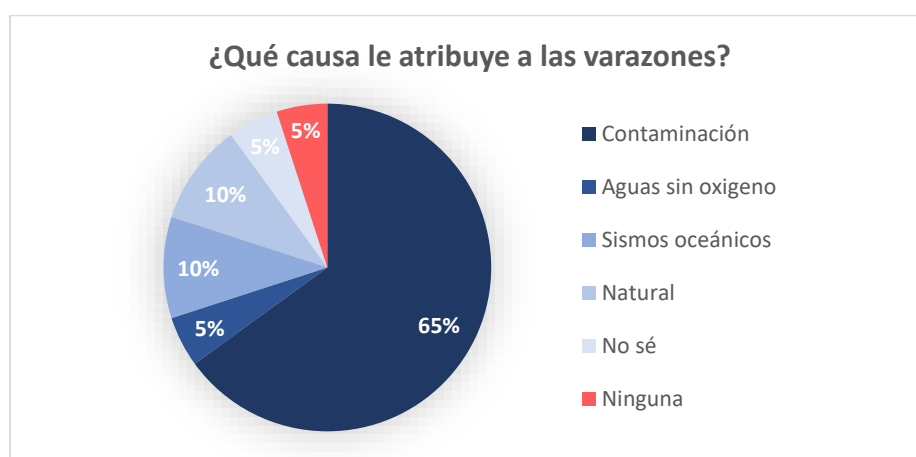


FIGURA 42: Gráfico de torta que corresponde a las posibles causas (%) que les atribuyen a las varazones, según la percepción de los entrevistados (N=20).

Fuente: Elaboración propia mediante Software Excel.

Los trabajadores asociados a los recursos marinos están un poco molestos con los medios de comunicación y con las organizaciones competentes para llevar a cabo una buena gestión para esta problemática. En cuanto a los medios de comunicación, el 60% afirmó que regularmente, siempre y casi siempre asisten al lugar de la varazón, mientras que el 80% de los encuestados afirman que SERNAPESCA nunca llega al lugar donde se provocan las varazones. (Figura 43).



FIGURA 43: Gráfico de torta sobre la percepción que tienen los entrevistados (%) sobre los reportes de los medios de comunicación e instituciones encargadas de la fiscalización de estas varazones (N=20).

Fuente: Elaboración propia mediante Software Excel.



7. CONCLUSIÓN

En base a un completo registro histórico de las varazones comprendidas en los últimos 15 años (2006 y 2021), un análisis de series de tiempo de índice de surgencia y oxígeno disuelto en la columna de agua, podemos establecer la importancia de alguna de las principales forzantes en la generación de varios de estos eventos de varazones, especialmente aquellos que suceden en los meses de primavera-verano. Finalmente, este trabajo permitió poder establecer algunas posibles implicancias socio-ambientales que se originan a partir de estos fenómenos.

Tal y como hemos podido comprobar, la región del Biobío corresponde a la zona donde se registra un mayor número de varazones de organismos marinos, acumulando a la fecha un total de 51 eventos desde el año 2006 al 2021, las cuales ocurren en promedio unas 3 veces al año en esta región y con una tendencia positiva en el tiempo. Con respecto a las varazones, un 76% se originan en las comunas de Coronel, Tomé y Arauco.

El 75% del total de especies que participan en las varazones, corresponden a peces, seguida en una menor proporción de moluscos y crustáceos. En cuanto a los peces, corresponden en general a la sardina común (*S. bentincki*), anchoveta (*E. ringens*) y pampanito (*S. stellatus*), mientras que los moluscos y crustáceos más presentes corresponden a moluscos como la jibia (*D. gigas*), almeja (*V. antiqua*), navajuela (*T. dombeii*) y, finalmente algunas especies de jaibas y otros crustáceos. Se logró comprobar que, más del 90% de estas varazones han ocurrido en verano y en invierno solo han ocurrido 5 varazones en casi 15 años de datos.

Se lograron elaborar cartografías, las cuales registran las varazones de manera espacial y temporal y se logró inferir que estos fenómenos, si bien puede que se originen en diferentes puntos del borde costero de la octava región, se observa una predominancia en las playas de bahías semi-cerradas hacia al norte. Las comunidades de pescadores y recolectores de orilla que viven cercanos a estos sitios de varazones, perciben todos los impactos que se pueden originar, como son los malos olores, prohibición de pesca, cierre de playas, entre otras consecuencias.

Es importante señalar, que en la bahía de Concepción y la bahía de Coliumo solo vararon organismos marinos en la estación de verano, en cambio en el Golfo de Arauco se observaron especies en invierno y, por lo general, eran varazones múltiples, en las cuales participan varias taxas en conjuntos. Lo anterior, permite no descartar efectos antrópicos originados por la gran cantidad de emisarios submarinos de diferentes empresas que se ubican en esta zona.

En cuanto a los vientos, se logró apreciar que hay una estacionalidad en sus características, las cuales aumentan de magnitud en el verano y disminuyen en invierno. Del mismo modo, el viento presenta una dirección bastante favorable para la surgencia costera, aproximadamente el 73% de los vientos anuales presenta un ángulo entre 150° y 260° que en conjunto con velocidades de vientos mayores a 10 m s⁻¹ producen estas surgencias de aguas costeras, las cuales son causantes de dos varazones analizadas.

Por otro lado, los niveles de oxígeno disuelto no disminuyeron a tal punto que superara el límite crítico para la hipoxia que corresponde a 2 mg L⁻¹; pero si se superó el límite de la concentración letal de los crustáceos, en tres ocasiones y en cuanto a la concentración subletal, se superaron en varias oportunidades los límites de los crustáceos y de los peces. Es importante señalar que la información con la cual se contó para esta investigación, fue sólo disponible de sensores localizados a un metro de profundidad, por lo tanto, es esperable que niveles de oxígeno disuelto sean mucho más bajos en aguas sub-superficiales o de fondo, asociados a los sedimentos.

Tras el análisis del índice de surgencia, se puede apreciar que el patrón está muy marcado, debido a que en invierno la magnitud de los vientos es menor, por lo tanto, los niveles del índice de surgencia bajan lo cual generaría una disminución o incluso nulidad en la surgencia costera, sin embargo, hay pulsaciones mínimas en invierno que pueden ocurrir debido a tormentas ocurridas en invierno. En cambio, en verano los niveles suben provocando condiciones más favorables para la surgencias costera y posterior varazón de organismos marinos, incluso según los modelos de cambio climático (Vaquer & Duarte, 2008; Garreaud & Falvey, 2009; Rykaczewski

et al., 2015) se evidencia que probablemente los eventos de surgencia y las condiciones para que se generen varazones de organismos marinos aumenten en los siguientes años, acrecentando la probabilidad de estos fenómenos.

La mayor proporción de las varazones de la región del Biobío ocurren cuando los vientos provienen del sur, o sur-oeste, por lo tanto, se logra robustecer la hipótesis de que las varazones ocurren en una gran proporción debido a los efectos de la surgencia costera, ya que, la surgencia ocurre solo cuando existen vientos Sur, Suroeste e incluso Sureste. (Bello et al., 2004).

Tras el análisis de la relación entre índice de surgencia y varazones, se ha logrado determinar que la totalidad de las varazones ocurrieron cuando los índices de surgencia se encontraban positivos (i.e. considerando que el rango utilizado para evaluar el índice de surgencia es el promedio de los 3 días previos a la varazón). Es importante señalar, que no solo basta con una surgencia positiva para que los organismos varen, también es crucial la duración de estos eventos. El 51% de las varazones ocurrieron cuando la duración de los eventos de surgencia costera era de 2 a 7 días, el 41% de las varazones ocurrieron cuando estuvieron expuestos a más de 7 días de surgencia costera.

Es importante señalar que, los vientos y el oxígeno fueron registrados a más de 100 km de distancia y este último al norte de la región del Biobío, más específicamente en la desembocadura del río Itata, estoy consciente de que las mediciones de oxígeno no fueron realizadas exactamente en el lugar que ocurren las varazones; pero la coincidencia entre los valores bajos de oxígeno y el índice de surgencia me hace pensar que estos procesos también tienen una connotación a nivel regional. (Cuadra et al., 2004)

Debido a la carencia de una serie de tiempo más larga, con información de la concentración de oxígeno disuelto, solo se pudieron analizar cuatro eventos específicos de varazones, de los cuales en dos se logró concluir que las varazones con fecha 06/03/2018 y 11/11/2019 ocurrieron asociadas a bajos niveles de oxígeno observados en la zona. Estos eventos de bajos niveles de oxígeno, estuvieron asociados a índices positivos de surgencia y resultaron en una potencial exposición

a cerca de 5 a 7 días de bajos niveles de oxígeno disuelto en la columna de agua. En cuanto al tercer y cuarto caso 12-11-2018 y 14-11-2018, no estuvieron asociados a eventos de surgencia ni bajo oxígeno; pero de igual forma se produjeron dos eventos específicos de varazones con dos días de diferencia, se logró concluir gracias a reportes de la ciudadanía y SERNAPESCA, que estas varazones podrían ser originadas por otros agentes potencialmente de origen antrópico debido a que varios pescadores y recolectores de orilla reportaron una mancha grande en la bahía de coloración café, la cual iba acompañada de mal olor, por lo tanto, no hay evidencia que haya sido de forma natural, puesto que los niveles de oxígeno disuelto que se logran evidenciar esos días son favorables para la vida marina; pero si hay evidencia que fue generado entrópicamente, debido a que el día 6-11-2018 hubo un grave derrame de petróleo en la caleta El Morro de Talcahuano (González A., 2018), lo cual generaría un efecto negativo en la vida acuática en general, perjudicando a los organismos expuestos a estos contaminantes. (Rodríguez et al., 2014).

Tras el análisis de las encuestas, se han logrado inferir las especies que los entrevistados evidencian en las varazones, las cuales son las mismas fiscalizadas por SERNAPESCA o reportadas por diferentes medios de comunicación, siendo la sardina común (*S. bentincki*) el organismo marino que comúnmente está presente en estos fenómenos. Por otro lado, la percepción que tienen los trabajadores asociados al recurso marino con respecto a estos fenómenos, es que ocurren todos los años y que no cambian las especies que están presentes en las varazones. Además, las varazones se están haciendo cada vez más frecuentes; pero con un menor grado de intensidad y se piensa que puede ser debido a la disminución de los organismos marinos. Debido a esto, los trabajadores de la zona costeras están preocupadas por los años venideros de su trabajo, ya que en las varazones actuales ellos perciben que traen pocos recursos.

A la gran mayoría de los entrevistados les afecta las varazones, debido a que cuando los organismos muertos llegan a la orilla de la playa comienzan a descomponerse, lo cual genera malos olores y en algunas ocasiones origina el cierre temporal de playas por parte de organismos competentes como

SERNAPESCA, para investigar la varazón y limpiar los especímenes muertos que se quedan alojados en la arena. Del mismo modo, los turistas debido a los malos olores y cierre de playas no se dirigen hacia la zona costera, por lo tanto, a los trabajadores asociados a los recursos marinos les afecta económicamente a causa que no pueden vender sus productos del mar. Los pescadores artesanales por otro lado, se encuentran afectados negativamente por la prohibición de la pesca que ocurre a veces producto de las varazones. Además, los entrevistados, sienten que un eventual cambio climático les afectará de mayor manera, debido a que las condiciones en el mar favorecerán a las varazones de organismos marinos.

Los entrevistados, perciben una consecuencia económica negativa ya que las varazones les afectan directamente al recurso que extraen. De igual manera evidencian que cuando ocurren estos fenómenos, los organismos son difíciles de capturar. Las causas que ellos le atribuyen a estos fenómenos son las descargas de contaminantes originadas principalmente por las industrias, comunidades costeras y planta de tratamiento de aguas residuales, una pequeña porción se refiere a las varazones como un evento ocurrido por causas naturales.

Resumiendo, es difícil afirmar que todas las varazones ocurren sólo por el efecto directo de la surgencia costera, ya que es una condición en la cual los organismos están expuestos, por lo tanto, debe haber otros factores o un gatillante que genere estos fenómenos. Puede ser por floraciones algales que se presentan por aumento de nutrientes en la bahía o la introducción antrópica de nutrientes (Buschmann A., 2005). También puede que la causa de las varazones sea la migración nocturna vertical de los peces, provocando en las poblaciones que no puedan hacer frente a corrientes de surgencias o también puede deberse a fases lunares que provoquen marejadas en la bahía y estimula la varazón de los peces a la orilla de la costa. (Battaglia et al., 2017). Otro factor puede ser el estado reproductivo de los organismos marinos, debido a que los peces se acercan a la orilla a desovar y pueden quedar encerrados entre aguas hipóxicas. También pueden darse por la irrupción de aguas cálidas, las cuales contienen menos retención de oxígeno disuelto debido a su temperatura alta, que junto a la combinación con eventos de

surgencia costera provocaría una sinergia entre estas condiciones, lo que provocaría varazones de organismos marinos. Por lo tanto, es difícil poder encontrar una causa específica para las varazones costeras; pero lo que es importante destacar es que las varazones pueden ser provocadas por la disminución del oxígeno disuelto y esta disminución puede ser generadas por diferentes factores, que el más habitual corresponde a la surgencia costera; pero hay otros factores como contaminación, fases lunares, migraciones, o combinaciones de factores que generan estos fenómenos. Del mismo modo, las varazones pueden ser causadas por toxicidad generadas por floraciones algales que proliferan en la bahía, producto de diferentes factores ambientales, los cuales pueden ser contaminación, aumento de temperatura, mayores horas de luz solar, mayor radiación, etc. (Freer & Vargas, 2003). Pero no se puede asegurar con total garantía debido a que no se hizo un monitoreo en el lugar y en la fecha cuando se evidenciaron estas varazones.

Un sistema integrado de observación del océano chileno sería una de las soluciones, ya que gracias a ese sistema tendríamos registros de varazones, oxígeno, temperatura, entre otras variables. Y en un rango superior a lo obtenido en la actual investigación, se podría generar e implementar un modelo estadístico que anuncie las varazones, a partir de algunos factores como la magnitud y dirección del viento, anomalías de temperatura, fases lunares, etc. Y elaborar políticas eficaces de manejo y uso de borde costero, esto generaría una herramienta para que las comunidades costeras estén preparadas para una eventual varazón y así recogerlos antes que mueran y se descompongan.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen SE, Durrieu de Madron (2009) A review of the role of submarine canyons in deep-ocean exchange with the shelf. *Ocean Science Discussions*. doi:10.5194/osd-6-1369-2009.
- Arancibia, H., M. Barros, S. Neira, U. Markaida, C. Yamashiro, L. Icochea, C. Salinas, L. Cubillos, Ch. Ibáñez, R. León, M. Pedraza, E. Acuña, A. Cortés y V. Kesternich. 2007. Informe Final Proyecto FIP 2005-38. Análisis del impacto de la jibia en las pesquerías chilenas de peces demersales. Universidad de Concepción / Universidad Católica del Norte, 299 p.
- Ancapichún, Santiago & Garcés-Vargas, José. (2015). Variability of the Southeast Pacific Subtropical Anticyclone and its impact on sea surface temperature off north-central Chile. *Ciencias Marinas*. 41. 1-20. 10.7773/cm.v41i1.2338.
- Battaglia, P., Ammendolia, G., Cavallaro, M., Consoli, P., Esposito, V., Malara, D., ... Andaloro, F. (2017). Influence of lunar phases, winds and seasonality on the stranding of mesopelagic fish in the Strait of Messina (Central Mediterranean Sea). *Marine Ecology*, 38(5), e12459.
- Bakun, A. 1973 - Coastal Upwelling Indices, West coast of North America, 1946-71 NOAA Technical Report NMFS SSRF, 67, 103 p.
- Bakun, A., B. A. Black, S. J. Bograd, M. García-Reyes, A. J. Miller, R. R. Rykaczewski, and W. J. Sydeman (2015), Anticipated effects of climate change on coastal upwelling ecosystems, *Curr. Clim. Change Rep.*, 1(2), 85–93.
- Bello, M., Barbieri, M., Salinas, S. & Soto, L. (2004) Surgencia costera en la zona central de Chile, durante el ciclo El Niño - La Niña 1997 - 1999. En: S. Avaria, J. Carrasco, J. Rutland y E. Yañez (ed.), *El Niño-La Niña 1997-2000: su efecto en Chile*: 77-94. Comité Oceanográfico Nacional. CONA, Valparaíso.
- Bernal P., Robles F & Rojas O. 1983. Variabilidad física y biológica en la región meridional del sistema de corrientes Chile, Perú. *FAO Fisheries Report*.
- Berry, S. S. 1912. A review of the cephalopods of Western North America. *Bull. Bur. Fish. Wash.*, 30: 269-336.
- Breitburg, Denise & Grégoire, Marilaure & Isensee, Kirsten & Chavez, Francisco & Conley, Daniel & Garcon, V. & Gilbert, Denis & Gutiérrez, Dimitri & Jacinto, Gil

- & Levin, Lisa & Limburg, Karin & Montes, Ivonne & Naqvi, S.W.A. & Oschlies, Andreas & Pitcher, Grant & Rabalais, N. & Roman, Mike & Rose, Kenny & Seibel, Brad & Zhang, Jing. (2018). The Ocean is losing its breath: declining oxygen in the world's ocean and coastal waters; summary for policy makers. The Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO (IOC-UNESCO).
- Buschmann A. (2005). Marea roja y salmonicultura en el Sur de Chile. *Oceana*. Recuperado el 15 de marzo de 2022, de www.ifop.cl/marearaja.
 - Cabrera Silva, Sergio. (2019). Global change: a biological perspective. *Revista chilena de enfermedades respiratorias*, 35(1), 9-14. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-73482019000100009>.
 - Clark, F. N. & J. B. Phillips. 1936. Commercial use of jumbo squid, *Dosidicus gigas*. *Calif. Fish Game*, 22(2): 143-144.
 - Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y de Desarrollo (Rio de Janeiro, B., & Naciones Unidas, 1992). Declaración de Rio sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo: Principios relativos a los bosques. Rio de Janeiro: Departamento de Información Pública de las Naciones Unidas.
 - Croquette, M., Eldin, G., Grados, C., & Tamayo, M. (2007). On differences in satellite wind products and their effects in estimating coastal upwelling processes in the south-east Pacific. *Geophysical Research Letters*, 34(11). doi:10.1029/2006gl027538.
 - Diaz, R. J. (2001). Overview of Hypoxia around the World. *Journal of Environment Quality*, 30(2), 275. doi:10.2134/jeq2001.302275x.
 - Dirección General de Aguas, DGA, Mapoteca digital DGA (s.f.). ZIP de Subcuencas Banco Nacional de Aguas.
 - Escribano R & Morales C. 2004. Sistemas de surgencia costera. *Biología Marina y oceanografía: conceptos y procesos* Capítulo 21. Tomo II 683 pp.
 - Espinoza Enrique. 1897. *Geografía Descriptiva de la República de Chile*. Cuarta edición, Imprenta y encuadernación Barcelona, Santiago, Chile.
 - Freer, Enrique, & Vargas-Montero, Maribel. (2003). Floraciones algales nocivas en la costa pacífica de Costa Rica: toxicología y sus efectos en el ecosistema y salud pública. *Acta Médica Costarricense*, 45(4), 158-164. Retrieved April 16, 2022, from http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0001-

60022003000400006&lng=en&tlng=es.

- Garreaud, R. D., & Falvey, M. (2009). The coastal winds off western subtropical South America in future climate scenarios. *International Journal of Climatology*, 29(4), 543–554. doi:10.1002/joc.1716.
- Garreaud, R., & Muñoz, R. C. (2005). The Low-Level Jet off the West Coast of Subtropical South America: Structure and Variability. *Monthly Weather Review*, 133(8), 2246–2261. doi:10.1175/mwr2972.1.
- Garteizgogeoasca, M., Kluger, L. C., Gonzales, I. E., Damonte, G., & Flitner, M. (2020). Contextualizing Scenarios to Explore Social-Ecological Futures: A Three Step Participatory Case Study for the Humboldt Current Upwelling System. *Frontiers in Marine Science*, 7. doi:10.3389/fmars.2020.557181.
- Gilda Seguel R. (2019). Variabilidad meteorológica y oceanográfica en fiordos australes de Chile: caso de estudio, fiordo Puyuhuapi [Tesis de Magister, Universidad de Concepción]. Repositorio UdeC – Universidad de Concepción.
- Gobierno de Chile, Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, Subsecretaría de pesca y acuicultura. (2007). Análisis del impacto de la jibia en las pesquerías chilenas de peces demersales. Valparaíso: SUBPESCA. Recuperado el 01 de noviembre de 2021, desde: <http://www.subpesca.cl/>.
- Gobierno de Chile. Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura SERNAPESCA. (2021). Información de base sobre varazones en Chile. Valparaíso. Recuperado el 30 de junio del 2021, desde: www.sernapesca.cl/.
- Gobierno de Chile. (2018). Nuestro País. Gob. Recuperado 30 de abril de 2022, de <https://www.gob.cl/nuestro-pais/>.
- González Antonio (noviembre 6, 2018). Grave derrame de petróleo en Caleta El Morro denuncian artesanales de Talcahuano. Sabes.cl. <https://sabes.cl/2018/11/06/grave-derrame-de-petroleo-en-caleta-el-morro-denuncian-artesanales-de-talcahuano/>.
- Hernández Lalinde, Juan Diego, & Espinosa Castro, Franklin, & Rodríguez, Johel E, & Chacón Rangel, José Gerardo, & Toloza Sierra, Cristian Andrés, & Arenas Torrado, Marly Karina, & Carrillo Sierra, Sandra Milena, & Bermúdez Pirela, Valmore José (2018). Sobre el uso adecuado del coeficiente de conexión

de Pearson: definición, propiedades y suposiciones. Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica, 37 (5),587-595. [fecha de Consulta 24 de Enero de 2022]. ISSN: 0798-0264. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=55963207025>.

- Instituto nacional de estadística, 2019. Estimaciones y proyecciones de la población de Chile 2002-2035 totales, regionales, población urbana y rural. Obtenido de: www.ine.cl.
- Jean Louis Valentín (1997). Aguas de surgencia. En Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de la Asociación Ciencia Hoy. Obtenido de: www.cienciahoy.org.ar.
- Kämpf, J., & Chapman, P. (2016). Upwelling Systems of the World. doi:10.1007/978-3-319-42524-5.
- Kaufmann Jonas (2015). Wind speed units & wind directions converter. Recuperado 26 de marzo de 2022, de <https://es.windfinder.com/wind/windspeed.htm>.
- Laffoley, D. & Baxter, J.M. (eds.) (2019). Ocean deoxygenation: Everyone's problem. Causes, impacts, consequences and solutions. Summary for Policy Makers. Gland, Switzerland: IUCN. 28 pp.
- Largier, J. L. (2019). Upwelling Bays: How Coastal Upwelling Controls Circulation, Habitat, and Productivity in Bays. Annual Review of Marine Science, 12(1). doi:10.1146/annurev-marine-010419-011020.
- MacGinitie, G.E. & N. MacGinitie. 1949. Natural History of Marine Animals. McGraw-Hill, New York. 473 pp.
- Moreno, CE 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis MAR, vol.1. Zaragoza, 84 págs.
- Neira, Karina y Palma, Maritza. (2007). Estructura de la macrofauna en ambientes oxicos de bahía coliumo, región del bio-bio, chile central. Gayana (Concepción), 71 (2), 156-169. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-65382007000200004>.
- Niemi, G., Wardrop, D., Brooks, R., Anderson, S., Brady, V., Paerl, H., ... McDonald, M. (2004). Rationale for a New Generation of Indicators for Coastal Waters. Environmental Health Perspectives, 112(9), 979–986.

doi:10.1289/ehp.6903.

- Orbigny, A. d'. 1835. Voyage dans l'Amérique méridionale exécuté pendant les années 1826-1827, 1828, 1829, 1830, 1831, 1832, et 1833. Paris et Strassbourg, Tom V pt. 3: Mollusques, Cephalopoda: 1-64, pls. 1-4.
- Paolini Cuadra, Pedro, Rodríguez, Fabiola & Gallardo, Carlos. (2004). Caracterización espacio-temporal del sistema de abertura de punta lavapie mediante imágenes ss noaa/avhrr. Gayana (Concepción), 68 (2, Supl. TIIProc), 459-465. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-65382004000300026>.
- Pizarro, J. 2014. Manual de estudio de fauna marina en el sur del Perú. Proyecto Nuestro Medio Ambiente Marino. 27 p.
- Rabalais NN, Turner RE, Wiseman WJ (2002) Gulf of Mexico hypoxia, aka “The dead zone.” *Ann Rev Ecol Syst* 33:235–263.
- Rennie SE, Largier JL, Lentz SJ. 1999. Observations of a pulsed buoyancy current downstream of Chesapeake Bay. *J. Geophys. Res.* 104:18227–240.
- Rodríguez Chaves, Daniela, & Saravia Arguedas, Ana Y., & Pacheco Urpí, Oscar, & Piedra Marín, Gilberto (2014). Evaluación de los niveles de hidrocarburos en sedimentos marinos, su posible origen y efectos sobre la actividad de acuicultura entre punta morales y costa de pájaros en el Golfo de Nicoya. *Revista Geográfica de América Central*, 2 (53),113-134. [fecha de Consulta 29 de marzo de 2022]. ISSN: 1011-484X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=451744544005>.
- Román, Luis & Díaz G., Diana C. & Rodríguez, Angela & Villegas, Nancy & Santos, Iván Ernesto. (2013). Análisis del transporte y bombeo de Ekman en el Caribe colombiano entre 1999 y 2009. *Boletín Científico CIOH*. 3-12. 10.26640/22159045.248.
- Rutllant J, Montecino V. 2002. Multiscale upwelling forcing cycles and biological response off North-central Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 75: 217–231. <https://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2002000100020>.
- Rykaczewski, R. R., Dunne, J. P., Sydeman, W. J., García-Reyes, M., Black, B. A., & Bograd, S. J. (2015). Poleward displacement of coastal upwelling-favorable winds in the ocean's eastern boundary currents through the 21st century. *Geophysical Research Letters*, 42(15), 6424–6431. doi:10.1002/2015gl064694.

- Schmidtko, S., Stramma, L., & Visbeck, M. (2017). Decline in global oceanic oxygen content during the past five decades. *Nature*, 542(7641), 335–339. doi:10.1038/nature21399.
- Service RF (2004) *Oceanography*. New dead zone off Oregon coast hints at sea change in currents. *Science* 305:1099–1099.
- Silva, N., & Valdenegro, A. (2003). Evolución de un evento de surgencia frente a punta Curaumilla, Valparaíso. *Investigaciones Marinas*, 31(2). doi:10.4067/s0717-71782003000200007.
- Small C. & Nicholls R.J. (2003)., A global analysis of human settlement in coastal zones. *J. Coast. Res.* 19: 584-599.
- Stramma, L., Johnson, G. C., Sprintall, J., & Mohrholz, V. (2008). Expanding Oxygen-Minimum Zones in the Tropical Oceans. *Science*, 320(5876), 655–658. doi:10.1126/science.1153847.
- Straus, K. 1977. Jumbo squid *Dosidicus gigas*. *Oceans*, 10(2):10-15.
- Strub, P. T., J. M. Mesías, V. Montecino, J. Rutllant & S.Salinas. 1998. Coastal ocean circulation off western South America. En: Robinson, A. R. & K. H. Brink (eds.). *The Sea* 11: 273-313. John Wiley & Sons, New York.
- Sydeman, W., M. García-Reyes, D. Schoeman, R. Rykaczewski, S. Thompson, B. Black, and S. Bograd. 2014. Climate change and wind intensification in coastal upwelling ecosystems. *Science* 345:77-80.
- Taljaard JJ. 1972. Synoptic meteorology of the Southern Hemisphere. In: Newton CW, Van Loon H, National Center for Atmospheric Research (US) (eds.), *Meteorology of the Southern Hemisphere*. American Meteorological Society, Boston, pp. 139–213.
- Thiel, Martin & Macaya, Erasmo & Acuna, Enzo & Arntz, Wolf & Bastias, Horacio & Brokordt, Katherina & Camus, Patricio & Castilla, Juan & Castro, Leonardo & Cortes, Maritza & Dumont, Clément & Escribano, Ruben & Fernandez, Miriam & Gajardo, Jhon & Gaymer, Carlos & Gomez, Ivan & Gonzalez, Andres & González, H.E. & Haye, Pilar & Vega, J M Alonso. (2007). The Humboldt Current System of Northern and Central Chile. *Oceanography and marine biology*. 45. 195-345. 10.1201/9781420050943.ch6.
- Thunis, P. & RD, Bornstein. (1996). Hierarchy of Mesoscale Flow Assumptions

- and Equations. *Journal of The Atmospheric Sciences - J ATMOS SCI.* 53. 380-397. 10.1175/1520-0469(1996)053<0380:HOMFAA>2.0.CO;2.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019). *World Population Prospects 2019: Highlights (ST/ESA/SER.A/423)*.
 - Vaquer-Sunyer, R., & Duarte, C. M. (2008). Thresholds of hypoxia for marine biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(40), 15452–15457. doi:10.1073/pnas.0803833105.
 - Vásquez Julio a., Patricio a. Camus y f. Patricio Ojeda. (1998). Diversidad, estructura y funcionamiento de ecosistemas costeros rocosos del norte de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*.
 - Vaquer-Sunyer, R., & Duarte, C. M. (2010). Temperature effects on oxygen thresholds for hypoxia in marine benthic organisms. *Global Change Biology*, 17(5), 1788–1797. doi:10.1111/j.1365-2486.2010.02343.x.
 - Vásquez, J.A. & Camus, Patricio & Ojeda, F. (1998). Diversidad, estructura y funcionamiento de ecosistemas costeros rocosos del norte de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. 71. 479-499.
 - Vicencio José (2018). ¿Por qué nos importa tanto el anticiclón subtropical del pacífico sur? Artículo informático. Recuperado el 15 de octubre del 2021 de: <https://blog.meteochile.gob.cl/>.
 - Wong, Z., Saldías, G. S., Largier, J. L., Strub, P. T., & Sobarzo, M. (2021). Surface thermal structure and variability of upwelling shadows in the Gulf of Arauco, Chile. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 126, e2020JC016194. <https://doi.org/10.1029/2020JC016194>.
 - Yuras, G., Ulloa, O., & Hormazábal, S. (2005). On the annual cycle of coastal and open ocean satellite chlorophyll off Chile (18°–40°S). *Geophysical Research Letters*, 32(23). doi:10.1029/2005gl023946.
 - Zúñiga O, H. Baeza & R. Castro (1983) Análisis de la macrofauna bentónica del sublitoral de la Bahía de Mejillones del Sur. *Estudios Oceanológicos (Chile)* 3:41-62.

9. ANEXOS

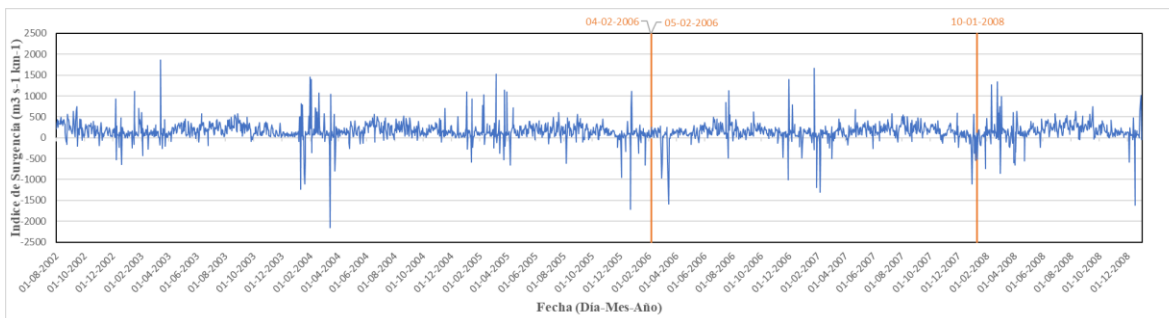


FIGURA 44: Gráfico temporal del índice de surgencia y sus respectivas varazones. (2002-2008).

Fuente: Elaboración propia con datos de viento obtenidos de carriel sur y datos de varazones SERNAPESCA (2021). Procesados con Software Excel.

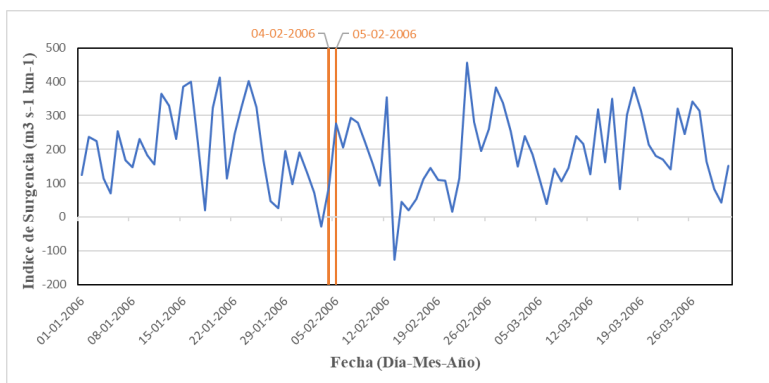


FIGURA 45: Zoom del gráfico temporal del índice de surgencia y sus respectivas varazones. (2006).

Fuente: Elaboración propia con datos de viento obtenidos de carriel sur y datos de varazones SERNAPESCA (2021). Procesados con Software Excel.

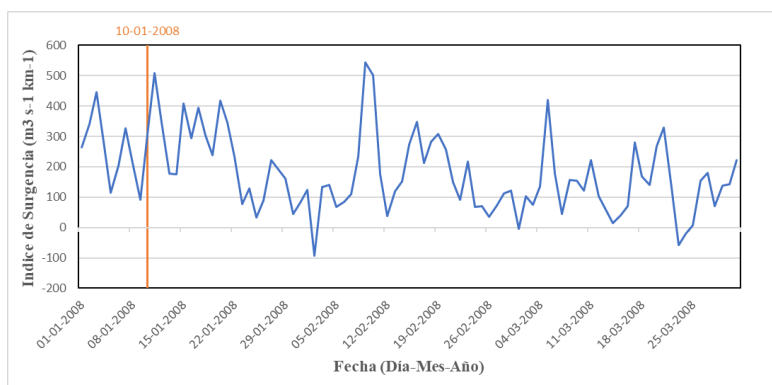


FIGURA 46: Zoom del gráfico temporal del índice de surgencia y sus respectivas varazones. (2008).

Fuente: Elaboración propia con datos de viento obtenidos de carriel sur y datos de varazones SERNAPESCA (2021). Procesados con Software Excel.

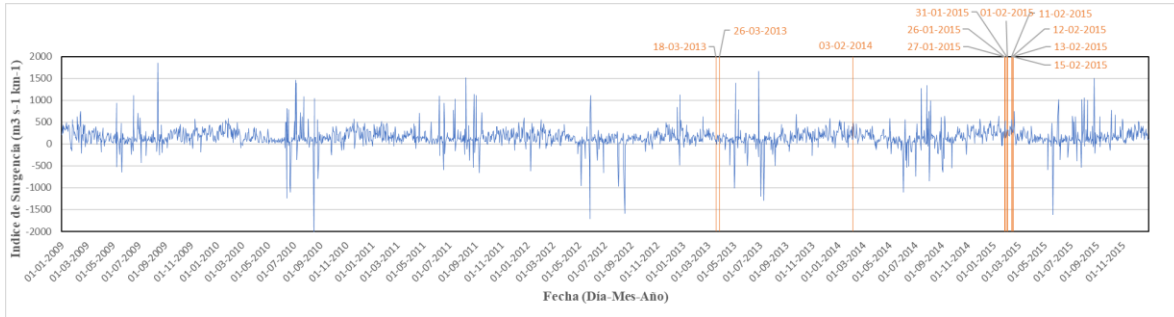


FIGURA 47: Gráfico temporal del índice de surgencia y sus respectivas varazones. (2009-2015).

Fuente: Elaboración propia con datos de viento obtenidos de carriel sur y datos de varazones SERNAPESCA (2021). Procesados con Software Excel.

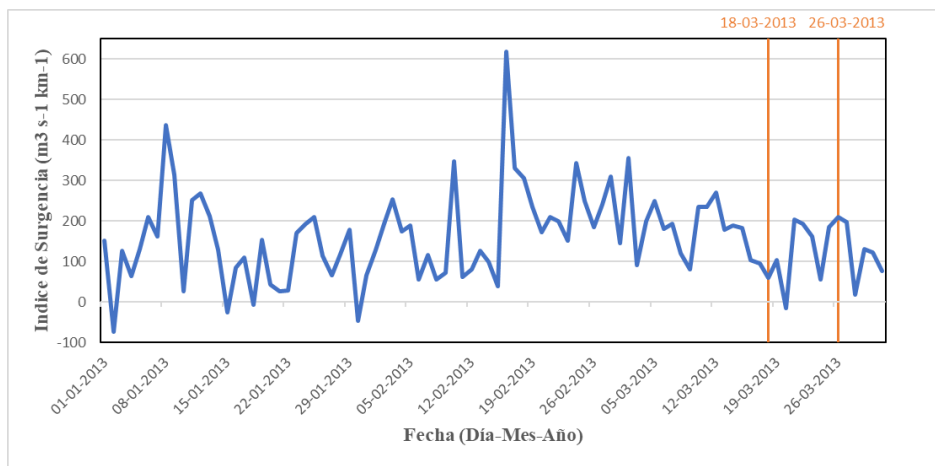


FIGURA 48: Zoom del gráfico temporal del índice de surgencia y sus respectivas varazones. (2013).

Fuente: Elaboración propia con datos de viento obtenidos de carriel sur y datos de varazones SERNAPESCA (2021). Procesados con Software Excel.

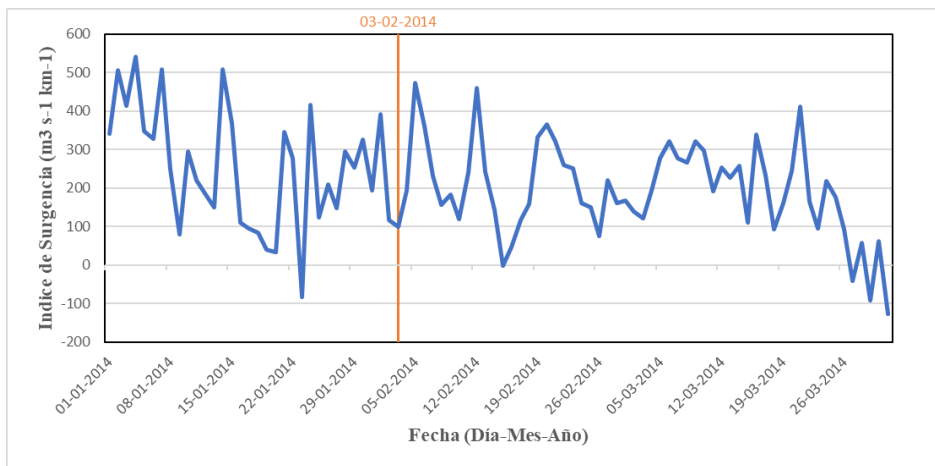


FIGURA 49: Zoom del gráfico temporal del índice de surgencia y sus respectivas varazones. (2014).

Fuente: Elaboración propia con datos de viento obtenidos de carriel sur y datos de varazones SERNAPESCA (2021). Procesados con Software Excel.

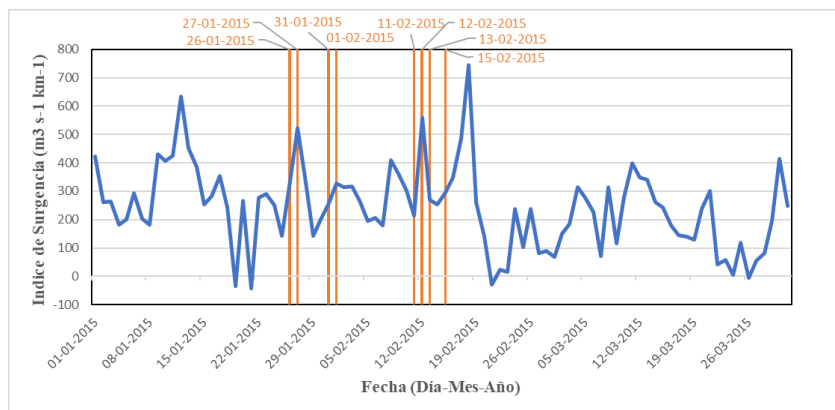


FIGURA 50: Zoom del gráfico temporal del índice de surgencia y sus respectivas varazones. (2015).

Fuente: Elaboración propia con datos de viento obtenidos de carriel sur y datos de varazones SERNAPESCA (2021). Procesados con Software Excel.

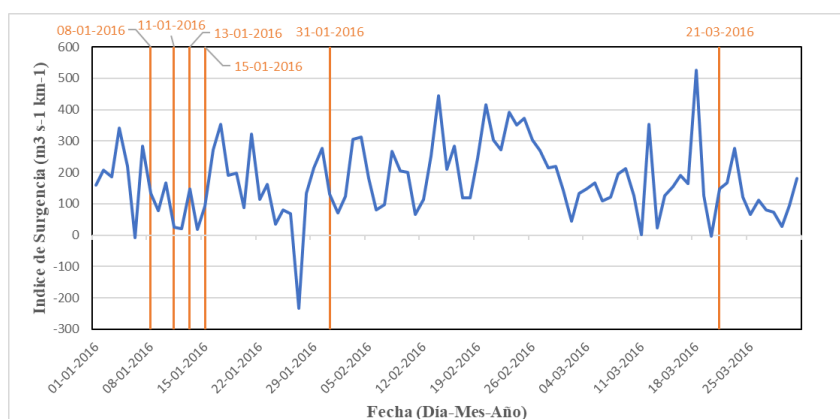


FIGURA 51: Zoom del gráfico temporal del índice de surgencia y sus respectivas varazones. (2016).

Fuente: Elaboración propia con datos de viento obtenidos de carriel sur y datos de varazones SERNAPESCA (2021). Procesados con Software Excel.

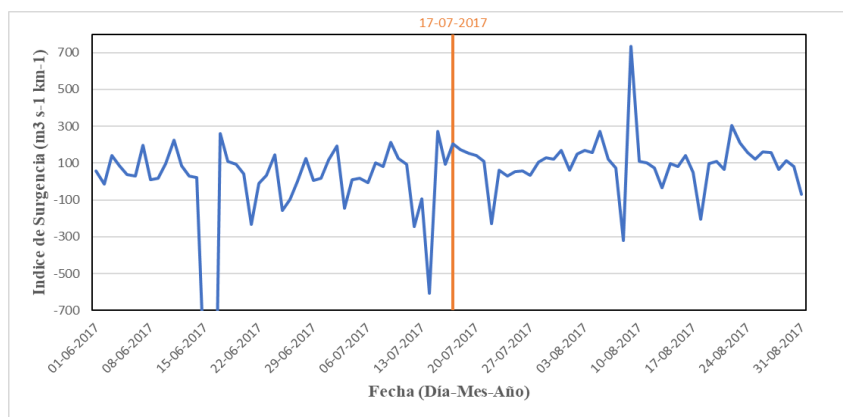


FIGURA 52: Zoom del gráfico temporal de índice de surgencia y sus respectivas varazones. (2017).

Fuente: Elaboración propia con datos de viento obtenidos de carriel sur y datos de varazones SERNAPESCA (2021). Procesados con Software Excel.

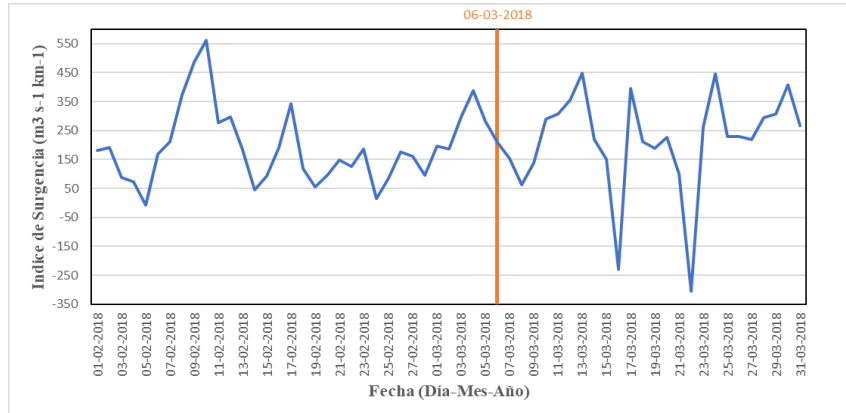


FIGURA 53: Zoom del gráfico temporal del índice de surgencia y sus respectivas varazones. (2018).

Fuente: Elaboración propia con datos de viento obtenidos de carriel sur y datos de varazones SERNAPESCA (2021). Procesados con Software Excel.

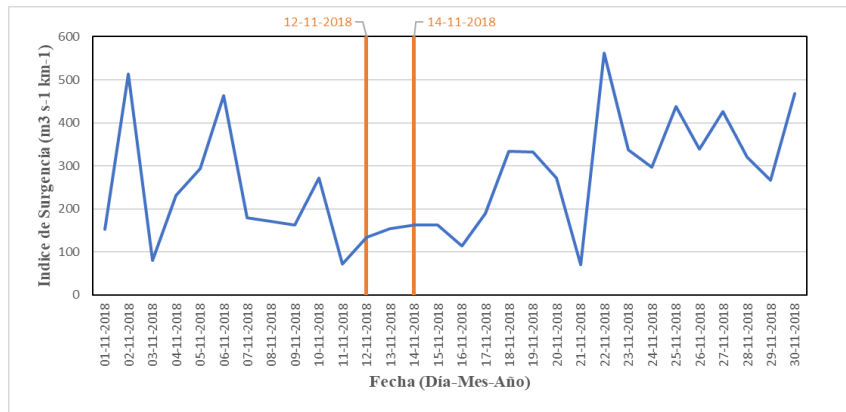


FIGURA 54: Zoom del gráfico temporal del índice de surgencia y sus respectivas varazones. (2018-2).

Fuente: Elaboración propia con datos de viento obtenidos de carriel sur y datos de varazones SERNAPESCA (2021). Procesados con Software Excel.

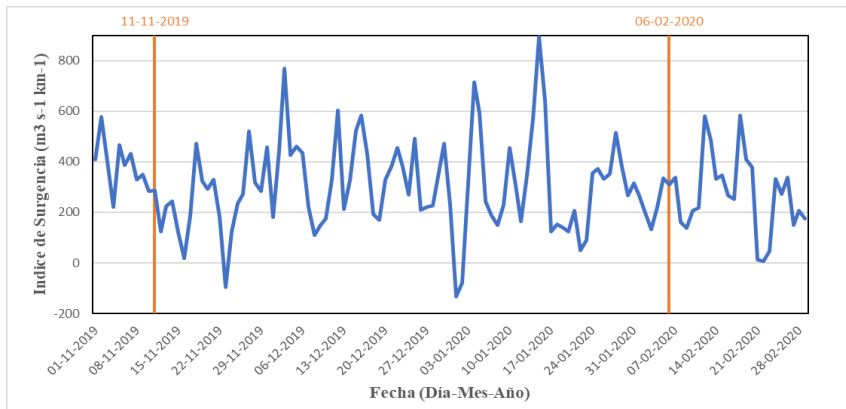


FIGURA 55: Zoom del gráfico temporal del índice de surgencia y sus respectivas varazones. (2019).

Fuente: Elaboración propia con datos de viento obtenidos de carriel sur y datos de varazones SERNAPESCA (2021). Procesados con Software Excel.

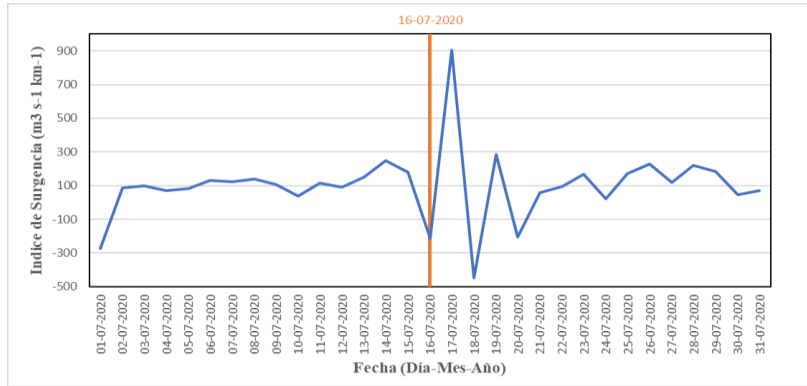


FIGURA 56: Zoom del gráfico temporal del índice de surgencia y sus respectivas varazones. (2020).

Fuente: Elaboración propia con datos de viento obtenidos de carriel sur y datos de varazones SERNAPESCA (2021). Procesados con Software Excel.

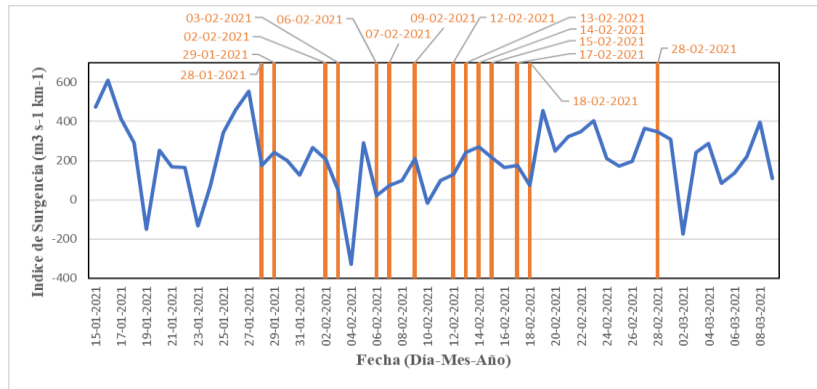


FIGURA 57: Zoom del gráfico temporal del índice de surgencia y sus respectivas varazones. (2021).

Fuente: Elaboración propia con datos de viento obtenidos de carriel sur y datos de varazones SERNAPESCA (2021). Procesados con Software Excel.

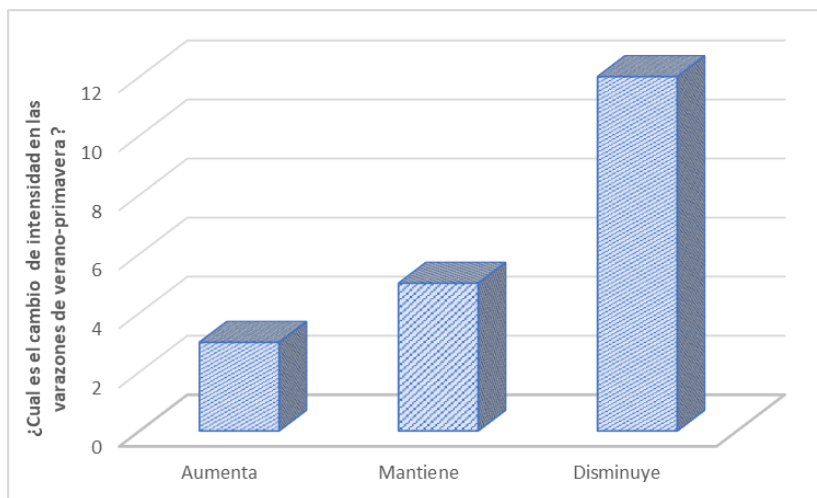


FIGURA 59: Gráfico sobre el cambio de intensidad de las varazones en verano-primavera. (N=20).

Fuente: Elaboración propia mediante Software Excel.

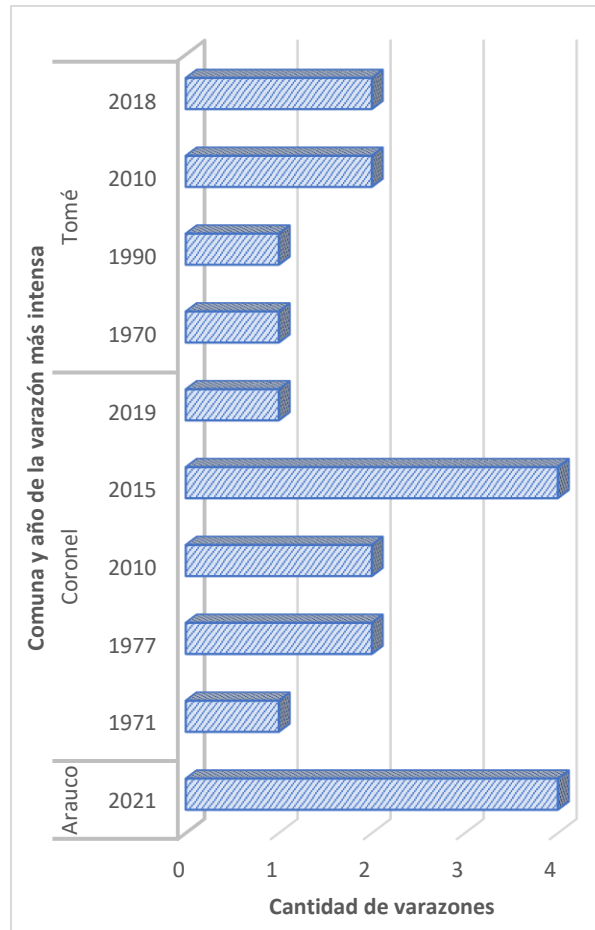


FIGURA 58: Gráfico sobre las varazones más intensas que recuerdan los encuestados. (N=20).

Fuente: Elaboración propia mediante Software Excel.



Universidad de Concepción
Facultad de Ciencias Ambientales
Ingeniería Ambiental

Edad: _____. Sexo: _____. Lugar de residencia: _____.

Lugar de extracción de recursos: _____ Años de trabajo en la zona: _____.

Tipo de recurso extraído: _____ AMERB: _____.

¿Cuáles son las principales especies que varan en la zona?

¿Los recursos que varan en invierno y en verano son distintos? SI / NO

¿Cuáles son las especies que varan con más frecuencia en la zona que usted trabaja?

1) En verano: _____.

2) En invierno: _____.

¿Las especies que están presentes en las varazones están cambiando? ¿Cuáles?

¿En las zonas costeras que usted frecuenta se generan varazones todos los años? SI / NO

Con respecto a los últimos diez años ¿Ha notado en la actualidad cambios en la frecuencia de las varazones?:

- a) Aumenta. b) Mantiene. c) Disminuye.

¿Las varazones de verano-primavera han aumentado o han disminuido su frecuencia?

- a) Aumenta mucho. b) Aumenta. c) Mantiene. d) Disminuye. c) Disminuye mucho.

¿Las varazones de otoño-invierno han aumentado o han disminuido su frecuencia?

- a) Aumenta mucho. b) Aumenta. c) Mantiene. d) Disminuye. c) Disminuye mucho.

Indique la varazón más intensa (abundante) que recuerde en su área de trabajo, y descríbala (cobertura, intensidad, recursos):

Con respecto a los últimos diez años ¿ha notado en la actualidad cambios en la intensidad de las varazones?:

- a) Aumenta. b) Mantiene. c) Disminuye.

¿Las varazones de verano-primavera han aumentado o han disminuido su intensidad?

- a) Aumenta mucho. b) Aumenta. c) Mantiene. d) Disminuye. c) Disminuye mucho.

FIGURA 61: Borrador de encuesta realizada a comunidades costeras.

Fuente: Elaboración propia.

¿Las varazones de invierno-otoño han aumentado o disminuido su intensidad?

- a) Aumenta mucho. b) Aumenta. c) Mantiene. d) Disminuye. e) Disminuye mucho.

¿Qué grado de intensidad cree usted que hubo en el último año?

- a) Muy alto. b) Alto. c) Regular d) Poco. e) Muy poco.

¿Qué grado de intensidad cree usted que hubo hace 10 años?

- a) Muy alto. b) Alto. c) Regular d) Poco. e) Muy poco.

¿En que lo afectan las varazones? Diferencia según recursos varados

Sabemos que las varazones se producen con diferentes recursos, para cada uno de los siguientes recursos indique el impacto económico que le produce

| | Muy alto | Alto | Regular | Bajo | Muy bajo | No aplica |
|--------------|----------|------|---------|------|----------|-----------|
| Peces | | | | | | |
| Crustáceos | | | | | | |
| Equinodermos | | | | | | |
| Moluscos | | | | | | |

En un eventual futuro de cambio climático ¿Cree usted que les afectará más o menos que actualmente?

¿Qué causa les atribuye a las varazones de los recursos? ¿Usted cree que las causas son distintas para las distintas especies?

¿Cuánto cobertura ocupan las varazones? _____

¿Cree usted que al pasar los años ha ido aumentando el área donde quedan varadas las especies? SI / NO

¿Ha cambiado el lugar donde quedan varadas las especies? SI / NO

En su opinión, ¿las varazones que se producen son reportadas en los medios de comunicación?

| | Siempre | Casi siempre | Regularmente | casi nunca | nunca |
|------------------------|---------|--------------|--------------|------------|-------|
| Observación directa | | | | | |
| Amigos/colegas | | | | | |
| medios de comunicación | | | | | |
| Reporte de sernapesca | | | | | |
| Otro | | | | | |

FIGURA 62: Borrador de encuesta realizada a comunidades costeras (parte 2).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3: Información recolectada sobre eventos de varazones

| Especies | Peso (Kg) | Localización | Comuna | Fecha | Información | Fuente |
|-------------------------------|-----------|------------------|------------|------------|------------------|---|
| Jibias | 38000 | Playa Coliumo | Tomé | 04-02-2006 | | https://www.aqua.cl/2006/02/08/varazones-en-viii-region-generan-riesgos-sanitarios/ |
| Sardina | s/i | Playa de Penco | Penco | 05-02-2006 | | https://www.aqua.cl/2006/02/08/varazones-en-viii-region-generan-riesgos-sanitarios/ |
| Cabrilla y Bagre | S/i | Bahía de Coliumo | Tomé | 10-01-2008 | 450 ejemplares | https://www.schcm.cl/web/images/congresos/(28)%20XXVIII%20Congreso%20de%20Ciencias%20del%20Mar%202008.pdf |
| Jaibas | S/i | Caleta Lo Rojas | Coronel | 18-03-2013 | 1000 ejemplares | https://www.24horas.cl/nacional/vecinos-preocupados-por-jaibas-varadas-en-playa-de-coronel-563092 |
| Langostinos y Sardinas | s/i | Caleta Lo Rojas | Coronel | 26-03-2013 | | https://www.soychile.cl/Coronel/Sociedad/2013/03/26/163287/Una-nueva-varazon-de-especies-marinas-se-registro-en-caleta-Lo-Rojas-de-Coronel.aspx |
| Sardina | s/i | Curaquilla | Arauco | 03-02-2014 | | https://www.biobiochile.cl/noticias/2014/02/07/masiva-varazon-de-sardinas-en-playa-de-arauco.shtml |
| Merluza | s/i | Playa Penco | Penco | 26-01-2015 | | http://www.perupesquero.org/chile-varazon-de-merluza-comun-se-registro-anoche-en-penco |
| Merluza y Anchoas | s/i | Isla Rocuant | Talcahuano | 26-01-2015 | | https://www.biobiochile.cl/noticias/2015/01/27/masiva-varazon-de-especies-marinas-se-registra-en-isla-rocuant-de-talcahuano.shtml |
| Merluza | s/i | Playa Coliumo | Tomé | 27-01-2015 | | Base de datos Sernapesca |
| Jibias | s/i | Puerto Sur ISM | Coronel | 31-01-2015 | 2.000 ejemplares | Base de datos Sernapesca |
| Anchovetas | s/i | Playa Laraquete | Arauco | 01-02-2015 | | Base de datos Sernapesca |
| Sardina | s/i | Caleta Lo Rojas | Coronel | 11-02-2015 | | Base de datos Sernapesca |
| Huepo | s/i | Playa Laraquete | Arauco | 12-02-2015 | | Base de datos Sernapesca |
| Sardina | s/i | Caleta Lo Rojas | Coronel | 13-02-2015 | | Base de datos Sernapesca |

Tabla 3: Información recolectada sobre eventos de varazones

| Especies | Peso (Kg) | Localización | Comuna | Fecha | Información | Fuente |
|-------------------------------|-----------|---------------------|---------------------|------------|---|---|
| Sardina | s/i | Caleta Infiernillo | Talcahuano | 15-02-2015 | | Base de datos Sernapesca |
| Sardina | S/i | Playa Lengua | Hualpén | 08-01-2016 | | Base de datos Sernapesca |
| Sardina | S/i | San Pedro de la Paz | San Pedro de La Paz | 08-01-2016 | | Base de datos Sernapesca |
| Sardina | S/i | Playa Arauco | Arauco | 11-01-2016 | | Base de datos Sernapesca |
| Jibias | S/i | Puerto Sur ISM | Coronel | 13-01-2016 | 8000 ejemplares | https://www.24horas.cl/nacional/coronel-alerta-genera-masiva-varazon-de-ocho-mil-jibias-en-playa-de-isla-santa-maria-1900471 |
| Sardina | S/i | Playa El Morro | Talcahuano | 15-01-2016 | | Base de datos Sernapesca |
| Jibias | S/i | Puerto Sur ISM | Coronel | 31-01-2016 | | Base de datos Sernapesca |
| Jibias | S/i | Puerto Sur ISM | Coronel | 21-03-2016 | | Base de datos Sernapesca |
| Huepo | s/i | Playa Arauco | Arauco | 17-07-2017 | | Base de datos Sernapesca |
| Jibias | 480000 | Puerto Sur ISM | Coronel | 06-03-2018 | | https://www.cooperativa.cl/noticias/pais/medio-ambiente/baja-de-oxigeno-en-el-mar-causo-masiva-varazon-de-jibias-en-coronel/2018-03-09/180144.html |
| Navajuelas | S/i | Playa El Morro | Talcahuano | 12-11-2018 | 3000 ejemplares | https://www.biobiochile.cl/noticias/nacional/region-del-bio-bio/2018/11/13/investigacion-masiva-varazon-de-navajuelas-en-caleta-el-morro-de-talcahuano.shtml |
| S/i | S/i | Playa Bellavista | Tomé | 14-11-2018 | Peces y aves muertos. Mancha de color café, indicio de acción antrópica | Base de datos Sernapesca |
| Sardinias y Anchovetas | 11000 | Boca Sur-Michaihue | San Pedro de La Paz | 10-02-2019 | (7 km) | https://www.biobiochile.cl/noticias/nacional/region-del-bio-bio/2019/02/11/masiva-varazon-de- |

Tabla 3: Información recolectada sobre eventos de varazones

| Especies | Peso (Kg) | Localización | Comuna | Fecha | Información | Fuente |
|---|-----------|---|------------|------------|---|---|
| | | | | | | sardinas-y-anchovetas-cubren-7-kilometros-de-playa-en-san-pedro-de-la-paz.shtml |
| Sardinas y Anchovetas | 500 | Puchoco | Coronel | 26-02-2019 | | https://www.aqua.cl/2019/02/27/sernapesca-varazon-sardinas-coronel-no-deberia-reportar-mayor-alarma/ |
| Sardinas, Anchoveta, Tritre y Pampanillo | S/i | Playa Blanca | Coronel | 01-03-2019 | | https://www.biobiochile.cl/noticias/nacional/region-del-bio-bio/2019/03/01/reportan-masiva-varazon-de-sardinas-en-playa-blanca-de-coronel.shtml |
| Sardina | S/i | Playa Schwager | Coronel | 26-03-2019 | | Base de datos Sernapesca |
| Cholgas | S/i | Playa Escuadrón | Coronel | 09-06-2019 | | Base de datos Sernapesca |
| Jaibas | 200 | Playa Laraquete | Arauco | 11-11-2019 | | Base de datos Sernapesca |
| Estrellas de mar y Chanchos de mar | 200 | Playa Blanca | Coronel | 16-07-2020 | | Base de datos Sernapesca |
| Sardina y Anchoveta | S/i | Playa Maule (coronel) hasta Punta Puchoco | Coronel | 28-01-2021 | | Base de datos Sernapesca |
| Sardina, Pampanito, y larvas de Crustáceos | S/i | Playa de Arauco | Arauco | 29-01-2021 | con una cantidad apreciable de peces muy cercano a la playa | Base de datos Sernapesca |
| Sardinas, Anchovetas, Pampanitos y algunos crustáceos. | 5000 | Playa Arauco (Horcones) | Arauco | 02-02-2021 | | Base de datos Sernapesca |
| S/i | S/i | Playa Navidad | Tomé | 03-02-2021 | | Base de datos Sernapesca |
| Sardina | S/i | Base Naval | Talcahuano | 06-02-2021 | Se encontraron flotando | Base de datos Sernapesca |

Tabla 3: Información recolectada sobre eventos de varazones

| Especies | Peso (Kg) | Localización | Comuna | Fecha | Información | Fuente |
|---|-----------|--|------------|------------|-------------------------|--------------------------|
| | | | | | aproximadamente 20m2 | |
| Sardina y Anchoveta | 1000 | Playa Cocholgue (Caleta Grande) | Tomé | 06-02-2021 | | Base de datos Sernapesca |
| Sardina y Anchoveta | 800 | Quichiuto | Tomé | 07-02-2021 | | Base de datos Sernapesca |
| Sardina y Anchoveta | 300 | Playa Coliumo | Tomé | 09-02-2021 | | Base de datos Sernapesca |
| Sardina y Anchoveta | s/i | Playa Villarrica | Tomé | 09-02-2021 | | Base de datos Sernapesca |
| Sardina y Anchoveta | 900 | Los Bagres | Tomé | 12-02-2021 | | Base de datos Sernapesca |
| Sardinias, Anchovetas, Pejerreyes, algunos crustáceos y Corvinillas | 190000 | Desembocadura del río Carampangue (10 km al sur de Horcones) | Arauco | 13-02-2021 | | Base de datos Sernapesca |
| Sardina, Anchoveta y Pejerreyes | S/i | Talcahuano El Morro | Talcahuano | 14-02-2021 | | Base de datos Sernapesca |
| Sardina y Anchoveta | 600 | Playa de Dichato | Tomé | 15-02-2021 | | Base de datos Sernapesca |
| Sardina y Anchoveta | 162 | Playa Pingueral | Tomé | 15-02-2021 | | Base de datos Sernapesca |
| Sardina, Anchovetas, Lenguado, Pampanitos, Almejas, Rayas, Pejerreyes y Crustáceos | 3000000 | Playa Laraquete | Arauco | 15-02-2021 | | Base de datos Sernapesca |
| S/i | S/i | Playa Chivilingo | Lota | 17-02-2021 | | Base de datos Sernapesca |
| Sardina y Anchoveta | S/i | Playa Dichato | Tomé | 18-02-2021 | | Base de datos Sernapesca |
| Sardinias, Anchovetas, Pampanitos y algunas Jaibas y Almejas | 4000 | Playa Laraquete | Arauco | 28-02-2021 | (2.3 km) | Base de datos Sernapesca |